

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)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент
Тимухина Елена Николаевна

Официальные оппоненты:

Числов Олег Николаевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», кафедра «Станции и грузовая работа», заведующий кафедрой.

Карасев Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», кафедра «Железнодорожные станции и узлы», доцент.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СамГУПС).

Защита диссертации состоится 14 мая 2021 г. в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС) по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения». Адрес сайта, на котором размещена диссертация и автореферат: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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, Ю.О. Пазойского, 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 применя-

емых 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается обоснование актуальности темы исследования, степень ее разработанности, формулируются: объект, предмет, цель и задачи исследования, приводится научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, излагаются основные положения, выносимые на защиту, сведения по апробации и степени достоверности результатов исследования.

В первой главе показано состояние практики расчета параметров элементов транспортных систем и приводится анализ разработок ведущих научных организаций отрасли, работ отечественных и западных ученых в области расчета железнодорожных станций, технологии их работы и методов моделирования.

Анализ методов, применяемых для расчета параметров структурных элементов железнодорожных станций, показал, что только имитационное моделирование может в полной мере удовлетворить все требования, предъявляемые к методам исследования транспортных систем, и может дать достоверные результаты для оценки показателей работы исследуемого объекта. На современном этапе развития транспортной науки, на интеллектуальном рынке, имеется множество систем моделирования, в связи с чем возникла задача определения подходящей имитационной системы для проведения исследований. Рассмотрены как зарубежные, так и отечественные программные комплексы. В результате их оценки выявлено, что имеется ряд наиболее развитых аппаратов имитационного моделирования (ИСУЖТ ТС, ИСТРА, OpenTrack), обладающих эффективным инструментарием, который позволяет максимально подробно исследовать взаимодействие структурных элементов транспортных объектов.

Во второй главе рассматривается вопрос учета технологической эффективности при принятии проектных решений по развитию железнодорожных станций. Анализ подходов к расчету параметров железнодорожных станций и их проектированию показал важность технологичности проектных решений. Однако, при выборе наиболее эффективного варианта реализации проекта, решающим является критерий сравнительной экономической эффективности.

Данный принцип был хорошо применим до пересмотра расходных ставок по перевозочным видам деятельности, что связано со структурной реформой железнодорожного транспорта. Однако, их объективный пересмотр привел к тому, что экономические показатели перестали в полной мере отражать технологическую эффективность функционирования железнодорожных станций.

Снижение влияния показателей, зависящих от технологичности принятых решений, на экономическую составляющую функционирования станций привело к тому, что при выборе параметров структуры и технологии работы недоста-

точно 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, в ряде случаев, выражается в снижении функциональной устойчивости станции к дестабилизирующим факторам и выборе нерациональной этапности развития станций.

Под технологической эффективностью проектных решений понимается такое соотношение параметров структуры и технологии, при котором обеспечивается максимальная поточность и параллельность выполнения операций.

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.

Третья глава посвящена разработке методики принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций для заданного объема работы на основе бикритериального подхода.

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

$$\langle X_d, Z, f, M \rangle, \quad (1)$$

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 реализации механизма 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.

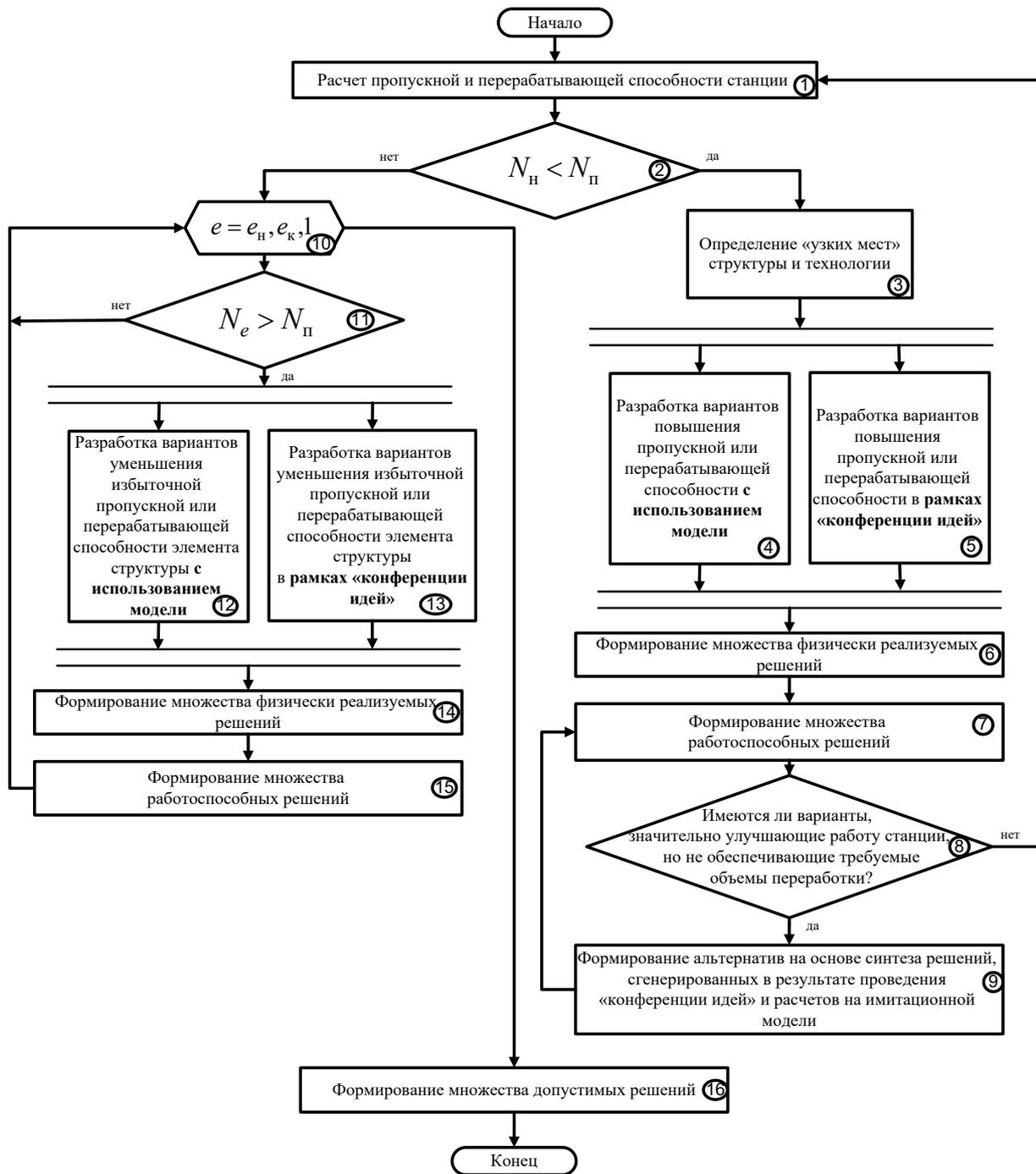
Исходя из модели, качество принимаемых решений зависит от двух факторов: сформированных альтернативных решений и механизма выбора, – поэтому работа по разработке методики принятия решений должна проводиться в два этапа по вышеуказанным направлениям.

На первом этапе необходимо сформировать наиболее качественное и полное множество допустимых решений X_d . Анализ методов формирования множества альтернативных решений показал, что существующие методы («конференция идей» и имитационное моделирование) имеют недостатки, которые могут привести к потере потенциально эффективного решения. Реакцией на низкую эффективность вышеописанных методов стал комбинированный подход. Данный подход предусматривает дополнение результатов имитационного моделирования вариантами, сформулированными на «конференции идей». Комбинированный подход позволил повысить работоспособность решений, но значительно увеличил количество разрабатываемых вариантов модели.

Поэтому, для повышения качества разрабатываемых альтернатив и снижения трудозатрат на их оценку разработан алгоритм формирования «дерева решений», уникальность которого – возможность формирования решений, направленных и на повышение пропускной (перерабатывающей) способности, и поиск решений по устранению избыточной мощности устройств на станции (рисунок 1).

Для качественного улучшения существующей технологии разработки решений предложено использовать синтетический подход. Данный подход подразумевает формирование решений как с применением имитационного моделирования (рисунок 1, блоки 4 и 12), так и «конференции идей» (рисунок 1, блоки 5 и 13) при минимизации недостатков каждого из методов. Так, для повышения качества генерируемых решений на этапе «конференции идей» экспертам предоставляется информация об «узких местах» работы станции (рисунок 1, блок 3) или об элементах с избыточной пропускной (перерабатывающей) способностью (рисунок 1, блоки 10 и 11) и выдаются специально разработанные классификаторы решений (таблица 1).

Использование метода «конференции идей», параллельно с методом моделирования, позволяет снизить риск попадания в точку локального оптимума. А реализация операции «Формирование множества физически реализуемых решений» (рисунок 1, блоки 6 и 14) за счет участия экспертов позволяет на раннем этапе исключить нереализуемые варианты, что снижает трудозатраты на проведение исследования.



N_H – наличная перерабатывающая способность станции, ваг.; N_{Π} – потребная перерабатывающая способность станции, ваг.; N_e – наличная перерабатывающая способность e -го элемента, ваг.; e_n – элемент, с которого начинается работа цикла; e_k – количество элементов в структуре станции.

Рисунок 1 – Алгоритм формирования «дерева решений» с применением синтетического подхода

Таблица 1 – Фрагмент классификатора решений по повышению пропускной (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
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)

После того, как определено множество физически реализуемых альтернатив проверяем данное множество на соответствие ограничению по перерабатывающей способности (рисунок 1, блоки 7 и 15). Только при удовлетворении ограничению, альтернативы попадают во множество работоспособных решений. Однако, при выполнении операции «Формирование множества работоспособных решений», необходимо проявить особое внимание к вариантам, которые значительно улучшают работу станции, но не обеспечивают требуемые объемы переработки (рисунок 1, блок 8). Формальный подход к реализации данной операции может привести к потере потенциально эффективного решения, поэтому при выявлении перспективных альтернатив необходимо рассмотреть возможность их улучшения (рисунок 1, блок 9).

В результате работы алгоритма формируется «дерево решений», с помощью которого появляется возможность определить множество допустимых альтернатив (рисунок 1, блок 16).

Сформировав X_d переходим к реализации 2 этапа принятия решений. На данном этапе необходимо разработать механизм выбора, который позволит минимизировать риск принятия нерациональных решений.

Формальным методом решения задачи выбора при многих критериях является нахождение множества X_0 Парето-оптимальных альтернатив.

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

$$\begin{aligned} \forall i : [f_i(\hat{x}_1) \leq f_i(\hat{x}_2)] \\ \exists i_0 : [f_{i_0}(\hat{x}_1) < f_{i_0}(\hat{x}_2)] \end{aligned} \quad (2)$$

Если с помощью определения множества Парето не удастся выявить наиболее рациональный вариант, то вторым шагом является сопоставление потерь по одним критериям с выигрышами по другим критериям. Наиболее распространенным средством решения данной задачи являются методы свертки критериев, обладающие недостатками, которые связаны с субъективностью

назначения коэффициентов важности критериев.

Для уменьшения возможных негативных последствий применения свертки критериев, предлагается сначала максимально сузить множество Парето, используя подход на основе учета стохастичности критериальных функций, а уже затем определиться с окончательным выбором на основе свертки критериев.

Предложенный подход реализован в виде алгоритма (рисунок 2). Разработанный алгоритм за счет построения и анализа эллипсов рассеивания (рисунок 5), позволяет максимально сузить множество Парето, чем значительно снижает вероятность принятия ошибочных решений. Если предлагаемая методика не позволила определить единственный рациональный вариант, то окончательный выбор необходимо осуществить с применением «Метода идеальной точки»:

$$W_{id}(\hat{x}) = \sqrt{\sum_{i=1}^u w_i ((f_i(\hat{x}) - f_i(\hat{x}_o))^2) \rightarrow \min, \hat{x} \in X'_o, \quad (3)$$

где w_i – весовой коэффициент важности i -го критерия;

\hat{x}_o – идеальная точка;

X'_o – уточненное множество Парето.

Для определения важности критериев отбирается группа экспертов, которая определяет значимость критериев по 9-ти балльной шкале (таблица 2). В результате экспертной оценки, весовые коэффициенты по рассматриваемым критериям определяются по следующей формуле:

$$w_i = \frac{\sum_{v=1}^m b_i^v}{\sum_{i=1}^u \sum_{v=1}^m b_i^v}, \quad (4)$$

где m – величина группы экспертов;

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

Таблица 2 – 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%)

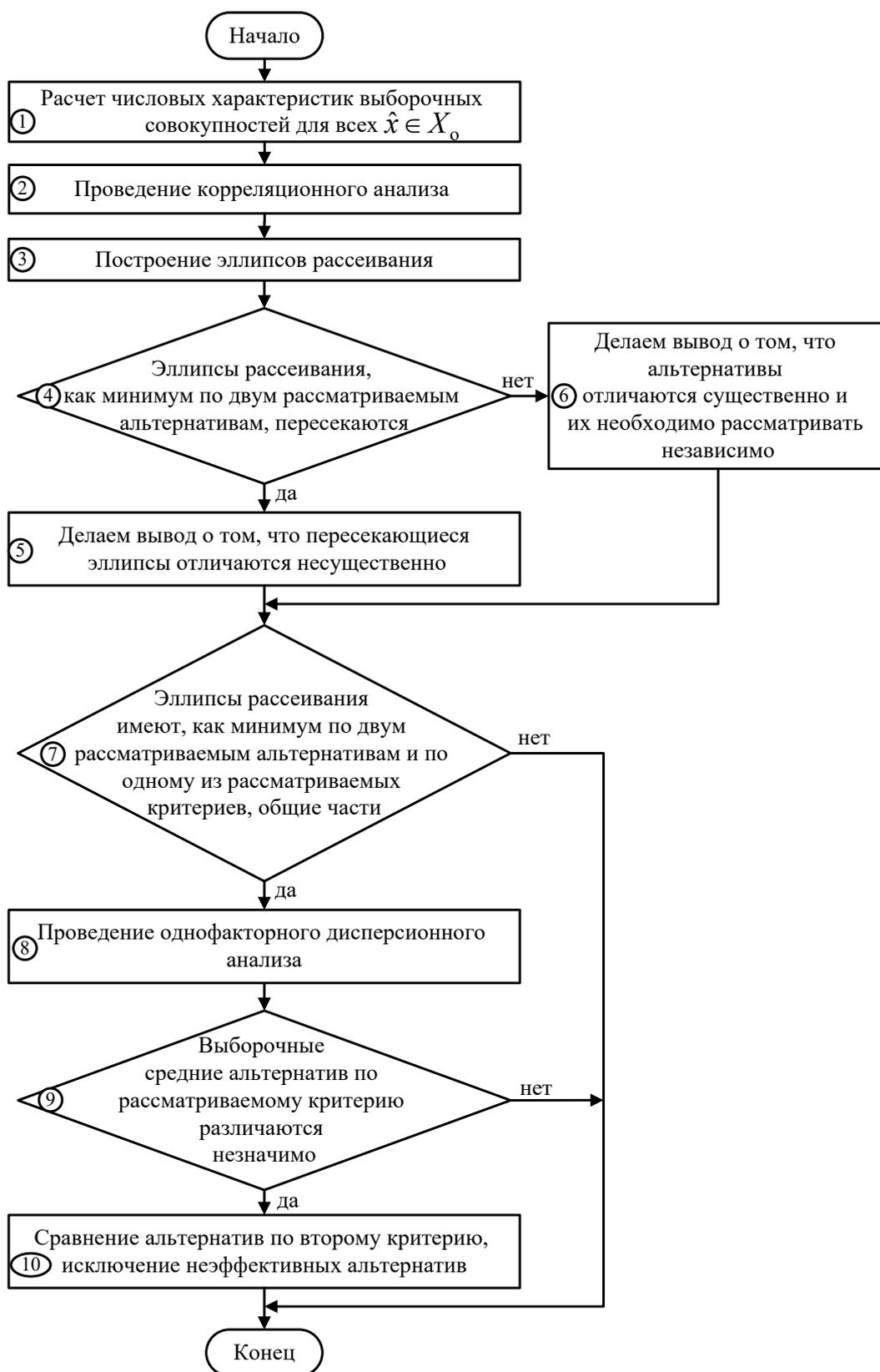


Рисунок 2 – Алгоритм уточнения множества Парето

В условиях рыночной экономики вероятна ситуация, при которой критерий сравнительной экономической эффективности для лица, принимающего решения (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 два или несколько вариантов 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).

Предложенный алгоритм включает в себя математическое обоснование паритетности альтернативных решений по критерию экономической эффективности и правило использования критерия «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой». Включение дополнительного критерия в методику принятия решений позволит повысить технологическую эффективность выбираемых параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций при сопоставимых экономических показателях.

Четвертая глава посвящена апробации предложенной методики принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожной станции.

Для апробации предложенной методики принятия решений выбрана грузовая станция Осенцы со сложной структурой и нестандартным технологическим процессом, что делает задачу принятия решений нетривиальной.

В рамках исследования рассматривалась задача согласования параметров структуры и технологии работы в условиях повышения объемов работы.

На первом этапе исследования применен разработанный алгоритм формирования «дерева решений», на основе которого сформировано исчерпывающее множество допустимых решений по повышению перерабатывающей способности станции Осенцы (таблица 3).

Таблица 3 – Варианты согласования параметров структуры и технологии работы станции, формирующие множество допустимых решений

№ варианта	Описание варианта
6	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи
7	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи
16	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи + увеличение числа маневровых локомотивов станции до 8
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
18	Базовый + равн.расписание + группа в одной из бригад ПТО + подобранные передачи + автоматизация сортировочной горки малой мощности
19	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи + увеличение числа маневровых локомотивов станции до 8
20	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи + строительство 2 выставочных путей на территории ПСТ ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» для отстоя вагонов
21	Базовый + группа в каждой бригаде ПТО + подобранные передачи + автоматизация сортировочной горки малой мощности

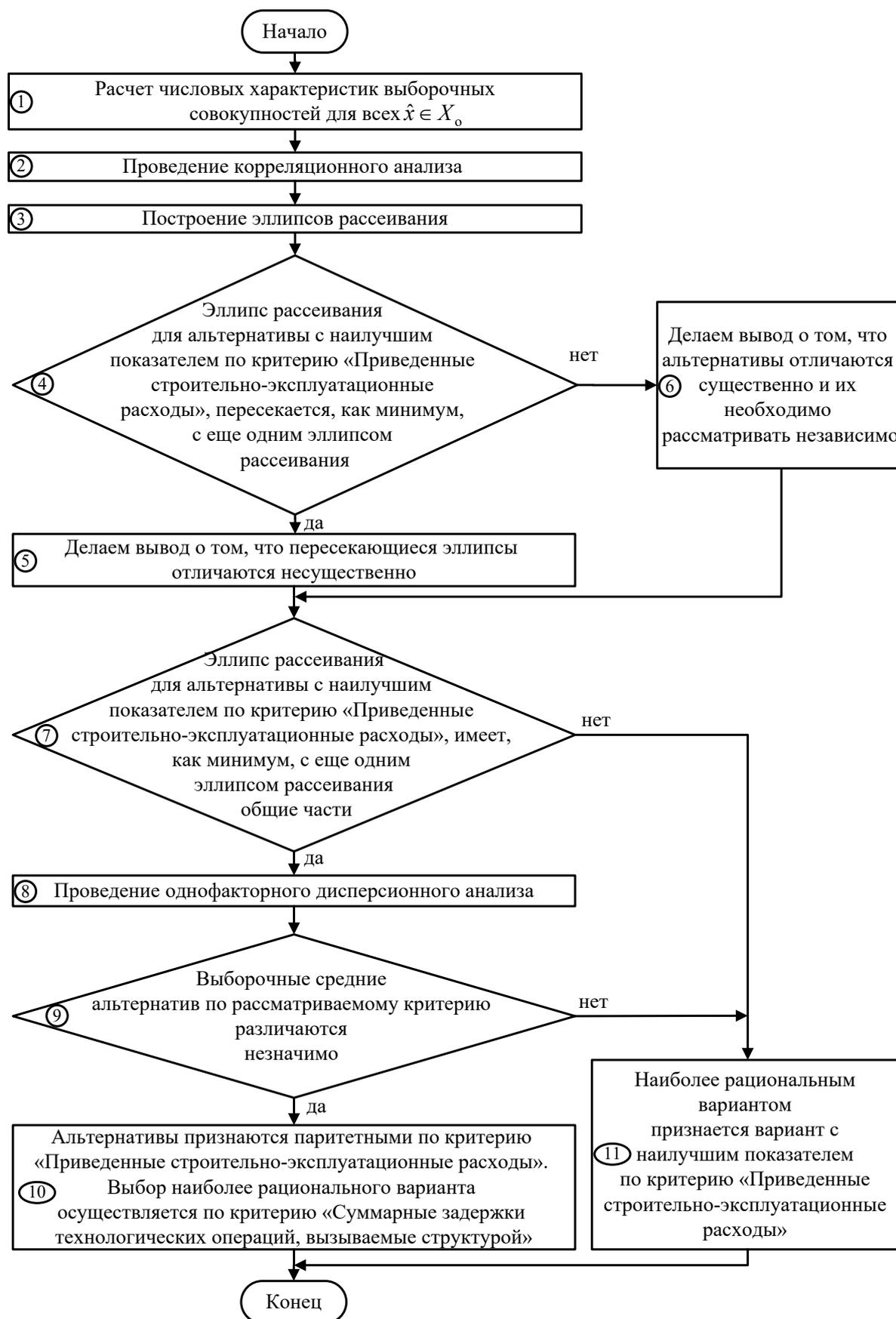
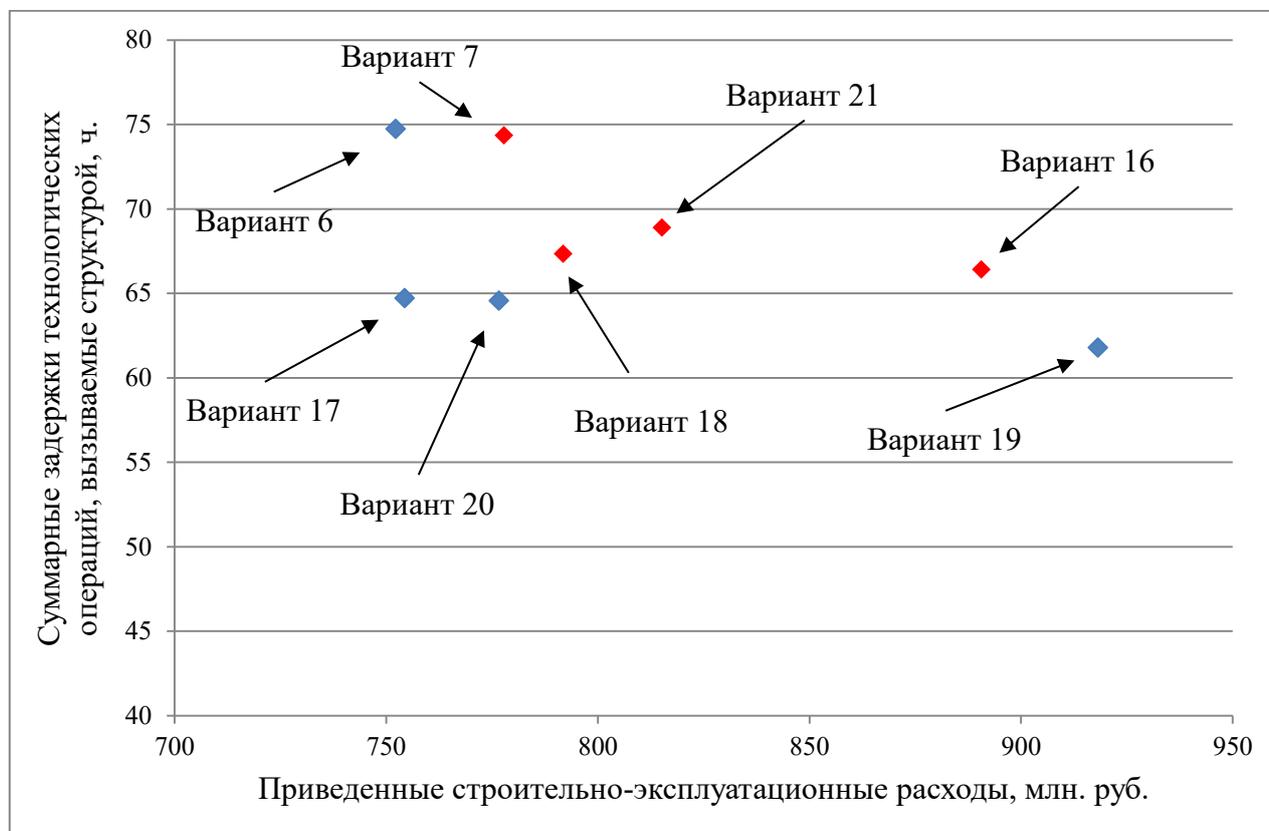


Рисунок 3 – Алгоритм сравнения альтернатив, учитывающий паритетность решений по критерию сравнительной экономической эффективности

Так как допустимых решений больше одного, то требуется дальнейшее сужение множества вариантов. Для принятия рационального решения в условиях многокритериальности определена область недоминируемых альтернатив – множество Парето (рисунок 4).



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

Рисунок 4 – Определение множества Парето

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

Для принятия решения необходимо дальнейшее исследование альтернатив $\hat{x} \in X_0$ с применением предложенной методики сравнения альтернативных решений на основе бикритериального подхода с учетом стохастичности критериальных функций. Ввиду того, что связь альтернатив с исходами не является детерминированной, то для выбора наиболее эффективного решения рассчитаны и построены эллипсы рассеивания (рисунок 5).

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).



Рисунок 5 – Эллипсы рассеивания рассматриваемых альтернатив

Так как эллипсы рассеивания не пересекаются, то рассматриваемые альтернативы необходимо рассматривать как существенно различающиеся варианты. Однако, исходя из рисунка 5, доверительные интервалы для выборочных средних 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 $H_0 : M(f_1(\hat{x}_6)) = M(f_1(\hat{x}_{17}))$. Для оценки значимости различий между средними по критерию «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы» проведен однофакторный дисперсионный анализ, включающий в себя проверку гипотезы по критерию Фишера:

$$F_{\text{набл}} = \frac{MS_{\text{между группами}}}{MS_{\text{внутри групп}}}, \quad (5)$$

$$MS = \frac{SS}{df}, \quad (6)$$

$$SS_{\text{между группами}} = \sum_{j=1}^q (\bar{x}_j - \bar{x})^2 \cdot n_j, \quad (7)$$

$$SS_{\text{внутри групп}} = \sum_{j=1}^q D_j \cdot n_j, \quad (8)$$

$$df_{\text{между группами}} = q - 1, \quad (9)$$

$$df_{\text{внутри групп}} = N - q. \quad (10)$$

где $F_{\text{набл}}$ – наблюдаемое значение критерия Фишера; $MS_{\text{между группами}}$ – исправленная факторная дисперсия; $MS_{\text{внутри групп}}$ – 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; $SS_{\text{внутри групп}}$ – остаточная (внутригрупповая) сумма квадратов отклонений; D_j – выборочная дисперсия в группе; $df_{\text{между группами}}$ – число степеней свободы объясненной дисперсии; $df_{\text{внутри групп}}$ – число степеней свободы необъясненной дисперсии; q – количество групп; N – общий объем выборки.

Для проверки $F_{\text{набл}}$ определено критическое значение критерия Фишера $F_{\text{кр}} = 3,938$. В виду незначительного различия между математическими ожиданиями по критерию «Приведенные строительно-эксплуатационные расходы», альтернативы № 6 и № 17 признаются паритетными по критерию сравнительной экономической эффективности (рисунок 5).

В результате, наиболее рациональным вариантом повышения перерабатывающей способности станции является альтернатива № 17. Данный вариант позволяет обеспечить более гармоничное согласование параметров структуры и технологии работы железнодорожной станции при паритетных с вариантом № 6 значениях сравнительной экономической эффективности.

Таким образом, предложенная в диссертационном исследовании методика является наиболее универсальным и надежным инструментом принятия решений при согласовании параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций, позволяющим учесть предпочтения заказчика. Ее применение позволило повысить эффективность принимаемых решений и, при этом, снизить трудозатраты на построение и отладку вариантных моделей. Так, снижение количества разрабатываемых вариантов модели станции Осенцы составило 11 единиц, снижение числа вариантов, требующих расчета экономической и технологической эффективности, – 4

единицы. Включение показателя «Суммарные задержки технологических операций, вызываемые структурой» в качестве критерия на этапе сравнения альтернатив значительно снизило риск принятия нерационального решения. 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 выстачочных путей на территории ПСТ ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» для отстоя вагонов) стал возможен только благодаря разработанной методике и привел к снижению задержек технологических операций, вызываемых структурой на 13,7%.

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%.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, включенных в перечень ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации:

1. 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, управление. – 2015. – №1. – С. 53–56.
2. Кощев, А. А. Анализ методов расчета железнодорожных станций / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кашеева, А. А. Кощев // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. – №7. – С. 31–34.
3. Кощев, А. А. Техничко-экономическое обоснование решений по повышению перерабатывающей способности обслуживающих устройств в системах железнодорожного транспорта / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кашеева, Н. А. Афанасьева, А. А. Кощев // Транспорт Урала. – 2018. – №1. – С. 35–44.
4. Кощев, 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. Кашеева, В. С. Колокольников, А. А. Кощев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2019. – №2. – С. 26–33.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных Scopus и Web of Science:

5. 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.
6. 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.
7. 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.

Публикации в журналах и научных сборниках:

8. Кощев, А. А. Развитие подходов к исследованию железнодорожных станций / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кашеева, 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.
9. 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.

10. 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.

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

12. Кощев, А. А. Оценка влияния взаимодействия структурных элементов транспортной системы на ее пропускную способность / Е. Н. Тимухина, Н. В. Кащева, А. А. Кощев // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 329–333.

Основные положения и результаты исследований получены автором самостоятельно. Статья [9] подготовлена единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [1, 2, 8] – проведен анализ существующих методов расчета параметров структуры и технологии работы железнодорожных станций, выполнено исследование рынка программных продуктов для имитационного моделирования транспортных систем; [3, 4, 5, 10, 12] – разработаны алгоритмы формирования и оценки вариантов повышения (уменьшения избыточной) пропускной или перерабатывающей способности структурных элементов с использованием имитационной модели; [6, 11] – предложен способ формирования множества альтернативных решений на основе синтетического подхода; [7] – разработана методика сужения множества Парето на основе учета стохастичности критериальных функций.

Кощев Антон Алексеевич

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

05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Подписано в печать 19.02.2021 Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л 1,2. Тираж 100 экз. Заказ 80

УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66