

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный университет путей сообщения»
ФГБОУ ВО УрГУПС

На правах рукописи



Кощев Антон Алексеевич

**МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОГЛАСОВАНИИ
ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Тимухина Елена Николаевна
доктор технических наук, доцент

Екатеринбург – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1 Обзор текущего состояния практики и теоретических исследований по теме ...	10
1.1 Анализ подходов к исследованию железнодорожных станций.....	10
1.2 Развитие аналитических и графических методов расчета параметров транспортных систем.....	15
1.2.1 Расчет пропускной и перерабатывающей способности станций.....	16
1.2.2 Расчет потребного числа путей на станциях.....	18
1.2.3 Время нахождения вагонов на станции.....	19
1.3 Современный этап: программирование и имитационное моделирование.....	21
1.4 Требования к имитационной системе.....	23
1.5 Выбор имитационной системы.....	26
Выводы по главе 1.....	29
2 Обоснование необходимости разработки методики принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.....	30
2.1 Характеристика нормативной документации, регламентирующей процесс принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.....	30
2.2 Характеристика современных принципов и методов сравнения и выбора наиболее эффективного варианта развития транспортного объекта.....	32
2.3 Характеристика существующих методов формирования множества альтернатив.....	35
2.3.1 Морфологический анализ.....	36
2.3.2 Метод экспертного оценивания.....	36
2.3.3 Имитационное моделирование.....	38
2.3.4 Комбинированный подход к формированию множества альтернативных решений.....	39

2.4 Структура аппарата для имитационного моделирования.....	40
Выводы по главе 2.....	52
3 Методика принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций	54
3.1 Алгоритм принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы объекта железнодорожного транспорта.....	54
3.2 Критерии принятия решений	57
3.3 Методика формирования множества альтернативных решений, направленная на согласование структуры и технологии работы железнодорожных станций	61
3.3.1 Реализация синтетического подхода к формированию множества альтернативных решений	63
3.3.2 Разработка вариантов повышения пропускной или перерабатывающей способности с использованием имитационной модели	67
3.3.3 Алгоритм определения и оценки вариантов уменьшения избыточной пропускной способности структурных элементов с использованием имитационной модели	72
3.3.4 Процесс «конференции идей».....	75
3.3.5 Сужение множества альтернатив	76
3.3.6 Формирование альтернатив на основе синтеза решений.....	78
3.4 Формализация задачи принятия решения при многих критериях	81
3.5 Определение множества Парето.....	82
3.6 Разработка методики уточнения множества Парето на основе учета стохастичности критериальных функций.....	83
3.6.1 Определение доверительных интервалов для оценки математического ожидания	84
3.6.2 Корреляционный анализ.....	85
3.6.3 Определение параметров эллипсов рассеивания.....	86
3.6.4 Однофакторный дисперсионный анализ	87
3.7 Принятие решений на основе свертки критериев.....	92
Выводы по главе 3.....	94

4 Использование предложенных методических разработок для принятия решения по развитию железнодорожной станции	97
4.1 Характеристика грузовой железнодорожной станции Осенцы	97
4.2 Формирование «дерева решений»	99
4.3 Выбор рационального варианта повышения перерабатывающей способности железнодорожной станции	117
4.4 Эффективность методики принятия решений	123
4.4.1 Эффективность методики формирования альтернативных решений.....	123
4.4.2 Эффективность методики принятия решений с применением алгоритма уточнения множества Парето на основе учета стохастичности критериальных функций.....	125
Выводы по главе 4.....	126
Заключение	127
Список литературы	129
Приложение А. Классификаторы решений по согласованию параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.	140
Приложение Б. «Дерево решений» (последовательность расчетов).	145
Приложение В. Последовательность расчетов с использованием имитационной модели.....	149
Приложение Г. «Дерево решений», построенное с использованием существующего комбинированного подхода к формированию множества альтернативных решений.	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года отмечается, что в условиях рыночной экономики для качественного повышения уровня транспортного обслуживания недостаточно пропускной и перерабатывающей способности существующей инфраструктуры, то есть существует потребность в наращивании мощности устройств с целью удовлетворения перспективных объемов перевозок. Но, с другой стороны, при формировании клиентоориентированного рынка транспортных услуг в связи с изменениями параметров вагоно- и поездопотоков возникают объекты с избыточной пропускной (перерабатывающей) способностью структурных элементов, что в целом негативно отражается на экономической эффективности функционирования линейных предприятий железнодорожного транспорта. В результате, важнейшим стратегическим направлением развития транспортной системы является сбалансированное развитие инфраструктуры транспорта.

В свою очередь, развитие транспортной инфраструктуры, в том числе реконструкция существующих и строительство новых железнодорожных станций, зависит не только от методики определения параметров железнодорожных станций, но и от методики принятия проектных решений, несовершенство которой может привести к неэффективным экономическим потерям из-за выбора нерациональных вариантов.

Для сбалансированного развития транспортной инфраструктуры и повышения эффективности инвестиционных проектов необходимо разработать методику принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.

Степень разработанности темы исследования. Проблеме расчета железнодорожных станций, в том числе с применением метода имитационного моделирования, посвящен целый ряд трудов российских и зарубежных ученых, на

которые опирался автор: работы А.Э. Александрова, С.А. Бессоненко, А.Ф. Бородина, И.П. Владимирской, С.В. Карасева, П.А. Козлова, В.С. Колокольникова, С.Н. Корнилова, А.С. Мишарина, В.Ю. Пермикина, В.А. Персианова, А.Н. Рахмангулова, П.Б. Романовой, Е.Н. Тимухиной, И.Г. Тихомирова, Н.А. Тушина, Н.С. Ускова, О.Н. Числова, Н.Н. Шабалина, В.А. Шарова, N. Adamko, D. Huerlimann, V. Klima, A. Nash и т. д.

Объектом исследования являются железнодорожные станции.

Предметом исследования является процесс принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.

Целью исследования является разработка методики принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.

Задачи исследования:

1. Проанализировать опыт расчета железнодорожных станций и применяемых при этом подходов.

2. Обосновать необходимость разработки методики принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы транспортных объектов.

3. Определить критерии принятия проектных решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.

4. Разработать методику формирования альтернативных решений по согласованию параметров структуры и технологии работы исследуемых объектов.

5. Разработать методику сравнения альтернативных решений, учитывающую стохастичность критериальных функций.

Научная новизна работы:

1. Разработана новая методика принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций, основанная на бикритериальном подходе.

2. Предложен нетрадиционный синтетический подход к формированию альтернативных решений с использованием имитационной модели и метода «конференции идей», включающий в себя применение оригинальных классификаторов решений по согласованию параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.

3. Разработан алгоритм сужения исходного множества Парето на основе учета стохастичности критериальных функций для снижения риска принятия нерационального решения.

Теоретическая значимость работы. Проведена модернизация методики принятия решений, заключающаяся в применении синтетического подхода к формированию альтернативных решений и разработке методики их сравнения, основанной на учете стохастичности критериальных функций, что является вкладом в теорию принятия решений в области железнодорожного транспорта.

Практическая значимость работы. Разработанная методика принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций предназначена для использования владельцами инфраструктуры железнодорожного транспорта и проектными организациями на этапе обоснования инвестиций в рамках подготовки предпроектной документации. Применение методики позволит повысить технологическую эффективность принимаемых решений при снижении затрат на разработку альтернатив и их расчет.

Методология и методы исследования. Теоретическая и методологическая основа исследований – теория принятия решений, теория имитационного моделирования и теория математической статистики, а также труды ведущих ученых в области расчета и оптимизации транспортных систем.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа существующих принципов выбора проектных решений и обоснование разработки методики принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций на бикритериальной основе.

2. Способ формирования альтернативных решений, сочетающий возможности имитационной модели и метода «конференции идей».

3. Методика сравнения проектных решений на основе бикритериального подхода с учетом стохастичности критериальных функций.

Реализация результатов работы. Положения научной концепции реализованы в дисциплине «Теория принятия решения», входящей в учебный план специальности «Эксплуатация железных дорог» ФГБОУ ВО УрГУПС.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается использованием при проведении исследований и разработке моделей фундаментальных общепризнанных положений и теорий, а также сопоставлением результатов расчетов на имитационных моделях реальным объектам – железнодорожным станциям.

Основные положения и результаты исследования докладывались и обсуждались на научно-практических и научно-технических конференциях различного уровня: III Международной научно-практической конференции «Инновации и исследования в транспортном комплексе» (Курган, 2015), XIII Научно-практической конференции молодых специалистов: «АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод» в современном экономическом пространстве: оптимизация затрат, повышение качества» (Нижний Тагил, 2016), IX Международной научно-практической конференции «Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования» (Екатеринбург, 2017), Всероссийской национальной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России» (Ростов-на-Дону, 2018), XI Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (Самара, 2018), Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2019), VI Международной научно-практической конференции молодых ученых «Languages, science and business» (Екатеринбург, 2019), научном семинаре аспирантов УрГУПС (Екатеринбург, 2019), Всероссийской научно-

технической конференции «Транспорт Урала» (Екатеринбург, 2019, 2020), XI Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы» (Новосибирск, 2020).

В целом результаты диссертационного исследования представлены и получили одобрение на расширенном заседании кафедры «Управление эксплуатационной работой» УрГУПС 07 октября 2020 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 4 – в ведущих изданиях, входящих в «Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций», 3 – в изданиях, входящих в международную систему цитирования Scopus.

Структура и объем диссертации. Структура диссертационной работы включает введение, 4 главы, заключение, список литературы, приложения. Работа представлена на 155 страницах, содержит 139 страниц основного текста, 42 рисунка, 19 таблиц и 4 приложения на 16 страницах, список использованной литературы составляет 110 наименований.

1 ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПРАКТИКИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕМЕ

1.1 Анализ подходов к исследованию железнодорожных станций

При исследовании систем любой сложности появляется большое число задач, требующих оценки количественных и качественных закономерностей процессов функционирования этих систем [1–5].

Наиболее общая и широко используемая классификация методов исследования систем железнодорожного транспорта представлена в [6]. Она построена на разделении знаний об объекте исследования на формализованные и частично-формализованные. Формализованные знания представляют собой строгие математические зависимости, на которых основываются аналитические и оптимизационные методы. Частично-формализованные – это эмпирические (полученные опытным путем) знания об объекте исследования, которые нельзя представить в виде однозначно сформулированных критериев и ограничений. Практика показывает, что простые транспортные системы достаточно хорошо изучены: накоплено много формализованных знаний, известны законы, по которым ведут себя элементы в системе. Сложные транспортные системы, наоборот, всегда трудно поддавались исследованию. Опыт изучения таких систем доказывает, что частично-формализованные знания о законах их функционирования доминируют над формализованными [7].

По способам исследования все существующие методы делят на аналитические детерминированные, графоаналитические, аналитические вероятностные (теория массового обслуживания), имитационное моделирование [8, 9].

При анализе и сравнении вышеуказанных методов исследования сложных систем, а именно крупных железнодорожных станций, необходимо сделать акцент на условиях, которым метод должен удовлетворять:

– максимально подробно представлять схемы путевого развития

железнодорожных станций, так как эта качественная характеристика оказывает влияние на количественные и качественные показатели транспортного объекта;

- представлять технологию работы станций, так как она не всегда согласована со схемой путевого развития и влияет на работу и показатели станции;

- учитывать влияние случайных процессов;

- рассматривать управление в системе, так как результат выбора управляющего действия на транспортные системы всегда зависит от ее реального состояния в отдельные моменты времени.

Один из первых и наиболее распространенных для изучения транспортных систем – аналитический детерминированный метод. Его развитию и широкому применению в транспортной науке способствовали работы многих ученых и специалистов [4, 10, 11].

Вместе с тем, несмотря на большую распространенность, аналитический детерминированный метод имеет ряд недостатков:

- не отображает взаимодействие случайных процессов;

- не оценивает взаимовлияние элементов и структурных параметров на работу транспортной системы;

- не учитывает динамику процессов, протекающих в системе;

- не учитывает адаптивность и управление в системе [7].

Все эти минусы аналитического детерминированного метода проявляются при расчете сложных систем, к которым относятся железнодорожные станции с разветвленной структурой и сложной технологией.

Параллельно с аналитическими разрабатывались и графоаналитические методы, получившие развитие в работах В.Д. Никитина [12]. Классический образец таких методов – суточный план-график, весьма полно учитывающий различные взаимосвязи между элементами в системе. Достоинство метода – наглядность при получении результатов анализируемого объекта. Недостатки – большая трудоемкость и практическая невозможность корректно отображать влияние случайных процессов. Так как план-график строится только на одни

сутки, то входной поток соответствует лишь одному варианту графика движения поездов. Продолжительность обслуживания вообще задается нормативными величинами. В итоге метод существенно снижает потребность в путевом развитии и техническом оснащении станции [13].

Ответом на излишнюю детерминированность предшествующих методов стали аналитические вероятностные подходы, представляющие собой различные модели массового обслуживания [14–17]. Начиная с 1970-х гг. отечественными учеными накоплен большой практический опыт использования таких моделей, с помощью которых выполняется расчет количества резервных путей, выбираются технологические пути в зависимости от числа бригад с учетом коэффициента их загрузки. Слабое место моделей массового обслуживания – отсутствие возможности отображать управление в системе. Как известно, системное управление создает динамические резервы, которые заменяют по функции статические резервы. Так как модели массового обслуживания не способны отображать управление, то для обеспечения устойчивой работы приходится динамические резервы заменять статическими, что приводит к завышению реально необходимого уровня резервов на станции.

Как показывает опыт, возможности различных математических моделей ограничиваются тем, что они основываются на формализованных знаниях, между которыми имеются какие-то строгие численные зависимости. Но в сложных транспортных системах преобладают частично-формализованные знания или знания опытного характера [18]. При использовании для анализа работы сложных систем только аналитических (детерминированных и вероятностных) методов исследования возникают многочисленные трудности, связанные с невозможностью точного описания протекающих процессов. Это приводит к необходимости значительно упрощать модель на стадии ее построения или в процессе ее работы и, как следствие, к получению малодостоверных результатов [19, 20]. Например, в транспортных системах с сильной структурной и технологической взаимосвязью невозможно корректно задать пропускную способность элемента, рассматриваемого изолированно. Цикл его использования

обладает достаточно сложной структурой и состоит из предусмотренного по технологии времени нахождения под одной операцией и следующих составляющих:

- технологической задержки, обусловленной невозможностью обеспечить непрерывное использование каждого элемента в последовательности операций;
- структурной задержки по входу, вызываемой перерывами в использовании элемента из-за занятости предыдущих элементов;
- структурной задержки по выходу из-за занятости последующего элемента.

Перечисленные параметры невозможно определить заранее, поскольку они зависят от:

- структуры системы;
- структуры технологического процесса;
- уровня загрузки системы;
- взаимодействия процессов, происходящих случайно;
- управления процессами.

В результате появилась потребность в методе расчета, с помощью которого можно получить достоверные результаты при низкой формализации знаний об объекте исследования. Таким методом стало имитационное моделирование, позволившее корректно отобразить работу подобного рода сложных систем. В модели в ускоренном режиме отображается работа рассматриваемой системы, в которую входят частично-формализованные знания, в результате модель становится намного богаче. Показатели работы объекта определяются в результате моделирования, при этом не требуется решать определенную математическую задачу и вводить все данные в виде математического аппарата. Исследователь проводит направленные эксперименты, которые позволяют определить рациональную структуру и технологию работы выбранного транспортного объекта. Таким образом, на данный момент завершением развития методов расчета сложных систем является имитационное моделирование [18].

К преимуществам метода имитационного моделирования относятся возможности:

- корректно отображать взаимодействие случайных процессов в системе;
- учитывать воздействие внутренней структуры на характер работы модели;
- вводить ограничения и задавать целевую функцию для больших систем.

Наряду с преимуществами для имитационного моделирования характерны и недостатки:

- процесс создания модели требует больших трудовых и временных затрат;
- процесс создания модели каждой новой станции индивидуален, так как каждый объект обладает уникальными особенностями структуры и технологического процесса;
- сложность при решении задач оптимизации, так как результат расчета на имитационной модели всегда имеет индивидуальный характер.

Таким образом, несмотря на существующие недостатки, только имитационное моделирование исследуемых станций в условиях усложнения технологического процесса может в полной мере учитывать все требования, которые предъявляются к методам расчета станций, и дать адекватное представление о реальном объекте (рисунок 1.1) [8, 21–24].

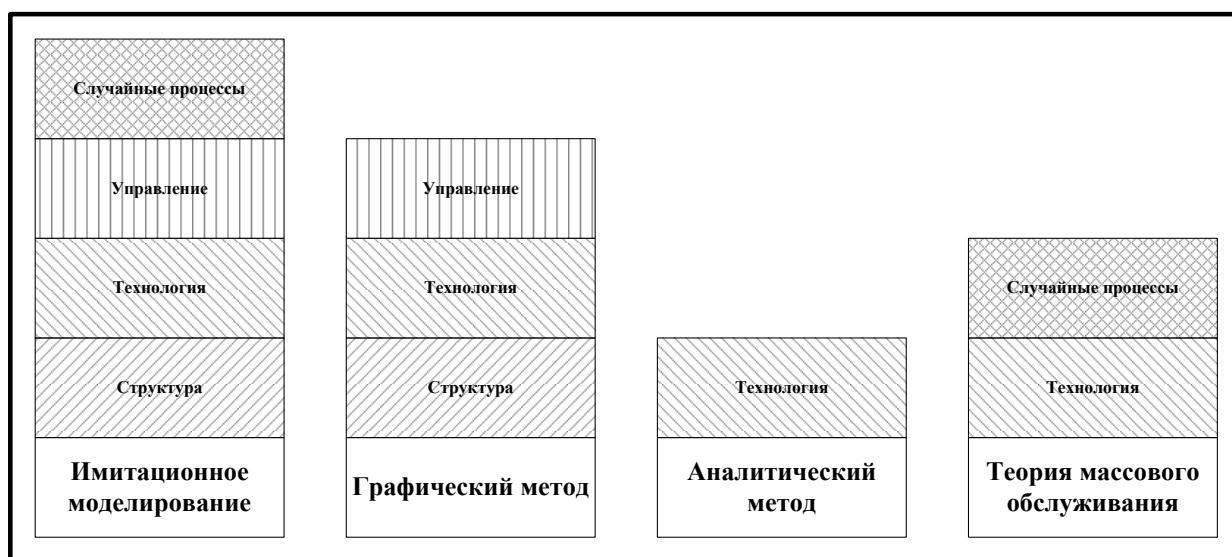


Рисунок 1.1 – Отображение свойств транспортной системы различными методами

Необходимость развития имитационного моделирования для повышения точности расчета станций и учета взаимодействия структурных элементов осознавалась учеными еще в 1970-х и 1980-х гг., но на тот момент не было

подходящего аппарата для проведения исследований. На современном этапе развития транспортной науки разработаны системы имитационного моделирования, способные наиболее точно отобразить взаимодействие элементов в структуре и выдающие необходимый набор результатов для оценки его эффективности.

1.2 Развитие аналитических и графических методов расчета параметров транспортных систем

Транспортные системы, такие как железнодорожные станции и транспортные узлы, имеют сильную структурную и функциональную связность и трудно поддаются расчету. Эта их особенность вызвала огромный интерес среди ученых, в связи с чем был накоплен определенный опыт применения тех или иных методов и моделей для расчета и оптимизации транспортных систем [25–29].

Функциональные параметры крупных железнодорожных станций существенно зависят от организации взаимодействия их отдельных элементов и подсистем. Это взаимодействие парка приема и горки, сортировочного парка и вытяжек формирования и, наконец, станции и участка. Так как проблема наилучшего использования пропускной и перерабатывающей способности станций при высокой загрузке сети была наиболее актуальна, то большинство исследований посвящено этой тематике.

Таким образом, важно правильно оценить опыт, накопленный в железнодорожной отрасли по определению:

- пропускной и перерабатывающей способности станций;
- потребного числа путей на станциях;
- времени нахождения вагонов на станции, задержек подвижного состава под технологическими операциями и в их ожидании.

1.2.1 Расчет пропускной и перерабатывающей способности станций

Проблема определения пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций интересовала многих ученых и специалистов [12, 18, 30–39]. Одними из первых, кто занимался данной проблематикой, были П.П. Леонов и А.Ф. Лютц. Они дали определение пропускной способности приемоотправочных путей, зависящее от их работы в период 24 ч, от количества путей и занятости одним поездом пути согласно технологическим нормам. В.Д. Никитин в [12] подтвердил корректность формулы, предложенной П.П. Леоновым и А.Ф. Лютцем. С.Г. Писарев [40] в исходные формулы для определения пропускной способности путей ввел коэффициент резерва и коэффициент, учитывающий неравномерность движения поездов. И.И. Васильев в [41] предложил использовать формулу, в которой содержится коэффициент, учитывающий различные потери в работе станции. П.В. Бартенев [31] предложил учитывать несоответствие между временем занятия пути одним поездом и интервалами в графике движения поездов.

Одновременно с аналитическим методом, который представлен во всех вышерассмотренных трудах, использовался и графический способ. Данный метод подразумевает разработку графика, который в дальнейшем подвергается анализу. К.К. Таль в своих работах предлагает графический расчет, на основе которого дает рекомендации по увеличению пропускной способности станционных горловин [42, 43]. Однако при заданных размерах движения графический способ, по сути, является наглядной проверкой возможности пропуска станцией поездов.

Во второй половине прошлого века методы расчета пропускной и перерабатывающей способности станций активно развивались с использованием систем массового обслуживания.

А.В. Быкадоров выполнил комплексное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности с помощью моделей массового обслуживания и определил, что пропускная способность устройств подсистемы расформирования сильно зависит от изменений времени обработки

составов в парке приема и времени их расформирования на горке [10]. В.Я. Негрей в [35] заложил основу для расчетов (теоретических и методологических) наличной пропускной способности элементов железнодорожных узлов при колебаниях времени обслуживания. Им представлен вероятностный подход к расчету наличной пропускной способности железнодорожных станций и узлов.

Из зарубежных исследователей большой вклад в развитие методик расчета пропускной способности внесли G. Potthoff, W. Schwanhäusser, H. Wakob. Так, G. Potthoff разработал теорию расчета пропускной способности станционных горловин в табличной форме [37]. W. Schwanhäusser предложил очень важный принцип разбиения станции на «секционированные маршрутные узлы» для анализа пропускной способности железнодорожных станций и узлов (рисунок 1.2) [44].

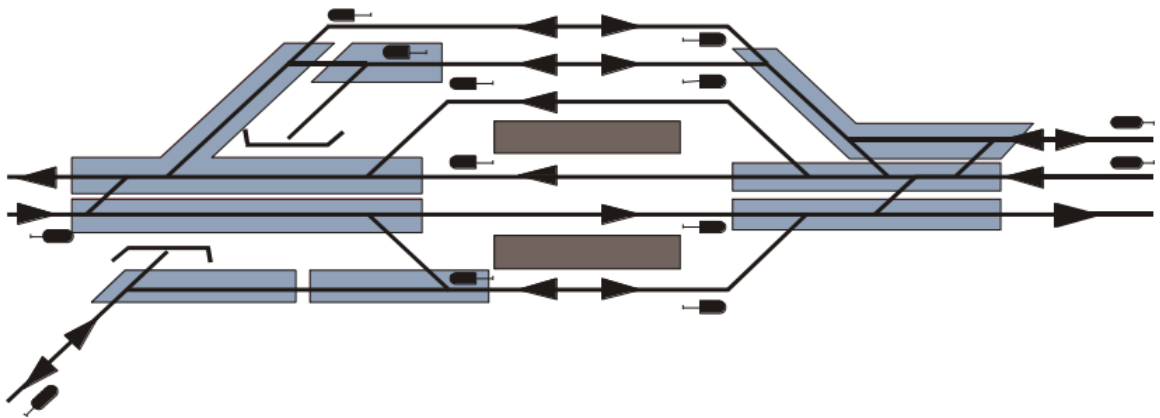


Рисунок 1.2 – Разбиение станции на «секционированные маршрутные узлы» [44]

На основе работ W. Schwanhäusser и теории массового обслуживания H. Wakob создал собственную методику определения пропускной способности станций. Она заключается в расчете среднего времени занятия подвижным составом элементов путевого развития, заранее определенных как лимитирующие, причем каждый элемент рассматривается в качестве одноканальной системы обслуживания [45].

1.2.2 Расчет потребного числа путей на станциях

В ранних работах отечественных исследователей необходимое число путей для приема и отправления поездов определяли отношением суммарного времени занятия путей поездами к расчетному периоду, обычно суткам. Результат, как правило, получался ниже действительно необходимого [46].

К.К. Таль и С.В. Земблинов предложили методику расчета потребного числа железнодорожных путей на технических станциях, в рамках которой попробовали определить влияние расположения парков станции на потребное число путей.

До 1970-х гг. многие исследователи продолжали попытки уточнять существующие аналитические формулы с помощью эмпирических коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов. Так, по формулам И.Г. Тихомирова [47] число станционных путей предлагалось определять в период сгущенного прибытия поездов в расформирование с расчетными межпоездными интервалами, определяемыми из пуассоновского распределения интервалов прибытия поездов. Однако использованный закон распределения не универсален и соответственно не подходит для получения достаточно точных результатов. П.С. Грунтов предлагал находить число поездов в период наибольшего сгущения прибытия на основе заданной вероятности беспрепятственного их приема станцией [48]. Н.И. Федотов в [49] обосновывал возможность определения потребного числа путей в приемоотправочных парках с помощью технико-экономической оценки возможных вариантов путевого развития. Исследователь сделал ряд некорректных выводов, несмотря на это, предложенная методика была новой в сравнении с предыдущими [7, 46, 50].

В 1970-е гг. появились труды, в которых число путей на станциях и другие параметры эксплуатационной работы рассчитывались с применением теории массового обслуживания. Так, по рекомендациям Н.Н. Шабалина, изложенным в [51], число путей в парке приема определялось исходя из величин вероятности задержки поездов на подходах к станции и продолжительности задержек. В развитие аналитического вероятностного подхода при оценке потребного числа

путей на станциях И.Б. Сотников предложил методику, основанную на предположении, что входящие на станцию потоки поездов и продолжительность их обслуживания описываются не только распределением Пуассона, но и эрланговским законом распределения [17, 38, 52–54].

Тема расчета требуемого числа путей на станции у зарубежных исследователей не пользовалась особой популярностью. В основном труды по данной тематике представлены в виде национальных стандартов по проектированию железнодорожных станций и узлов, где для расчета числа путей используются формулы с уточняющими эмпирическими коэффициентами или, например, таблицы, дающие рекомендации по выбору числа путей в зависимости от количества прибывающих и отправляющихся поездов [55].

Несмотря на преобладание аналитических детерминированных методов в иностранных источниках, одним из немногих, кто на рубеже 1960-х и 1970-х гг. занимался исследованием станций с помощью теории массового обслуживания, был Е. Petersen. В работах [56, 57] Е. Petersen, пользуясь моделями массового обслуживания, определял пропускную способность отдельных парков сортировочных станций, на основе чего давал рекомендации по путевому развитию станций и их техническому оснащению.

1.2.3 Время нахождения вагонов на станции

Время нахождения вагонов на станции – важный показатель эксплуатационной работы, а его определение позволяет решить некоторые проектные и технико-экономические задачи.

На ранних этапах ученые применяли аналитические методы расчета, опираясь на эмпирические коэффициенты, которые уточнялись значением различных элементов простоя вагонов на станции. Г.С. Васильев в [58] предложил определять отдельные элементы межоперационных простоев вагонов с помощью эмпирических формул. В формулах, представленных в [59], рекомендовано учитывать загрузку устройств (горок, вытяжных путей, участков),

однако отсутствие теоретической базы для вычисления исходных формул и наличие эмпирических коэффициентов не позволяли использовать эти формулы для расчета параметров работы станций.

Графический метод, представляющий собой построение суточного плана-графика, на основе которого определяли время нахождения вагонов на станции, имитировал работу станции только за сутки и не учитывал вероятностные характеристики. Он строился на некоторых условных исходных данных, таких как остатки вагонов и поездов, которые переходят на начало следующего расчетного периода, условное количество вагонов согласно назначению плана формирования в поездах, время прибытия поездов в расформирование в соответствии с графиком движения.

В последующие годы исследователи стали все чаще пользоваться положениями теории вероятности и теории массового обслуживания. Например, Н.Н. Шабалин в [60] для определения средней продолжительности обслуживания использовал известную формулу Поллачека – Хинчина, применяемую при простейшем входящем потоке, описываемом функцией распределения Пуассона, и произвольном времени обслуживания. Формула Поллачека – Хинчина справедлива для неограниченного потока требований, вместе с тем прибытие поездов на станцию ограничивается разными параметрами: заданными размерами движения или пропускной способностью прилегающих участков. Методика, предложенная И.Б. Сотниковым в [52], опиралась на мнение, что длительность обслуживания поездопотоков можно описать эрланговским законом распределения.

Модели массового обслуживания достаточно эффективно использовались американскими учеными. Так, E. Petersen, M. Turnquist и M. Daskin на основе своих моделей определяли среднее время обслуживания в отдельности по подсистемам расформирования и формирования, а также в целом по станции [56, 57, 61].

1.3 Современный этап: программирование и имитационное моделирование

Появление компьютеров и стремительный рост их производительности дали толчок интенсивному развитию методов расчета, связанных с математическим программированием и имитационным моделированием.

Уже на ранних этапах компьютеризации математическое программирование использовалось исследователями для решения транспортных проблем. В частности, этот вид программирования служит основой для решения задач транспортного типа, линейного, нелинейного и динамического программирования [7, 62–64]. Возможность задавать ограничения в процессе программирования позволяет решать задачи условной оптимизации и учитывать ограничения различного характера. Примеры использования математического программирования при исследовании станций представлены в работах В.М. Акулиничева, А.А. Смехова и др. [65–67].

Линейное программирование применяется в большинстве случаев в сетевой постановке для распределения потока на транспортной сети [68]. Результатом решения задачи становится некоторая статическая оптимальная схема. Однако проведенные отечественными учеными исследования [18, 69, 70] позволяют сделать вывод, что в реальных условиях наилучшим является динамический процесс. Динамическое программирование используется в основном для сокращения размерности многовариантных задач (например, при расчете плана формирования поездов).

Опыт показал, что возможности использования моделей математического программирования при исследовании транспортных систем весьма ограничены. Формализация единственного критерия и задание ограничений приводят к сильному огрублению модели и отбрасыванию факторов, которые требуется учитывать в практической работе. «Математическое программирование так и не стало практическим инструментом исследования процесса функционирования

сложных систем, так как модели математического программирования оказались слишком грубыми и несовершенными для их эффективного использования» [7].

Необходимость более точного расчета транспортных систем привела к появлению имитационного моделирования. С самого начала оно было ориентировано на использование компьютеров, рост производительности которых способствовал увеличению возможностей имитационных систем. В связи с большой популярностью имитационного моделирования появились многочисленные исследования в этой области [27, 71–79].

Самые первые имитационные модели для расчета параметров железнодорожных станций были разработаны Н.С. Усковым, В.А. Персиановым [80–82] и К.К. Талем [70]. В своих работах К.К. Таль использовал моделирование станционных процессов для исследования и проектирования станций и узлов.

На ранних этапах развития имитационные модели были узкоспециализированными, и их структура и технология описывалась алгоритмами с применением стандартных алгоритмических языков. Как было установлено, для оптимизации структуры и технологии транспортных систем эти алгоритмы малоперспективны. Более эффективными оказались имитационные системы, моделирующие транспортные объекты, структура и технология которых остается неизменной [13, 18].

Имитационная система представляет собой упорядоченный комплекс программ, алгоритмов, формальных и неформальных процедур. Она дает возможность создавать имитационные модели для решения определенных задач.

В последнее время в области исследования транспортных систем активно работает профессор П.А. Козлов и представители созданной им научной школы. Разработанная под его руководством имитационная система ИСТРА позволила минимизировать существующие недостатки имитационного моделирования и впервые осуществить технологическую экспертизу инвестиционных проектов.

Помимо имитационной системы ИСТРА, из отечественных систем моделирования, предназначенных для расчета железнодорожных станций и узлов,

необходимо отметить универсальную систему AnyLogic [83], специализированные системы Avroga [84] и ИСУЖТ ТС.

Зарубежная научная мысль в области имитационного моделирования представлена как универсальными, так и специализированными системами моделирования. Из универсальных наибольшее распространение получила система Arena, разработанная в компании Systems Modeling. Для разработки и оценки проектов по реконструкции инфраструктуры железнодорожного транспорта широко используются имитационные системы OpenTrack (Швейцария) [85], RailSys (ФРГ) [86], Villon (Словакия) [87, 88].

Ввиду многообразия систем моделирования встала задача по определению наиболее подходящей имитационной системы для проведения исследований. Для этого необходимо сформулировать требования, которым должна удовлетворять система моделирования, чтобы наиболее точно отображать особенности функционирования железнодорожных станций.

1.4 Требования к имитационной системе

К имитационной системе, используемой для проведения исследований железнодорожных станций, предъявляются следующие требования.

1. Имитационная система должна позволять строить модели, адекватно отображающие основные свойства железнодорожных объектов, в том числе:

- структуру (схему путевого развития со всеми технологическими устройствами);
- технологию работы (технологические операции и их взаимосвязи);
- взаимодействие случайных процессов (случайные колебания в параметрах входного потока и параметрах выполнения операций);
- диспетчерское управление (оценку ситуаций и процесс принятия решений диспетчерским персоналом).

2. Имитационная система должна быть ориентирована на использование технологом, а не программистом. Железнодорожные станции работают не по стандартной технологии, предусмотренной технологическим процессом, а по управляемой диспетчерами – гибкой и адаптивной. Это значит, что диспетчер в зависимости от сложившейся ситуации может менять приоритетность и порядок выполнения операций, перераспределять имеющиеся маневровые и людские ресурсы и т.п. Варианты адаптивной технологии зависят от множества факторов и различаются для конкретных условий разных станций. Адаптивную технологию может адекватно воспроизвести только опытный технолог.

Поэтому:

- система моделирования (интерфейс, документация, результаты расчетов) должна быть адаптирована под условия и особенности работы российских железных дорог;

- аппарат моделирования должен использовать стандартные технологические (транспортные) понятия при описании элементов структуры путевого развития и технологических операций, а также при выдаче результатов;

- имитационная система должна иметь достаточно полный набор процедур, обеспечивающих построение адаптивной технологии;

- перечень выдаваемых результатов должен достаточно полно характеризовать работу объекта, его структурные и функциональные свойства. Модели должны выдавать принятый на железнодорожном транспорте перечень количественных и качественных показателей. В результате расчета имитационная система должна автоматически формировать следующие формы результатов:

- график исполненной работы;

- результаты на схеме путевого развития («узкие места» и наиболее загруженные элементы структуры);

- результаты на схеме технологического процесса (операции, вызывающие задержки);

- динамику работы моделируемого объекта (занятость элементов путевого развития в каждый момент времени в течение расчетного периода);

табличные отчеты по качественным и количественным показателям;
протокол хода эксперимента.

Все указанные формы результатов необходимо формировать для каждого выполненного эксперимента на имитационной модели.

3. В системе моделирования должны выполняться требования технологичности и современности. Имитационная система должна:

– иметь подсистему автоматизированного построения модели, в которой выполняется основная рутинная работа по описанию массива модели (задание исходных данных), так как человек может делать слишком много случайных трудноопределяемых ошибок. Современные системы выполняют автоматически свыше 90 % работы по построению этого массива;

– предусматривать возможность построения имитационных моделей существующих, реконструируемых и проектируемых объектов;

– автоматически формировать все возможные маршруты передвижений в технологических операциях при задании технологии и выбирать наилучший из маршрутов при выполнении расчета;

– автоматически учитывать занятость стрелочных секций при нахождении на них подвижного состава, который не вмещается в пределах полезной длины пути;

– иметь электронный справочник, содержащий максимально возможный объем сведений о технологических процессах работы станций различного типа, а также о нормативных параметрах выполнения операций. Это позволяет системе контролировать процесс построения моделей технологом и предупреждать возможные технологические ошибки;

– иметь подсистему воспроизведения расчета (эксперимента) на схеме путевого развития с целью отображения передвижений и операций на путях в динамике, что дает возможность наглядно проверить адекватность модели;

– обеспечивать развитый интерфейс и достаточно удобный сервис для технолога.

1.5 Выбор имитационной системы

Ввиду большого разнообразия систем моделирования для выбора наиболее подходящего аппарата проведения исследований выполнен анализ программных продуктов с точки зрения их соответствия вышеуказанным требованиям.

Программа Arena обладает развитым аппаратом для моделирования систем массового обслуживания. В таких системах единицы потока со случайными колебаниями в интенсивности идут по сети до пункта обслуживания. Обслуживание имеет случайный разброс, возникают очереди. Характеристика этих очередей – основной результат моделирования. Одним из недостатков системы Arena заключается в том, что она не может в полной мере отобразить сложную структуру и технологию работы железнодорожных станций, где каждая операция имеет свой алгоритм выполнения. Более того, невозможность отображения функций адаптивного управления в системе Arena может привести к недостоверным результатам.

Российская система моделирования AnyLogic имеет много общего с системой Arena, но более развита, особенно в области динамической демонстрации процесса. Система AnyLogic включает набор стандартных библиотек, в том числе для моделирования железнодорожных объектов. В динамике отображается движение вагонов, но внутри модели производится только обслуживание единиц потока. Расширение функциональности системы требует от пользователя знаний основ программирования.

Для моделирования работы железнодорожного транспорта систему AnyLogic требуется адаптировать. Кроме средств визуализации ей необходимо иметь дополнительные модули, позволяющие описывать в моделях особенности выполнения различных операций, отображать фактор диспетчерского управления, обрабатывать и анализировать результаты расчетов.

Система Avroga, созданная в институте Ленгипротранс, изначально разрабатывалась для оценки проектов развития станций. Она представляет собой

программный комплекс для расчета систем массового обслуживания, например для расчета числа путей в парке приема при неравномерном прибытии поездов. Система Aurora позволяет определять загрузку элементов, «узкие места» станций. Однако она не обладает развитым интерфейсом, не позволяет полно и достоверно моделировать работу станций (в частности, процессы накопления), имеет ограниченный набор отчетных форм.

Система моделирования ИСУЖТ ТС создана для анализа, моделирования и оптимизации технологии работы железнодорожных станций. Она позволяет в электронном виде хранить информацию, содержащуюся в техническо-распорядительном акте и в «Технологическом процессе» станций сети.

Система моделирования ИСУЖТ ТС имеет такие особенности:

- структура объекта в модели отражается максимально подробно, включая расстановку светофоров и рельсовых цепей. Исходные данные для моделей берутся из информационных систем;

- имеется возможность просматривать вперед выполнение не только одной операции, но и целых цепочек;

- визуализация максимально натурализованная (работа станции в модели отображается в динамике).

Система ИСУЖТ ТС отвечает необходимым требованиям специализированной имитационной системы для железнодорожного транспорта. Она позволяет достоверно моделировать работу существующих железнодорожных станций и проводить последующий качественный анализ. В системе имеются развитый интерфейс, подсистема автоматизированного формирования модели. При этом остается нерешенным вопрос о возможности использования ИСУЖТ ТС для исследования проектов развития новых и реконструируемых станций.

Система моделирования OpenTrack – это инструмент планирования и моделирования железнодорожных станций, она разработана в Швейцарском федеральном техническом институте дорожного планирования и транспортных систем в Цюрихе. OpenTrack позволяет моделировать движение поездов на

станции по установленному расписанию, отображает их передвижение в соответствии с ограничениями СЦБ. Пользователь может наблюдать за работой модели в анимационном режиме, который показывает движение поездов и позволяет отслеживать занятость путей. После моделирования программа выдает данные для анализа в виде диаграмм, графиков поездов, диаграмм занятия путей и статистических сведений. Эта система в основном предназначена для обнаружения конфликтов расписания при оперативной работе и маршрутов следования поездов в потоке.

Аппарат моделирования Villon создан компанией Simson в содружестве с университетом Жилины (Словакия). Программа обладает более универсальными возможностями моделирования, чем система OpenTrack, позволяет моделировать работу не только железнодорожных станций, но и других объектов (терминалов, складов, портов, промышленных объектов и др.). В системе Villon используется агентное моделирование. По принципам работы она ближе всего к российской универсальной системе AnyLogic, но в отличие от нее имеет большее количество инструментов для отображения специфики работы железных дорог. Однако ей присущи общие проблемы агентного подхода – отсутствие учета централизованного диспетчерского управления в железнодорожных системах.

Имитационная система ИСТРА предназначена для детального моделирования железнодорожных станций и транспортных узлов [89]. Имеет подсистему автоматизированного построения модели, пользователю не требуется знать программирование. Система учитывает влияние случайного разброса в продолжительности операций, структуре потоков, а также диспетчерское управление. ИСТРА имеет широкий набор инструментов с поясняющими подсказками. Выдает большой набор показателей работы станции/узла (простой вагонов, загрузка элементов, «узкие места» и т. д.), а также графические отчеты (графики исполненной работы, цветовые схемы станции, работу станции/узла в динамике).

Система ИСТРА позволяет оценивать различные варианты выполнения текущей работы, определять лучшие варианты при строительстве и

реконструкции, рассчитывать реальную перерабатывающую способность станции/узла, выявлять «узкие места» путевого развития и технологии работы.

Таким образом, при анализе возможностей и ограничений перечисленных систем установлено, что ИСТРА не уступает по своим возможностям отечественным и зарубежным аналогам, а по многим показателям и возможностям их превосходит. Поэтому дальнейшие исследования будут проводиться с использованием данной имитационной системы.

Выводы по главе 1

1. На показатели работы крупных железнодорожных станций сильно влияет взаимодействие случайных процессов и диспетчерское управление, в связи с чем они трудно поддаются исследованию и расчету.

2. В течение многих десятилетий основными методами расчета транспортных систем были аналитический детерминированный и графический. Впоследствии, в начале 1970-х гг., ученые начали применять теорию массового обслуживания. Однако вышеперечисленные методы не могли всецело отобразить влияние структуры, технологии, управления и случайных процессов на показатели работы станции, поэтому результаты расчетов нельзя назвать абсолютно достоверными.

3. Только имитационное моделирование может в полной мере удовлетворить все требования, предъявляемые к методам исследования транспортных систем, и дать достоверные результаты для оценки исследуемого объекта.

2 ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОГЛАСОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

2.1. Характеристика нормативной документации, регламентирующей процесс принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций

Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [90] констатирует, что «сегодняшние объемные и качественные характеристики транспорта, особенно его инфраструктуры, не позволяют в полной мере и эффективно решать задачи растущей экономики». В качестве основных недостатков российского транспорта выделяются низкий технический уровень и неудовлетворительное состояние производственной базы [90]. Более того, в Долгосрочной программе развития ОАО «РЖД» до 2025 года [91] указывается, что «рост объема грузовых перевозок значительно увеличивает загрузку мощностей железнодорожной инфраструктуры и протяженность участков, имеющих инфраструктурные ограничения в пропускной способности железных дорог. По состоянию на 1 января 2018 г. протяженность таких участков на сети железных дорог открытого акционерного общества "Российские железные дороги" составила 8,2 тыс. километров. Без реализации мероприятий по развитию пропускной способности инфраструктуры к 2025 году этот показатель увеличится до 20–23,5 тыс. километров».

Таким образом, отмечается, что для реализации стратегии транспортного обслуживания в рамках рыночной экономики пропускной и перерабатывающей способности существующей инфраструктуры недостаточно. Несмотря на это, ввиду изменения параметров вагоно- и поездопотоков возникают и объекты с избыточной мощностью устройств, что в целом негативно отражается на экономической эффективности линейных предприятий железнодорожного транспорта. В результате «важнейшим стратегическим направлением развития

транспортной системы является сбалансированное развитие инфраструктуры транспорта» [90]. В свою очередь, при строительстве новых и реконструкции существующих объектов железнодорожного транспорта многое будет зависеть от методики принятия проектных решений, недостаточная точность которой может привести к неэффективным технологическим и экономическим потерям.

Однако, несмотря на риск принятия нерациональных решений, выбор параметров структурных элементов и технологии работы транспортных объектов производится с недостаточной точностью.

Во-первых, согласно «Методическим рекомендациям по составу разделов обоснования инвестиций и требований к их содержанию (включая расчет экономической эффективности) для инвестиционных проектов ОАО «РЖД»» [92], «соответствуя принципам вариантного проектирования, а также ввиду практической невозможности в большинстве случаев сразу определить наиболее эффективный вариант реализации проекта, следует в рамках обоснований инвестиций разрабатывать не менее двух конкурентоспособных вариантов сооружений, различающихся конструктивной схемой, планом и профилем пути, организацией строительства, используемыми материалами и технологиями».

Необходимо отметить, что данный нормативный документ рекомендует разработку не менее двух альтернативных вариантов развития рассматриваемых объектов, однако непосредственно процесс формирования альтернативных решений остается нерегламентированным, что может привести к потере потенциально наиболее эффективного варианта. Аналогичный вывод можно сделать на основе анализа «Методических рекомендаций по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте» [93] и «Методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов» [94]. В этих рекомендациях вопрос формирования множества альтернатив не рассматривается.

Во-вторых, остается нерегламентированным процесс принятия решений по выбору наиболее эффективных параметров структуры и технологии работы транспортного объекта. Согласно «Методическим рекомендациям по оценке

эффективности инвестиционных проектов» [94], «методы выбора инвестиционных проектов являются неформальной процедурой, так как требуют одновременного учета многих и количественных, и качественных факторов социально-политического, экономического и технического характера. Поэтому выбор проектов не может быть осуществлен на основе одного – сколь угодно сложного – формального критерия, а требует проведения практически неалгоритмизуемых экспертных оценок». В «Методических рекомендациях по составу разделов обоснования инвестиций и требований к их содержанию (включая расчет экономической эффективности) для инвестиционных проектов ОАО «РЖД»» [92] встречается аналогичная формулировка: «Вариант инвестиционного проекта, имеющий лучшие показатели экономической эффективности, может быть выбран для реализации его на инвестиционной стадии. При выборе наилучшего варианта реализации инвестиционного проекта из двух (нескольких) паритетных могут использоваться дополнительные аргументы».

Таким образом, в существующих нормативных документах не сформулирован единый алгоритм выбора инвестиционного проекта среди множества альтернативных вариантов. Помимо показателей сравнительной экономической эффективности, допускается использование дополнительных критериев, однако процесс принятия решений в условиях многокритериальности остается за рамками рекомендаций.

2.2 Характеристика современных принципов и методов сравнения и выбора наиболее эффективного варианта развития транспортного объекта

Сравнение вариантов развития железнодорожных станций и линий при определении наилучшего варианта выполняется с помощью технико-экономического обоснования. Цель технико-экономического обоснования – оценка целесообразности реализации инвестиционного проекта, направленного на

развитие структуры и технологии работы рассматриваемого объекта, состоящая в проверке его экономического соответствия целям и интересам участников. Для оценки эффективности реализации инвестиционных проектов есть множество критериев, с помощью которых можно выбрать наиболее приемлемый вариант. В частности, можно оценить альтернативы реализации проекта на основе статических показателей [95] или использовать дисконтные показатели сравнительной экономической эффективности [96, 97].

В современной зарубежной и отечественной практике в средних и крупных предприятиях дисконтные методы являются преобладающими, так как учитывают изменение во времени стоимости финансовых средств и не обладают теми недостатками, которые присущи статическим методам. Однако в том виде, в котором данные методы предложены в литературе, их можно использовать только для оценки финансовой эффективности проекта, анализа эффективности отдачи инвестиций либо для оценки срока окупаемости. При этом следует отметить, что не существует единого алгоритма выбора инвестиционных проектов среди множества альтернативных вариантов по предложенным методам. В основном все используемые методы ориентируются на экономические интересы инвесторов, а не на эффективность функционирования объекта исследования. Также эти методы оперируют только финансовыми потоками и не в полной мере учитывают технологический процесс, структуру, техническое оснащение и кадровый состав развиваемого объекта.

Так, в результате реализации структурной реформы на железнодорожном транспорте произошел пересмотр экономических показателей функционирования линейных предприятий железнодорожного транспорта, вызванный передачей подвижного состава в частные руки. Это привело к тому, что экономические показатели перестали в полной мере отражать технологическую эффективность функционирования железнодорожных станций (рисунок 2.1).

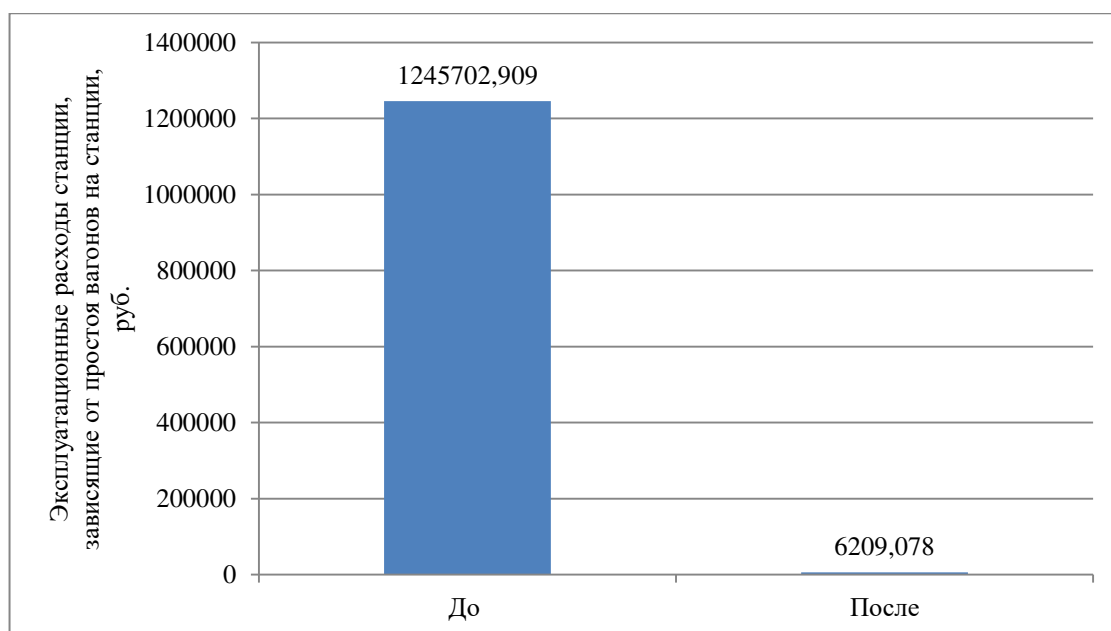


Рисунок 2.1 – «Эксплуатационные расходы» станции, зависящие от простоя вагонов на станции, до и после реализации структурной реформы

Снижение влияния показателей технологической эффективности на экономическую составляющую функционирования транспортных объектов привело к тому, что при выборе параметров структуры и технологии работы недостаточно точно учитывается технологическая эффективность их взаимодействия. Так, опыт реализации проектов развития железнодорожных станций, в рамках научной школы, показал, что использование только критериев сравнительной экономической эффективности при выборе вариантов реализации инвестиционных вложений приводит к тому, что после внедрения реконструктивных мероприятий появляется дисбаланс в параметрах структуры и технологического процесса станций, что выражается в снижении функциональной устойчивости станции к дестабилизирующим факторам и выборе нерациональной этапности развития станций. Для устранения дисбаланса требуются дополнительные капитальные вложения в развитие станции.

Таким образом, возникла потребность в дополнительном критерии, который обеспечит комплексную оценку соответствия технологического процесса структуре транспортного объекта для заданных объемов работы.

В настоящее время, для оценки соответствия параметров структуры и технологии используется показатель «Задержки технологических операций,

вызываемые структурой». Данный показатель рассчитывается для каждого элемента структуры, что позволяет выявить «узких места» в работе станции. Суммарный уровень задержек технологических операций, вызываемых структурой позволяет охарактеризовать технологическую эффективность работы станции в целом. Однако данный показатель не учитывается при сравнении вариантов реализации инвестиционных проектов, так как приоритетным принято считать показатель сравнительной экономической эффективности. В данном же исследовании предлагается включить показатель «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» в качестве критерия как раз на этапе сравнения альтернативных проектных решений при обязательном условии достижения цели проекта (заданная пропускная или перерабатывающая способность). Использование предложенного критерия наряду с критерием сравнительной экономической эффективности позволит более комплексно оценить уровень согласованности параметров структуры и технологического процесса станции для заданного объема работы.

В результате, необходимо разработать методику сравнения альтернативных решений с целью выбора наиболее рационального варианта реализации проекта, которая позволит учесть дополнительный технологический критерий, влияющий на эффективность принимаемых решений.

2.3 Характеристика существующих методов формирования множества альтернатив

Генерация множества альтернатив – один из первых этапов процесса принятия решений, при этом представляющий собой сложную самостоятельную задачу. Однако, по мнению исследователей [98, 99], важность данной задачи при принятии решений недооценивается, хотя совершенно очевидно, что качество выбора ограничено качеством альтернатив. Исчерпывающий список имеющихся альтернатив оказывает большую помощь при принятии решений.

В настоящее время в практике принятия решений в сфере железнодорожного транспорта наибольшее распространение получили три группы методов формирования множества альтернатив: морфологический анализ, экспертное оценивание и имитационное моделирование.

2.3.1 Морфологический анализ

Морфологический анализ предполагает рассмотрение каждой альтернативы в виде составных частей (элементов). Под элементами понимаются части, из которых условно состоит альтернатива. В качестве элементов могут выступать как некоторые измеряемые параметры, так и отдельные структурные части альтернативы. Процесс формирования альтернативных решений по совершенствованию структуры и технологии работы парка приема сортировочной станции с применением морфологического анализа подробно рассмотрен в [100], процесс формирования множества вариантов параметров новых железных дорог с использованием морфологического метода приведен в [101]. Подробное рассмотрение данного метода позволяет выявить его достоинства и недостатки. Достоинство морфологического анализа – возможность генерации исчерпывающего множества альтернативных решений по развитию структуры и технического оснащения рассматриваемого объекта. Что касается недостатков, то основная причина редкого применения морфологического анализа – большая размерность множества альтернатив, приводящая к трудностям на этапе оценки эффективности вариантов, так как они сопряжены с большими затратами труда и времени.

2.3.2 Метод экспертного оценивания

Формирование начального множества альтернатив с помощью экспертного оценивания предусматривает возможность реализации двух подходов: индивидуальной работы экспертов и коллективной работы экспертов.

В рамках первого подхода привлекаются эксперты, действующие независимо друг от друга. Каждому эксперту предлагается составить свой список

альтернатив. Полученные множества альтернатив объединяются, образуя, таким образом, начальное множество альтернатив.

Второй подход непосредственно связан с такими методами формирования исходного множества альтернатив, как «мозговой штурм» и «конференция идей». Наибольшее применение получил второй вариант, поэтому процесс формирования альтернатив рассмотрим на его примере. «Конференция идей» предназначена для поиска подходов к решению обозначенной проблемы за счет реализации творческого потенциала участников. В процессе «конференции идей» в короткий промежуток времени формируется множество решений обозначенной проблемы. Это происходит от того, что большое количество участников обсуждают одновременно одну и ту же проблему, увлекают друг друга обсуждением этой проблемы. «Конференция идей» качественно отличается от обычного заседания, рабочего обсуждения или деловой дискуссии. Отличие состоит в атмосфере, которая создается и обеспечивается соблюдением определенных правил, которые минимизируют факторы, тормозящие творческую работу, и максимизируют эффект от факторов, способствующих ей.

Опыт применения экспертного оценивания для формирования множества альтернативных решений позволил выявить его основные достоинства и недостатки. В отличие от морфологического анализа «конференция идей» формирует более компактное, но при этом максимально полное начальное множество альтернатив, что позволяет снизить затраты на дальнейшую оценку альтернатив. Однако методу присущи и недостатки, связанные с трудностью подбора компетентных экспертов и сложностью автоматизации проведения экспертизы. Более того, возникает сложность формулирования перспективных решений. Основной причиной таких результатов является то, что на этапе проведения «конференции идей» технико-экономические показатели проекта неизвестны и, следовательно, не могут быть использованы в качестве основы для формирования потенциально эффективных вариантов.

2.3.3 Имитационное моделирование

Имитационное моделирование в качестве метода формирования альтернативных решений не получал должного внимания вплоть до 1980–1990-х гг., после чего начал развиваться стремительными темпами, что связано со значительным развитием вычислительной техники и появлением производительных и совершенных программных продуктов, которые позволили упростить, ускорить и удешевить процесс проведения имитационного исследования. В настоящее время имеется множество работ в области расчета и совершенствования транспортных систем, в которых представлены подходы к формированию альтернативных решений с применением имитационного моделирования [88, 96, 97].

Несмотря на несомненные достоинства имитационного моделирования с точки зрения детализации описания, позволяющей отразить многочисленные особенности конкретного объекта исследования, и точности результатов проведенных расчетов, способствующих получению качественных решений, метод имеет и недостатки. Они могут показаться неочевидными, но при принятии решений, требующих значительных капитальных вложений, даже минимальная ошибка чревата значительными экономическими потерями. Подробное описание элементов при моделировании не всегда позволяет составить и сохранить целостное представление об объекте, что может привести к потере потенциально эффективного решения. Более того, существующий подход к планированию экспериментов, в рамках которого формируются решения, не гарантирует сходимости в точку глобального оптимума [102]. Таким образом, принятие решений при отсутствии гарантий получения наилучшего результата может привести к значительным экономическим потерям.

В результате, существующие методы формирования множества альтернативных решений имеют следующие недостатки, которые могут привести к потере потенциально эффективного решения: морфологический анализ – практическую невозможность оценки всех сформированных решений, экспертное оценивание – недостаточность информации о показателях функционирования

рассматриваемого объекта и подготовки экспертов, имитационное моделирование – сложность сохранения целостного представления об объекте исследования. Поэтому необходимо совершенствовать методику формирования множества альтернатив, чтобы недопустить потери потенциально эффективных вариантов на данном этапе принятия решений.

2.3.4 Комбинированный подход к формированию множества альтернативных решений

Реакцией на низкую эффективность решений, формируемых в рамках «конференции идей» стал комбинированный подход. Данный подход предусматривает дополнение результатов имитационного моделирования вариантами, сформулированными на «конференции идей».

Для того чтобы учесть нестандартные решения экспертов и не упустить наиболее эффективные из них на этапе сужения множества альтернатив, их дополняют работоспособными вариантами, выработанными на этапе имитационного моделирования. Таким образом, за счет комбинации решений формируется дополнительное множество альтернатив.

Однако, формальное дополнение альтернатив, сформированных на этапе «конференции идей», решениями, выработанными на этапе моделирования, может привести к избыточности сформированных вариантов согласования структуры и технологии работы транспортной системы и, соответственно, к потере потенциально эффективного решения. Для оценки избыточности альтернатив сформированное множество решений дополняется вариантами, которые позволят оценить работоспособность рассматриваемого объекта при исключении отдельных мероприятий, формирующих альтернативное решение.

В результате, предложенный подход позволил повысить эффективность предлагаемых решений, но значительно увеличил количество разрабатываемых вариантов модели и, соответственно, трудозатраты на их разработку и проведение расчетов, что негативно сказывается на стоимости проведения исследований.

2.4 Структура аппарата для имитационного моделирования

Анализ существующих принципов принятия решений по выбору параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций показал необходимость их дальнейшего развития, а также выявил недостатки, устранение которых позволит повысить эффективность принимаемых решений.

С точки зрения генерирования альтернатив наибольший интерес представляет то, что экспертные методы и метод моделирования имеют диаметрально противоположные достоинства и недостатки. Таким образом, качественно новым и наиболее перспективным направлением формирования альтернативных решений является синтез этих методов. Синтетический подход позволит снизить влияние недостатков каждого из методов и позволит максимально реализовать их преимущества. При этом особое внимание необходимо уделить аппарату моделирования, так как от точности расчетов зависит качество принимаемых решений.

Что касается методики сравнения и выбора наиболее эффективного варианта развития транспортного объекта, то для ее совершенствования требуется полноценный учет технологического процесса, структуры и технического оснащения рассматриваемого объекта наряду с точностью расчета натуральных показателей его функционирования.

Следовательно, для реализации предлагаемых подходов необходим аппарат исследования, который позволит максимально подробно и адекватно отображать объекты железнодорожного транспорта и при этом гарантировать получение точных результатов за приемлемое время. Таким высоким требованиям, несмотря на имеющиеся недостатки, соответствует только имитационное моделирование. Для учета всех предъявляемых к имитационной модели требований аппарат для ее построения должен обладать достаточно сложным и развитым инструментарием. Анализ, проведенный в 1-й главе диссертации, показал, что наиболее подходящим инструментарием для построения имитационных моделей

железнодорожных станций является имитационная система ИСТРА. Поэтому структуру аппарата для имитационного моделирования будем рассматривать на ее примере.

Имитационная система ИСТРА состоит из трех подсистем: подсистемы автоматизированного построения, подсистемы имитации, подсистемы интеллектуальной обработки результатов (рисунок 2.2).

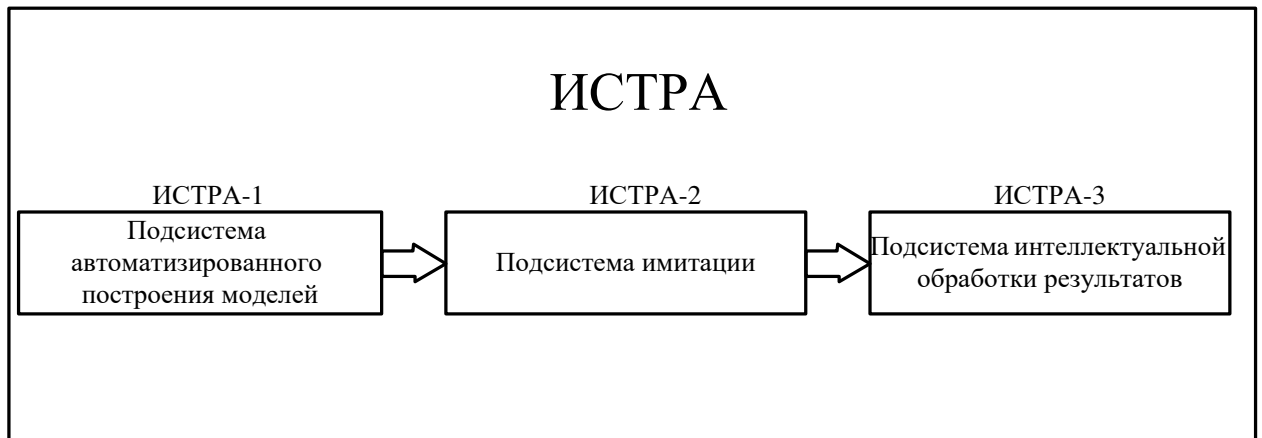


Рисунок 2.2 – Структура имитационной системы ИСТРА

Подсистема автоматизированного построения призвана помочь исследователю при описании модели, освобождая его от ввода большого объема информации. Более того, она позволяет избежать случайных ошибок, которые могли бы возникнуть при ручном вводе текста на специальном языке моделирования. В результате подсистема выполняет множество функций (рисунок 2.3). Во-первых, отображается структура объекта исследования с дальнейшим наложением на нее технологического процесса. Во-вторых, выполняется описание функций управления. И, наконец, подсистема располагает развитым инструментарием для отладки моделей и проведения экспериментов. Для выполнения описанных функций подсистема автоматизированного построения имеет следующие структурные блоки:

- «Дизайнер»;
- «Мультипликатор»;
- «Советник»;

- «Электронный справочник»;
- «Контролер».

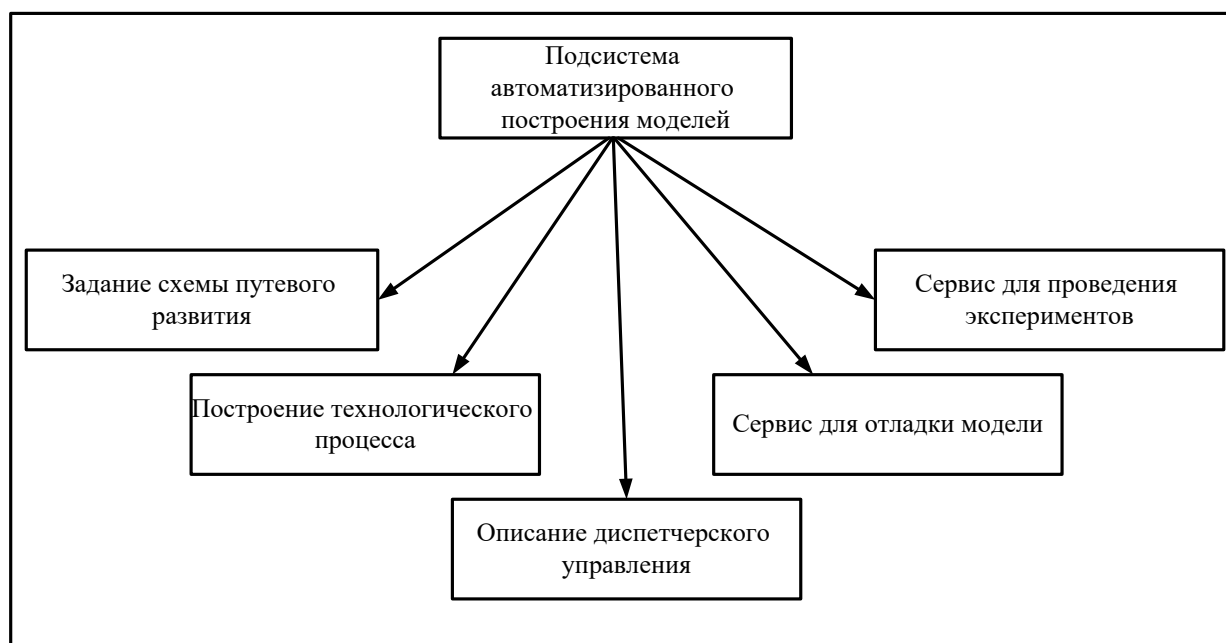


Рисунок 2.3 – Функции подсистемы автоматизированного построения моделей

Блок «Дизайнер» имеет развитый сервис, который позволяет пользователю в автоматизированном режиме задавать структуру и технологический процесс работы станций [103].

Для создания компьютерной версии схемы станции необходим редактор путевого развития, который должен иметь набор инструментов для рисования, внесения корректировок и удаления элементов схемы (рисунок 2.4).

Следующий этап – это представление схемы путевого развития в виде элементов модели. В качестве элементов могут выступать, например, перегоны, станционные пути, сортировочные и грузовые устройства, одиночные стрелочные переводы или стрелочные группы. Стрелочные переводы объединяются в группы, если они во всех операциях используются вместе (по фактической занятости или по враждебности).

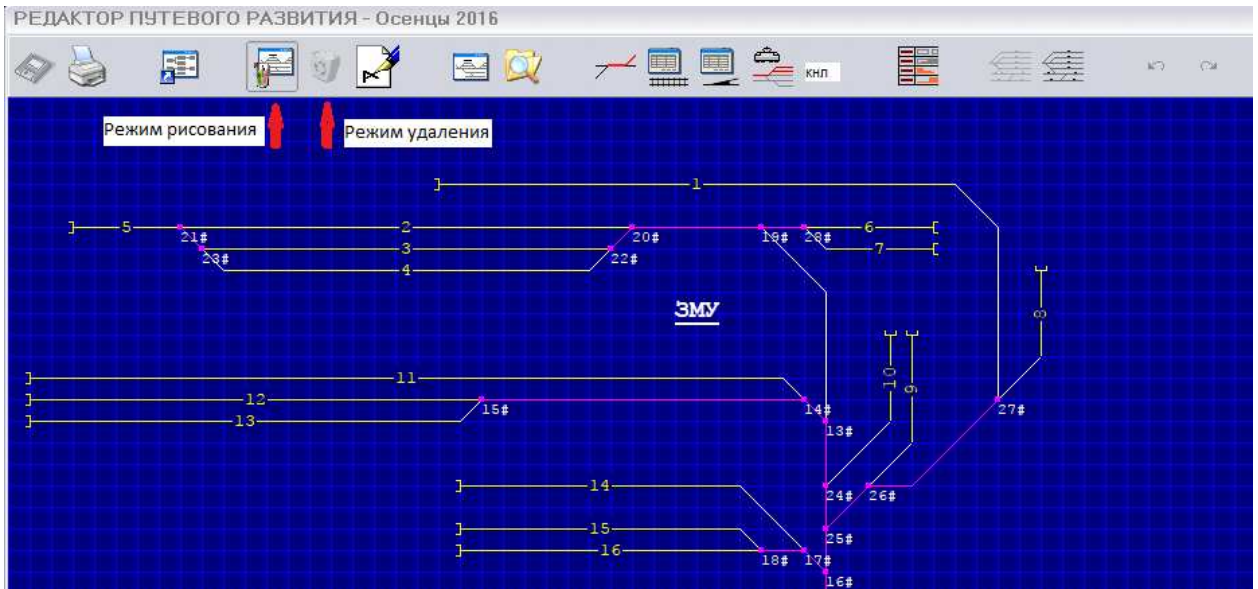


Рисунок 2.4 – Редактор путевого развития

После создания компьютерной версии схемы путевого развития можно переходить к редактору технологического процесса (рисунок 2.5), обладающему широким набором инструментов, который позволяет выстраивать логические цепочки из элементарных операций, задавать их параметры и варианты выполнения, а также указывать различные условия, определяющие порядок выполнения операций.

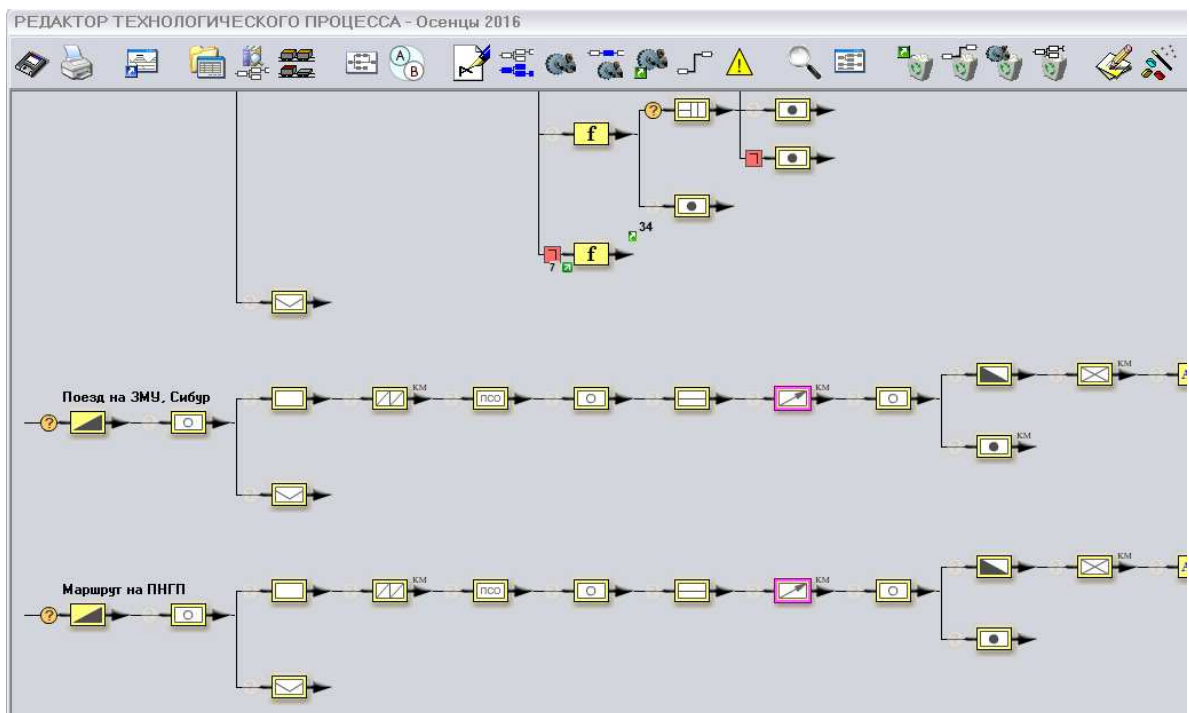


Рисунок 2.5 – Редактор технологического процесса

Для ввода информации, характеризующей станцию, которую невозможно описать с помощью операций и условий, в редакторе имеется блок задания общей информации (рисунок 2.6). В блоке можно указать число и расположение локомотивов и бригад по обработке составов, расписание прибытия поездов (детерминированное или случайное), технологические «окна» и др.

Очень важная функция подсистемы автоматизированного построения моделей по описанию диспетчерского управления реализуется также через редактор технологического процесса. Имитацию диспетчерских решений можно произвести следующими способами:

- с помощью настройки параметров операций;
- с помощью задания специальных условий выполнения операций;
- за счет использования постоянных и динамических приоритетов.

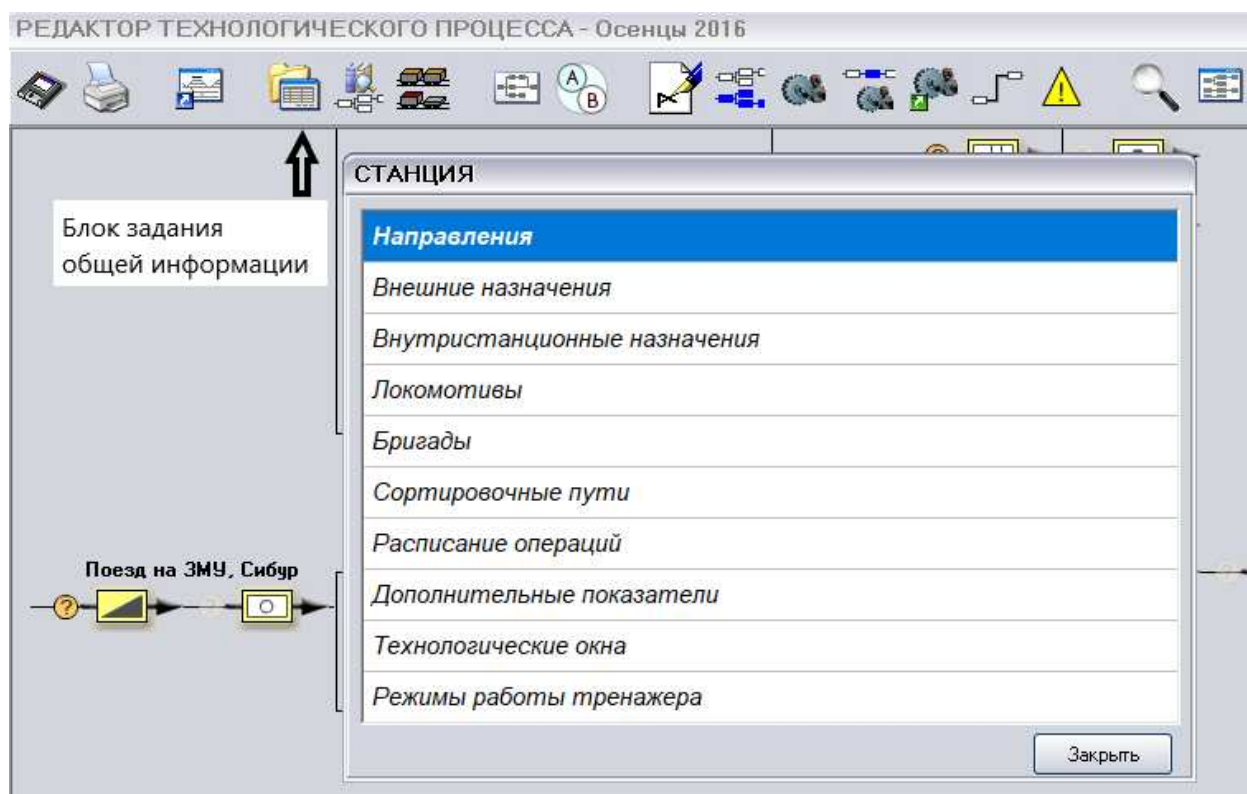


Рисунок 2.6 – Блок задания общей информации

При задании параметров операции можно указать различные особенности ее выполнения, однако для отображения диспетчерского управления необходимо

обратить внимание на параметр «предельная задержка». С его помощью производится имитация принятия решения диспетчером – начинать или не начинать выполнение очередной операции, учитывая возможную величину задержек. Если расчетная величина задержки ниже предельной, то выполняется операция, а если расчетная величина задержки выше предельной, то выполнение операции откладывается. Но диспетчер через определенный промежуток времени снова будет оценивать ситуацию. Это реализуется стиранием и восстановлением заявки в очереди через некоторое время.

Перед любой операцией можно выставить самые разнообразные логические условия, в том числе комбинации из «и» и «или» (рисунок 2.7). Кроме того, операцию можно отметить как уникальную. Это значит, что в очереди может быть только одна заявка на выполнение данной операции. Уникальность можно предоставить даже целому циклу операций. Например, после накопления группы вагонов на сортировочном пути их необходимо подать на погрузочно-выгрузочный фронт под выгрузку. Для выполнения этой задачи цикл будет состоять из операций «заезд маневрового локомотива», «подача вагонов на фронт», «выгрузка», «уборка порожних вагонов». Если не сделать цикл уникальным, может начаться одновременная выгрузка на нескольких фронтах и не остаться свободных путей для выполнения маневровой работы. А если сделать цикл уникальным, то при наличии в очереди любой из операций выполнение нового цикла не начнется. Это очень важно для описания управляющей деятельности диспетчера.

Для отображения механизмов диспетчерского управления служат также и постоянные и динамические приоритеты. Чтобы отобразить действительность, операции должны иметь различную степень важности (например, операция «отправление поезда» имеет больший приоритет, чем операция «подача поездного локомотива»). Постоянные приоритеты устанавливаются с учетом стоимости задержек. Чем больше ущерб от задержки операции, тем выше должен быть ее приоритет.

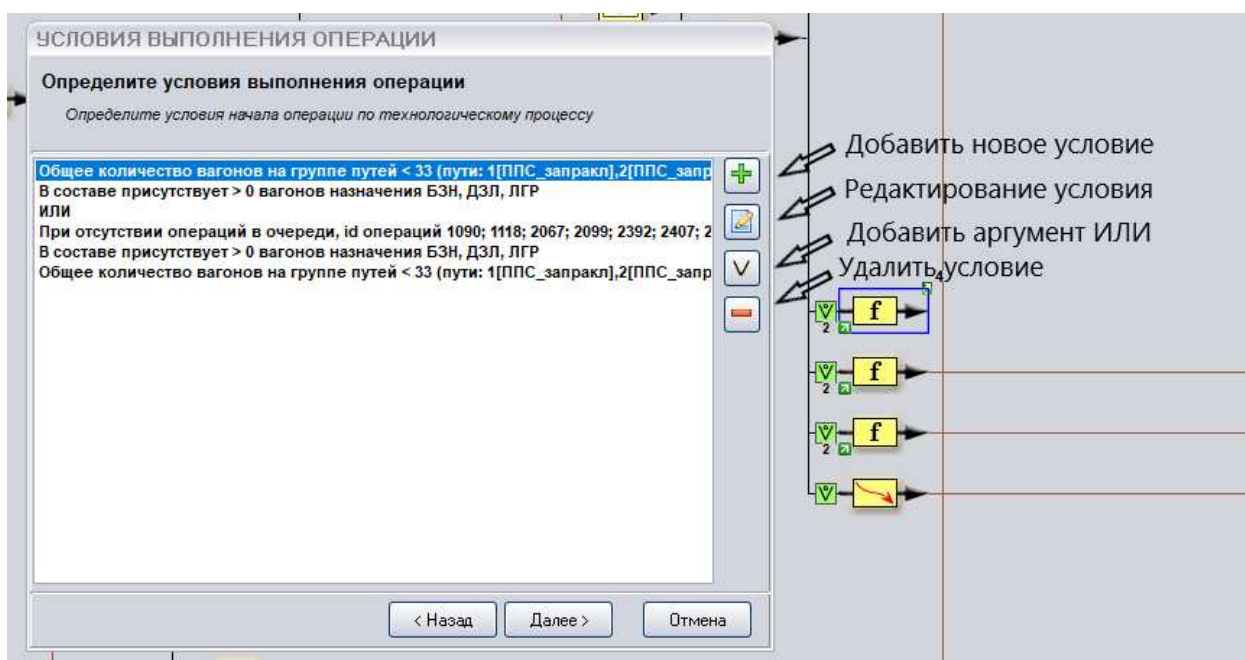


Рисунок 2.7 – Задание условий выполнения операций

Динамические приоритеты задаются лишь в ситуации, когда операция становится «узким местом» технологии. Другими словами, если из-за задержки операции не может быть выполнено большое число готовых к выполнению операций, то ее приоритет необходимо повысить (но однократно).

Блок «Мультипликатор» предназначен для автоматического построения всех возможных вариантов выполнения операций и учета параметров, участвующих в операциях элементов.

Блок «Советник» выполняет функции по накоплению опыта работы с различными моделями и дает неопытному пользователю необходимые рекомендации.

Блок «Электронный справочник» содержит различные данные о параметрах станций, технологических процессах, нормативы времени на выполнение операций и т.д.

Блок «Контролер» определяет ошибки, допущенные пользователем в ходе построения технологии работы станции, и проверяет правильность построения модели в целом (рисунок 2.8) [103].

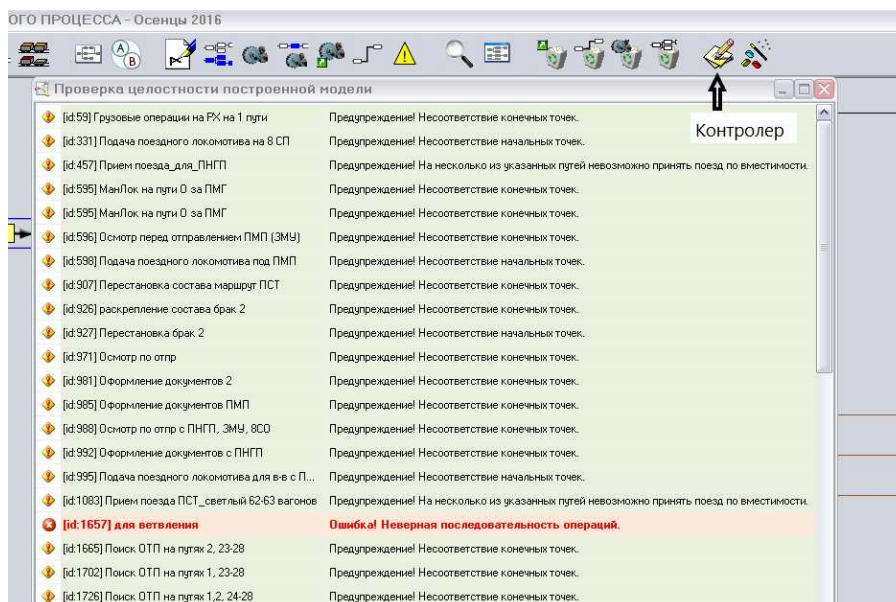


Рисунок 2.8 – Проверка блоком «Контролер» правильности построения модели

Моделирование работы исследуемого объекта и формирование результатов экспериментов производится подсистемой имитации. Она создает динамическую очередь заявок на выполнение как внешних, так и внутренних операций (рисунок 2.9) и при этом учитывает время их поступления, постоянные и динамические приоритеты, время предельной задержки. Более того, подсистема фиксирует занятость всех участвующих в операциях элементов, например: стрелочных групп, путей, локомотивов, грузовых фронтов. В результате подсистема формирует исходный массив результатов для подсистемы интеллектуальной обработки.

Создавая имитационную модель, исследователь может ставить различные цели, такие как оценка пропускной и перерабатывающей способности станции, совершенствование структуры и технологии работы, определение рационального штата работников или набора технических средств и др. Для помощи пользователю в исследовании моделируемого объекта необходимо, чтобы результаты были упорядочены в зависимости от поставленных целей. Подсистема интеллектуальной обработки результатов предоставляет такую возможность, избавляя пользователя от большого объема рутинной работы. Более того, она представляет результаты в удобной для пользователя форме, что очень важно для их правильного восприятия [103].

№ п/п	Операция	Тпост
102	1994 Смена назначения ОБП на Б [4 п. парка Приемо-отправочный]	[1] 06:59
103	252 МанЛок после роспуска с ППС в р-н станции [С 27а п. парка Сортировочный в район Станция] *	[1] 07:46
104	48 #на формирование	[1] 07:20
105	98 #проверка ППС после роспуска с ППС 1,2	[1] 07:22
106	71 #на поиск темных	[1] 07:22
107	77 #на поиск темных 01	[1] 07:22
108	68 #Поиск темных	[1] 07:22
109	1479 #Привязка к 5 для темного много [5 п. парка Приемо-отправочный]	[1] 06:52
110	1219 #на подачу темного на ППС для 5 п. парка Приемо-отправочный	[1] 06:52
111	47 #Р.Привязка к 10 С	[1] 07:30
112	1595 #Привязка к 10 С [10 п. парка Сортировочный]	[1] 07:30
113	1372 #Нет в-в для подачи на МПРВ для 10 п. парка Сортировочный	[1] 07:30
114	48 #на формирование	[1] 07:46
115	100 #на формирование светлых	[1] 07:46
116	827 Формирование подачи с 12С на ПСТ+ *	[1] 07:46
117	1207 #на обработку с 12С для 12 п. парка Сортировочный	[1] 07:53
118	265 МанЛок с 12 в р-н станции [С 12 п. парка Сортировочный в район Станция] *	[1] 07:53
119	1880 Опробование тормозов перед подачей светлого на ПСТ [12 п. парка Сортировочный]	[1] 07:53
120	762 Перестановка в-в темного на ППС 1,2 пути ч/з чет [5 п. парка Приемо-отправочный] *	[1] 06:52
121	1170 #на обработку на ППС (с чет) для 1 п. парка ППС_запракл	[1] 07:21

Рисунок 2.9 – Очередь заявок в модели

Для оценки пропускной и перерабатывающей способности станции подсистема представляет исчерпывающий набор количественных показателей (рисунки 2.10 и 2.11). При необходимости имеется возможность изучить структуру прибывающего потока (рисунок 2.12) и работу отдельных парков (рисунок 2.13).

Прибыло / Отправлено по системе

параметр	кол-во
Прибыло поездов	10
Отправлено поездов	10
Прибыло вагонов	626
Отправлено вагонов	677
Количество непринятых поездов	0
Количество непринятых вагонов	0

Рисунок 2.10 – Информация о приеме и отправлении поездов и вагонов

Погружено / Выгружено по системе

параметр	кол-во
Погружено вагонов	829
Выгружено вагонов	314

Рисунок 2.11 – Информация о количестве погруженных и выгруженных вагонов

Прибыло поездов

с направления	КОЛ-ВО
поезда с_7600_(сухогруз)	2
поезда для_ЗМУ_Сибур	1
Прием поезда_для_ПНГП	1
Прием поезда_Пермскагропромхимия	0
поезда ПСТ_светлый	4
поезда маршрут_ПСТ_темные	0
поезда с	0
поезда ПСТ_темные	2
поезда мазут_под_выгрузку	0

Рисунок 2.12 – Переработанный поток поездов по прибытию

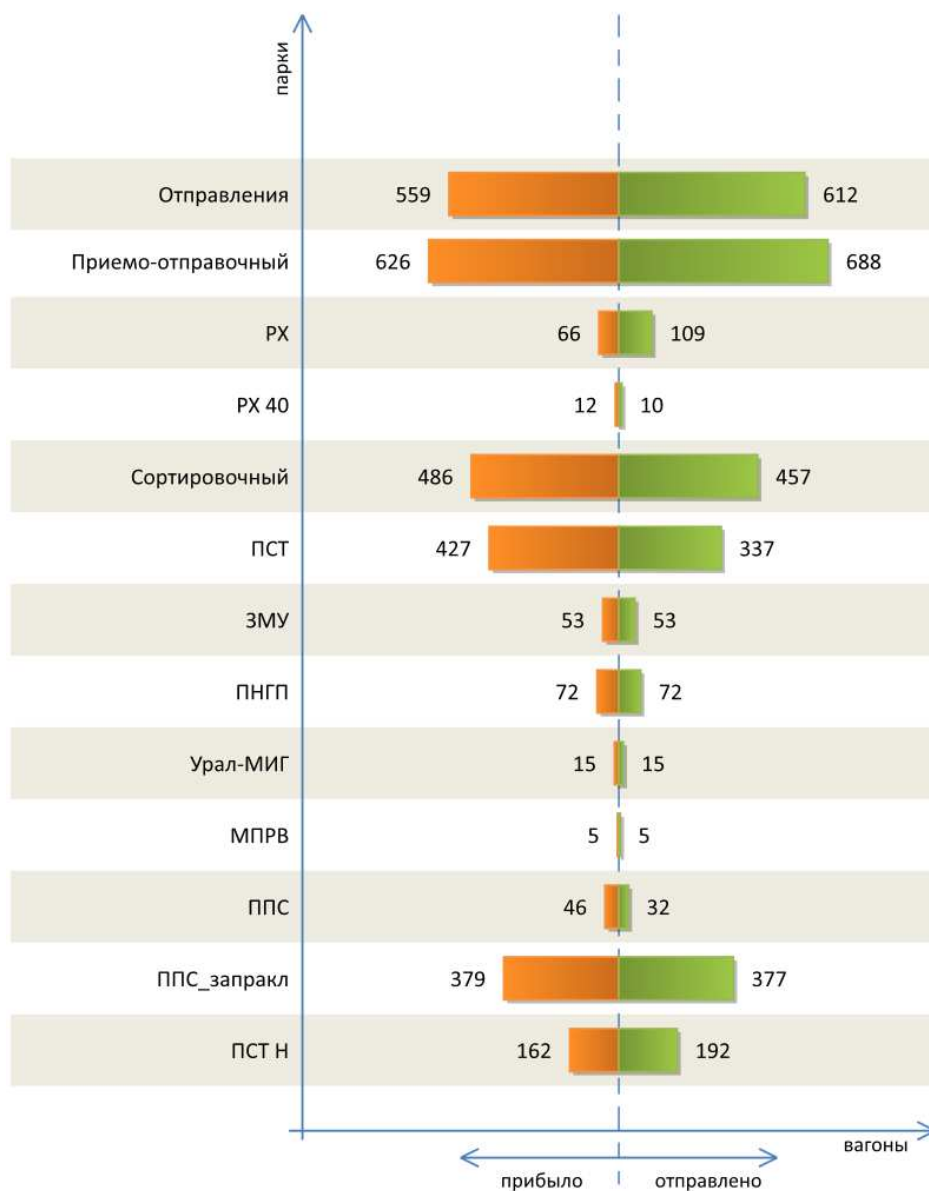
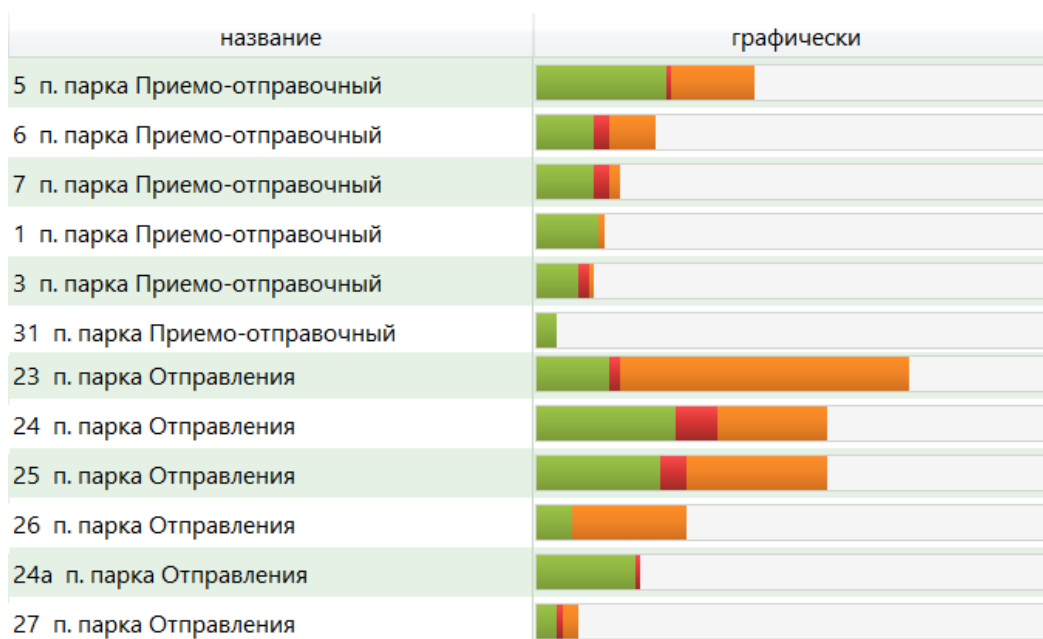


Рисунок 2.13 – Количественная оценка работы парков на станции

Помимо оценки объемных показателей работы станции, подсистема позволяет максимально точно определить эффективность функционирования исследуемого объекта за счет максимально адаптивного набора отчетов. Так, имеется возможность оценить полную и полезную загрузку путей, стрелок, локомотивов и других элементов станции и в графическом виде (рисунок 2.14), и в табличном (рисунок 2.15).



Зеленым цветом показана занятость путей технологическими операциями, красным – задержками, желтым – вагонами

Рисунок 2.14 – Характер занятости путей в парках станции

локомотив	ползн.зан.	межопер.прост.	полн.зан.	опер.циклы
Лок. 1 Маневровый	12:20	2:50	15:39	24
Лок. 2 Маневровый	9:15	3:14	12:53	17
Лок. 3 Маневровый	8:47	2:56	11:43	17
Лок. 4 Маневровый	8:20	1:10	9:59	17
Лок. 5 Маневровый	4:46	1:59	7:15	12
Лок. 6 Маневровый	3:34	1:12	4:46	9

Рисунок 2.15 – Занятость локомотивов технологическими операциями и межоперационными простоями

Однако наибольший интерес вызывает возможность определения «узких мест» структуры и технологии работы транспортной системы. Для этого

подсистема интеллектуальной обработки результатов представляет соответствующие таблицы (рисунки 2.16 и 2.17), которые при необходимости можно дополнительно детализировать (рисунки 2.18 и 2.19).

элемент	графически	факт	всего	в среднем
1 ^п п. парка РХ		6:29	22:13	0:21
26 п. парка РХ		13:24	15:48	0:28
27а п. парка Сортировочный		11:29	11:29	0:10
Лок.Маневровый		10:06	10:06	0:02
58 п. парка РХ		9:07	9:07	1:08
23 п. парка Отправления		0:30	8:50	0:01
Группа бригад ПТО отправление		7:51	7:51	0:39
25 п. парка Отправления		0:06	7:40	0:01
5 п. парка Приемо-отправочный		4:52	6:12	0:07
1 п. парка ППС_запракл		4:11	5:45	0:05
2 п. парка ППС_запракл		4:00	5:35	0:05
24 п. парка Отправления		0:08	5:11	0:01
Стр.101,103,107,109,111,117,119,121,123,125,127,129,131		4:54	4:54	0:05

Рисунок 2.16 – Задержки из-за занятости структурных элементов

операция	графически	в сутки	кол-во	на операцию
Перестановка в-в от кокса		24:34	3	8:11
Перестановка в-в на 57,56, 26 (подготовка кокс) с 60		13:16	3	4:25
Перестановка в-в с 56,57,26 на 54,55 брака		12:02	2	6:01
Перестановка в-в от ж.битум		10:18	2	5:09
Перестановка в-в от гача 2		9:59	2	4:59
Перестановка в-в на 5 (гач)		9:05	2	4:32
Перестановка в-в на 19,20 путь (масло)		8:50	2	4:25
Перестановка в-в на 1 (ж.битум)		8:18	1	8:18
Расформирование выводки с ППС 5-8		7:31	2	3:45
Погрузка кокса		7:25	1	7:25

Рисунок 2.17 – Задержки при выполнении операций

элемент	графически	факт	всего	в среднем
Лок.Локомотивы п/п		136:35	136:35	1:30
1 ^п п. парка РХ		6:29	22:13	0:21
26 п. парка РХ		13:24	15:48	0:28
27а п. парка Сортировочный		11:29	11:29	0:10

операция	графически	факт	всего	в среднем
Формирование подачи с 12С на ПСТ+		3:00	3:00	1:00
Расформирование выводки с ППС 5-8		2:14	2:14	0:44
Формирование подачи на 20С для ПСТ светлые		1:30	1:30	0:45
Формирование подачи на МПРВ		1:15	1:15	1:15
Формирование подачи 19С на 7, 8 ПСТ		1:03	1:03	0:21
Формирование подачи на РХ 14 (9,15)		0:38	0:38	0:19
МанЛок после роспуска с ППС в р-н станции		0:33	0:33	0:02
Формирование подачи с 13С на ПСТ 7,8		0:30	0:30	0:10
Формирование подачи на ППС темные на 7,8 пути		0:14	0:14	0:14
Формирование подачи Урал-МИГ		0:12	0:12	0:12
МанЛок в р-н станции 01		0:09	0:09	0:04
Расформирование с ППС 1,2		0:07	0:07	0:01

Рисунок 2.18 – Задержки из-за занятости структурных элементов с указанием операций, выполненных с задержкой

операция	графически	в сутки	кол-во	на операцию
Перестановка в-в от кокса		24:34	3	8:11
Перестановка в-в на 57,56, 26 (подготовка кокс) с 60		13:16	3	4:25
Перестановка в-в с 56,57,26 на 54,55 брака		12:02	2	6:01
Перестановка в-в от ж.битум		10:18	2	5:09
Перестановка в-в от гача 2		9:59	2	4:59
Перестановка в-в на 5 (гач)		9:05	2	4:32
Перестановка в-в на 19,20 путь (масло)		8:50	2	4:25
Перестановка в-в на 1 (ж.битум)		8:18	1	8:18
Расформирование выводки с ППС 5-8		7:31	2	3:45

элемент	графически	в сутки	на операцию
Лок.Маневровый		4:01	1:20
27а п. парка Сортировочный		2:14	0:44
Стр.101,103,107,109,111,117,119,121,123,125,127,129,131		1:42	0:34
5 п. парка ППС		1:30	1:30
7 п. парка ППС		1:00	1:00
6 п. парка ППС		0:30	0:30
Стр.148,150,301,303,309,311,313,315		0:05	0:01

Погрузка кокса		7:25	1	7:25
----------------	--	------	---	------

Рисунок 2.19 – Задержки при выполнении операций с детализацией по элементам структуры

Таким образом, имитационная система ИСТРА обладает развитым инструментарием, который позволяет эффективно исследовать объекты железнодорожного транспорта и выдает исчерпывающий набор результатов для поддержки принятия эффективных решений при согласовании параметров структуры и технологии работы рассматриваемых объектов.

Выводы по главе 2

1. В действующих нормативных документах не сформулирован единый алгоритм выбора инвестиционного проекта среди множества альтернативных вариантов. Помимо показателей сравнительной экономической эффективности, допускается использование дополнительных критериев, однако процесс принятия решений в условиях многокритериальности остается за рамками рекомендаций.

2. Существующие методы формирования множества альтернативных решений имеют недостатки, которые могут привести к потере потенциально

эффективного решения. Поэтому, необходимо совершенствовать методику формирования множества альтернатив, чтобы не допустить потери потенциально эффективных вариантов на данном этапе принятия решений.

3. Методы оценки и выбора наиболее эффективного варианта развития транспортного объекта оперируют только финансовыми потоками и не в полной мере учитывают технологический процесс, структуру, техническое оснащение и кадровый состав развиваемого объекта из-за невозможности перевода всех рассматриваемых натуральных показателей в ранг стоимостных. Поэтому существует необходимость в разработке методики сравнения альтернативных решений и выбора наиболее рационального варианта реализации проекта, которая позволит учесть дополнительные критерии, влияющие на эффективность принимаемых решений.

4. В настоящее время наиболее развитым аппаратом для построения имитационных моделей является имитационная система ИСТРА. Она обладает эффективным инструментарием, который позволяет учесть все требования, предъявляемые к принципам построения имитационных моделей для принятия эффективных решений.

3 МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ СОГЛАСОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

3.1 Алгоритм принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы объекта железнодорожного транспорта

Принятие решений по развитию крупных железнодорожных станций – сложная задача, так как, помимо сложной структуры и технологии, на процесс пропуска и обслуживания транспортного потока влияет эффективность структурно-технологического взаимодействия в системе. Для преодоления возникающих трудностей при принятии решений предлагается использовать системный подход, который дает возможность исследовать модели систем с позиций связности, упорядоченности и целостности. Таким образом, процесс принятия решений можно представить в виде системной последовательности этапов и операций, в результате осуществления которых вырабатывается эффективное решение (рисунок 3.1).

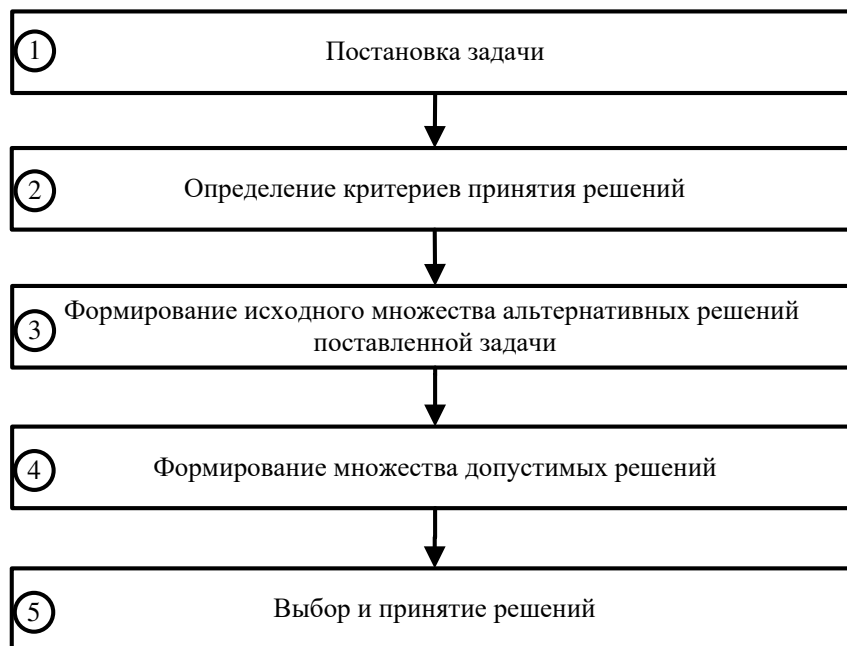


Рисунок 3.1 – Схема принятия решений при согласовании структуры и технологии работы железнодорожных станций

Представленный на рисунке 3.1 алгоритм имеет классическую структуру, отражающую рациональную логическую последовательность действий при формировании и выборе решений.

Этап 1. Постановка задачи

Любой процесс принятия решения должен начинаться с анализа необходимости принятия данного решения. Исходный момент действий – сбор и накопление первичной информации об объекте и о сложившейся ситуации. После выявления конкретной ситуации и определения потребности в принятии решения необходимо сформулировать задачу.

Диагностирование сложной проблемы начинается с установления симптомов затруднений или осознания имеющихся возможностей. Для выявления причин ее возникновения необходимо собрать и проанализировать требуемую внутреннюю и внешнюю (относительно объекта) информацию. Ее можно собрать формальными методами (анализ отчетов, рынка и т.д.) и неформально – в форме беседы и личных наблюдений.

Следует помнить:

- 1) увеличение количества информации необязательно повышает качество решения;
- 2) не относящаяся к делу информация представляет собой шум (помехи) для лица, принимающего решения (ЛПР);
- 3) существует риск сознательного искажения информации в чьих-то интересах.

Цель решения может быть однозначной, установленной при возникновении проблемы. Но чаще всего цель конкретного решения предопределяется какой-либо глобальной целью и допускает несколько вариантов действий. При формировании цели решения необходимо учитывать цели вышестоящей системы, объективные возможности организации, ресурсные ограничения. Определение целей, их декомпозиция и формирование подцелей позволяют уточнить первоначально сформулированную проблему. Правильность постановки цели

решения подтверждается его связью с ситуацией, которую надо рассмотреть, а также с предшествующими решениями.

Этап 2. Определение критериев

О решениях судят прежде всего по результатам, достигаемым при их реализации. С рассмотрения результатов следует начать процесс выбора того или иного решения. Критерии определяют с учетом влияющих на них факторов. Набор критериев используется как основа для сравнения вариантов решения, однако критерии имеют различное назначение. Одни критерии представляют собой обязательные ограничения, а другие фиксируют желательные характеристики решения. Чтобы принять эффективное решение, следует разделить критерии на жесткие ограничения и желательные характеристики, которые определяют эффективность принимаемых решений.

Этап 3. Выработка альтернатив

На данном этапе необходимо обеспечить формирование всех возможных решений, что позволит в дальнейшем выбрать оптимальный вариант. Для полноты охвата возможных решений разработку вариантов целесообразно вести по принципу декомпозиции или использовать какой-либо другой метод, позволяющий гарантировать полноту рассматриваемых вариантов. Информация, характеризующая альтернативы, непосредственно зависит от критериев решения и представляет собой набор значений критериев для данной альтернативы.

Этап 4. Сравнение альтернатив

Квалифицированное принятие решений требует выбора наилучшей альтернативы. Иногда все варианты выглядят приемлемыми и ни один из них не кажется лучше других. Для того чтобы сделать выбор, ЛПР нуждается в определенных средствах для сравнения альтернатив.

Этап 5. Выбор лучшего решения

В общем количестве вариантов решения окажется какое-то число таких, которые по своим формальным результатам будут наиболее близки к поставленной цели. Когда эти варианты отобраны, осуществляется комплекс действий по принятию конкретного решения.

Несмотря на консервативность общих принципов принятия решений, каждый этап представляет собой сложную самостоятельную задачу, поэтому необходимо разработать методику формирования альтернативных решений и методику их сравнения.

Залог успешной реализации методик – правильный выбор критериев, от которого зависит точность принимаемых решений, поэтому перед разработкой вышеуказанных методик рассмотрим процесс отбора критериев принятия решений.

3.2 Критерии принятия решений

Выбор структурных и технологических решений по повышению пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций – это достаточно сложная задача. Для принятия эффективных решений ЛПР должно иметь исчерпывающую информацию, что требует проведения полноценного исследования рассматриваемого объекта на имитационной модели, в рамках которого определяются технические и технологические показатели его работы. К техническим показателям относятся:

- количество станционных путей и их полные длины;
- число стрелочных переводов, пассажирских платформ, экипировочных, грузовых, ремонтных устройств и т.п.;
- количество и параметры путевых маневровых средств (вытяжные пути, горки).

Иные технические показатели (такие как объем земляных работ, протяженность линий СЦБ, связи, контактной сети, количество и параметры мостов и путепроводов и т.д.) на имитационных моделях не проверяются, но зависят от предлагаемых схемных решений и при их корректировке тоже изменяются.

К технологическим показателям относятся такие количественные и качественные показатели, как число переработанных или пропущенных поездов и вагонов (по категориям), простой вагонов с детализацией по категориям вагонопотока, коэффициент загрузки технических средств и персонала станции, задержки технологических операций, вызываемые структурой (простои из-за занятости отдельных элементов, в том числе отклонение от расписания, непроизводительные простои в ожидании свободного пути, фронта, бригады, локомотива). В зависимости от типа станции исследователь выбирает набор показателей, наиболее полно отображающий специфику работы того или иного объекта железнодорожного транспорта.

Помимо натуральных показателей работы транспортного объекта, ЛПР должно учесть экономическую составляющую принимаемых решений.

Все это множество показателей приводит к тому, что ЛПР должно принимать решения в условиях многокритериальности.

Сложность задач многокритериального выбора состоит в том, что далеко не всегда существует вариант, который был бы одновременно лучшим сразу по всем критериям: если по одному из критериев вариант имеет наилучшие значения, то по другому, как правило, он будет далеко не лучшим. И поэтому, по мнению видного ученого в области принятия решений В.В. Подиновского [104], «выбор наилучшего варианта связан с необходимостью разрешения центральной в теории принятия решений при многих критериях проблемы замещения (компенсации), т.е. проблемы сопоставления по предпочтительности (с точки зрения ЛПР!) потерь по одним критериям с выигрышами по другим». В связи с этим, в настоящее время при решении большинства задач со многими критериями стремятся избегать многокритериальности и сводить рассматриваемую задачу к однокритериальной, что в целом упрощает процесс принятия решений. Для этого наиболее целесообразно последовательное применение 2 методов снижения числа критериев: перевод части критериев в разряд ограничений и приведение показателей к единой шкале и единице измерения.

Введение ограничений позволяет не только снизить число критериев принятия решения, но и сузить исходное множество альтернативных решений, что упрощает задачу принятия решения. В идеальной ситуации после проверки всех альтернатив останется единственный допустимый вариант, который и будет считаться наиболее эффективным.

В рамках первого метода для сужения исходного множества альтернатив необходимо определить показатели, которые можно реализовать в качестве ограничений. Так, все технические показатели подлежат учету в качестве ограничений, если проектом не предусматривается развитие отдельных устройств (например, дополнительных тяговых подстанций, укладки длинных путей и т.д.), либо развитие устройств невозможно по условиям эксплуатации объекта. Помимо этого из-за особенностей расположения и специфики развития систем железнодорожного транспорта могут возникнуть дополнительные ограничения, например: территориальная ограниченность, сложные топографические, геологические и гидрологические условия, социально-экономические и временные ограничения, влияющие на возможность реализации того или иного варианта увеличения перерабатывающей способности станции.

Все вышеперечисленные показатели определяются на основе априорной информации о разработанных альтернативных решениях и не позволяют определить эффективность функционирования транспортного объекта. Для качественной оценки работы станции необходимо провести ее полноценное исследование на имитационной модели с целью получения технологических показателей.

Параметры структуры и технологии работы станции рассчитываются для переработки определенного вагоно- и поездопотока, поэтому достижение потребной перерабатывающей способности приобретает наибольшее значение. При этом не требуется максимизация данной функции, достаточно обеспечить заявленный резерв. В связи с чем альтернатива считается допустимой только при удовлетворении следующего условия:

$$N_{\hat{x}} \geq N_{\Pi}, \quad (3.1)$$

где $N_{\hat{x}}$ – наличная перерабатывающая способность станции при \hat{x} -й альтернативе, ваг.;

N_{Π} – потребная перерабатывающая способность станции, ваг.

Достижение потребной перерабатывающей способности можно обеспечить различными способами. Ввиду того что параметры структуры и технологии работы станции взаимосвязаны, повлиять на ее перерабатывающую способность можно, как за счет изменения параметров структуры, так и технологии. И здесь важно понять, за счет чего достигается повышение перерабатывающей способности: за счет непосредственного повышения перерабатывающей способности обслуживающих устройств или за счет их более полной загрузки. Увеличение очереди (составы и партии вагонов в ожидании переработки или обработки) позволяет повысить загрузку обслуживающего устройства, что приводит к повышению наличной пропускной и перерабатывающей способности.

Использование такого важного критерия принятия решений, как перерабатывающая способность, в качестве ограничения дает возможность исключить неэффективные варианты с точки зрения несоответствия целевому показателю работы предприятий железнодорожного транспорта, от которых зависит работа как смежных станций, так и железной дороги.

В рамках реализации второго метода необходимо по возможности привести критерии к единой шкале и единице измерения. Если это удастся, то можно избежать многокритериальности и свести рассматриваемую задачу к однокритериальной. Ввиду того что большая часть натуральных показателей имеет соответствующую расходную ставку, наиболее целесообразно привести критерии к расчету в рублях. Однако критерий «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой», характеризующий эффективность выполнения операций на станции, на данный момент не имеет денежного эквивалента.

Таким образом, натуральные критерии, за исключением критерия «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой», можно заменить одним совокупным критерием «Эксплуатационные расходы».

Помимо эксплуатационных расходов альтернативы могут характеризоваться единовременными капитальными вложениями и дополнительными эксплуатационными расходами. Для учета распределенных во времени затрат наиболее целесообразно рассматривать данные статьи расходов в рамках совокупного критерия «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы».

Таким образом, наиболее важными критериями для оценки эффективности работы станции, в рамках предлагаемых решений, являются «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» и «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы».

Реализация предложенных критериев – непростая задача, требующая разработки новой методики их применения в условиях неопределенности. Однако для использования предложенных критериев необходимо предварительно сформировать множество допустимых решений на основе сформулированных ограничений.

3.3 Методика формирования множества альтернативных решений, направленная на согласование структуры и технологии работы железнодорожных станций

Наиболее перспективное направление совершенствования методики формирования множества альтернатив – синтетический подход, который представляет собой объединение метода моделирования и «конференции идей». Объединение двух методов позволит уменьшить влияние их недостатков на окончательное решение и максимально эффективно использовать их преимущества. Для корректного применения вышеуказанных методов в рамках

синтетического подхода необходимо решить задачу, состоящую в том, чтобы найти компромисс между экспертной оценкой, которая дает возможность составить и сохранить целостное представление об исследуемом объекте, и имитационной моделью, отражающей многочисленные особенности этого объекта. В результате требуется разработка соответствующей методики формирования множества альтернативных решений, которая позволит расширить поле возможных альтернатив и тем самым снизить риск потери потенциально эффективного варианта.

В качестве основы для построения методики формирования исходного множества альтернатив предлагается использовать предложенный М. Месаровичем в [105] иерархический подход, а именно принцип стратификации, когда система задается семейством моделей, каждая из которых будет описывать ее с точки зрения соответствующего уровня абстрагирования.

Пользуясь положениями данного подхода, представим методику формирования множества альтернативных решений в виде системы, состоящей из двух страт (рисунок 3.2).

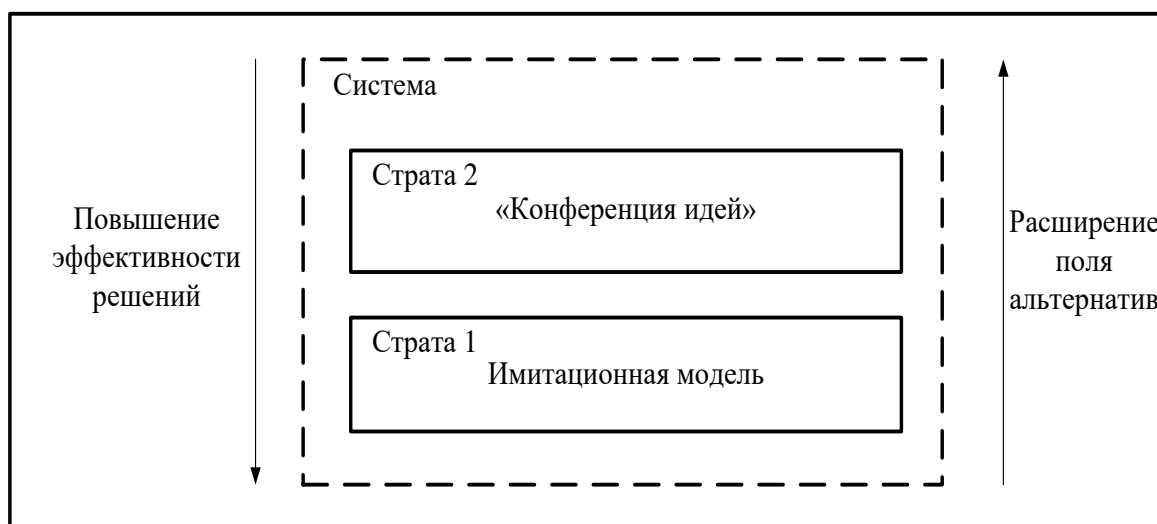


Рисунок 3.2 – Стратифицированное представление методики формирования исходного множества альтернатив

Верхняя страта – это «конференция идей», экспертный метод, свободный от многочисленных конкретных деталей и обеспечивающий разнообразие и

нестандартность предлагаемых решений, нижняя – имитационная модель, отображающая систему до мельчайших деталей для выявления «узких мест» структуры и технологии, устранение которых позволяет генерировать эффективные работоспособные решения [106].

Таким образом, иерархический подход к формированию множества альтернативных решений формирует наиболее полное поле возможных решений, не упуская при этом потенциально эффективные решения [106].

3.3.1 Реализация синтетического подхода к формированию множества альтернативных решений

Для реализации синтетического подхода к формированию множества альтернативных решений требуется комплексное исследование станции в имитационной системе, направленное на выявление «узких мест» в работе транспортного объекта с целью дальнейшей разработки и оценки вариантов совершенствования его структуры и технологии работы.

Такого рода исследование актуально для существующих, проектируемых или реконструируемых станций и должно включать следующие предварительные этапы: оценку соответствия пропускной и перерабатывающей способности станции заданной величине и структуре потока, анализ «узких мест» структуры и технологии, адаптацию технологии к структуре (рисунок 3.3).

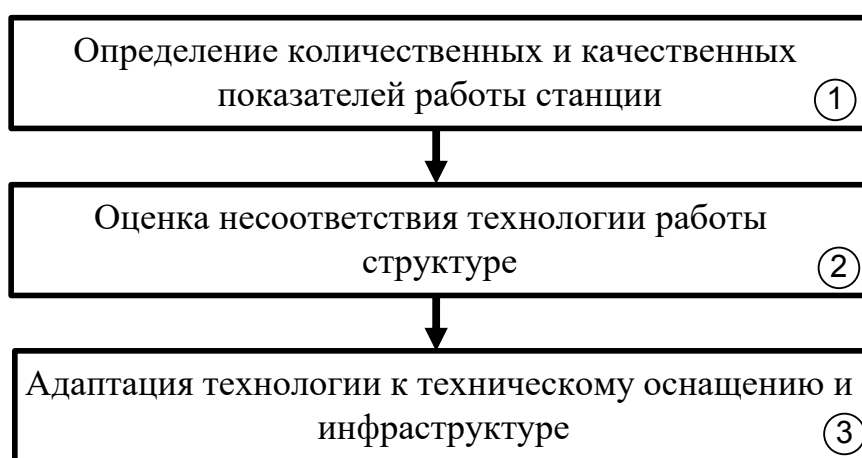


Рисунок 3.3 – Предварительные этапы определения параметров станционных устройств

Станция рассчитывается для переработки определенного вагоно- и поездопотока. И в первую очередь оценивается, справляется ли она с заданной работой и есть ли резерв пропускной и перерабатывающей способности (рисунок 3.3, блок 1).

При проектировании станции определяется не только ее структура, но и технология. Технология существенно влияет на использование элементов структуры – путей, горловин, грузовых и сортировочных устройств. Поэтому задержки из-за структурных элементов могут быть в значительной мере вызваны тем, что технология не вполне соответствует особенностям структуры, следовательно, вторым этапом должна быть оценка несоответствия технологии работы структуре транспортного объекта (рисунок 3.3, блок 2). На основе анализа «узких мест» структуры и технологии на третьем этапе производится адаптация технологии к структуре (рисунок 3.3, блок 3). Основными способами снижения несоответствия технологии структуре станции могут быть:

- изменение последовательности операций;
- изменение специализации путей;
- изменение приоритетов выполнения операций;
- перераспределение технических и человеческих ресурсов и т.д.

Только после того, как технология будет гармонично наложена на структуру, можно приступать к расчету станции с целью определения избыточной или недостаточной пропускной и перерабатывающей способности.

Для реализации синтетического подхода к формированию множества альтернативных решений разработан соответствующий алгоритм (рисунок 3.4), уникальная особенность которого – возможность формирования решений, направленных как на повышение пропускной и перерабатывающей способности, так и на поиск вариантов устранения избыточной мощности устройств на станции. Ввиду итеративной природы исследований, с применением имитационного моделирования, наиболее рациональной формой представления результатов формирования множества альтернатив является «дерево решений».

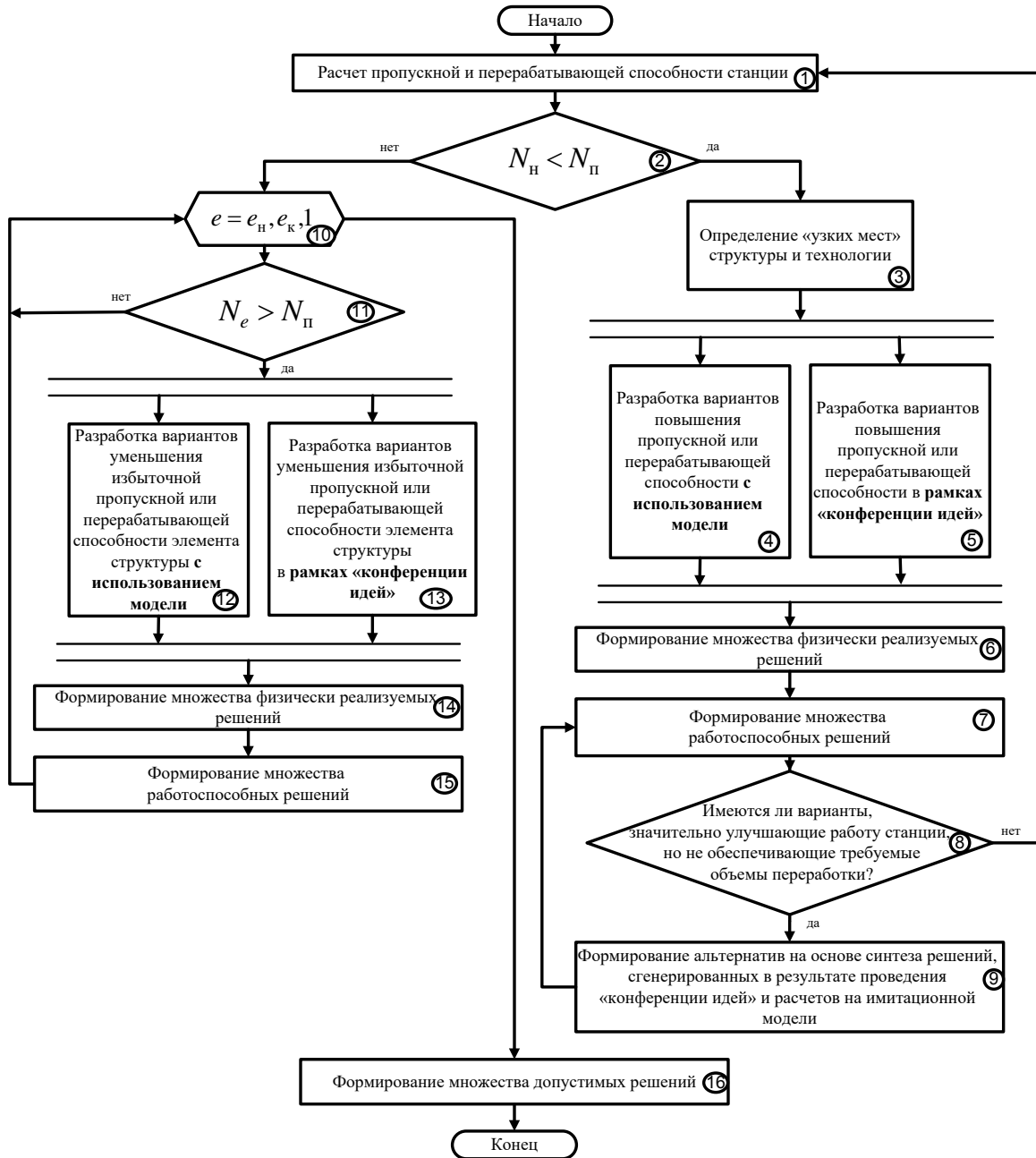


Рисунок 3.4 – Алгоритм формирования «дерева решений» с применением имитационного моделирования и «конференции идей»

В первую очередь определяем «узкие места» структуры и технологического процесса, а также элементы структуры с избыточной пропускной или перерабатывающей способностью. Для этого, рассматривая процессы более подробно, выполняем расчет пропускной и перерабатывающей способности железнодорожной станции (рисунок 3.4, блок 1) и устанавливаем, соответствует ли наличная пропускная способность потребной (рисунок 3.4, блок 2). Данные операции позволяют определить направление дальнейших исследований:

генерировать решения либо при избыточной, либо при недостаточной пропускной и перерабатывающей способности.

Элементы структуры и технологического процесса, лимитирующие пропускную и перерабатывающую способность железнодорожной станции, определяем на основе структурно-технологического анализа по такому критерию, как максимальные задержки технологических операций, вызываемые структурой (рисунок 3.4, блок 3).

Для выявления элементов структуры с избыточной пропускной или перерабатывающей способностью целесообразно использовать цикл (рисунок 3.4, блок 10), в тело которого встроено условие $N_e > N_n$ (рисунок 3.4, блок 11). Для реализации работы блоков 3 и 10 необходимо определить общее количество элементов в структуре транспортного объекта e_k и элемент, с которого начинается работа цикла e_n . По завершении первого этапа определяем элементы структуры и операции технологического процесса, которые поступают на второй этап формирования решений (рисунок 3.4, блоки 4, 5, 12, 13).

На следующем этапе алгоритма определяем варианты достижения потребной пропускной способности. Для качественного улучшения «дерева решений» используем синтетический подход к формированию множества альтернативных решений. То есть при формировании решений используем и имитационное моделирование (рисунок 3.4, блоки 4 и 12), и «конференцию идей» (рисунок 3.4, блоки 5 и 13), но при важном условии минимизации недостатков каждого из методов. Так, с целью повышения качества генерируемых решений в рамках «конференции идей» следует ориентировать экспертов на информацию об элементах структуры и операциях технологического процесса, требующих изменения параметров для повышения пропускной (перерабатывающей) способности или устранения избыточной мощности устройств (рисунок 3.4, блоки 3 и 10). Для помощи экспертам в генерировании решений также разработаны оригинальные классификаторы решений (Приложение А). Использование метода «конференции идей» в дополнение к методу моделирования позволяет минимизировать риск попадания в точку локального оптимума, что снижает

влияние данного недостатка имитационного моделирования на принятие решений. А операция «Формирование множества физически реализуемых решений» (рисунок 3.4, блоки 6 и 14) за счет участия экспертов дает возможность более точно учесть местные условия на станции, что повышает корректность формируемых с помощью имитационной модели решений.

После того как определено множество физически реализуемых альтернатив, важно проверить его на соответствие сформированному ограничению (рисунок 3.4, блоки 7 и 15). Только при удовлетворении ограничению, альтернативы попадают во множество допустимых решений. Однако при выполнении операции «Формирование множества допустимых решений» необходимо уделить особое внимание вариантам, которые значительно улучшают работу станции, но не обеспечивают требуемые объемы переработки (рисунок 3.4, блок 8). Формальный подход к реализации данной операции может вызвать потерю потенциально эффективного решения, поэтому при выявлении перспективных альтернатив необходимо рассмотреть возможность их улучшения (рисунок 3.4, блок 9).

В результате работы алгоритма формируется «дерево решений», с помощью которого можно сформировать множество допустимых альтернатив (рисунок 3.4, блок 16).

Ввиду того что на этап формирования решений попадают конструкции и с избыточной, и с недостаточной пропускной способностью, при оценке эффективности взаимодействия структуры и технологического процесса, а также согласования их параметров с использованием имитационного моделирования необходимо разработать соответствующие алгоритмы (рисунок 3.4, блоки 4 и 12).

3.3.2 Разработка вариантов повышения пропускной или перерабатывающей способности с использованием имитационной модели

Основные способы устранения «узких мест» технологического процесса описаны в разделе 3.3.1 и связаны со спецификой работы железнодорожной станции, поэтому в данном разделе наибольшее внимание уделено процессу формирования структурных решений.

Повлиять на пропускную способность элемента, являющегося «узким местом» структуры, можно следующими способами:

- 1) изменением параметров самого элемента;
- 2) увеличением коэффициента загрузки ограничивающего элемента за счет изменения предшествующим элементом свойств прибывающего потока;
- 3) комбинацией вышеуказанных способов.

Поэтому при разработке вариантов повышения пропускной способности транспортной системы могут возникнуть различные комбинации параметров как ограничивающего, так и предшествующего ему элементов, которые позволят обеспечить достижение потребной пропускной способности [107]. Для определения всех возможных вариантов повышения пропускной и перерабатывающей способности элементов разработан алгоритм (рисунок 3.5) [108].

Из-за взаимного влияния параметров элементов обеспечить достижение потребной пропускной способности можно за счет различных комбинаций параметров ограничивающего и предшествующего ему элементов в зависимости от того, какой элемент начинать развивать. Поэтому расчет должен выполняться по двум независимым направлениям. Алгоритм будет состоять из двух независимых частей: в первой расчет начинается с наращивания мощности ограничивающего устройства, во второй – с увеличения емкости предшествующего «демпфера» (рисунок 3.5). Под «демпфером» понимается элемент системы, позволяющий накапливать единицы транспортного потока (вагоны, составы) с целью снижения его неравномерности.

Перед началом работы алгоритма необходимо выполнить ряд предварительных операций. В первую очередь следует обозначить начальные значения пропускной или перерабатывающей способности элемента N_e^0 и емкости «демпфера» перед ограничивающим устройством Q_{e-1}^0 (рисунок 3.5, блоки 1 и 8). Фиксация начальных значений параметров рассматриваемых элементов играет важную роль при проведении расчетов, так как по сравнению с

начальными значениями определяются результаты работы независимых частей алгоритма.

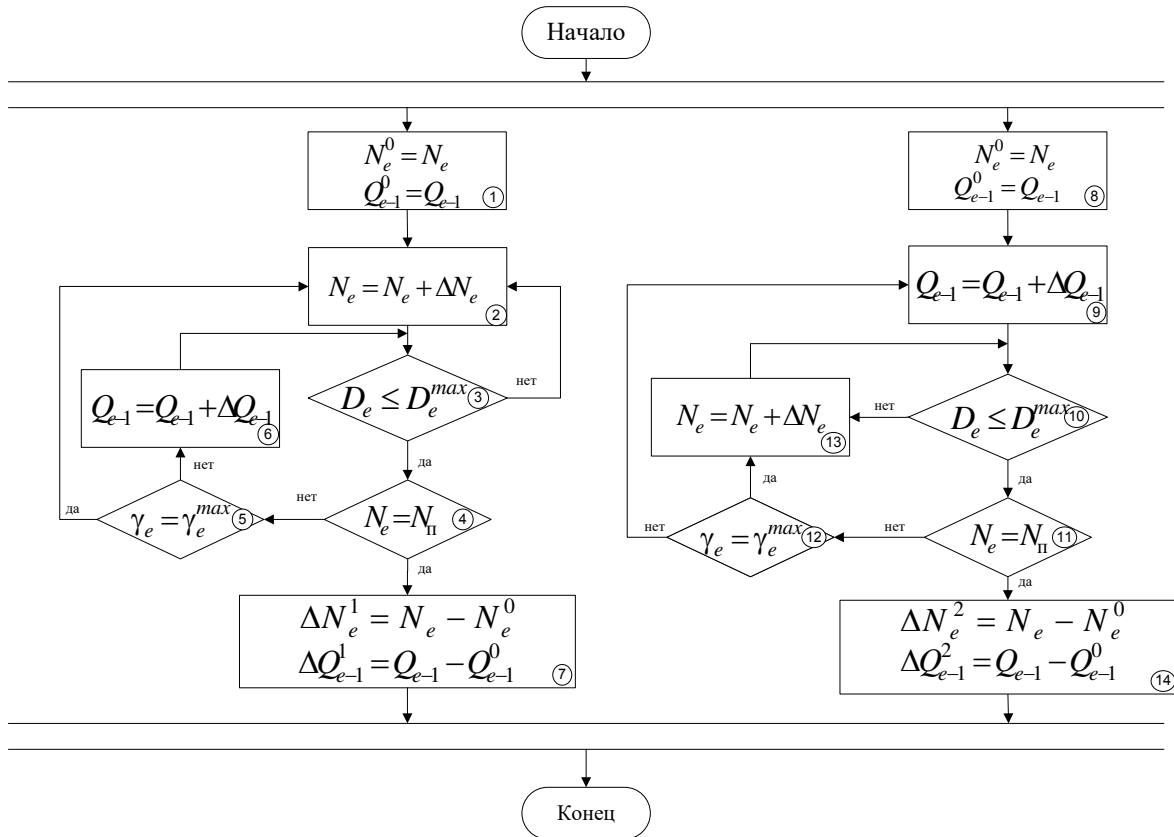


Рисунок 3.5 – Алгоритм определения и оценки вариантов повышения пропускной или перерабатывающей способности элемента структуры

После фиксации N_e^0 и Q_{e-1}^0 необходимо выбрать вариант и шаг увеличения пропускной способности элемента ΔN_e , а также емкости «демпфера» ΔQ_{e-1} .

Разнообразие структурных элементов и технологии работы в системах железнодорожного транспорта требует определять шаг, с которым необходимо увеличивать соответственно пропускную способность и емкость. Так, повысить перерабатывающую способность бригады ПТО можно либо за счет дополнительной бригады, либо за счет увеличения состава самой бригады; повысить емкость парка приема можно как за счет удлинения путей, так и за счет укладки дополнительных путей. Следует отметить, что неоправданно крупный шаг может привести к избыточной пропускной способности устройства или к избыточной емкости предшествующего элемента, а выбор неоправданно

заниженного шага – к увеличению временных затрат на проведение исследований. Таким образом, шаг повышения пропускной способности ограничивающего элемента ΔN_e и шаг увеличения емкости «демпфера» ΔQ_{e-1} необходимо выбирать исходя из целей исследования в тесной увязке с оценкой потребной пропускной способности и специфики станционных устройств.

Только после выбора ΔN_e и ΔQ_{e-1} начинаем расчеты с применением разработанных ограничений. Для этого определяем расчетные параметры ограничивающего устройства N_e (рисунок 3.5, блок 2) и предшествующего ему элемента Q_{e-1} (рисунок 3.5, блок 9), чтобы провести эксперимент в имитационной системе.

Для реализации следующего шага работы алгоритма выполняем эксперименты в имитационной системе, чтобы определить следующие показатели работы: задержки технологических операций, вызываемые e -м элементом структуры D_e , загрузку элемента γ_e и наличную пропускную способность N_e .

На основе полученных значений натуральных показателей оцениваем эффективность взаимодействия элементов в структуре станции с использованием разработанных ограничений. Для этого необходимо количественно определить потребную пропускную способность N_{Π} , максимально допустимую величину задержек технологических операций, вызванных e -м элементом D_e^{max} , и максимально возможную загрузку e -го элемента γ_e^{max} . Потребную пропускную способность рассматриваемого объекта можно определить как на основе данных о планируемых изменениях в объемах работы станции, полученных от заказчика исследования, так и на основе полноценного анализа статистики, в результате которого рассчитываются перспективные вагоно- и поездопотоки. Значения D_e^{max} и γ_e^{max} также могут определяться заказчиком исследования. При отсутствии требований к показателям, D_e^{max} и γ_e^{max} рассчитываются на основе направленных экспериментов в имитационной системе.

При оценке эффективности взаимодействия структурных элементов в первую очередь задаем условие: показатель «Задержки технологических операции, вызываемые структурой» D_e не должен превышать максимально допустимый уровень D_e^{max} (рисунок 3.5, блоки 3 и 10).

В случае если $D_e > D_e^{max}$, то требуется увеличение пропускной способности ограничивающего элемента структуры (рисунок 3.5, переход блок 3 – блок 2, переход блок 10 – блок 13), так как расчетная мощность обслуживающих и резервных устройств не позволяет добиться требуемой скорости обслуживания потока.

Если $D_e \leq D_e^{max}$, то проверяется условие соответствия наличной пропускной способности ограничивающего элемента потребной пропускной способности (рисунок 3.5, блоки 4 и 11).

В ситуации, когда наличная пропускная способность меньше потребной $N_e < N_{п}$, возникает необходимость оценить загрузку ограничивающего устройства (рисунок 3.5, блоки 5 и 12), чтобы определить направление дальнейшего изменения параметров элементов.

При $\gamma_e = \gamma_e^{max}$ необходимо дальнейшее увеличение пропускной или перерабатывающей способности ограничивающего элемента (рисунок 3.5, переход блок 5 – блок 2, переход блок 12 – блок 13), а при $\gamma_e < \gamma_e^{max}$ имеется возможность повлиять на пропускную или перерабатывающую способность ограничивающего устройства за счет увеличения емкости предшествующего элемента, что обеспечит его большую загрузку (рисунок 3.5, переход блок 5 – блок 6, переход блок 12 – блок 9).

Вернемся к условию соответствия наличной пропускной или перерабатывающей способности лимитирующего элемента потребной (рисунок 3.5, блоки 4 и 11). При достижении потребной пропускной или перерабатывающей способности фиксируем значения параметров ограничивающего элемента N_e и предшествующего ему «демпфера» Q_{e-1} и,

сравнив их с N_e^0 и Q_{e-1}^0 , определяем варианты повышения пропускной и перерабатывающей способности станции (рисунок 3.5, блоки 7 и 14). При этом каждая из независимых частей алгоритма предлагает свой индивидуальный вариант параметров рассматриваемых элементов ($\Delta N_e^1, \Delta Q_{e-1}^1$ – вариант изменения параметров элементов, формируемый в рамках первой части алгоритма; $\Delta N_e^2, \Delta Q_{e-1}^2$ – вариант изменения параметров структурных элементов, формируемый в рамках второй части алгоритма), обеспечивающий достижение потребной пропускной способности и поддерживающий требуемый уровень задержек технологических операций.

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет формировать качественные варианты повышения пропускной и перерабатывающей способности станции, направленные на достижение баланса структуры и технологии работы транспортного объекта и при этом за счет включения критериев непосредственно в процесс расчета гарантировать работоспособность сформированных решений.

3.3.3 Алгоритм определения и оценки вариантов уменьшения избыточной пропускной способности структурных элементов с использованием имитационной модели

Опыт исследования систем железнодорожного транспорта с применением имитационных моделей показывает, что наличная пропускная или перерабатывающая способность ограничивающего устройства зависит от емкости предшествующего структурного элемента. Благодаря способности «демпфера» снижать неравномерность потока повышается загрузка лимитирующего элемента. Однако невозможно бесконечно увеличивать его загрузку за счет развития предшествующего «демпфера». И здесь возникает опасность создания избыточной мощности устройств, что может привести к снижению эффективности функционирования рассматриваемого объекта в целом. Для этого, с использованием принципов, изложенных в пункте 3.3.2, разработан алгоритм (рисунок 3.6), позволяющий определять и оценивать варианты уменьшения

избыточной пропускной и перерабатывающей способности железнодорожной станции [109].

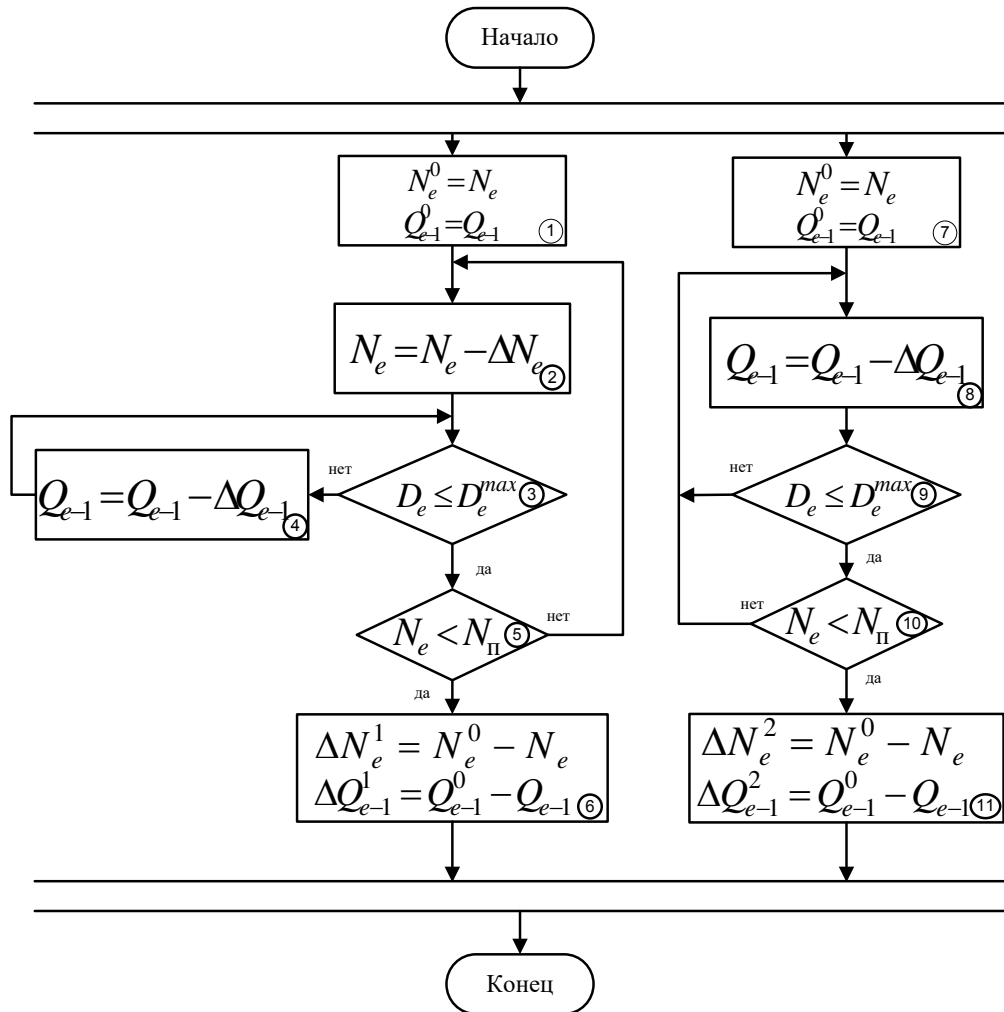


Рисунок 3.6 – Алгоритм определения и оценки вариантов уменьшения избыточной пропускной и перерабатывающей способности станции

По принципам функционирования данный алгоритм схож с алгоритмом определения и оценки вариантов повышения пропускной и перерабатывающей способности станции: он также состоит из двух частей, и для его функционирования тоже необходимо определить шаг изменения пропускной или перерабатывающей способности ограничивающего устройства и емкости предшествующего «демпфера», требуемую пропускную способность N_{Π} , максимально допустимую величину задержек технологических операций, вызываемых e -м структурным элементом D_e^{max} , и максимально возможную

загрузку e -го элемента γ_e^{max} . Однако он имеет специфику выполнения расчетов и использования ограничений для оценки сформированных вариантов снижения избыточной пропускной и перерабатывающей способности станции.

В процессе расчетов снижаем пропускную способность обслуживающих устройств (рисунок 3.6, блок 2) и емкость «демпферов» (рисунок 3.6, блок 8) в соответствии с выбранными значениями ΔN_e и ΔQ_{e-1} . После определения параметров элементов Q_{e-1} и N_e выполняем эксперименты в имитационной системе для расчета количественных и качественных показателей работы рассматриваемого объекта. На следующем шаге работы алгоритма оцениваем эффективность сформированных решений с использованием разработанных критериев. В первую очередь, проверяем условие $D_e \leq D_e^{max}$ (рисунок 3.6, блоки 3 и 9). Если задержки из-за обслуживающего устройства D_e превышают максимально возможное значение D_e^{max} , то необходимо перейти к снижению очереди перед данным устройством за счет уменьшения емкости предшествующего элемента (рисунок 3.6, блоки 4 и 8). При выполнении условия $D_e \leq D_e^{max}$ необходимо перейти к проверке условия, соответствуют ли наличная и потребная пропускная способность (рисунок 3.6, блоки 5 и 10). Уменьшать пропускную способность обслуживающего устройства и емкость предшествующего «демпфера» можно до тех пор, пока наличная пропускная способность устройства не станет ниже потребной (рисунок 3.6, переход блок 5 – блок 2, переход блок 10 – блок 8). Как только выполняется условие $N_e < N_{п}$, фиксируем последние параметры элементов Q_{e-1} и N_e , при которых обеспечивается потребная пропускная способность, и в сравнении с исходными значениями параметров элементов N_e^0 и Q_{e-1}^0 определяем варианты снижения избыточной пропускной способности (рисунок 3.6, блоки 6 и 11). В результате расчетов формируются независимые варианты уменьшения избыточной пропускной способности выбранного элемента структуры, поддерживающие

требуемый уровень задержек и позволяющие реализовать требуемую пропускную способность станции.

В результате операция включения критериев оценки разрабатываемых вариантов уменьшения избыточной пропускной способности в работу алгоритма позволит сформировать наиболее качественный набор альтернативных решений, исключая на этапе расчетов неработоспособные варианты, что обеспечит формирование наиболее качественного и полного множества исходных альтернатив.

3.3.4 Процесс «конференции идей»

«Конференция идей» (рисунок 3.4, блоки 5 и 13) – эффективный способ формирования множества альтернативных решений, однако требует строгого соблюдения следующих правил.

1. Участники. Для проведения «конференции идей» отбирается группа экспертов для генерации альтернатив. Главный принцип отбора – разнообразие профессий, квалификации и опыта. В рамках «конференции идей» требуется создание творческой атмосферы, поэтому важно устранить отношение подчиненности между ее участниками, что гарантирует независимость предложений от мнения руководителей.

2. Помещение. При проведении «конференции идей», во-первых, необходимо снизить влияние физических факторов, поэтому важно, чтобы помещение было изолировано от шума и имело систему кондиционирования для поддержания требуемого микроклимата. Во-вторых, следует исключить влияние эмоциональных преград, поэтому не рекомендуется проводить «конференцию идей» в служебно-административном помещении на рабочем месте. Для создания ощущения равноправия среди экспертов «конференцию идей» эффективно проводить за круглым столом.

3. Правила поведения. Категорически запрещается любая критика, так как сама возможность критики тормозит генерацию идей. Как только кто-то позволит

себе дать низкую оценку идее другого участника, творческая атмосфера в группе нарушается, процесс формирования идей прекращается.

4. Фиксация идей. Высказывание идей фиксируется без оглядки на их реализуемость, оценка и отбор проводятся позднее, после конференции. В ходе конференции собираются все мнения, предложения, идеи...

После «конференции идей» проводится дискуссия, посвященная оценке предложенных решений, в рамках которой все сформированные решения подвергаются конструктивной критике с целью выявления физически нереализуемых альтернатив (рисунок 3.4, блоки 6 и 14).

3.3.5 Сужение множества альтернатив

Построение целостной структуры и технологии работы транспортного объекта предусматривает выбор из множества сформированных альтернатив единственного оптимального (рационального) варианта. Для корректного решения подобного рода задач необходимо в первую очередь сузить множество сформированных альтернатив до множества работоспособных. Данный процесс состоит из двух этапов: формирования множества физически реализуемых альтернатив X_{ϕ} (рисунок 3.4, блоки 6 и 14) и формирования множества работоспособных решений X_p (рисунок 3.4, блоки 7 и 15).

Этап формирования множества физически реализуемых вариантов тесно связан с рассматриваемым объектом исследования. Из-за особенностей расположения и специфики развития систем железнодорожного транспорта могут возникнуть различного рода ограничения, например: территориальная ограниченность, сложные топографические, геологические и гидрологические условия, социально-экономические и временные ограничения, влияющие на возможность реализации того или иного варианта увеличения перерабатывающей способности станции. Поэтому на данном этапе необходимо досконально проанализировать местные условия, чтобы выявить возможные ограничения. Важной частью данного этапа является также проверка возможности реализации предлагаемых вариантов с точки зрения капитальных вложений. В результате

анализа формируется множество непротиворечивых физически реализуемых альтернатив.

На следующем этапе сужения исходного множества альтернатив отбираются работоспособные решения на основе разработанного ограничения (раздел 3.2).

Для реализации процесса формирования множества работоспособных решений разработан соответствующий алгоритм (рисунок 3.7).

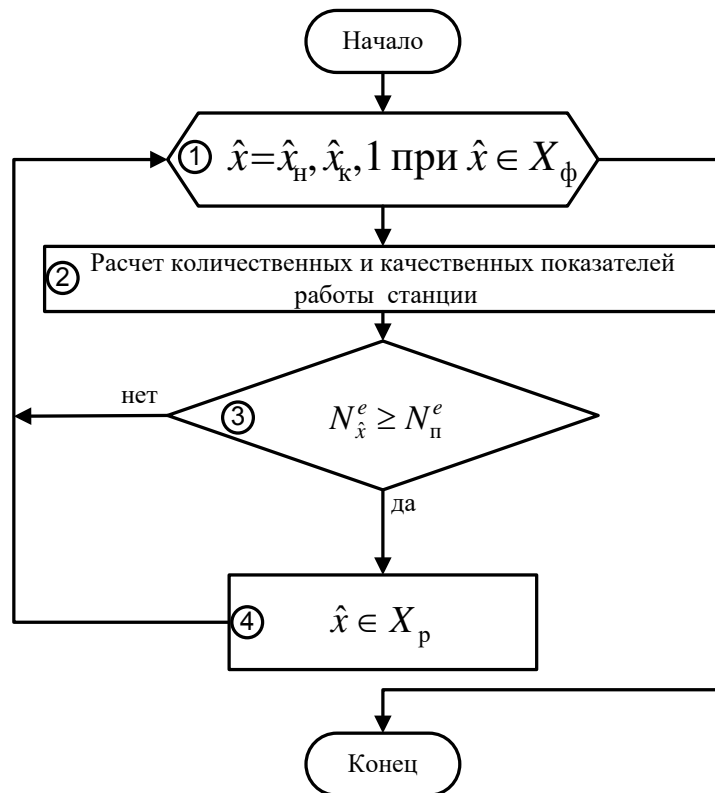


Рисунок 3.7 – Алгоритм формирования множества работоспособных решений

Чтобы выявить множество работоспособных решений, целесообразно использовать цикл (рисунок 3.7, блок 1), в тело которого встроено выбранное ограничение по перерабатывающей способности $N_{\hat{x}}^e \geq N_n^e$ (рисунок 3.7, блок 3).

Для реализации работы блока 3 необходимо предварительно рассчитать количественные и качественные показатели работы станции (рисунок 3.7, блок 2) для каждой альтернативы из множества физически реализуемых $\hat{x} \in X_\phi$. На

данном шаге работы алгоритма проводим эксперименты в имитационной модели, чтобы определить наличную перерабатывающую способность $N_{\hat{x}}^e$.

На основе полученных значений натуральных показателей оцениваем эффективность рассматриваемых альтернатив. Для этого необходимо количественно определить требуемую перерабатывающую способность N_{Π}^e . Требуемую перерабатывающую способность рассматриваемого объекта можно определить как на основе данных о планируемых изменениях в объемах работы станции, полученных от заказчика исследования, так и на основе полноценного анализа статистики, в результате которого рассчитываются перспективные вагоно- и поездопотоки.

В процессе работы цикла альтернативы проверяются на удовлетворение сформированному ограничению. Если альтернатива удовлетворяет требованиям по перерабатывающей способности, она включается во множество работоспособных решений (рисунок 3.7, блок 4).

В результате разработанный алгоритм за счет включения сформированных ограничений позволит сузить исходное множество альтернатив до множества работоспособных (рисунок 3.7, блок 4).

3.3.6 Формирование альтернатив на основе синтеза решений

При формировании исчерпывающего множества альтернативных решений необходимо решить важную задачу – не допустить потери потенциально эффективного решения.

С целью минимизации риска потери потенциально эффективного решения следует на этапе формирования множества работоспособных решений оценить альтернативы, чтобы выявить варианты, значительно улучшающие работу станции, но по каким-либо причинам не обеспечивающие достижение требуемой перерабатывающей способности. В случае выявления подобных вариантов необходимо рассмотреть возможность улучшения данных альтернатив за счет их комбинации с множеством работоспособных решений, сформированном на этапе имитационного моделирования (рисунок 3.8). А1 – это базовый вариант

имитационной модели станции, который сформирован для анализа ее работы и является основой выполнения экспериментов с целью выявления «узких мест» структуры и технологии работы с последующей разработкой мер по их устранению.

В зависимости от поставленной задачи принятия решения с помощью имитационной модели и разработанных алгоритмов определяются варианты согласования параметров структуры и технологического процесса транспортной системы (A2, A3, A4), добавление которых к базовому варианту обеспечивает достижение потребной перерабатывающей способности исследуемого элемента структуры и которые при этом являются физически реализуемыми. В результате работы алгоритмов формируются альтернативные решения $A1+A2$, $A1+A3$, $A1+A4$, удовлетворяющие сформированным ограничениям.

Альтернативные решения, которые сформированы на этапе «конференции идей», позволяют значительно улучшить работу станции, но не обеспечивают достижение требуемой перерабатывающей способности, выражаются в виде альтернатив B1, B2, B3, и B4.

Для того чтобы учесть нестандартные решения экспертов и не упустить наиболее эффективные из них на этапе сужения множества альтернатив, необходимо рассмотреть возможность дополнить их работоспособными вариантами, выработанными на этапе имитационного моделирования. Таким образом, за счет комбинации решений может быть сформировано дополнительное множество альтернатив ($A1+A2+B1$, $A1+A2+B2$, $A1+A2+B3$, $A1+A2+B4$, $A1+A3+B1$, $A1+A3+B2$, $A1+A3+B3$, $A1+A3+B4$, $A1+A4+B1$, $A1+A4+B2$, $A1+A4+B3$, $A1+A4+B4$).

Формальный синтез решений, сгенерированных в результате проведения «конференции идей» и расчетов на имитационной модели, может привести к повышению затрат на проведение исследования, поэтому к данному процессу необходимо подходить рационально.

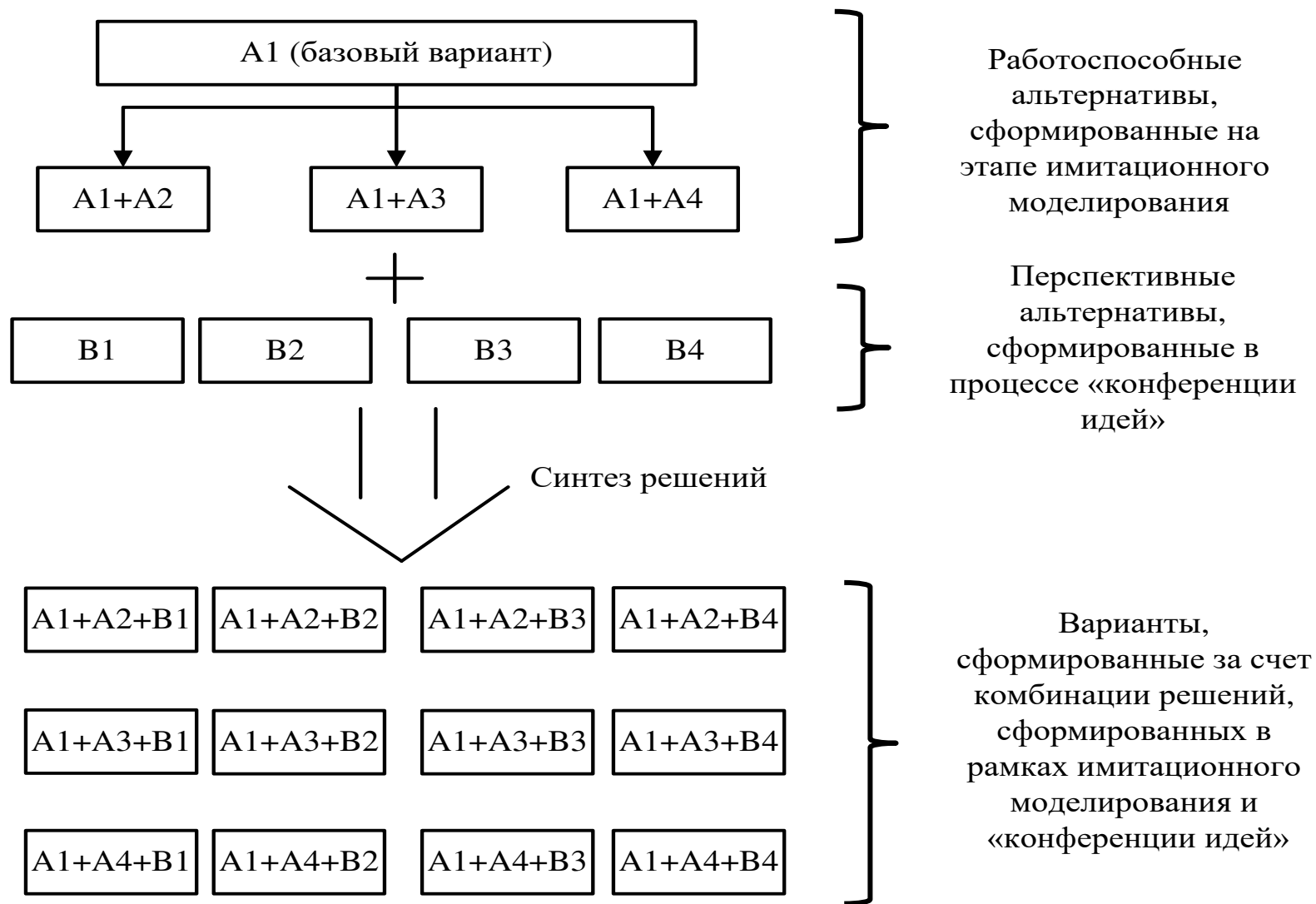


Рисунок 3.8 – Формирование решений на основе синтеза альтернатив, определенных на этапе имитационного моделирования и в процессе «конференции идей»

Таким образом, множество альтернативных решений, сформированное за счет синтеза имитационного моделирования и «конференции идей», позволяет реализовать все достоинства указанных методов, расширить поле возможных решений и тем самым снизить до минимума риск потери потенциально эффективного варианта согласования параметров структуры и технологии работы объекта исследования.

3.4 Формализация задачи принятия решения при многих критериях

Для определения рациональных параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций сформулирована математическая модель ситуации принятия решения при многих критериях [110]:

$$\langle X_d, Z, f, M \rangle, \quad (3.2)$$

где X_d – множество допустимых решений;

Z – множество векторных оценок;

f – векторный критерий;

M – механизм выбора.

Задача принятия решения заключается в выборе наилучших параметров структуры и технологии работы транспортного объекта.

Для осуществления функции выбора формируется множество альтернатив X_d . Эффективность того или иного варианта $\hat{x} \in X_d$ характеризуется значениями u частных критериев f_i , формирующих векторный критерий $f = (f_1, \dots, f_u)$. Под критерием f_i понимается функция, определенная на X_d и принимающая значения из множества Z_i , называемой шкалой критерия.

Механизм выбора можно представить в виде модели:

$$\langle \delta, \pi \rangle, \quad (3.3)$$

где δ – совокупность сведений, позволяющая сопоставлять варианты;
 π – правило выбора.

В диссертационном исследовании механизм выбора реализован в виде поэтапного сужения множества X_d , включающего в себя формирование множества Парето, уточнение множества Парето на основе учета стохастичности критериальных функций и применение метода свертки критериев. При этом на каждом из этапов выбора уточняются сведения о рассматриваемых альтернативах и разрабатывается алгоритм использования данных сведений для максимального сужения рассматриваемого множества и в конечном счете для получения единственного рационального решения.

3.5 Определение множества Парето

С помощью векторного критерия можно ввести на X_d лишь отношение частичного порядка – отношение доминирования (\prec). Поэтому формальным методом решения задачи выбора при векторном критерии является нахождение множества X_o Парето-оптимальных альтернатив, т. е. таких альтернатив, которые не доминируют друг над другом и в этом смысле равноправны.

Решение \hat{x}_1 предпочтительнее решения \hat{x}_2 , если выполняются 2 условия:

$$\begin{aligned} \forall i : [f_i(\hat{x}_1) \leq f_i(\hat{x}_2)] \\ \exists i_0 : [f_{i_0}(\hat{x}_1) < f_{i_0}(\hat{x}_2)] \end{aligned} \quad (3.4)$$

Отношение доминирования отдает предпочтение одной альтернативе перед

второй, только если первая по всем критериям лучше второй. Если же предпочтение хотя бы по одному критерию расходится с предпочтением по другому, то такие альтернативы признаются несравнимыми. В результате попарного сравнения альтернатив худшие по всем критериям альтернативы отбрасываются, а все оставшиеся, несравнимые между собой, – принимаются. Если все максимально достижимые значения частных критериев не относятся к одной и той же альтернативе, то принятые альтернативы образуют множество Парето X_0 , и выбор альтернатив на этом заканчивается.

3.6 Разработка методики уточнения множества Парето на основе учета стохастичности критериальных функций

Для принятия решений при многих критериях требуется решить задачу сопоставления потерь по одним критериям с выигрышами по другим критериям. Наиболее распространенным средством решения данной задачи являются многочисленные методы свертки критериев, обладающие известными недостатками, которые связаны с субъективностью назначения коэффициентов важности критериев. Для уменьшения возможных негативных последствий, связанных с применением свертки критериев, предлагается сначала максимально сузить множество Парето, используя подход на основе учета неопределенностей, а уже затем определиться с окончательным выбором с помощью метода свертки для исходного набора критериев, но на новом, более узком множестве Парето. Чем больше удастся сузить множество Парето, тем меньше могут оказаться возможные ошибки.

Таким образом, для принятия наиболее эффективного решения из множества недоминируемых по Парето необходимо более детальное исследование альтернатив. Под детальным исследованием подразумевается учет природной неопределенности результатов, что связано с использованием имитационного моделирования. В отличие от строгих математических моделей,

имитационная модель не предусматривает точного соответствия между входной информацией и результатом (откликом системы).

Ввиду того, что связь альтернатив с исходами не является детерминированной, то для выбора наиболее эффективного решения необходимо изучить характеристики рассеивания результатов расчетов по каждой из рассматриваемых альтернатив. Для этого необходимо рассчитать, построить и оценить эллипсы рассеивания [110].

Процесс состоит из четырех последовательных этапов:

- 1) расчета числовых характеристики выборочных совокупностей по выбранным критериям;
- 2) корреляционного анализа;
- 3) построения эллипсов рассеивания;
- 4) однофакторного дисперсионного анализа [110].

3.6.1 Определение доверительных интервалов для оценки математического ожидания

Расчет доверительного интервала с надежностью α производится по формулам:

$$\left(\bar{x} - \frac{t_{k,\alpha} \sigma_B}{\sqrt{n}}; \bar{x} + \frac{t_{k,\alpha} \sigma_B}{\sqrt{n}} \right), \quad (3.5)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n x_l, \quad (3.6)$$

$$\sigma_B = \sqrt{D_B}, \quad (3.7)$$

$$D_B = \frac{1}{n-1} \sum_{l=1}^n (x_l - \bar{x})^2. \quad (3.8)$$

где \bar{x} – выборочное среднее;

$\sigma_{\text{в}}$ – выборочное среднее квадратическое отклонение;

$D_{\text{в}}$ – выборочная дисперсия;

$t_{k,\alpha}$ – функция распределения Стьюдента;

n – объем выборки [110].

3.6.2 Корреляционный анализ

Особое значение имеет информация о статистической зависимости или независимости рассматриваемых критериев. Чтобы проверить гипотезу о независимости рассматриваемых критериев, необходимо провести корреляционный анализ.

Для определения коррелированности критериев «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» и «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» требуется проверить нулевую гипотезу о незначимости коэффициента корреляции $H_0 : r_{xy} = 0$.

Чтобы проверить H_0 по выборке объема n , необходимо вычислить наблюдаемое значение критерия $T_{\text{набл}}$:

$$T_{\text{набл}} = \frac{r_{xy} \sqrt{k}}{\sqrt{1 - r_{xy}^2}}, \text{ при } k = n - 2, \quad (3.9)$$

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (3.10)$$

где r_{xy} – выборочный коэффициент корреляции;

$\text{cov}(x, y)$ – ковариация выборок;

σ_x и σ_y – выборочные средние квадратические отклонения.

Для проверки $T_{\text{набл}}$ определяют критические точки $T_{\text{кр}}$ распределения Стьюдента в зависимости от заданного уровня значимости α и числа степеней свободы k .

Если $|T_{\text{набл}}| < T_{\text{кр}}$, то нулевая гипотеза о равенстве нулю коэффициента корреляции принимается, а рассматриваемые критерии не коррелированы. В противном случае нулевая гипотеза отвергается, $r_{xy} \neq 0$, следовательно, критерии коррелированы [110].

3.6.3 Определение параметров эллипсов рассеивания

На основе рассчитанных числовых характеристик выборочных совокупностей и информации о наличии или отсутствии корреляционной зависимости необходимо построить эллипсы рассеивания по каждому рассматриваемому эффективному по Парето альтернативному решению.

Уравнение эллипса записывается как

$$\frac{(x - m_x)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2r_{xy}(x - m_x)(y - m_y)}{\sigma_x \sigma_y} + \frac{(y - m_y)^2}{\sigma_y^2} = \chi^2. \quad (3.11)$$

где m_x, m_y – математические ожидания выборок;

χ – параметр размера эллипса.

В общем случае (при $r_{xy} \neq 0$) главные оси этого эллипса не совпадают с осями системы координат Oxy . Центр эллипса лежит в точке (m_x, m_y) , а направление его осей симметрии в системе координат Oxy определяется из формулы:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2r_{xy}\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}, \quad \alpha = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{2r_{xy}\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \right). \quad (3.12)$$

Для поворота осей системы координат на некоторый угол α используются следующие формулы:

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \alpha + y \sin \alpha, \\ y' &= -x \sin \alpha + y \cos \alpha. \end{aligned} \quad (3.13)$$

При повороте системы координат по формуле 3.13 и сдвиге ее на m_x и m_y средние квадратические отклонения σ_1 и σ_2 будут выражены через средние квадратические отклонения σ_x и σ_y следующим образом:

$$\begin{aligned}\sigma_1^2 &= \sigma_x^2 \cos^2 \alpha + r_{xy} \sigma_x \sigma_y \sin 2\alpha + \sigma_y^2 \sin^2 \alpha, \\ \sigma_2^2 &= \sigma_x^2 \sin^2 \alpha - r_{xy} \sigma_x \sigma_y \sin 2\alpha + \sigma_y^2 \cos^2 \alpha.\end{aligned}\quad (3.14)$$

В результате уравнение эллипса имеет следующий вид:

$$\frac{x^2}{(\chi\sigma_1)^2} + \frac{y^2}{(\chi\sigma_2)^2} = 1. \quad (3.15)$$

При $r_{xy} = 0$ оси эллипса совпадают с осями координат, в связи с чем необходимость в их повороте отсутствует.

В случае если эллипсы рассеивания по рассматриваемым альтернативам пересекаются, то принимается решение о том, что варианты отличаются несущественно и их необходимо рассматривать совместно. Если эллипсы рассеивания по рассматриваемым альтернативам не пересекаются, то альтернативы существенно различаются, и их необходимо рассматривать независимо [110].

3.6.4 Однофакторный дисперсионный анализ

Построение эллипсов рассеивания позволяет не только определить зависимость или независимость рассматриваемых альтернатив, но и выявить общие части у доверительных интервалов для выборочных средних как минимум по одному из критериев, что является основанием для проведения однофакторного анализа, в рамках которого проверяется гипотеза о равенстве средних в группах.

Выдвигается гипотеза о равенстве математических ожиданий (выборочных средних) для p альтернатив $H_0 : M(f_i(\hat{x}_1)) = M(f_i(\hat{x}_2)) = \dots = M(f_i(\hat{x}_p))$.

Чтобы проверить H_0 , необходимо воспользоваться критерием Фишера. Для

этого рассмотрим величину $F_{\text{набл}}$

$$F_{\text{набл}} = \frac{MS_{\text{между группами}}}{MS_{\text{внутригрупп}}}, \quad (3.16)$$

$$MS = \frac{SS}{df}, \quad (3.17)$$

$$SS_{\text{между группами}} = \sum_{j=1}^q (\bar{x}_j - \bar{x})^2 n_j, \quad (3.18)$$

$$SS_{\text{внутригрупп}} = \sum_{j=1}^q D_j(n_j), \quad (3.19)$$

$$df_{\text{между группами}} = q - 1, \quad (3.20)$$

$$df_{\text{внутригрупп}} = N - q. \quad (3.21)$$

где $F_{\text{набл}}$ – наблюдаемое значение критерия Фишера; $MS_{\text{между группами}}$ – исправленная факторная дисперсия; $MS_{\text{внутригрупп}}$ – исправленная остаточная дисперсия; $SS_{\text{между группами}}$ – факторная (межгрупповая) сумма квадратов отклонений; \bar{x}_j – выборочная средняя в j -ой группе; \bar{x} – общая выборочная средняя; n_j – количество элементов в j -ой группе; $SS_{\text{внутригрупп}}$ – остаточная (внутригрупповая) сумма квадратов отклонений; D_j – выборочная исправленная дисперсия в группе; $df_{\text{между группами}}$ – число степеней свободы объясненной дисперсии; $df_{\text{внутригрупп}}$ – число степеней свободы необъясненной дисперсии; q – количество групп; N – общий объем выборки.

Для проверки $F_{\text{набл}}$ определяется критическое значение критерия $F_{\text{кр}}$. Если $F_{\text{набл}} < F_{\text{кр}}$, то гипотеза о равенстве математических ожиданий принимается, то

есть выборочные средние различаются незначимо. Из этого следует, что в случае подтверждения гипотезы о равенстве средних в группах по одному из критериев появляется возможность сравнивать альтернативы по второму критерию. На основе сравнения альтернатив по второму критерию, выявляются неэффективные альтернативы, которые в дальнейшем исключаются из рассмотрения. Если в результате исключения доминируемых альтернатив множество X_0 будет состоять из единственного решения, то такое решение будет считаться оптимальным. В случае если $F_{\text{набл}} > F_{\text{кр}}$, то гипотеза отвергается. В результате рассматриваемое множество X_0 не изменится.

Таким образом, применение однофакторного анализа дает возможность сузить множество X_0 путем выбраковки неэффективных альтернатив, за счет чего достигается большая надежность принимаемых решений, потому что снижается вероятность принятия неэффективного решения.

Разработанную последовательность действий в рамках уточнения сформированного множества Парето можно представить в виде алгоритма (рисунок 3.9). Данный алгоритм за счет учета неопределенностей результатов расчета критериев, что связано с применением имитационного моделирования, позволяет максимально сузить множество Парето, чем значительно снижает вероятность принятия ошибочных решений [110].

В условиях рыночной экономики вероятна ситуация, при которой критерий сравнительной экономической эффективности для ЛПР, будет иметь значительно большую важность, чем критерий «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой». Даже в таком случае критерий технологической эффективности очень полезен. Так, при оценке вариантов развития станции возникают ситуации, когда альтернативы имеют схожие показатели сравнительной экономической эффективности. Для корректного сравнения таких вариантов необходимо определить, являются ли значения экономической эффективности паритетными. Для принятия решения в такой ситуации разработан алгоритм (рисунок 3.10).

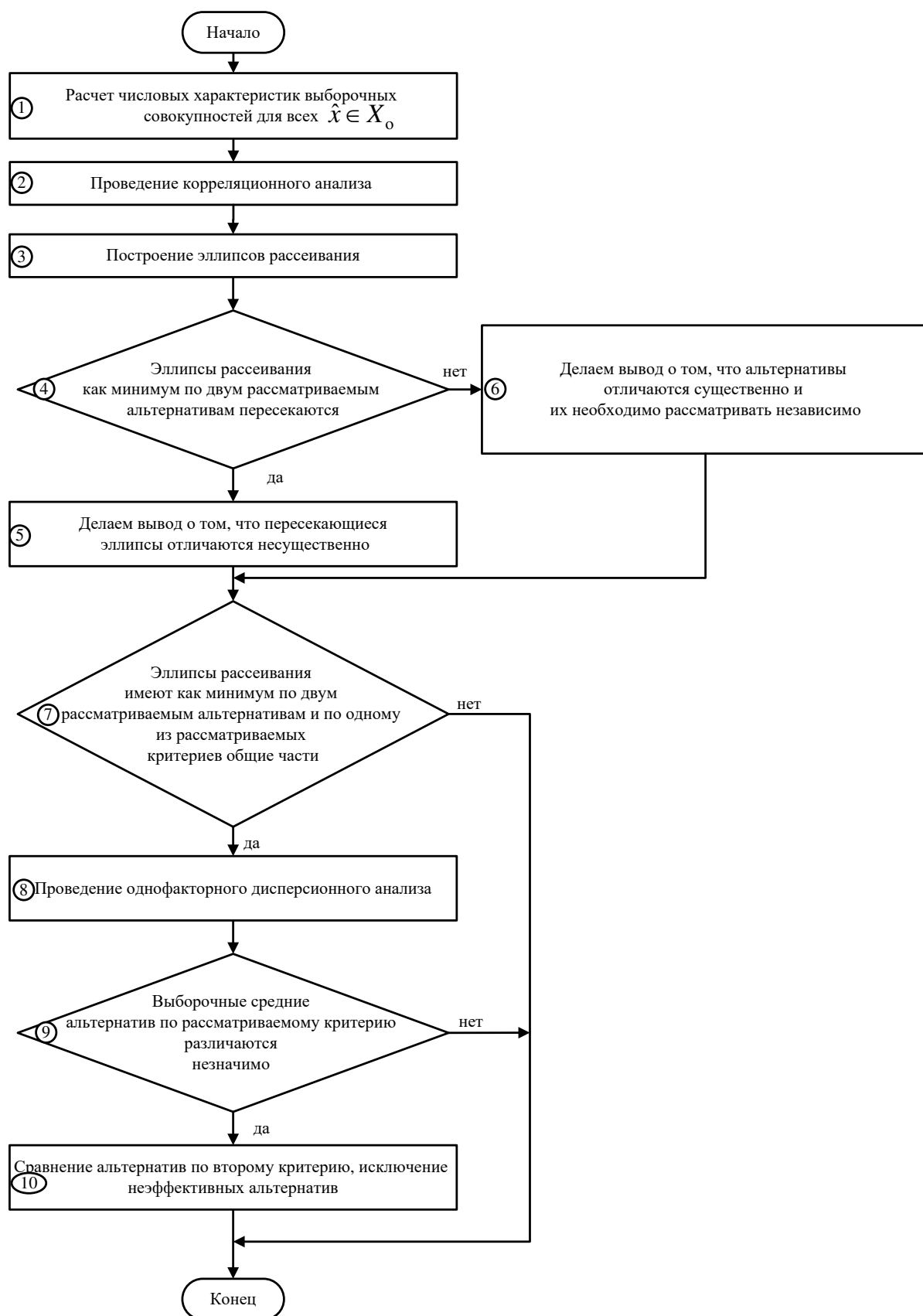


Рисунок 3.9 – Алгоритм уточнения множества Парето

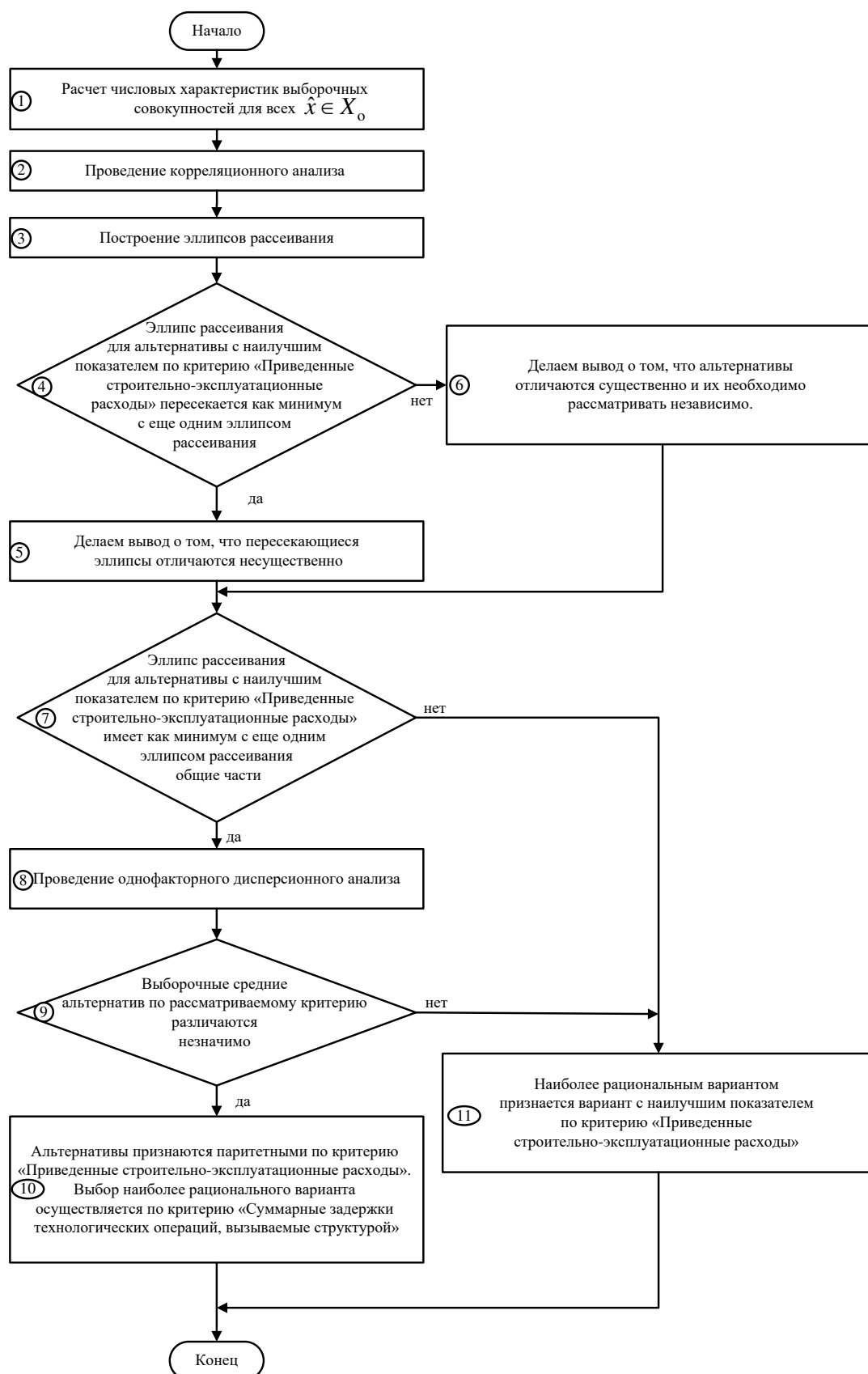


Рисунок 3.10 – Алгоритм принятия решений, учитывающий паритетность альтернатив по критерию сравнительной экономической эффективности

Разработанный алгоритм включает в себя математическое обоснование паритетности альтернативных решений по критерию экономической эффективности и правило использования критерия «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой», за счет чего предлагаемый алгоритм позволяет повысить технологическую эффективность принимаемых решений при сопоставимых экономических показателях.

3.7 Принятие решений на основе свертки критериев

Основной недостаток методов свертки критериев – компенсация низких значений по одним критериям высокими значениями по другим. Для получения более равномерных результатов наиболее рационально использовать «Метод идеальной точки», позволяющий равномерно «подтягивать» показатели критериев к наилучшему уровню.

Для реализации метода необходимо задать идеальную точку \hat{x}_0 , то есть объект с наилучшими значениями по всем критериям. В рамках исследования железнодорожных станций целесообразно использовать уже полученные результаты, поэтому идеальной будет точка, которая дает максимум по каждому из частных критериев из множества допустимых решений X_d .

После определения координаты идеальной точки можно применить «Метод идеальной точки», который выражается формулой:

$$W_{id}(\hat{x}) = \sqrt{\sum_{i=1}^u w_i ((f_i(\hat{x}) - f_i(\hat{x}_0))^2)} \rightarrow \min, \hat{x} \in X_o, \quad (3.22)$$

где w_i – весовой коэффициент важности i -го критерия.

Если ЛПР затрудняется в задании значимости критериев, то для их определения предлагается использовать метод непосредственных экспертных

оценок. С этой целью отбирается группа экспертов по управлению эксплуатационной работой, которая определяет значимость критериев по 9-ти балльной шкале (таблица 3.1). В результате экспертной оценки весовые коэффициенты по рассматриваемым критериям определяются по следующей формуле:

$$w_i = \frac{\sum_{v=1}^m b_i^v}{\sum_{i=1}^u \sum_{v=1}^m b_i^v}, \quad (3.23)$$

где m – величина группы экспертов;

b_i^v – оценка v -го эксперта по i -му критерию, балл.

Таблица 3.1 – Шкала оценки критериев

Значение критерия (баллы)	Описание
9	Показатель предельно высокий (превышение над стандартным на 70-100 %)
8	Показатель очень высокий (превышение над стандартным на 50-70 %)
7	Показатель высокий (превышение над стандартным на 30-50 %)
6	Немного выше среднего (превышение над стандартным на 10-30 %)
5	Средний уровень (на уровне стандартного)
4	Немного ниже среднего (отставание от стандартного на 10-30%)
3	Показатель низкий (отставание от стандартного на 30-50%)
2	Показатель очень низкий (отставание от стандартного на 50-70%)
1	Показатель предельно низкий (отставание от стандартного на 70-100%)

Проверка согласованности оценок экспертов проводится для каждого рассматриваемого критерия. Для этого определяется коэффициент вариации K_i , который характеризует степень согласованности мнений членов экспертной группы:

$$K_i = \frac{\sigma_i}{M_i}, \quad (3.24)$$

где σ_i – среднее квадратическое отклонение результатов оценки i -го критерия, балл.;

M_i – среднее арифметическое значение оценки i -го критерия, балл.

Чем меньше значение K_i , тем выше степень согласованности мнений экспертов. Оценки экспертов считаются согласованными при $K_i \leq 0,25$.

Ввиду того что выбранные критерии измеряются в разных единицах, шкалах, следует использовать методы нормализации критериев. Например, для сравнения значений разных критериев необходимо перейти к однонаправленным шкалам, выразить их значения в одинаковых абсолютных единицах либо перейти к безразмерным шкалам.

Поскольку критерии «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» и «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» имеют различные единицы измерения, для сравнения значений критериев необходимо применение относительной нормализации:

$$\hat{f}_i(\hat{x}) = \frac{f_i(\hat{x})}{\max_{\hat{x} \in X} f_i(\hat{x})}. \quad (3.25)$$

Таким образом, метод идеальной точки позволяет получить более равномерные результаты по сравнению с другими методами свертки критериев, а метод экспертной оценки обеспечивает получение актуальной информации о важности рассматриваемых критериев.

Выводы по главе 3

1. Залогом успешной реализации методики принятия решений является правильный подбор критериев, так как от этого зависит точность принимаемых решений. Анализ показал, что наиболее важные критерии для оценки эффективности работы станции – «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» и «Приведенные строительно-

эксплуатационные расходы».

2. Для реализации процесса принятия решений необходимо формирование исходного множества альтернатив. Наиболее перспективным направлением формирования исходного множества альтернатив является синтетический подход, который представляет собой объединение метода моделирования и «конференции идей».

3. Оригинальный способ включения имитационного моделирования и «конференции идей» в алгоритм формирования «дерева решений» позволяет реализовать все достоинства указанных методов, расширить поле возможных решений и тем самым снизить до минимума риск потери потенциально эффективного варианта согласования параметров структуры и технологии работы объекта исследования.

4. Построение целостной структуры и технологии работы транспортного объекта предусматривает выбор из множества сформированных альтернатив единственного рационального варианта. Для корректного решения подобного рода задач требуется поэтапное сужение множества альтернатив. Включение в алгоритм таких операций, как определение множества физически реализуемых альтернатив, формирование множества работоспособных решений, формирование множества допустимых решений, позволяет создать наиболее качественное «дерево решений», исключая нерациональные варианты.

5. Для принятия решений при многих критериях требуется решить задачу сопоставления потерь по одним критериям с выигрышами по другим. Чтобы снизить возможные негативные последствия, связанные с применением свертки критериев, необходимо максимально сузить множество Парето, а затем определиться с окончательным выбором при помощи метода свертки для исходного набора критериев, но на новом, более узком множестве Парето.

6. Для сужения множества Парето разработана методика, основанная на учете неопределенности критериальных функций, которая значительно снижает вероятность принятия ошибочных решений.

7. При принятии решений по показателю сравнительной экономической

эффективности могут возникнуть ситуации, когда альтернативы имеют схожие экономические показатели, в таком случае необходимо определить являются ли рассматриваемые варианты паритетными.

8. Для математического обоснования паритетности рассматриваемых альтернатив, разработана соответствующая методика, основанная на учете неопределенности критериальных функций.

9. Основной недостаток методов свертки критериев – компенсация низких значений по одним критериям высокими значениями по другим. Для получения более равномерных результатов необходимо использовать «метод идеальной точки», позволяющий более равномерно «подтягивать» показатели критериев к наилучшему уровню.

10. Для определения важности критериев предлагается использовать метод непосредственных экспертных оценок. С этой целью отбирается группа экспертов по управлению эксплуатационной работой, которая обеспечивает получение актуальной информации о важности рассматриваемых критериев.

4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕННЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО РАЗВИТИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

4.1 Характеристика грузовой железнодорожной станции Осенцы

Для апробации предложенной методики принятия решений выбрана грузовая станция Осенцы. Выбор в качестве объекта исследования грузовой станции не случаен, так как именно данный тип станций отличается сложной структурой и разнообразным технологическим процессом, что делает задачу принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии их работы нетривиальной.

Грузовая станция Осенцы – тупиковая, примыкает к станции Ферма участка Пермь-2 – Кунгур однопутным перегонном, по объему работы является внеклассной, располагает путевым развитием, включающим приемоотправочный и сортировочный парки, а также парк отправления «О» (рисунок 4.1). Для формирования и расформирования поездов и маневровых передач, сортировки вагонов на станции имеется механизированная горка малой мощности с одним вытяжным путем и одним путем надвига.

Станция Осенцы выбрана объектом внедрения методических разработок по ряду причин. Во-первых, она имеет сложную конфигурацию парков и горловин и обладает значительным парком маневровых локомотивов. Во-вторых, станция обслуживает нефтеперерабатывающий завод, что обуславливает сложность технологического процесса, связанного с промывкой-пропаркой и подготовкой вагонов под налив нефтепродуктов. В-третьих, отличительной особенностью тупиковой станции является работа только с местными вагонами.

Грузовая работа станции осуществляется на железнодорожных путях необщего пользования промышленных предприятий ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез», филиала «ПМУ» АО «ОХК «УРАЛХИМ», ОАО «Пермская агропромхимия», АО «Сибур-Химпром» и ООО «Урал-Миг».

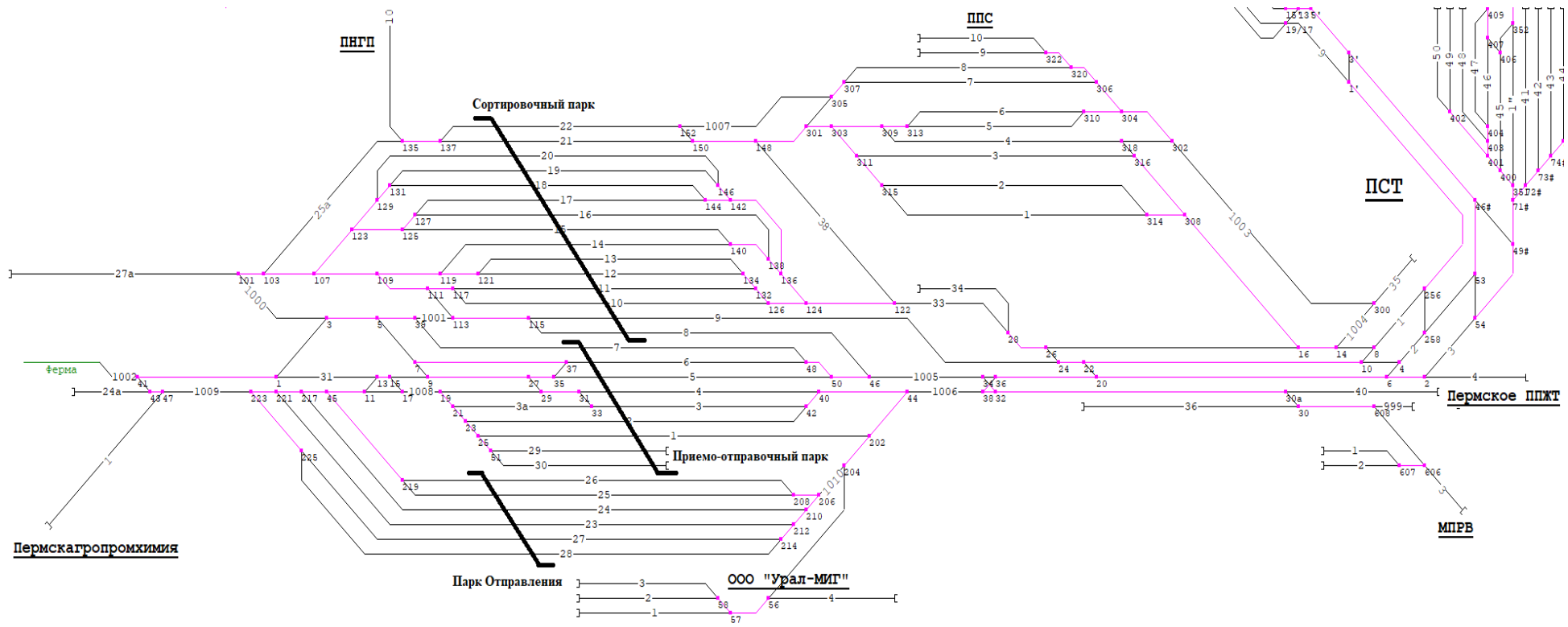


Рисунок 4.1 – Схема путевого развития станции Осенцы

Для предоставления качественных услуг примыкающим предприятиям на территории железнодорожной станции расположен пункт технического обслуживания (ПТО) вагонов и промывочно-пропарочная станция (ППС).

Предприятия находятся в процессе постоянного развития, расширяя номенклатуру и объемы производства основных видов продукции. Наблюдается ежегодное увеличение планов отгрузки готовой продукции, в связи с чем повышается и величина потока порожних вагонов под погрузку, что также сказывается и на загрузке ППС.

По данным аналитиков, в перспективе увеличение объемов переработки достигнет 850 вагонов в сутки. При этом на грузовые фронты предприятий должно обеспечиваться следующее среднесуточное поступление вагонов:

1. ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» – 450 единиц, в том числе:
 - на ПСТ – 390 единиц;
 - на РХ – 60 единиц;
 - на ПНГП – 180 единиц.
2. Филиал «ПМУ» АО «ОХК «УРАЛХИМ» (ПМУ) – 56-73 единицы.
3. АО «Сибур-Химпром» – 42 единицы.
4. ОАО «Пермсагропромхимия» (ПАПХ) – 65 единиц.
5. ППЖТ – 40 единиц.
6. ООО «Урал-Миг» – 5-13 единиц.

Таким образом, для реализации потребностей промышленных предприятий необходимо оценить работу станции и согласовать параметры структуры и технологии работы при условии повышения величины транспортного потока.

4.2 Формирование «дерева решений»

Процесс исследования с целью формирования решений по согласованию параметров структуры и технологии работы начинается с разработки

имитационной модели станции. Для качественной оценки работы станции и получения достоверных результатов необходимо, чтобы технология соответствовала структуре. В связи с этим осуществлена предварительная подготовка модели и ее верификация: произведена оценка соответствия пропускной и перерабатывающей способности станции заданному входному потоку, проанализированы «узкие места» структуры и технологии, выполнена адаптация технологии к структуре. Однако для достижения структурной целостности транспортного объекта, другими словами, ликвидации дисбаланса в параметрах станционных устройств и технологического процесса, этого недостаточно, поэтому приступаем к формированию решений для согласования параметров структуры и технологии железнодорожной станции Осенцы.

Реализация предложенной в диссертационном исследовании методики формирования «дерева решений» начинается с определения «узких мест» структуры и технологии, а также элементов с избыточной пропускной или перерабатывающей способностью. Для этого в рамках разработанного алгоритма (рисунок 3.4) определяется соответствие наличной и потребной пропускной способности станции. Результаты расчетов на имитационной модели показали, что станция не справляется с заявленными объемами переработки. Необеспечение путей необщего пользования вагонами: ПСТ – 65 вагонов, ПНГП – 29 вагонов, ПМУ – 11 вагонов, «Сибур» – 20 вагонов, ПАПХ – 3 вагона, ППЖТ – 5 вагонов (таблица 4.1). Так как наличная пропускная способность станции ниже потребной, то следующим шагом в работе алгоритма (рисунок 3.4, блок 3) стало определение элементов структуры и технологического процесса, лимитирующих пропускную и перерабатывающую способность. При анализе результатов расчета установлено, что нехватка перерабатывающей способности бригады ПТО является «узким местом», ограничивающим перерабатывающую способность рассматриваемого объекта (рисунок 4.2).

**Суммарные задержки в системе
более 114 часов**

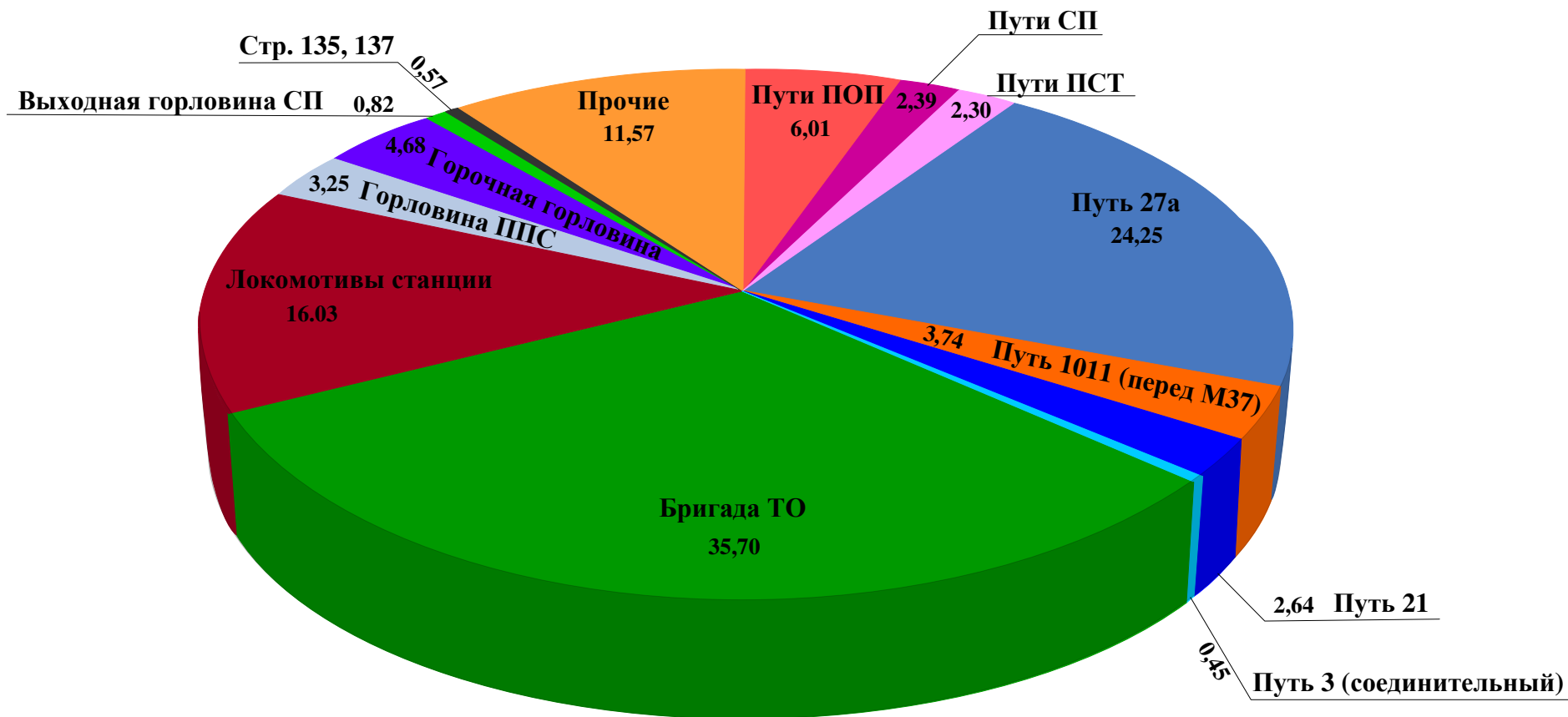


Рисунок 4.2 – Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой, на станции Осенцы (вариант № 1), ч.

Таблица 4.1 – Среднесуточное количество поданных вагонов на пути необщего пользования (базовый эксперимент)

Место подачи	Среднее количество поданных вагонов	Требуемый объем поступления вагонов
ПСТ	325 (недостаток 65 вагонов)	390
РХ	72	60
ПНГП	151 (недостаток 29 вагонов)	180
ПМУ	45 (недостаток 11 вагонов)	56-73
«Сибур»	22 (недостаток 20 вагонов)	42
ПАПХ	62 (недостаток 3 вагона)	65
ППЖТ	35 (недостаток 5 вагонов)	40
«Урал-Миг»	20	5-13

Следующий шаг в алгоритме – разработка вариантов повышения перерабатывающей способности с использованием имитационной модели (рисунок 3.4, блок 4) и «конференции идей» (рисунок 3.4, блок 5). Для проведения расчетов с применением модели важно определить вариант и шаг повышения перерабатывающей способности ограничивающего элемента. В связи с этим перед использованием алгоритма (рисунок 3.5) определены меры по увеличению перерабатывающей способности ограничивающего элемента (бригады ПТО). Так, шагом повышения перерабатывающей способности бригад ПТО является введение дополнительной группы осмотровиков в одну из бригад.

Для оценки разрабатываемых вариантов выполнен расчет максимально допустимых задержек из-за обслуживающего устройства D_e^{max} . Эксперименты на имитационной модели показали, что бригады ПТО способны обеспечивать переработку заданного вагонопотока при $D_e^{max}=1,95$ ч/сост. Дальнейшее увеличение задержек приводит к неприему поездов. Потребная перерабатывающая способность бригад ПТО составляет $N_{п}=27$ сост./сут.

В результате использования алгоритма разработки вариантов повышения пропускной или перерабатывающей способности элемента структуры (рисунок 3.5) определен вариант, позволяющий обеспечить достижение потребной перерабатывающей способности рассматриваемого элемента: ввод по дополнительной группе осмотровиков в каждую из бригад ПТО.

Параллельно с разработкой вариантов на имитационной модели

проводилась «конференция идей», посвященная повышению перерабатывающей способности бригад ПТО. В соответствии с правилами выбора участников была сформирована рабочая группа экспертов, включающая представителей от Свердловской железной дороги, промышленных предприятий и отраслевого вуза.

Ввиду того что эффективность генерируемых решений зависит от строгого соблюдения сформулированных правил, особое внимание уделено помещению и подготовке экспертов к заседанию рабочей группы. Для проведения заседания выбран конференц-зал с круглым столом. Ключевыми факторами выбора помещения также были высокий уровень шумоизоляции и наличие установки кондиционирования воздуха. Для получения качественных результатов перед заседанием рабочей группы проведен инструктаж, в рамках которого до экспертов доведены правила поведения и информация о выявленных «узких местах» структуры, выданы разработанные классификаторы решений.

Только после соблюдения требуемых условий проведения «конференции идей» проведено заседание рабочей группы, на котором скрупулезно зафиксированы следующие идеи и предложения:

1. Увеличение числа групп в бригадах ПТО.
2. Снижение неравномерности прибытия поездов со станции Пермь-Сортировочная.

После «конференции идей» проведена дискуссия с целью критики сформированных решений (рисунок 3.4, блок 6). Все варианты признаны реализуемыми. В результате сформировано множество альтернатив (рисунок 4.3).

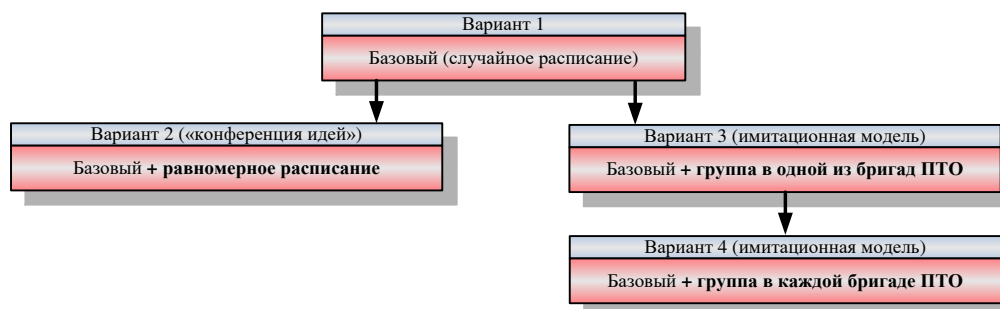


Рисунок 4.3 – Схема расчетов вариантов повышения перерабатывающей способности станции за счет бригад ПТО

После формирования множества физически реализуемых решений данное множество необходимо проверить на соответствие разработанному ограничению (рисунок 3.7). Результаты расчетов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчеты вариантов повышения перерабатывающей способности бригад ПТО

Показатель	Вариант 2 (равномерное расписание)	Вариант 4 (группа в каждой бригаде ПТО)
Наличная перерабатывающая способность N_e , сост./сут	25	27
Задержки из-за бригад ПТО D_e , ч/сост.	0,93	0,08

Исходя из таблицы 4.2 вариант со снижением неравномерности прибытия поездов со станции Пермь-Сортировочная не обеспечивает достижение потребной перерабатывающей способности, однако значительно снижает задержки, вызываемые бригадами ПТО (рисунок 4.4). Для того чтобы не потерять потенциально эффективное решение, сформированное экспертами во время «конференции идей», необходимо улучшить данный вариант на основе синтетического подхода (рисунок 3.4 блок 9). С этой целью в дополнение к равномерному расписанию предложено добавить группу в одну из бригад ПТО (рисунок 4.5). Результаты расчетов представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет варианта повышения перерабатывающей способности бригад ПТО, сформированного в результате синтеза решений

Показатель	Вариант 5 (равномерное расписание + группа в одной из бригад ПТО)	Вариант 4 (группа в каждой бригаде ПТО)
Наличная перерабатывающая способность N_e , сост./сут	27	27
Задержки из-за бригад ПТО D_e , ч/сост.	0,15	0,08

**Суммарные задержки в системе
более 96 часов**

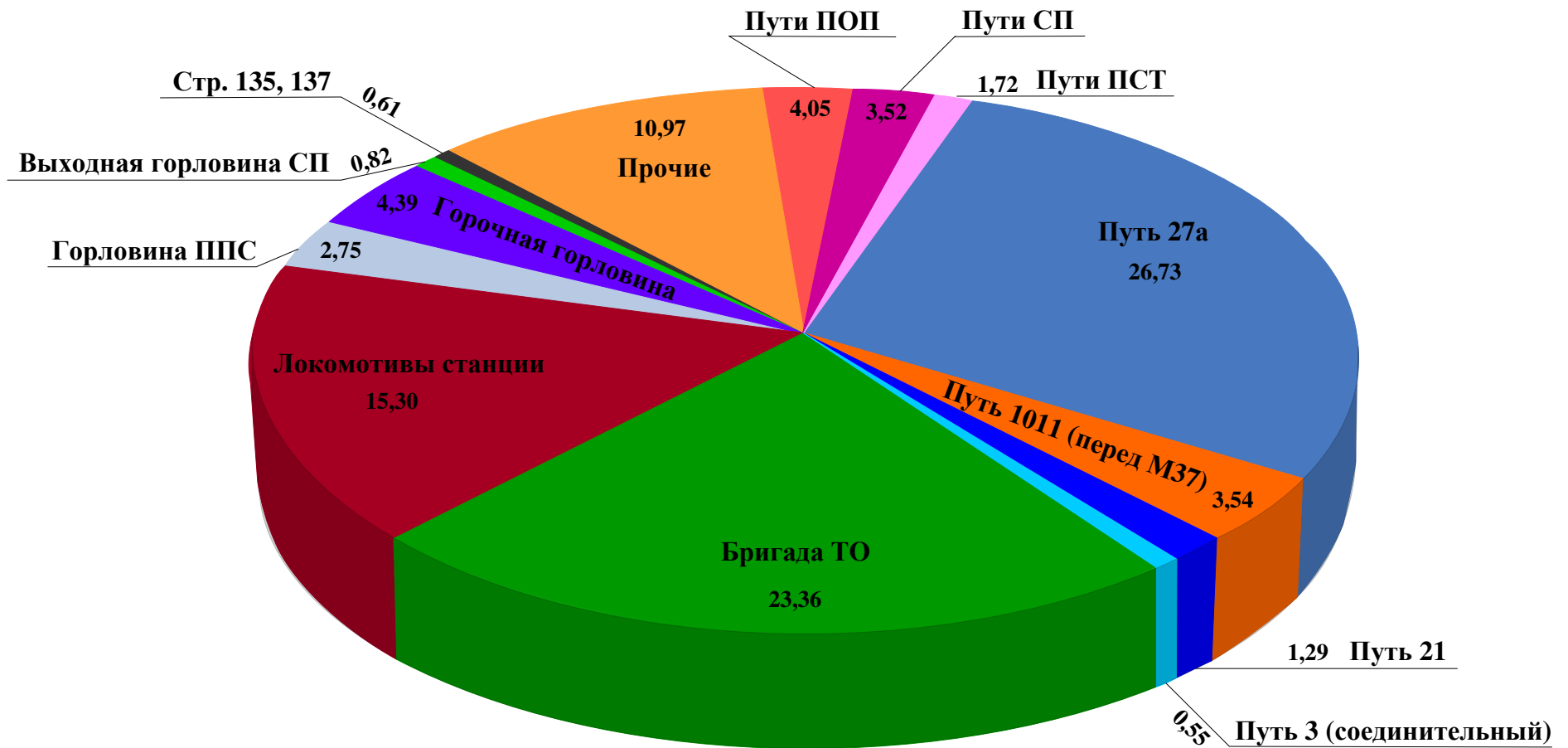


Рисунок 4.4 – Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой, на станции Осенцы (вариант №2), ч.

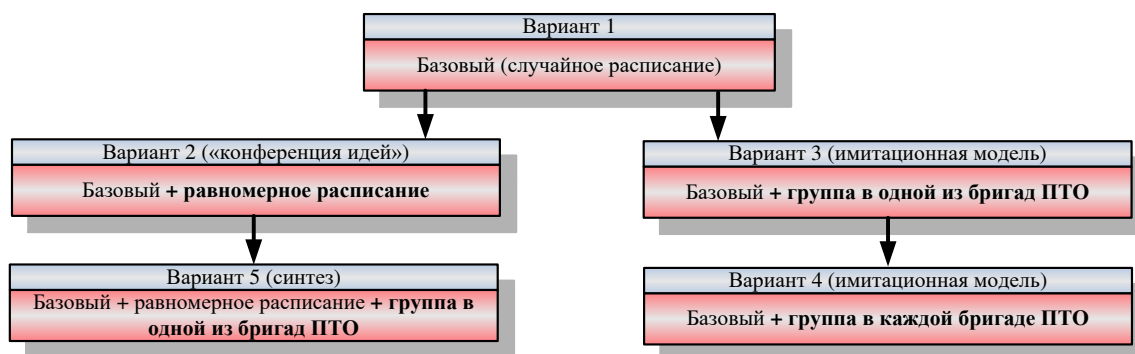


Рисунок 4.5 – Схема расчетов вариантов повышения перерабатывающей способности станции за счет бригад ПТО, дополненная вариантом, сформированным в результате синтеза решений

Исходя из таблицы 4.3 оба рассматриваемых варианта удовлетворяют условию $D_e \leq D_e^{max}$ и позволяют достичь потребной перерабатывающей способности бригад ПТО в 27 сост./сут, однако реализация рассматриваемых мероприятий не привела к достижению потребной перерабатывающей способности станции (таблицы 4.4, 4.5). Поэтому выполняем еще одну итерацию алгоритма формирования «дерева решений». Для этого вновь определяем «узкие места» структуры и технологии работы станции Осенцы. После проведения расчетов определено, что наибольшие задержки возникают при выполнении операций по расформированию составов с сортировочной горки (таблицы 4.6 и 4.7).

Таблица 4.4 – Среднесуточное количество поданных вагонов на пути необщего пользования (вариант № 5 – равномерное расписание + группа в одной из бригад ПТО)

Место подачи	Среднее количество поданных вагонов	Требуемый объем поступления вагонов
ПСТ	363 (недостаток 30 вагонов)	390
РХ	81	60
ПНГП	144 (недостаток 36 вагонов)	180
ПМУ	46 (недостаток 10 вагонов)	56-73
«Сибур»	26 (недостаток 16 вагонов)	42
ПАПХ	68	65
ППЖТ	61	40
«Урал-Миг»	16	5-13

Таблица 4.5 – Среднесуточное количество поданных вагонов на пути необщего пользования (вариант № 4 – группа в каждой бригаде ПТО)

Место подачи	Среднее количество поданных вагонов	Требуемый объем поступления вагонов
ПСТ	336 (недостаток 54 вагонов)	390
РХ	78	60
ПНГП	132 (недостаток 48 вагонов)	180
ПМУ	39 (недостаток 17 вагонов)	56-73
«Сибур»	31 (недостаток 11 вагонов)	42
ПАПХ	69	65
ППЖТ	44	40
Урал-МИГ	19	5-13

Таблица 4.6 – Технологические операции, вызывающие наибольшие задержки (вариант № 5 – равномерное расписание + группа в одной из бригад ПТО)

Операция	Величина задержек, ч.
Повторный роспуск с 27а п. парка Сортировочный	6,97
Расформирование с 5 п. парка Приемоотправочный	5,77
Расформирование с 4 п. парка Приемоотправочный	5,4
Формирование подачи ППС светлые на 5,6 пути	4,02
Расформирование с 6 п. парка Приемоотправочный	3,98
Формирование подачи на ППС темные на 7,8 пути	2,98
Уборка с 8 п. парка ППС	2,75
Фиктивная для 2ППС	2,42
Локомотив резервом с 1 п. парка Приемоотправочный	2,3
Роспуск с ПНП с 3 пути ПОП	2,17

Таблица 4.7 – Технологические операции, вызывающие наибольшие задержки (вариант № 4 – группа в каждой бригаде ПТО)

Операция	Величина задержек, ч.
Расформирование с 4 п. парка Приемоотправочный	8,37
Расформирование с 7 п. парка Приемоотправочный	7,48
Расформирование с 5 п. парка Приемоотправочный	7,38
Расформирование с 6 п. парка Приемоотправочный	5,17
Уборка с 8 п. парка ППС	4,92
Повторный роспуск с 27а п. парка Сортировочный	4,68
Прием поезда с 7600	2,98
Фиктивная для 1ППС	2,72
Роспуск с ПНП с 3 пути ПОП	2,47
НЛ Прием поезда с 7600	2,45

Более подробный анализ показал, что задержки вызваны преимущественно занятостью локомотивов и вытяжного пути 27а (рисунки 4.6, 4.7).

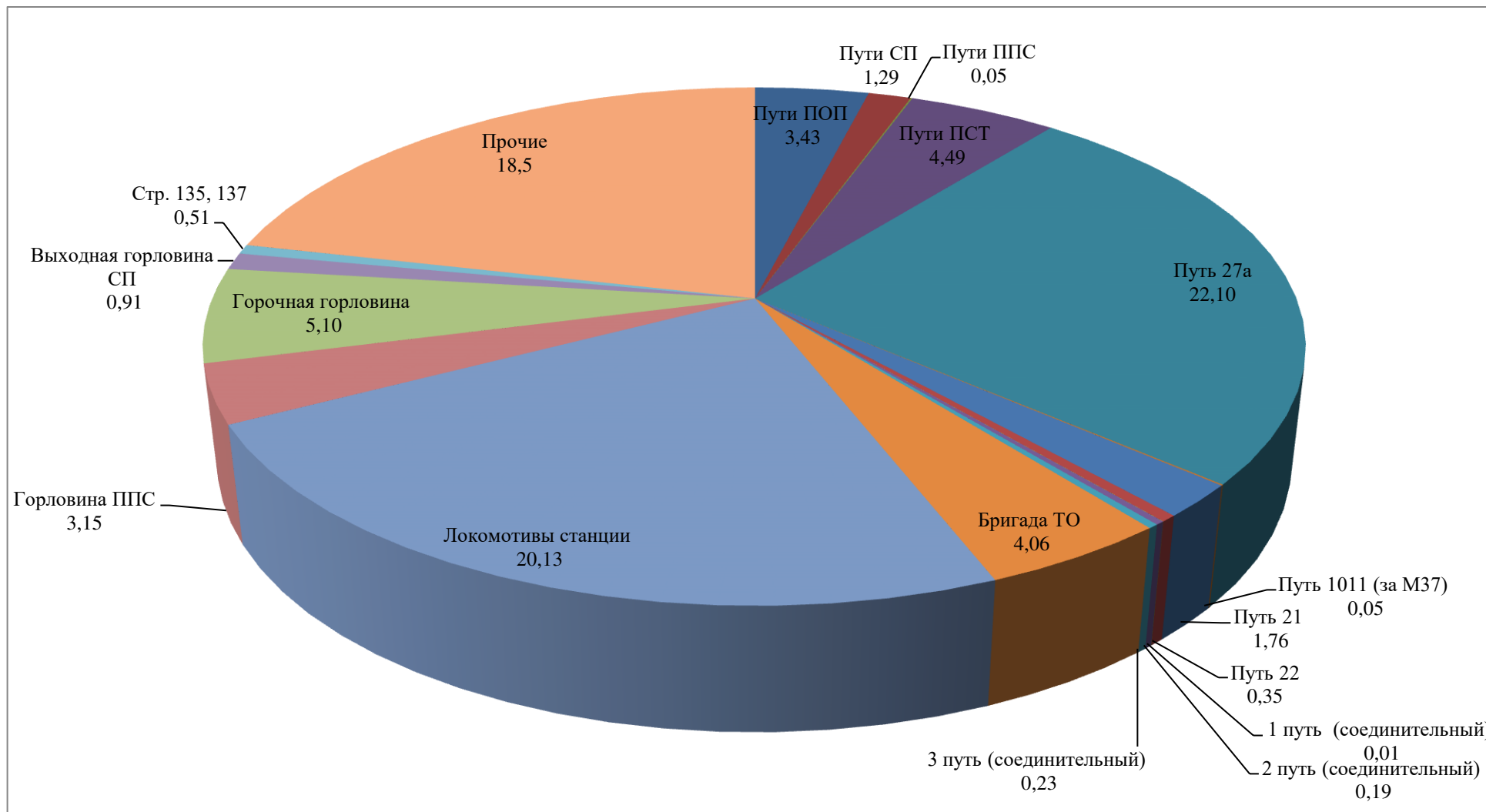


Рисунок 4.6 –Задержки технологических операций, вызываемые структурой, на станции Осенцы (вариант № 5), ч.

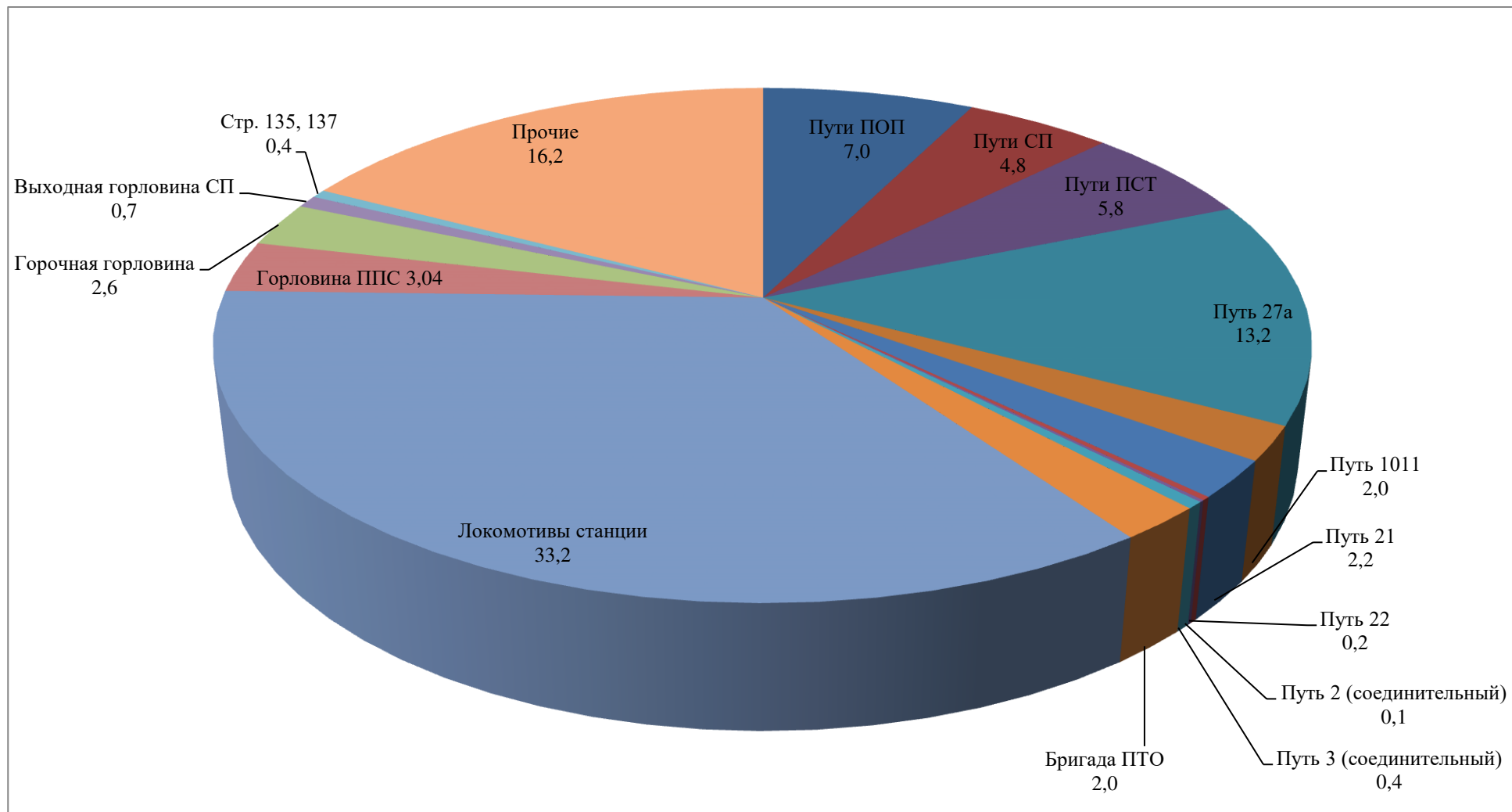


Рисунок 4.7 – Задержки технологических операций, вызываемые структурой, на станции Осенцы (вариант № 4), ч.

Для снижения задержек, возникающих при выполнении операций по расформированию составов с сортировочной горки, с помощью имитационной модели найдено технологическое решение, направленное на снижение объемов ее работы. Для этого предложено организовать поступление вагонов в передаточных поездах, сформированных в адрес отдельных грузоотправителей и грузополучателей.

Разработка вариантов повышения перерабатывающей способности станции проводилась также и с привлечением экспертов. Для этих целей проводилась «конференция идей», в результате которой сформировано множество решений, направленных на снижение задержек технологических операций, вызываемых сортировочной горкой:

1. Автоматизация сортировочной горки малой мощности на станции Осенцы.
2. Строительство двух выставочных путей в районе весового пути за ПСТ ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» для отстоя вагонов.
3. Удлинение сортировочных путей на станции Осенцы.
4. Увеличение количества маневровых локомотивов на станции Осенцы.
5. Проведение экологического осмотра цистерн на станции Пермь-Сортировочная.

После «конференции идей» проведена дискуссия с целью критики сформированных решений. В рамках дискуссии выявлена физическая невозможность удлинения сортировочных путей, обусловленная ограниченностью станционной площадки.

В результате сформировано множество физически реализуемых альтернатив в рамках второй итерации алгоритма формирования «дерева решений» (рисунок 4.8, варианты 6-13).

При проверке сформированного множества альтернатив на соответствие потребной перерабатывающей способности (таблица 4.8) выявлено, что варианты, предложенные в рамках «конференции идей», не обеспечивают переработку перспективного вагонопотока, но значительно улучшают работу станции.

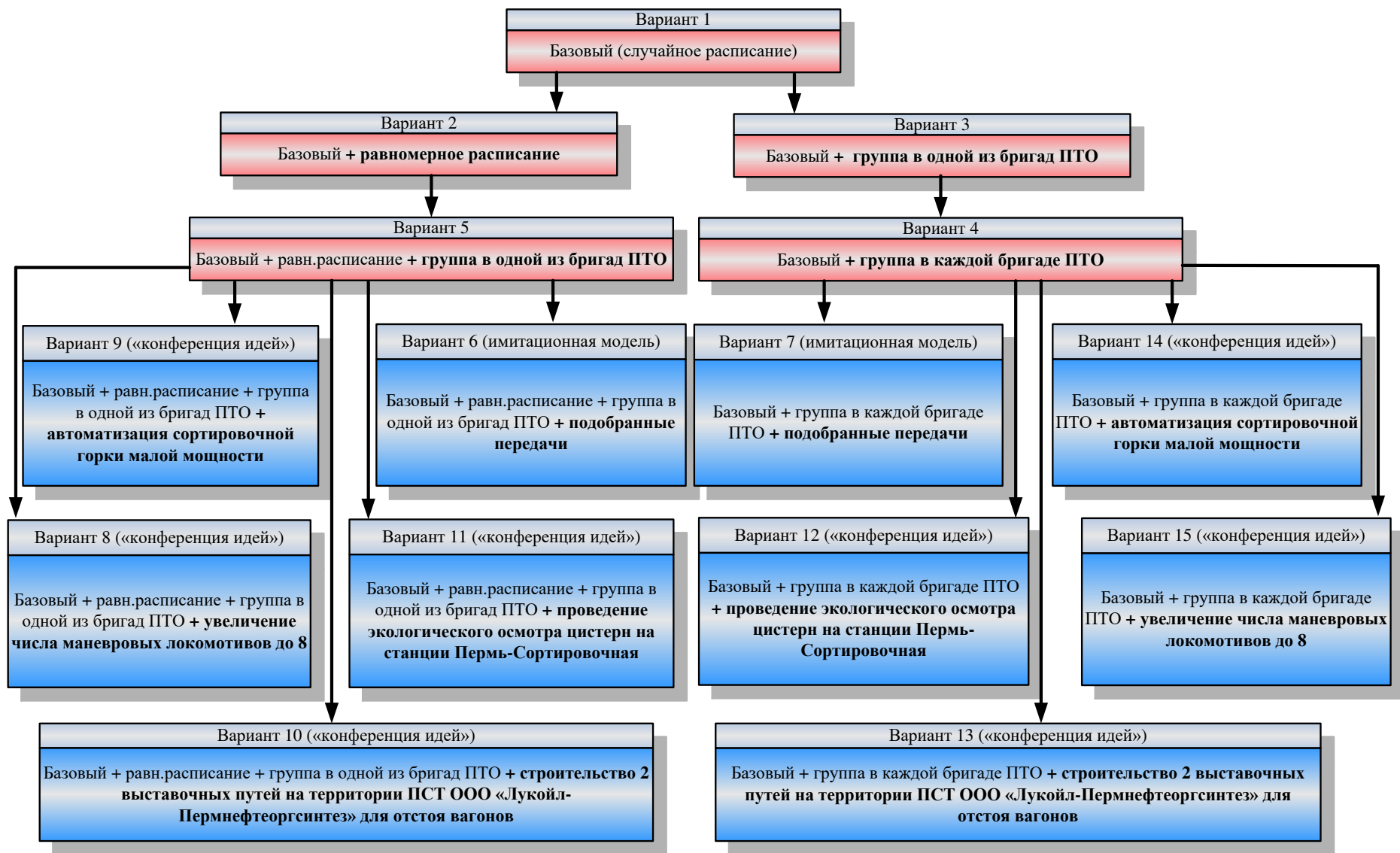


Рисунок 4.8 – Схема расчетов вариантов повышения перерабатывающей способности станции

Так, все варианты, кроме проведения экологического осмотра цистерн на станции Пермь-Сортировочная, значительно повышают перерабатывающую способность горки, поэтому следующим шагом является дополнение данных вариантов решениями, сформулированными с применением имитационного моделирования. Варианты 11 и 12 исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Таблица 4.8 – Показатели работы станции при реализации мер из множества X_{ϕ}

№ варианта	Описание варианта	Обеспечение путей необщего пользования (ПНП) вагонами, проверка по критерию $N_{\dot{x}} \geq N_{\Pi}$	Увеличение объемов переработки по сравнению с предыдущим вариантом
6	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи	Полное обеспечение ПНП вагонами	Увеличение переработки на 88 вагонов
7	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи	Полное обеспечение ПНП вагонами	Увеличение переработки на 156 вагонов
8	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + увеличение числа маневровых локомотивов станции до 8	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – 16 вагонов, ПНГП – 36 вагонов, «Сибур» – 6 вагонов, ПМУ – 15 вагонов	Увеличение переработки на 21 вагон
9	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + автоматизация сортировочной горки малой мощности	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – 6 вагонов, ПНГП – 9 вагонов, ПМУ – 9 вагонов, «Сибур» – 15 вагонов, ППЖТ – 5 вагонов	Увеличение переработки на 17 вагонов
10	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + строительство 2 выставочных путей на территории ПСТ ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» для отстоя вагонов	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – 17 вагонов, ПНГП – 28 вагонов, ПМУ – 6 вагонов, «Сибур» – 10 вагонов	Увеличение переработки на 16 вагонов
11	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + проведение экологического осмотра цистерн на станции Пермь-Сортировочная	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – 29 вагонов, ПНГП – 42 вагонов, «Сибур» – 12 вагонов	Увеличение переработки на 1 вагон

Окончание таблицы 4.8

№ варианта	Описание варианта	Обеспечение путей необщего пользования (ПНП) вагонами, проверка по критерию $N_{\dot{x}} \geq N_{\Pi}$	Увеличение объемов переработки по сравнению с предыдущим вариантом
12	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + проведение экологического осмотра цистерн на станции Пермь-Сортировочная	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – 46 вагонов, ПНГП – 41 вагон, «Сибур» – 10 вагонов ПШЖТ – 9 вагонов	Увеличение переработки на 5 вагонов
13	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + строительство 2 выставочных путей на территории ПСТ ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» для отстоя вагонов	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – 31 вагон, ПНГП – 39 вагонов, ПМУ – 6 вагонов, «Сибур» – 15 вагонов, ПШЖТ – 6 вагонов	Увеличение переработки на 24 вагона
14	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + автоматизация сортировочной горки малой мощности	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – 42 вагона, ПНГП – 41 вагон, ПМУ – 18 вагонов, «Сибур» – 13 вагонов	Увеличение переработки на 38 вагонов
15	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + увеличение числа маневровых локомотивов станции до 8	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – 30 вагонов, ПНГП – 33 вагона, ПМУ – 6 вагонов, «Сибур» – 17 вагонов	Увеличение переработки на 48 вагонов

Для формирования исчерпывающего исходного множества альтернатив в рамках второй итерации алгоритма построения «дерева решений» необходимо сформировать варианты на основе синтеза решений, определенных на этапе моделирования и «конференции идей». Для этого на основе методики, описанной в разделе 3.3.6, комбинируем решения, сформированные на этапе имитационного моделирования и «конференции идей» (рисунок 4.9).

Достижение цели исследования станции, а именно построения ее целостной структуры и технологии работы в условиях недостаточности перерабатывающей способности, требует проверки решений на соответствие сформулированному ограничению.

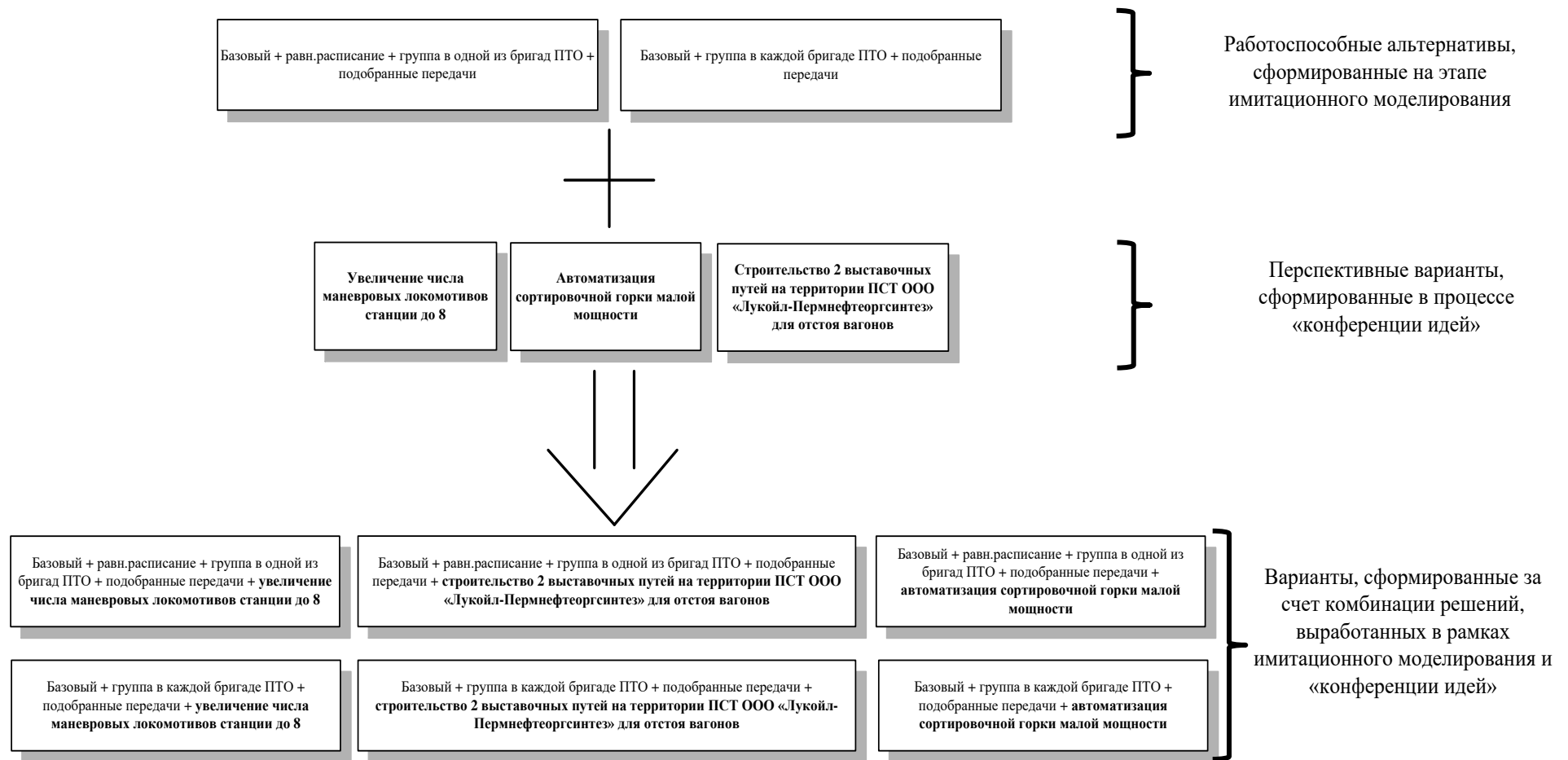


Рисунок 4.9 – Формирование альтернатив на основе синтеза решений, выработанных в рамках имитационного моделирования и «конференции идей»

Для этого необходимо оценить работоспособность физически реализуемых решений X_{ϕ} с применением разработанного алгоритма формирования множества работоспособных решений (рисунок 3.7).

Работа алгоритма предусматривает проведение расчетов на имитационной модели станции Осенцы с целью определения показателей работы объекта при реализации мер из множества X_{ϕ} и проверки их на соответствие выбранному критерию. Результаты расчетов на модели станции Осенцы приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Показатели работы станции при реализации мер из множества X_{ϕ}

№ варианта	Описание варианта	Обеспечение путей необщего пользования (ПНП) вагонами, проверка по критерию $N_{\hat{x}} \geq N_{\Pi}$
6	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи	Полное обеспечение ПНП вагонами
7	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи	Полное обеспечение ПНП вагонами
16	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи + увеличение числа маневровых локомотивов станции до 8	Полное обеспечение ПНП вагонами
17	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи + строительство 2 выставочных путей на территории ПСТ ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» для отстоя вагонов	Полное обеспечение ПНП вагонами
18	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи + автоматизация сортировочной горки малой мощности	Полное обеспечение ПНП вагонами
19	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи + увеличение числа маневровых локомотивов станции до 8	Полное обеспечение ПНП вагонами
20	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи + строительство 2 выставочных путей на территории ПСТ ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» для отстоя вагонов	Полное обеспечение ПНП вагонами
21	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи + автоматизация сортировочной горки малой мощности	Полное обеспечение ПНП вагонами

Результаты расчетов показали, что все варианты удовлетворяют ограничениям по перерабатывающей способности, образуют множество X_p и

переходят на этап формирования множества допустимых решений.

Следующий шаг в работе алгоритма формирования «дерева решений» (рисунок 3.4) – выявление элементов структуры с избыточной пропускной или перерабатывающей способностью. В рамках экспериментов установлено, что загрузка маневровых локомотивов станции не превышает 26 %, что, на первый взгляд, говорит об избыточности такого количества локомотивов. Для выработки решений с использованием информации об элементе с низкой загрузкой, полученной на имитационной модели, проведена «конференция идей». В результате моделирования и «конференции идей» выработано единое мнение о важности проведения оценки пропускной и перерабатывающей способности станции при уменьшении числа маневровых локомотивов до 6. С целью снижения риска формирования избыточных решений необходимо в первую очередь проверить влияние снижения числа локомотивов на варианты № 6 и № 7. Результаты расчетов представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Показатели работы станции при реализации мер по уменьшению избыточной пропускной способности группы маневровых локомотивов

№ варианта	Описание варианта	Обеспечение путей необщего пользования (ПНП) вагонами, проверка по критерию $N_x \geq N_n$
22	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи + уменьшение числа маневровых локомотивов станции до 6	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – недостаток 30 вагонов, ПНГП – недостаток 31 вагона, «Сибур» – недостаток 6 вагонов, ППЖТ – недостаток 5 вагонов
23	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи +уменьшение числа маневровых локомотивов станции до 6	Необеспечение ПНП вагонами: ПСТ – недостаток 30 вагонов, ПНГП – недостаток 18 вагонов, «Сибур» – недостаток 9 вагонов, ППЖТ – недостаток 8 вагонов

Уменьшение числа маневровых локомотивов негативно повлияло на работоспособность станции и не позволило обеспечить требуемую перерабатывающую способность, в связи с чем снижение числа локомотивов на станции нерационально.

В результате исследования построено «дерево решений» (приложение Б, рисунки Б.1 – Б.3), которое позволит сформировать множество допустимых

альтернатив, обеспечить выбор наиболее рационального варианта повышения перерабатывающей способности станции Осенцы и минимизирует риск потери потенциально эффективного решения.

4.3 Выбор рационального варианта повышения перерабатывающей способности железнодорожной станции

Введенные ограничения позволяют сузить исходное множество альтернатив до множества допустимых. В случае если допустимых решений больше одного, то требуется дальнейшее сужение множества решений. Если действовать рационально, то при решении многокритериальной задачи необходимо определить область недоминируемых решений – множество Парето. Для этого на основе результатов проведенных экспериментов определяем среднее выборочное по рассматриваемым критериям для всех $\hat{x} \in X_d$ [110]. Значения критериев по всем допустимым альтернативам приведены в таблице 4.11 и показаны на рисунке 4.10.

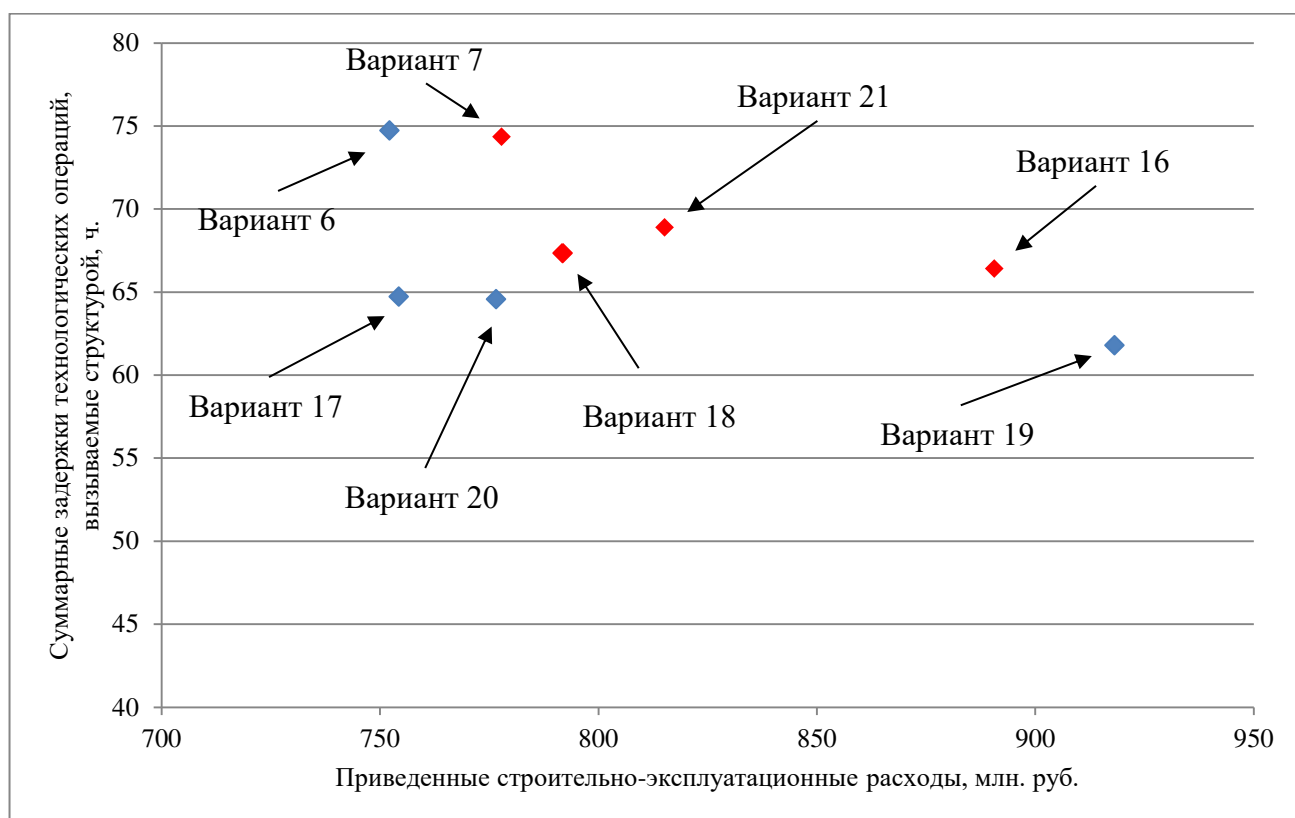
Таблица 4.11 – Значения выборочных средних по критериям «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» и «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы»

№ варианта	Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой, ч	Приведенные строительно-эксплуатационные расходы, млн руб.
6	74,72	752,202
7	74,36	777,791
16	66,42	890,593
17	64,72	754,337
18	67,35	791,779
19	61,78	918,217
20	64,56	776,642
21	68,90	815,126

На основе расчетов характеристик выборочных совокупностей по каждой из рассматриваемых альтернатив (см. таблицу 4.11 и рисунок 4.10) по формуле (3.4)

определим множество недоминируемых по Парето решений X_0 [110].

В результате попарного сравнения альтернатив неэффективными по Парето оказались варианты № 7, № 16, № 18 и № 21, в связи с чем они исключаются из дальнейшего исследования. Таким образом, множество недоминируемых решений X_0 включает в себя альтернативы № 6, № 17, № 19, № 20.



Синие точки – множество недоминируемых решений, красные точки – множество неэффективных по Парето решений

Рисунок 4.10 – Определение множества Парето

Для принятия решения необходимо дальнейшее исследование альтернатив $\hat{x} \in X_0$, что предусматривает проведение дополнительных прогонов по каждому недоминируемому решению. Ввиду того что связь альтернатив с исходами не является детерминированной, для выбора наиболее эффективного решения необходимо рассчитать и построить эллипсы рассеивания. Для этого следует, во-первых, рассчитать числовые характеристики выборочных совокупностей по двум критериям: «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» и «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой»

[110].

Результаты расчета выборочных совокупностей по формулам (3.5 – 3.8) приведены в таблицах 4.12 и 4.13.

Таблица 4.12 – Характеристики выборочных совокупностей для критерия «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой»

№ варианта	Выборочное среднее	Доверительный интервал		Выборочная дисперсия	Выборочное среднее квадратическое отклонение
		min	max		
6	74,92	72,05	77,79	102,15	10,11
17	64,67	61,92	67,44	94,04	9,70
19	62,90	59,76	66,04	122,15	11,05
20	66,46	62,92	70,01	155,44	12,47

Таблица 4.13 – Характеристики выборочных совокупностей для критерия «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» (в млн руб.)

№ варианта	Выборочное среднее	Доверительный интервал		Выборочная дисперсия	Выборочное среднее квадратическое отклонение
		min	max		
6	753,164	751,711	754,616	26,12	5,11
17	753,981	752,317	755,645	34,29	5,86
19	919,318	917,779	920,857	29,32	5,41
20	783,764	781,287	786,240	75,93	8,71

Вторым шагом при построении эллипсов рассеивания является корреляционный анализ. На основе информации о статистической зависимости или независимости рассматриваемых критериев определяется угол наклона эллипсов рассеивания. Результаты корреляционного анализа приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Корреляционная статистика

№ варианта	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	$T_{\text{набл}}$	$T_{\text{кр}}$
6	0,478908	0,229353	3,779596	2,010635
17	0,690484	0,476768	6,613430	2,010635
19	0,584912	0,342122	4,996188	2,010635
20	0,342579	0,117360	2,526325	2,010635

Так как $|T_{\text{набл}}| > T_{\text{кр}}$, значения критериев по вариантам № 6, № 17, № 19 и № 20 являются коррелированными. Из-за корреляции между критериями оси

эллипсов не станут совпадать с осями координат, а будут иметь наклон, зависящий от коэффициента корреляции.

Получив всю необходимую информацию, а именно характеристики выборочных совокупностей и коэффициент корреляции, приступаем к построению эллипсов рассеивания. В первую очередь по формуле (3.12) определяем угол наклона эллипсов по отношению к осям координат. С учетом угла поворота эллипса по формуле (3.14) рассчитываем σ_1 и σ_2 . Результаты расчетов приведены в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Параметры эллипсов рассеивания

№ варианта	Угол наклона, °	σ_1	σ_2	$\chi\sigma_1$	$\chi\sigma_2$
6	-18,12	0,66	1,49	1,61	3,64
17	-24,68	0,60	1,48	1,48	3,63
19	-18,51	0,59	1,64	1,45	4,01
20	-21,56	1,11	1,84	2,71	4,52

На основе рассчитанных параметров получаем эллипсы рассеивания (рисунок 4.11).

Опрос ЛПР показал значительное преобладание важности критерия «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» над критерием «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» в связи с чем оценка альтернатив производилась с применением алгоритма принятия решений, учитывающего паритетность вариантов по критерию сравнительной экономической эффективности (рисунок 3.10).

Так как эллипсы рассеивания не пересекаются, то рассматриваемые альтернативы существенно различаются, их необходимо рассматривать как существенно различающиеся варианты. Однако исходя из рисунка 4.11, доверительные интервалы для СКО по критерию «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» по альтернативам № 6 и № 17 имеют общие части, в связи с чем целесообразно проверить гипотезу о равенстве средних в группе. Для оценки значимости различий между средними по критерию «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» выполнен однофакторный дисперсионный анализ, результаты которого приведены в таблице 4.16.

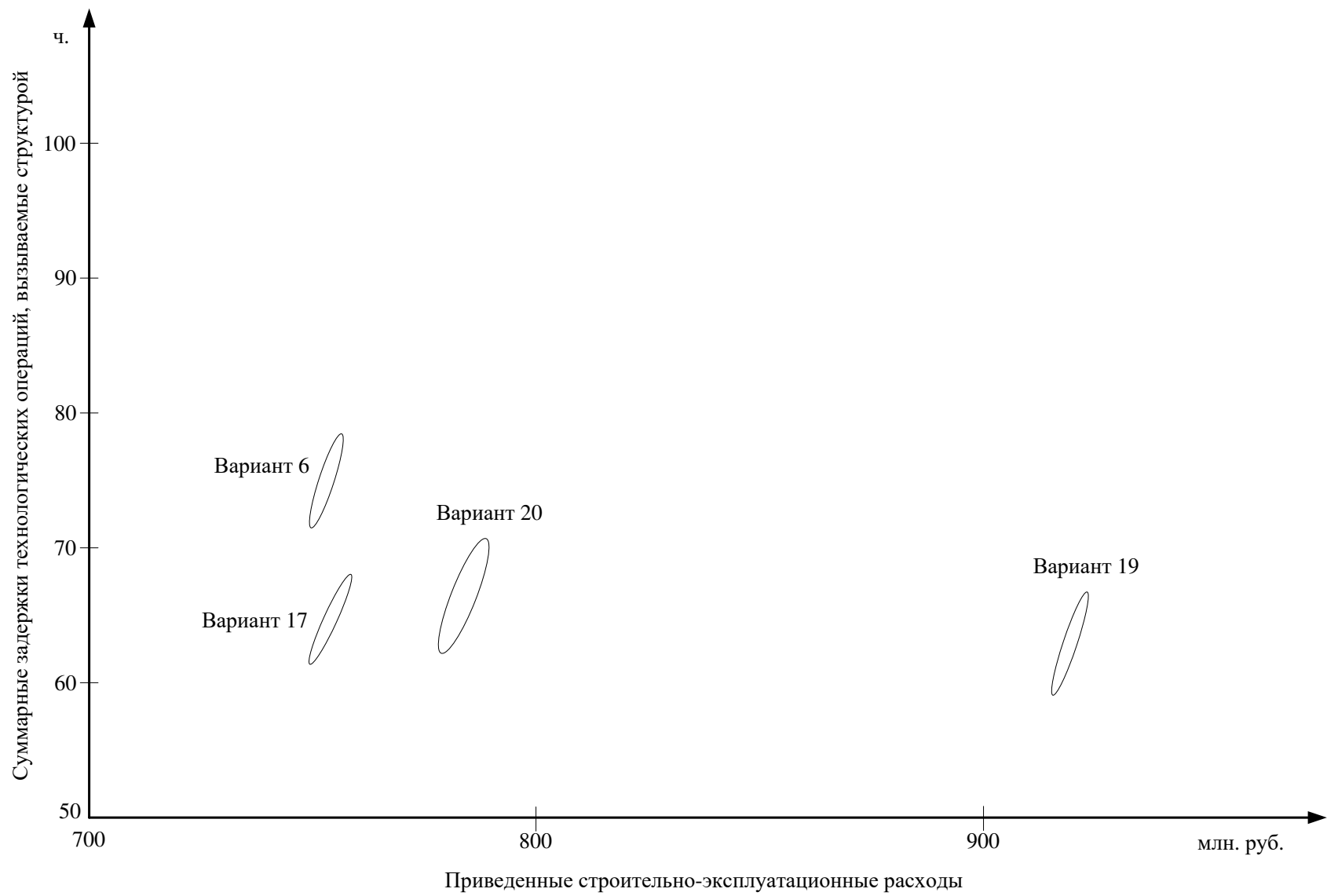


Рисунок 4.11 – Эллипсы рассеивания рассматриваемых альтернатив

Таблица 4.16 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по альтернативам № 6 и № 17

Источник вариации	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	$F_{набл}$	$F_{кр}$
Между группами	16,710	1	16,710	0,553	3,938
Внутри групп	2960,097	98	30,205		
Итого	2976,807	99			

Так как $F_{набл} < F_{кр}$, то нулевая гипотеза о равенстве математических ожиданий принимается. Выборочные средние по критерию «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» различаются незначимо.

Ввиду несущественного различия между математическими ожиданиями по критерию «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы», альтернативы № 6 и № 17 признаются паритетными по экономической эффективности, в связи с чем появляется возможность сравнить данные альтернативы по критерию «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой».

При сравнении паритетных альтернатив № 6 и № 17 определено, что неэффективным является вариант № 6, так как по критерию «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» он имеет большее значение относительно варианта № 17.

В результате наиболее рациональный вариант повышения перерабатывающей способности станции – альтернатива № 17, так как она, при паритетных с вариантом № 6 значениях экономической эффективности по критерию «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы», позволяет обеспечить более гармоничное согласование параметров структуры и технологии работы железнодорожной станции, что выражается в меньших значениях по критерию «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой».

Таким образом, построение эллипсов рассеивания и проведение однофакторного дисперсионного анализа позволило более подробно изучить альтернативные решения, математически обосновать паритетность рассматриваемых вариантов и принять наиболее рациональное решение на основе критерия «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые

структурой» [110].

4.4 Эффективность методики принятия решений

4.4.1 Эффективность методики формирования альтернативных решений

Для оценки эффективности разработанной методики принятия решений организована работа второй группы экспертов в рамках «конференции идей» с целью выработки решений по повышению перерабатывающей способности станции Осенцы. В отличие от группы экспертов, принимавших участие в реализации синтетического подхода к формированию решений, данная группа не имела информации об «узких местах» работы станции и им не предлагались классификаторы решений по согласованию параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций. Результаты «конференции идей» и проверка работоспособности предложенных решений приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Показатели работы станции при реализации мер, предложенных в рамках «конференции идей»

№	Описание варианта	Возможность реализации проекта по местным условиям	Обеспечение путей необщего пользования (ПНП) вагонами, проверка по критерию $N_{\dot{x}} \geq N_{\Pi}$
1.	Удлинение сортировочной вытяжки и обеспечение выхода с 1, 2 путей приемоотправочного парка	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
2.	Перепрофилирование горки	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
3.	Увеличение числа маневровых локомотивов до 8	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
4.	Уменьшение числа маневровых локомотивов до 6	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
5.	Уменьшение времени осмотра составов на станции	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами

Окончание таблицы 4.17

№	Описание варианта	Возможность реализации проекта по местным условиям	Обеспечение путей необщего пользования (ПНП) вагонами, проверка по критерию $N_{\hat{x}} \geq N_{\Pi}$
6.	Исключение потоков на ПМУ, «Сибур» из переработки станции Осенцы за счет строительства выхода на перегон Осенцы – Ферма	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
7.	Исключение грузенного вагонотока с ПСТ на станцию Осенцы за счет строительства выхода на перегон Осенцы – Ферма	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
8.	Исключение потоков на предприятия ПАПХ и «Урал-Миг» за счет строительства выхода на перегон Осенцы – Ферма	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
9.	Исключение потоков на ПНПП за счет строительства выхода на перегон Осенцы – Ферма	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
10.	Проведение экологического осмотра вагонов на станции Пермь-Сортировочная	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
11.	Удлинение сортировочных путей на станции Осенцы	Вариант физически нереализуем	–
12.	Удлинение на предприятии «Урал-Миг» двух выставочных путей	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
13.	Организация движения поездов между станцией Осенцы и станцией Пермь-Сортировочная по жестким ниткам графика	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами
14.	Перенос части сортировочной работы на станцию Пермь-Сортировочная	Возможность реализации существует	Необеспечение ПНП вагонами

Результаты расчетов на модели железнодорожной станции Осенцы показали, что все предложенные варианты не позволяют обеспечить требуемую перерабатывающую способность станции.

Для того чтобы учесть нестандартные решения экспертов и не упустить наиболее эффективные из них, работоспособные решения, выработанные на этапе имитационного моделирования (приложение В) дополняются вариантами сформированными в рамках «конференции идей» (приложение Г).

Сравнение эффективности методик формирования альтернативных решений представлено в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Сравнение эффективности методик формирования альтернативных решений

Наименование	Количество рассчитываемых альтернатив	Количество рассматриваемых альтернатив	Качество сформированных альтернатив
«Конференция идей»	14	0	Неудовлетворительное
Существующая методика объединения результатов имитационного моделирования и «конференции идей»	36	12	Удовлетворительное
Разработанная методика формирования множества альтернатив	25	8	Хорошее

Таким образом, разработанная методика формирования «дерева решений» позволила повысить качество генерируемых альтернатив и, при этом, снизить трудозатраты на их исследование. Так, предложенная методика позволила снизить количество разрабатываемых вариантов модели станции Осенцы на 11 единиц, что значительно снижает затраты на проведение расчетов. Повышение качества разрабатываемых решений значительно снижает риск принятия нерациональных решений. Так, выбор наиболее рационального варианта повышения перерабатывающей способности станции Осенцы (вариант №17: Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи + строительство 2 выставочных путей на территории ПСТ ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» для отстоя вагонов) стал возможен только благодаря предложенной методике.

4.4.2 Эффективность методики принятия решений с применением алгоритма уточнения множества Парето на основе учета стохастичности критериальных функций

Для оценки эффективности предлагаемой методики принятия решений необходимо обратиться к существующей практике выбора варианта реализации инвестиционного проекта. В результате анализа реализованных проектов и опроса главных инженеров проектов выявлено, что, в подавляющем большинстве случаев, оценка паритетности экономических показателей не производится и

выбор осуществляется в пользу варианта с наилучшим значением критерия экономической эффективности.

Таким образом, использование предлагаемой методики принятия решений позволило обеспечить снижение «Задержек технологических операций, вызываемых структурой» в среднем на 10,25 ч. при обеспечении паритетного уровня «Приведенных строительно-эксплуатационных расходов».

Выводы по главе 4

1. Разработанная методика принятия решений апробирована при согласовании параметров структуры и технологии работы станции Осенцы. В результате использования оригинальных методик формирования и сравнения альтернатив выявлен и ликвидирован дисбаланс параметров стационарных устройств и технологического процесса, в результате чего определен рациональный набор параметров структурных элементов и технологии работы станции, обеспечивающий достижение потребной перерабатывающей способности.

2. Разработанная методика формирования множества альтернативных решений с использованием «конференции идей» и имитационного моделирования позволила построить «дерево решений» при снижении затрат на проведение исследования, что выражается в уменьшении числа разрабатываемых вариантов имитационной модели станции Осенцы на 30,5%, в снижении числа вариантов, требующих расчета экономической и технологической эффективности, на 33,3%.

3. Использование методики сравнения альтернативных решений позволило обеспечить снижение «Суммарных задержек технологических операций, вызываемых структурой» в среднем на 10,25 ч. при обеспечении паритетного уровня «Приведенных строительно-эксплуатационных расходов».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предложена оригинальная методика принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.

В том числе решены следующие задачи:

1. Обоснована необходимость разработки методики принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы транспортных объектов.

2. Определены критерии принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций.

3. Разработана методика формирования альтернативных решений по согласованию параметров структуры и технологии работы исследуемых объектов. Качественно новое сочетание «конференции идей» и имитационного моделирования делает возможным построение «дерева решений» при уменьшении затрат на создание и отладку вариантных моделей железнодорожных станций.

4. Разработана методика сравнения альтернативных решений, учитывающая стохастичность критериальных функций. Алгоритм сужения множества Парето позволяет снизить риск принятия нерациональных решений за счет выбраковки неэффективных альтернатив.

5. Предложенная методика принятия решений апробирована при согласовании параметров структуры и технологии работы станции Осенцы в условиях повышения объемов грузовой работы. Технологический эффект от реализации методики – снижение на 13,7% суммарных задержек технологических операций, вызываемых структурой, при паритетном уровне сравнительной экономической эффективности. Экономический эффект заключается в снижении затрат на проведение исследования, что выражается в уменьшении числа разрабатываемых вариантов имитационной модели станции Осенцы на 30,5%, в

снижении числа вариантов, требующих расчета экономической и технологической эффективности, на 33,3%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Акофф, Р. Искусство решения проблем / Р. Акофф. – М.: Мир, 1982. – 224 с.
3. Бурков, В. Н. Основы математической теории активных систем / В. Н. Бурков. – М.: Наука, 1977. – 255 с.
4. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 482 с.
5. Маклаков, С. В. Моделирование бизнес-процессов с Bpwin / С. В. Маклаков. – М.: Диалог МИФИ, 2002. – 224 с.
6. Акулиничев, В. М. Проблемы и перспективы использования экономико-математических методов при оптимизации транспортных узлов / В. М. Акулиничев, П. А. Козлов // Проблемы развития сортировочных станций и узлов: сб. научн. тр. – М.: МИИТ, 1983. – С. 13–25.
7. Пермикин, В. Ю. Автоматизация структурно-технологической оптимизации железнодорожных станций: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Пермикин Вадим Юрьевич. – Екатеринбург, 1999. – 138 с.
8. Кощеев, А. А. Анализ методов расчета железнодорожных станций / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кащева, А. А. Кощеев // Транспорт: наука, техника и управление. – 2015. – №7. – С. 31–34.
9. Числов, О. Н. Транспортно-технологические модели припортовых железнодорожных станций / О. Н. Числов, Д. С. Безусов // Вестник Ростовского Государственного Университета Путей Сообщения. – 2017. – № 4 (68). – С. 101–110.
10. Быкадоров, А. В. Системное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности технических станций: автореф.

дис. ... докт. техн. наук: 05.22.08 / Быкадоров Александр Васильевич. – М., 1981. – 42 с.

11. Вагнер, Г. Основы исследования операций / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – 448 с.

12. Никитин, В. Д. О графоаналитических приемах расчета путей станции / В. Д. Никитин // Труды МИИТ, вып. XII. – М.: Транспечать НКПС, 1929. – С. 295–308.

13. Козлов, П. А. Расчет параметров проектируемых транспортных узлов / П. А. Козлов, В. П. Козлова // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 7. – С. 36–38.

14. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

15. Кофман, А. Массовое обслуживание. Теория и приложения / А. Кофман, Р. Крюон. – М.: Мир, 1965. – 302 с.

16. Ратин, А. С. Динамический подход к задаче определения очередности обслуживания грузовых пунктов станции / А. С. Ратин // Вопросы эксплуатации и экономики железных дорог: сборник научных трудов. – М.: МИИТ, 1977. – С. 56–65.

17. Сотников, Е. А. Планирование работы станций с использованием ЭВМ / Е. А. Сотников. – М.: Транспорт, 1973. – 51 с.

18. Козлов, П. А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.12 / Козлов Петр Алексеевич. – М., 1987. – 393 с.

19. Кащеева, Н. В. К теории построения транспортных узлов / Н. В. Кащеева, П. А. Козлов, В. Ю. Пермикин // Транспорт Урала. – 2013. – № 3. – С. 8–10.

20. Четчуев, М. В. Обоснование рациональной этапности развития горловин железнодорожных станций / М. В. Четчуев, Ю. И. Ефименко // Наука и техника транспорта. – 2012. – № 3. – С. 29–36.

21. Кощев, А. А. Применение метода моделирования при решении задач, направленных на совершенствование транспортной инфраструктуры / Е. Н. Тимухина, Е. Е. Смородинцева, А. А. Кощев // Транспорт: наука, техника и управление. – 2015. – №1. – С. 53–56.

22. Кощев, А. А. Развитие подходов к исследованию железнодорожных станций / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кащева, А. А. Кощев // Инновации и исследования в транспортном комплексе: материалы III международной научно-практической конференции: в двух частях.– Курган, 2015. – Ч. II. – С. 252–255.

23. Кощев, А. А. Применение имитационного моделирования для организации эффективного транспортного обслуживания производства / А. А. Кощев // «АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод» в современном экономическом пространстве: оптимизация затрат, повышение качества»: сборник тезисов докладов XIII научно-практической конференции молодых специалистов. – Нижний Тагил, 2016. – С. 264–265.

24. Карасев, С. В. Обоснование рациональных конструктивных и технологических параметров вариантов организации многогруппной сортировки на основе имитационного моделирования / С. В. Карасев, Д. А. Сивицкий // Вестник Научно-Исследовательского Института Железнодорожного Транспорта. – 2017. – № 1 (40). – С. 5–13.

25. Акофф, Р. Основы исследования операций / Р. Акофф, М. Сасиени. – М.: Мир, 1971. – 534с.

26. Бакаев, А. А. Экономико-математические модели планирования и проектирования транспортных систем / А. А. Бакаев. – М.: Техника, 1973. – 129 с.

27. Бусленко, Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 399 с.

28. Глушков, В. М. О системной оптимизации / В. М. Глушков // Кибернетика. – 1980. – № 5. – С. 89–90.

29. Форд, Л. Потоки в сетях / Л. Форд, Д. Фалкерсон. – М.: Мир, 1966. – 276 с.

30. Арсенов, В. И. Оценка вариантов развития транспортной сети с помощью методов линейного программирования / В. И. Арсенов // Труды ИКТП. – М., 1967.
31. Бартнев, П. В. Железнодорожные станции и узлы / П. В. Бартнев. – М.: Трансжелдориздат, 1953. – 504 с.
32. Быкадоров, А. В. Аналитический расчет показателей работы станции / А. В. Быкадоров // Железнодорожный транспорт. – 1979. – № 5. – С. 58–59.
33. Грунтов, П. С. Эксплуатационная надежность станций / П. С. Грунтов. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
34. Ефименко, Ю. И. Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.22.08 / Ефименко Юрий Иванович. – Санкт-Петербург, 1992. – 50 с.
35. Негрей, В. Я. Научные основы расчетов и проектирования железнодорожных станций и узлов: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.22.08 / Негрей Виктор Яковлевич. – Ленинград, 1987. – 35 с.
36. Персианов, В. А. Научные и практические задачи развития станционных комплексов в узловых пунктах транспортной сети: автореферат дис. ... докт. техн. наук. – М., 1970. – 38 с.
37. Поттгофф, Г. Об определении числа путей на станциях / Г. Поттгофф // Железнодорожный транспорт. – 1958. – № 9. – С. 82–87.
38. Сотников, Е. А. Интенсификация работы сортировочных станций / Е. А. Сотников. – М.: Транспорт, 1979. – 259 с.
39. Шабалин, Н. Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях / Н. Н. Шабалин. – М.: Транспорт, 1973. – 182 с.
40. Писарев, С. Г. Пропускная способность двухпутных магистралей, станций и метрополитенов / С. Г. Писарев // Труды МИИТ, выпуск XX. – Ленинград: ОГИЗ-Гострансиздат, 1932. – С. 255.
41. Васильев, И. И. Определение необходимой мощности отдельных элементов станции / И. И. Васильев // Труды ЛИИЖТ, выпуск 140. – М.: Трансжелдориздат, 1949. – С. 67–93.

42. Таль, К. К. О методике расчетов пропускной способности станций / К. К. Таль // Железнодорожный транспорт. – 1960. – № 12. – С. 47–51.

43. Таль, К. К. Повышение пропускной способности стрелочных горловин / К. К. Таль // Вестник ЦНИИ. – 1956. – № 4. – Р. 48–51.

44. Medeossi, G. Capacity and reliability on railway networks: a simulative approach / G. Medeossi. – Triest: Anno accademico, 2009. – 140 p.

45. Wakob, H. Ableitung eines generellen Wartemodells zur Ermittlung der planmässigen Wartezeiten im Eisenbahnbetrieb unter besonderer Berücksichtigung der Aspekte Leistungsfähigkeit und Anlagenbelastung / H. Wakob. – Aachen: RWTH, 1985.

46. Тимухина, Е. Н. Повышение функциональной надежности железнодорожных станций при технологических сбоях: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.08 / Тимухина Елена Николаевна. – Екатеринбург, 2012. – 384 с.

47. Тихомиров, И. Г. Организация движения на железнодорожном транспорте / И. Г. Тихомиров. – Минск: Высшая школа, 1969. – 488 с.

48. Грунтов, П. С. Расчет эксплуатационной надежности и путевого развития сортировочных станций / П. С. Грунтов // Труды БелИИЖТ: вып. 94. – Гомель, 1970. – С. 107.

49. Федотов, Н. И. Расчет числа приемоотправочных путей на участковых и сортировочных станциях / Н. И. Федотов // Труды НИИЖТ, вып. 29. – Новосибирск, 1962. – С. 20–60.

50. Александров, А. Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей: теоретические основы, методология: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.08 / Александров Александр Эрнстович. – Екатеринбург, 2008. – 285 с.

51. Шабалин, Н. Н. Расчет мощности сортировочных устройств / Н. Н. Шабалин // Железнодорожный транспорт. – 1967. – № 7. – С. 39–42.

52. Сотников, И. Б. Теоретические основы взаимодействия в работе приемоотправочных парков и прилегающих участках: учебное пособие / И. Б. Сотников. – М. МИИТ, 1967. – 60 с.

53. Сотников, И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог / И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1976. – 268 с.
54. Сотников, И. Б. Оптимальное соотношение емкости станционных путей и рабочего парка вагонов / И. Б. Сотников, А. А. Выгнанов, Р. И. Шарипова // Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 7. – С. 29–31.
55. National Standard of the People's Republic of China: Code for Design of Railway Station and Terminal GB 50091-2006. – Beijing, 2010.
56. Petersen, E. Railyard modeling: Part I. Prediction of put-through time / E. Petersen // Transportation Science. – 1977. – № 11(1). – P. 37–49.
57. Petersen, E. Railyard modeling: Part II. The effect of yard facilities on congestion / E. Petersen // Transportation Science. – 1977. – № 11(1). – P. 50–59.
58. Васильев, Г. С. Нормы для расчета плана формирования поездов / Г. С. Васильев // Вестник ВНИИЖТ. – 1964. – № 8. – С. 51–54.
59. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. – М.: Транспорт, – 1967.
60. Шабалин, Н. Н. Время нахождения на станции транзитных вагонов с переработкой / Н. Н. Шабалин // Труды МИИТ, вып. 307. – М., 1969. – С. 100–107.
61. Turnquist, M. Queuing models of classification and connection delay in railyards / M. Turnquist, M. Daskin. // Transportation Science. – 1982. – № 16(2). – P. 207–230.
62. Козлов, И. Т. Выбор схем этапного развития железнодорожных линий / Б. С. Козин, И. Т. Козлов. – М.: Трансжелдориздат, 1964. – 241 с.
63. Макаровичин, А. М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог / А. М. Макаровичин, Ю. В. Дьяков. – М.: Транспорт, 1981. – 287 с.
64. Макаровичин, А. М. Математическое моделирование экономических процессов / И. В. Белов, А. М. Макаровичин. – М.: Транспорт, 1977. – 246 с.
65. Акулиничев, В. М. Организация вагонопотоков / В. М. Акулиничев. – М.: Транспорт, 1979. – 223 с.
66. Акулиничев, В. М. Система организации вагонопотоков на железнодорожном транспорте / В. М. Акулиничев. – М.: МИИТ, 1969. – 120 с.

67. Смехов, А. А. Применение математических методов для расчета оптимальных параметров грузовых фронтов / А. А. Смехов // Применение математических методов и ЭЦВМ в грузовой работе железных дорог. – М. МИИТ, 1968. – С. 15–29.

68. Васильева, Е. М. Нелинейные транспортные задачи на сетях / Е. М. Васильева, Б. Ю. Левит, В. М. Лившиц. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 104 с.

69. Попов, А. Т. Оптимизация взаимодействия технологического железнодорожного транспорта и производства (на примере металлургического комбината) / А. Т. Попов. – М., 1984. – 223 с.

70. Таль, К. К. Руководство по расчету станций методом моделирования на БЭСМ-4: монография / К. К. Таль. – М.: ЦНИИС, 1975. – 180 с.

71. Белов, И. В. Применение математических методов в планировании на железнодорожном транспорте / И. В. Белов, А. Б. Каплан. – М.: Транспорт, 1967. – 182 с.

72. Исследование операций: в 2 т. пер. с англ. / под. ред. Дж. Моудери, С. Элмагради. – М.: Мир, 1981. – Т. 2.

73. Моисеев, Н. Н. Имитационные модели / Н. Н. Моисеев // Наука и человечество: Международный ежегодник. – 1973. – С. 259–269.

74. Моисеев, Н. Н. Математика ставит эксперимент / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1979. – 224 с.

75. Моисеев, Н. Н. Современное состояние теорий исследования операций / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1979. – 464 с.

76. Флейшман, Б. С. О методах математического моделирования сложных систем / Б. С. Флейшман, П. М. Брусиловский, Г. С. Розенберг // Системные исследования. Методологические проблемы. – 1982. – С. 65–79.

77. Химмельблау, Дж. Прикладное нелинейное моделирование / Дж. Химмельблау. – М.: Мир, 1975. – 536 с.

78. Шрейдер, Ю. А. Системы и модели / под ред. Ю. А. Яковлева, А. А. Шарова. – М.: Радио и Связь, 1982. – 152 с.

79. Яковлев, Е. И. Машинная имитация / Е. И. Яковлев. – М.: Наука, 1975. – 117 с.
80. Персианов, В. А. Станции и узлы в современной транспортной системе (проблемы, мнения, идеи) / В. А. Персианов // Железнодорожный транспорт. – 1980. – № 2. – С. 48–56.
82. Персианов, В. А. Моделирование транспортных систем / В. А. Персианов, К. Ю. Скалов, Н. С. Усков. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.
83. Рахмангулов, А. Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы железнодорожной станции в системе AnyLogic / А. Н. Рахмангулов, П. Н. Мишкурин // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Т. 2, – № 4. – С. 7–13.
84. Тимченко, В. С. Перспективы применения отечественного опыта расчета железнодорожных станций, участков и транспортных узлов методом имитационного моделирования при развитии железнодорожной инфраструктуры Крымского полуострова / В. С. Тимченко // Интернет-журнал «Мир науки». – 2014. – № 4. – С. 17.
85. Nash, A. Railroad simulation using OpenTrack / A. Nash, D. Huerlimann // WIT Transactions on The Built Environment. – 2004. Vol. 74. – P. 45–54.
86. Benfeldt, J. RailSys, a system to plan future railway needs / J. Benfeldt, U. Mohr, L. Müller // Proceedings of the Seventh International Conference on Computers in Railways. – Bologne, 2000. – P. 249–255.
87. Adamko, N. Optimisation of railway terminal design and operations using villon generic simulation model / N. Adamko, V. Klima. // Transport. – 2008. – 23(4). – P. 335–341.
88. Adamko, N. Designing railway terminals using simulation techniques / N. Adamko, V. Klima, P. Marton // International Journal of Civil Engineering. – 2010. – № 1. – P. 58–67.
89. Кощев, А. А. Использование имитационного моделирования для определения оптимальных параметров и элементов транспортной системы / Е. Н. Тимухина, А. А. Кощев // Интеграция образовательной, научной и

воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования: материалы IX международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – Вып. 9 (228). – С. 222–225.

90. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утверждена распоряжением правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р // Собрание законодательства РФ. – 15.12.2008. – № 50.

91. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества “Российские железные дороги” до 2025 года / утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. – № 466-р.

92. Методические рекомендации по составу разделов обоснования инвестиций и требований к их содержанию (включая расчет экономической эффективности) для инвестиционных проектов ОАО “РЖД” / утверждены распоряжением Вице-президента ОАО “РЖД” В.В. Михайлова от 17 декабря 2012 г. – № 384.

93. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте / утверждены указанием МПС от 31.08.1998 г. – № В-1024у

94. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / утверждены Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 г. – № ВК 477.

95. Волков, Б. А. Оценка экономической эффективности инвестиций и инноваций на железнодорожном транспорте / Б. А. Волков. – М.: Транспорт, 2009. – 152 с.

96. Кощеев, А. А. Технико-экономическое обоснование решений по повышению перерабатывающей способности обслуживающих устройств в системах железнодорожного транспорта / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кашеева, Н. А. Афанасьева, А. А. Кощеев // Транспорт Урала. – 2018. – №1 (56). – С.35–44.

97. Кощеев, А. А. Повышение экономической эффективности функционирования существующих систем железнодорожного транспорта за счет

применения уточненного подхода к расчету перерабатывающей способности обслуживающих устройств / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кащеева, В. С. Колокольников, А. А. Кощеев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2019. – №2. – С. 26–33.

98. Диксон, Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений / Дж. Диксон. М.: Мир, 1969. – 440 с.

99. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в волшебных странах / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.

100. Функциональное моделирование работы железнодорожных станций: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин. – Днепропетровск, 2015. – 269 с.

101. Быков, Ю. А. Теория и практика прогнозирования облика и мощности новых железных дорог: дис. ... док. техн. наук: 05.22.03 / Быков Юрий Александрович. – Москва, 1999. – 332 с.

102. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 215 с.

103. Колокольников, В. С. Автоматизированное структурно-технологическое исследование железнодорожных станций: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.22 / Колокольников Виталий Сергеевич. – Екатеринбург, 2013. – 151 с.

104. Подиновский, В. В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В. В. Подиновский. – М.: Наука, 2019. – 103 с.

105. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахака. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

106. Кощеев, А. А. Исследование систем железнодорожного транспорта с применением иерархического подхода / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кащеева, А. А. Кощеев // Наука и образование транспорту: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Самара: СамГУПС, 2018. – С. 123–125.

107. Кощеев, А. А. Оценка влияния взаимодействия структурных элементов транспортной системы на ее пропускную способность / Е. Н. Тимухина,

Н. В. Кащеева, А. А. Кошеев // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 329–333.

108. Koshcheev, A. Coordination of parameters of transport elements system in the conditions of lack of traffic and estimated capacity / E. Timukhina, O. Osokin, N. Tushin, A. Koshcheev // Advances in Intelligent Systems and Computing. VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019, Volume 2. – 2020. – P. 1133–1142.

109. Koshcheev, A. Coordination of parameters of transportation system elements / E. Timukhina, O. Osokin, V. Permikin, A. Koshcheev // Advances in Intelligent Systems and Computing. VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019, Volume 2. – 2020. – P. 633–642.

110. Koshcheev, A. Decision making based on a bicriteria approach taking into account the stochasticity of criteria functions / A. Koshcheev, G. Timofeeva, E. Timukhina, N. Kashcheeva, A. Borodin// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – P. 012066.

**КЛАССИФИКАТОРЫ РЕШЕНИЙ ПО СОГЛАСОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ
СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ**

Таблица А.1 – Классификатор решений по повышению пропускной или перерабатывающей способности элементов структуры

Элемент структуры с недостаточной пропускной или перерабатывающей способностью	Загрузка по результатам моделирования	Решение, связанное с изменением структуры	Решение, связанное с изменением технологии
Пути парка	Средняя	–	– Изменение специализации путей; – снижение неравномерности подвода поездов в парк
	Высокая	– Строительство дополнительного пути (путей) в парке; – удлинение пути (путей) в парке	Изменение структуры вагонопотоков, уменьшающее объем работы на станции
Одиночный стрелочный перевод или группа стрелочных переводов	Средняя	–	Изменение специализации путей в парке
	Высокая	Реконструкция горловины с целью повышения ее маневренности и параллельности выполняемых операций	Перенос части работы в другую горловину
Бригада ПТО	Средняя	–	Снижение неравномерности подвода составов под осмотр
	Высокая	– Увеличение числа осмотрщиков в бригаде ПТО; – увеличение числа бригад ПТО	–

Продолжение таблицы А.1

Элемент структуры с недостаточной пропускной или перерабатывающей способностью	Загрузка по результатам моделирования	Решение, связанное с изменением структуры	Решение, связанное с изменением технологии
Маневровые локомотивы	Средняя	Устранение «узких мест», сдерживающих продвижение локомотивов	Перераспределение числа локомотивов между маневровыми районами на станции
	Высокая	Увеличение числа маневровых локомотивов	Снижение объемов работы, выполняемой маневровыми локомотивами (например, за счет перераспределения работы между станциями)
Перерабатывающие устройства (вагоноопрокидыватели, грузовые фронты, тепляки)	Средняя	<ul style="list-style-type: none"> – Максимизация загрузки перерабатывающих устройств за счет применения дополнительных маневровых средств (лебедок, вагонотолкателей); – максимизация загрузки перерабатывающих устройств за счет строительства дополнительных выставочных путей 	Снижение неравномерности подачи вагонов за счет изменения технологии
	Высокая	<ul style="list-style-type: none"> – Повышение мощности перерабатывающих устройств; – увеличение числа перерабатывающих устройств 	–

Окончание таблицы А.1

Элемент структуры с недостаточной пропускной или перерабатывающей способностью	Загрузка по результатам моделирования	Решение, связанное с изменением структуры	Решение, связанное с изменением технологии
Сортировочная горка	Средняя	<ul style="list-style-type: none"> – Увеличение числа путей надвига (при последовательном расположении приемного и сортировочного парков); – увеличение числа вытяжных путей (при параллельном расположении приемного и сортировочного парков); – удлинение вытяжного пути (путей) (при параллельном расположении приемного и сортировочного парков); – увеличение числа маневровых локомотивов, участвующих в расформировании 	–
	Высокая	<ul style="list-style-type: none"> – Перепрофилирование горки с целью снижения времени роспуска; – автоматизация сортировочных процессов 	<ul style="list-style-type: none"> – Перенос части работы в другие парки; – перенос части сортировочной работы на другие станции
Вытяжные пути района формирования	Средняя	–	–
	Высокая	<ul style="list-style-type: none"> – Увеличение числа вытяжных путей; – удлинение вытяжных путей с целью снижения числа выполняемых операций 	Снижение объемов работы с использованием вытяжного пути (путей) (изменение технологии работы, перераспределение работы между станциями)

Таблица А.2 – Классификатор решений по снижению избыточной пропускной или перерабатывающей способности элементов структуры

Элемент структуры с избыточной пропускной или перерабатывающей способностью	Загрузка по результатам моделирования	Решение, связанное с изменением структуры	Решение, связанное с изменением технологии
Пути парка	Низкая	Демонтаж или консервация пути (путей)	Перенос части работы с наиболее загруженных парков станции
Бригада ПТО	Низкая	– Уменьшение числа осмотрщиков в бригаде ПТО; – уменьшение числа бригад ПТО	–
Маневровые локомотивы	Низкая	Уменьшение числа маневровых локомотивов	Перераспределение числа локомотивов между маневровыми районами на станции
Сортировочная «горка»	Низкая	– Уменьшение числа путей надвига (при последовательном расположении приемного и сортировочного парков): демонтаж или консервация; – уменьшение числа вытяжных путей (при параллельном расположении приемного и сортировочного парков): демонтаж или консервация; – уменьшение числа маневровых локомотивов, участвующих в расформировании	–

«ДЕРЕВО РЕШЕНИЙ» (ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТОВ)

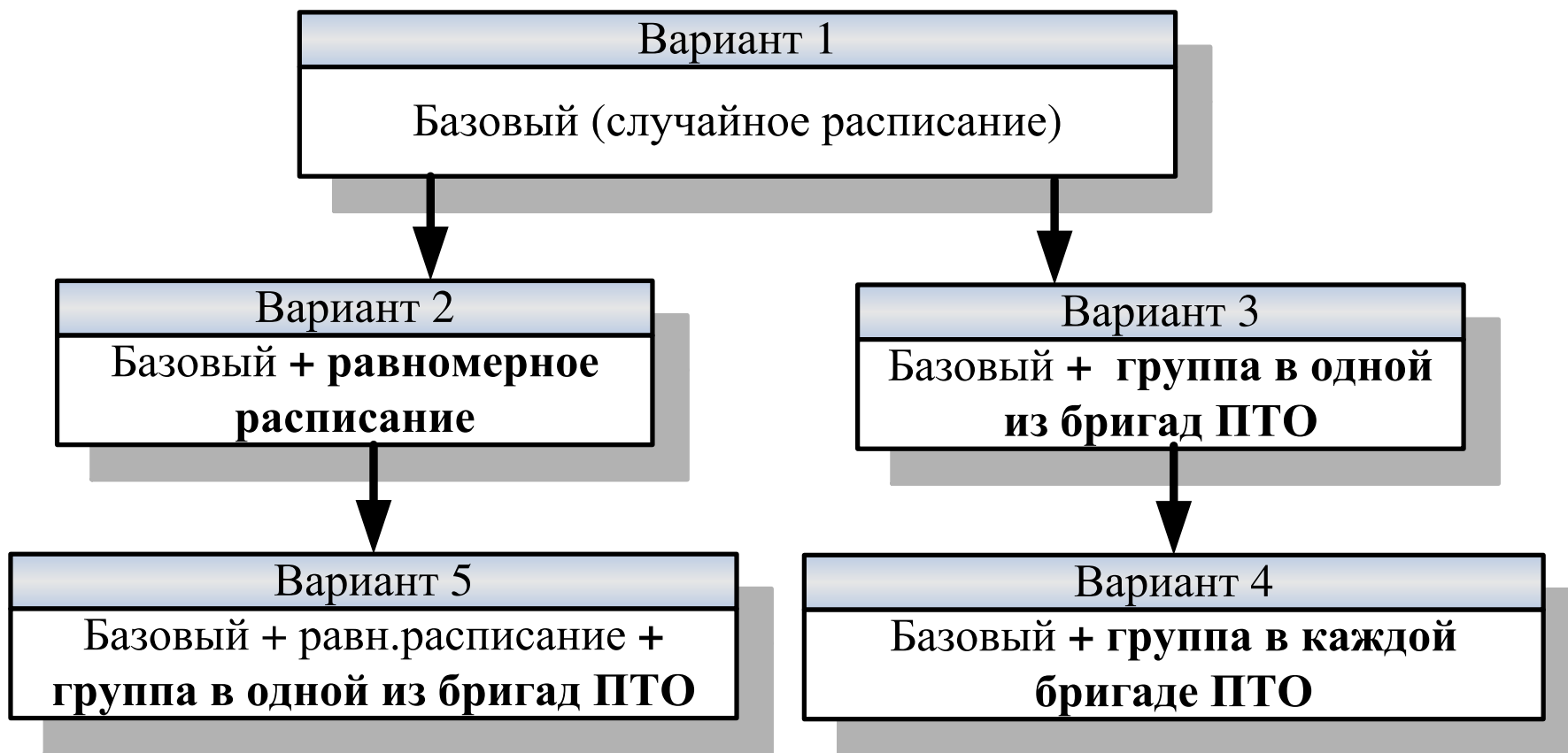


Рисунок Б.1 – «Дерево решений», направленное на повышение перерабатывающей способности станции. Часть 1

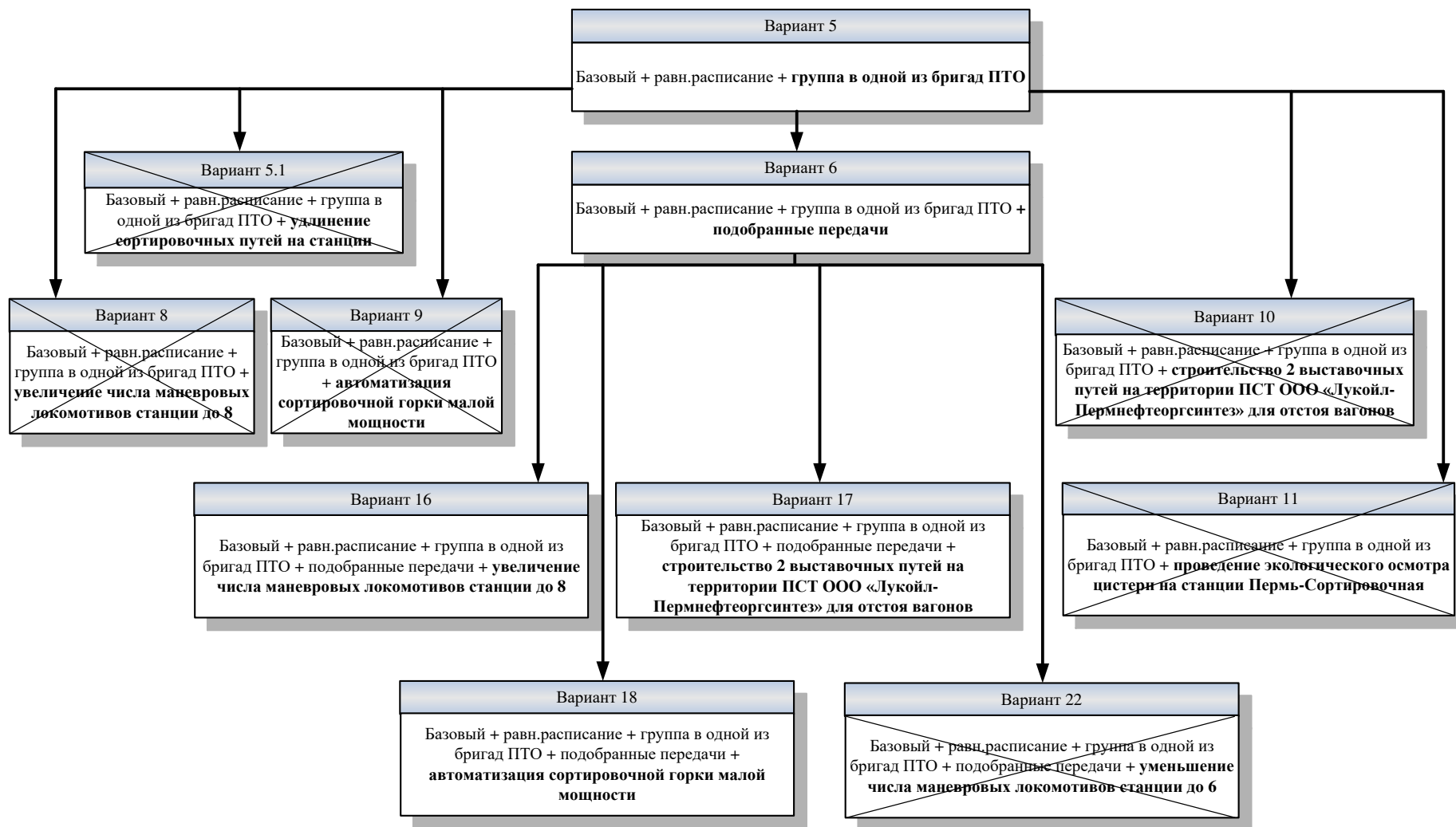


Рисунок Б.2 – «Дерево решений», направленное на повышение перерабатывающей способности станции. Часть 2

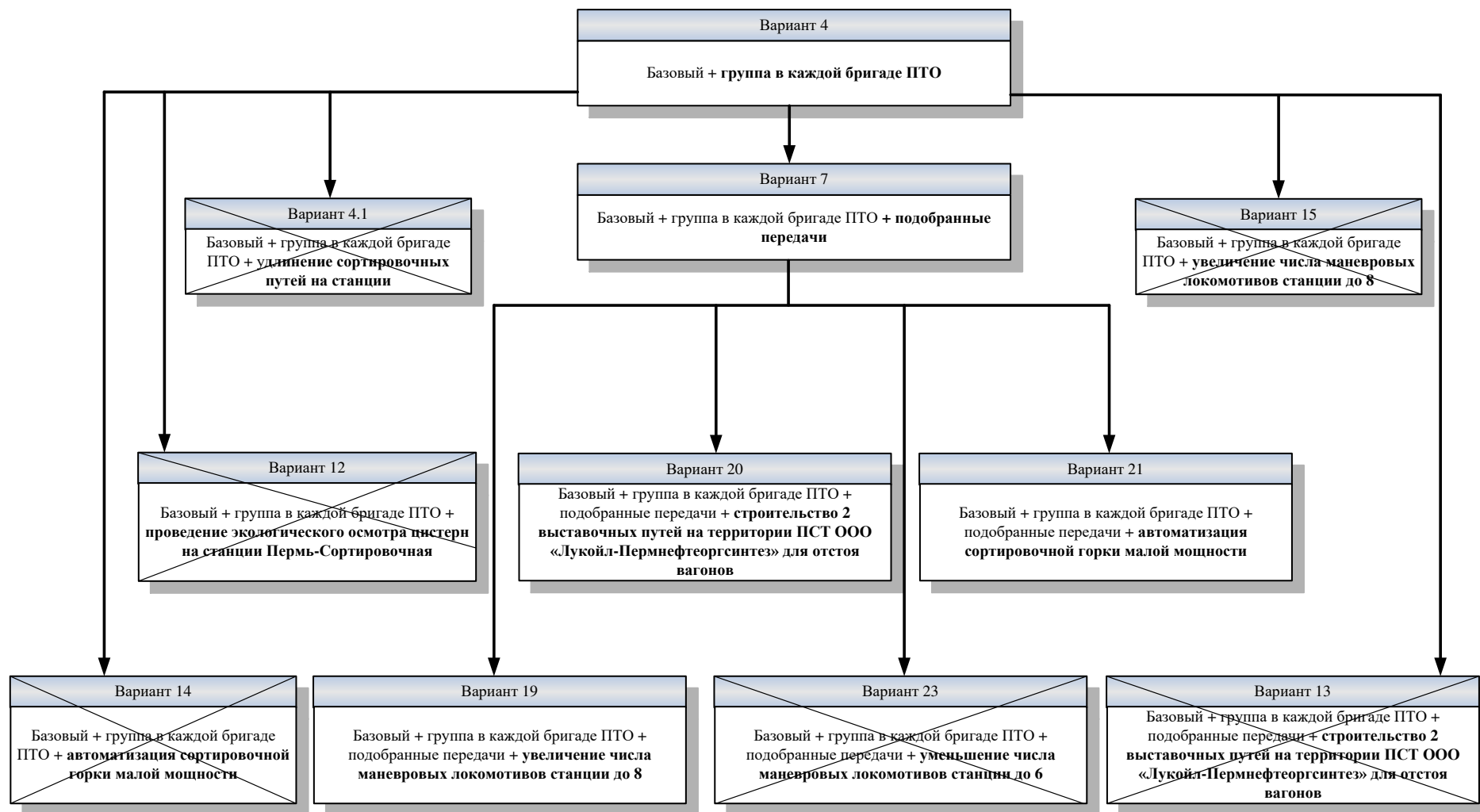


Рисунок Б.3 – «Дерево решений», направленное на повышение перерабатывающей способности станции. Часть 3

**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

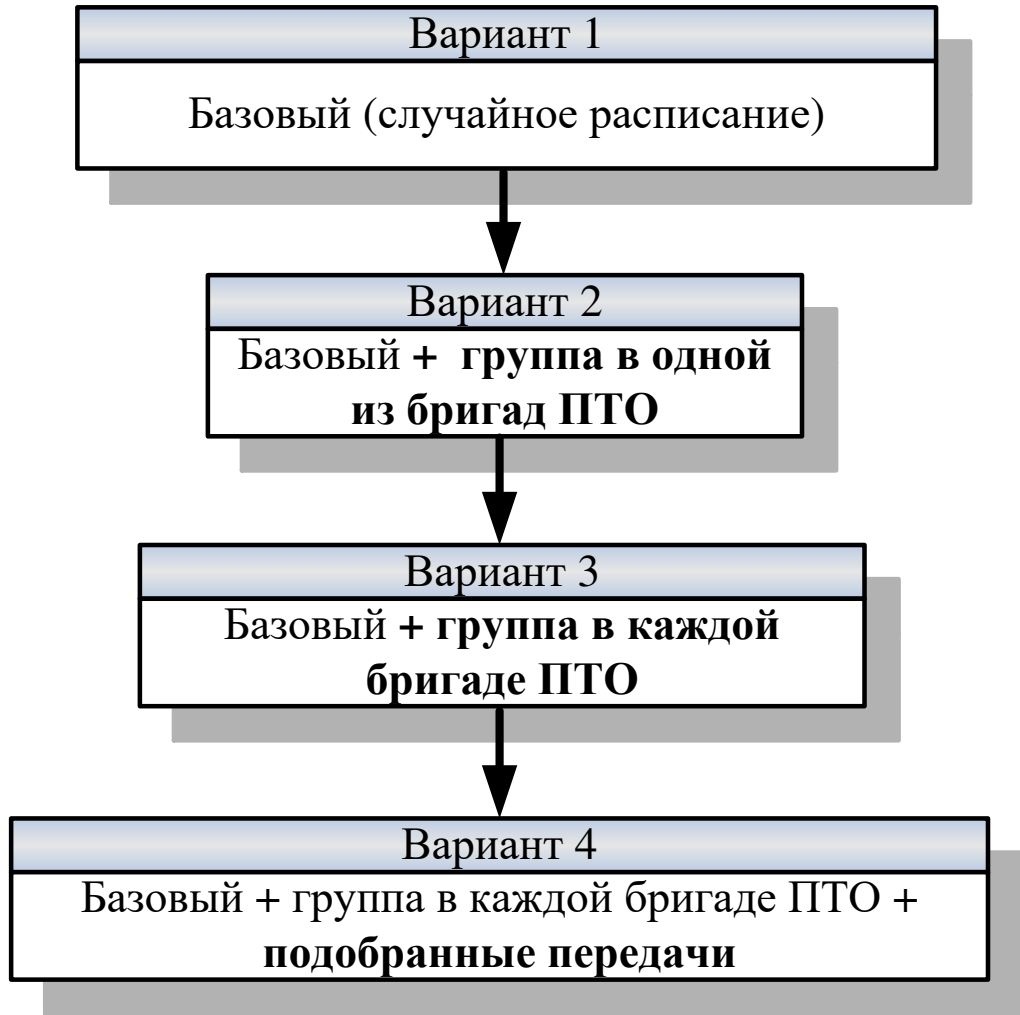


Рисунок В.1 – Последовательность расчетов с использованием имитационного моделирования

**«ДЕРЕВО РЕШЕНИЙ», ПОСТРОЕННОЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СУЩЕСТВУЮЩЕГО КОМБИНИРОВАННОГО ПОДХОДА К
ФОРМИРОВАНИЮ МНОЖЕСТВА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ**

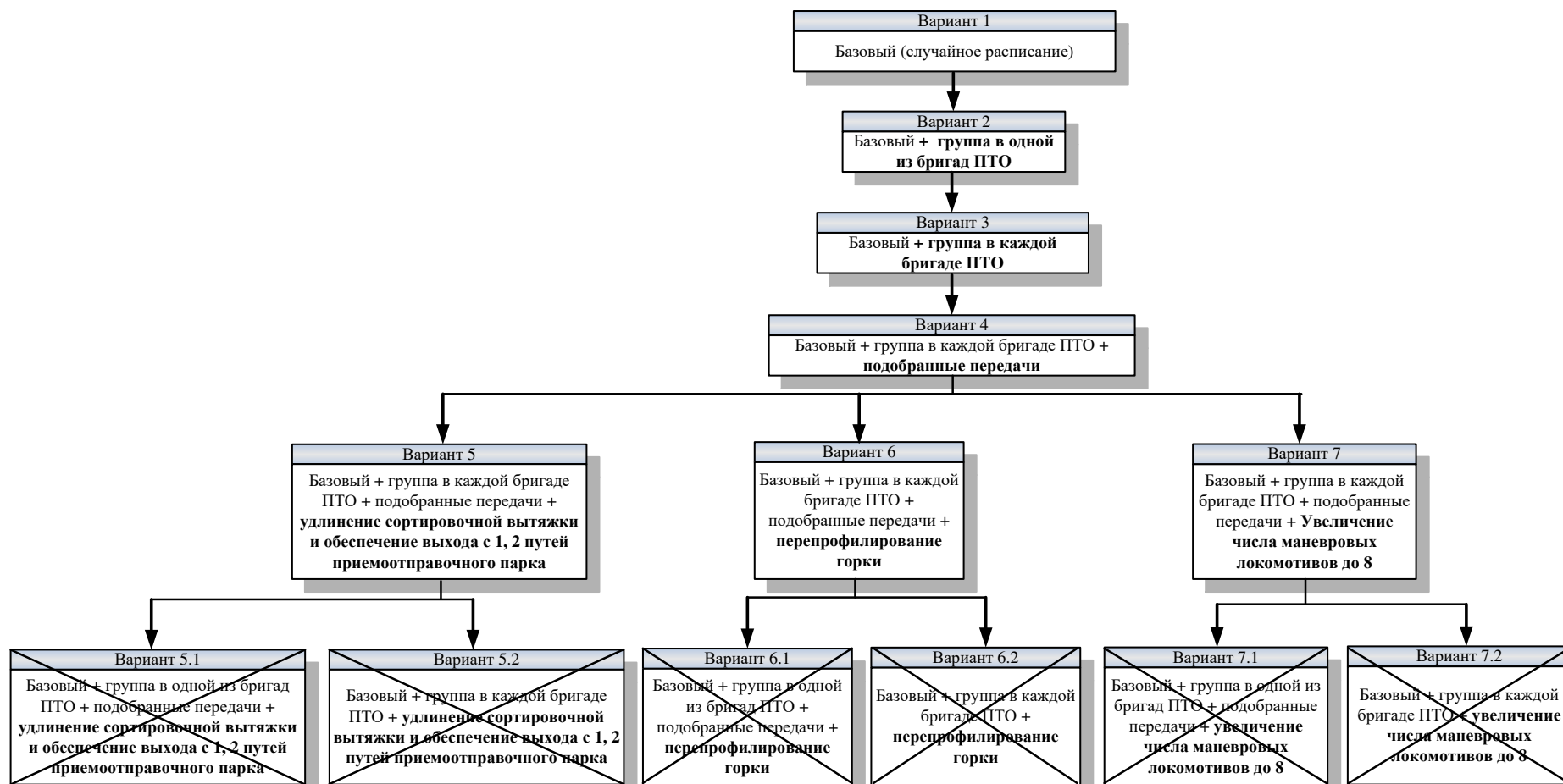


Рисунок Г.1 – «Дерево решений», построенное с использованием существующего комбинированного подхода к формированию множества альтернативных решений. Часть 1

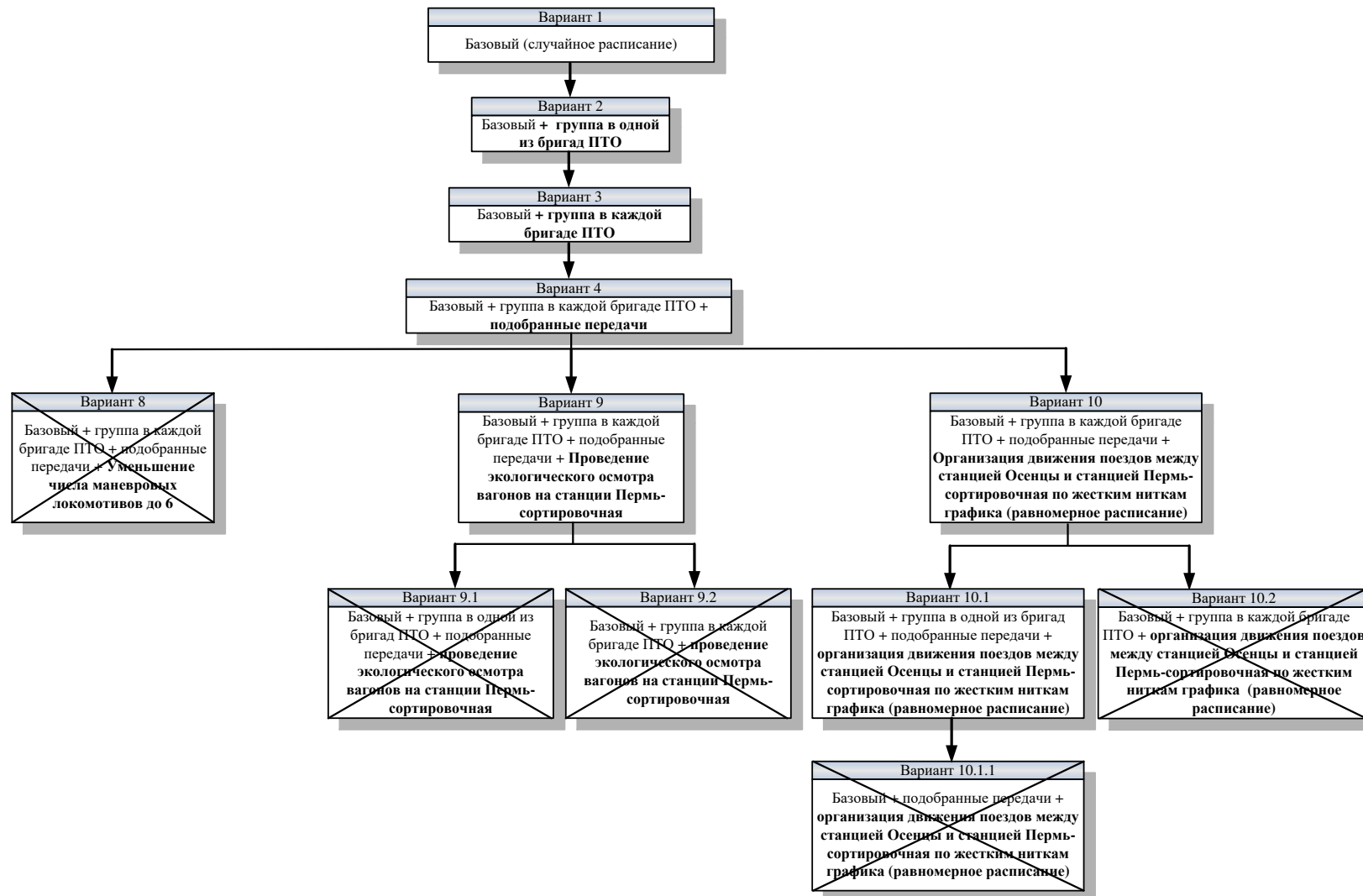


Рисунок Г.2 – «Дерево решений», построенное с использованием существующего комбинированного подхода к формированию множества альтернативных решений. Часть 2

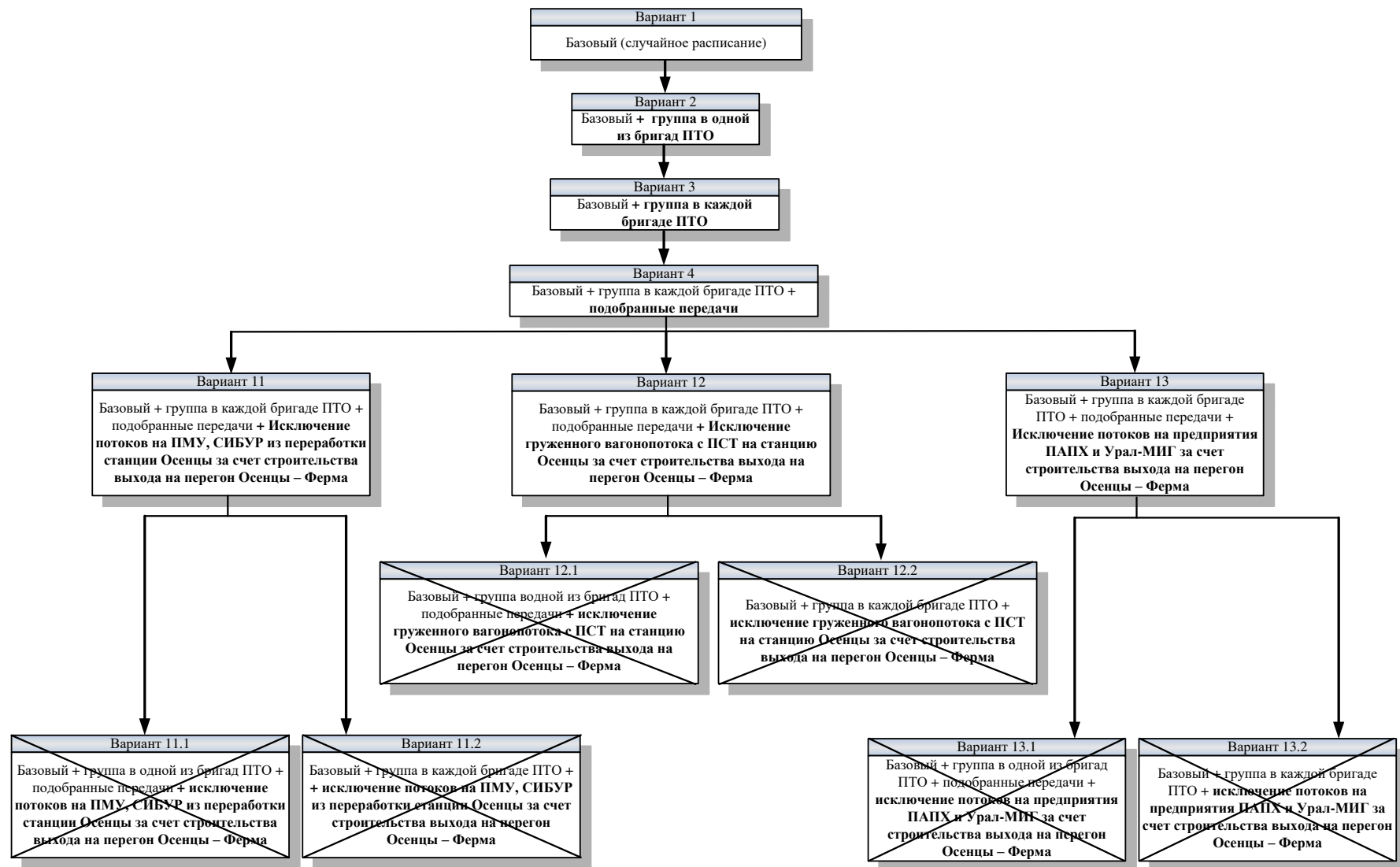


Рисунок Г.3 – «Дерево решений», построенное с использованием существующего комбинированного подхода к формированию множества альтернативных решений. Часть 3

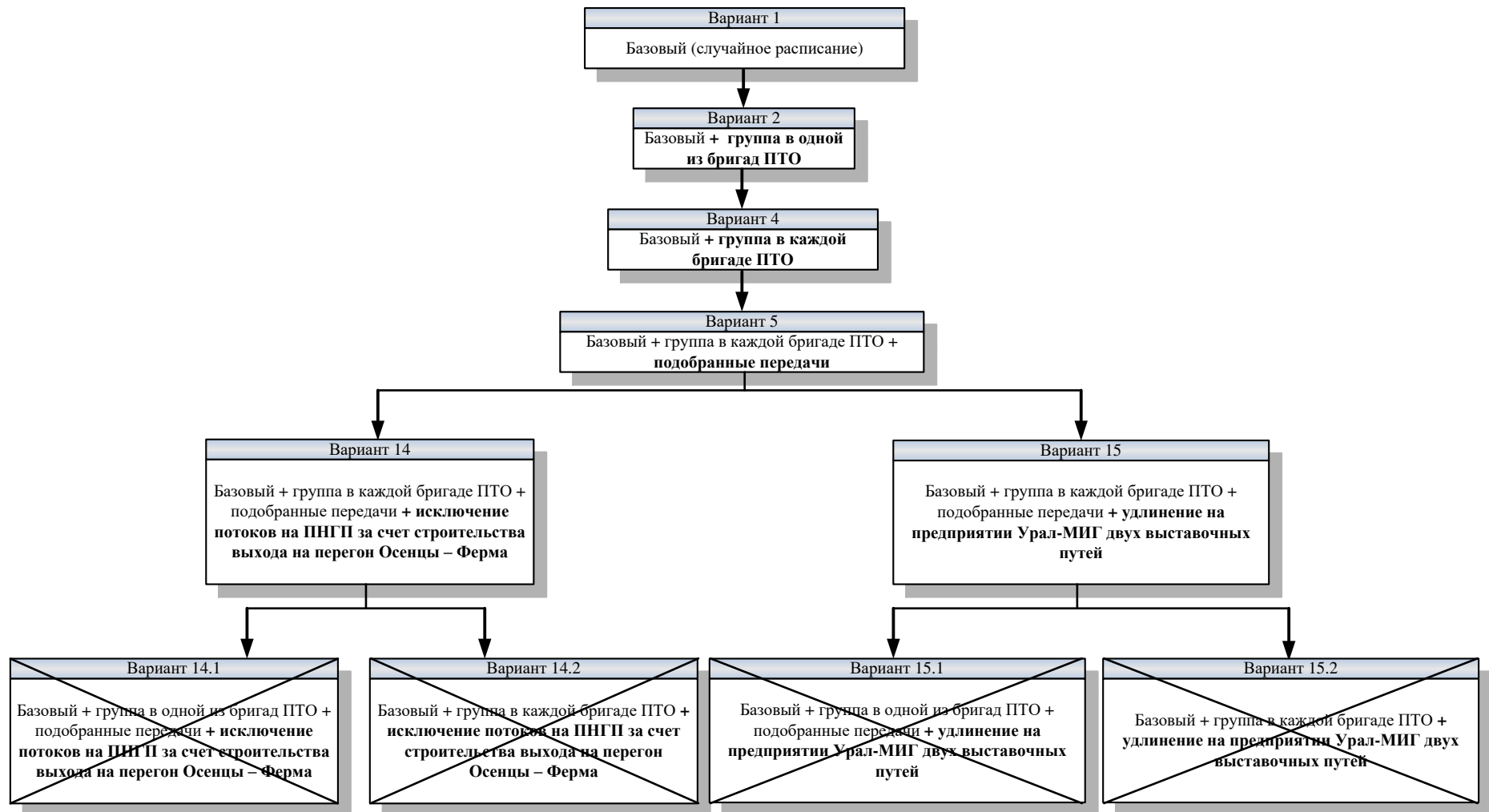


Рисунок Г.4 – «Дерево решений», построенное с использованием существующего комбинированного подхода к формированию множества альтернативных решений. Часть 4