

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»**

*На правах рукописи*

**Шеховцов Алексей Игоревич**

**ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМОВ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОРОЖНИМИ  
ВАГОНАМИ ПЕРЕВОЗОК СПЕЦИФИЧЕСКИХ ГРУЗОВ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами (по отраслям)  
(технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2019

Работа выполнена в ГООВПО «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА», г. Донецк.

Научный доктор технических наук, профессор  
руководитель: **Чепцов Михаил Николаевич**  
ГООВПО «ДОНИЖТ» (г. Донецк), ректор

Официальные **Фамилия, Имя, Отчество**  
оппоненты: ученая степень, ученое звание, организация/место работы, должность

**Фамилия, Имя, Отчество**  
ученая степень, ученое звание, организация/место работы, должность

Ведущая организация: **Полное наименование организации (в соответствии с уставом)**

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. в \_\_. \_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 01.024.04 при ГОУВПО «ДОННТУ» и ГОУВПО «ДОННУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, корп. 1, ауд. 203. Тел./факс: 380(62) 304-30-55, e-mail: [uchensovnet@donntu.org](mailto:uchensovnet@donntu.org).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «ДОННТУ» по адресу: 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, корп. 2. Адрес сайта университета: <http://donntu.org>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.024.04  
кандидат технических наук

Т.В. Завадская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Рост темпов развития промышленности вызывает рост ее потребностей в сырье, материалах, реализации готовой продукции, то есть в перевозках. Железнодорожный транспорт может обеспечивать массовую доставку грузов, для которой необходимо постоянное обновление и совершенствование подвижного состава. Однако на данном этапе развития государства износ подвижного состава весьма велик, а его полное обновление невозможно, поэтому возникает вопрос совершенствования технологических решений по использованию подвижного состава.

Особую актуальность эта задача приобретает при перевозке навалочных и насыпных грузов, которые за 2013 год составляют более 55% перевозок железных дорог. Это вызвано несколькими факторами, среди которых:

1) непригодность вагонов для перевозки конкретных грузов, из-за несоответствующего технического или коммерческого состояния, определенного после подачи вагонов под погрузку. Причем вагоны в порожнем состоянии проследуют к станции погрузки, где клиенты не принимают их из-за несоответствия состояния вагона фракции груза, или из-за некачественной, по мнению клиента, очистки вагонов;

2) утрата груза мелких фракций сквозь отверстия и щели в бортах вагонов, вызванная их неудовлетворительным техническим состоянием. Это негативно влияет как на имидж перевозчика (железной дороги), так и на экологическое состояние окружающей среды.

Необходимость привлечения дополнительных объемов перевозок требует внедрения современных мировых технологий перевозки грузов, обеспечивающих экологическую безопасность и высокие скорости следования.

Существующая на период проведения исследования технология распределения порожних вагонов для обеспечения перевозок специфических грузов свидетельствует, что с целью уменьшения негативного влияния грузовых перевозок железных дорог на экологическую ситуацию, подбора пригодных вагонов под погрузку, ускорения продвижения порожних вагонов к местам их планируемой погрузки, снижения затрат на обеспечение заявок грузоотправителей, актуальной является научно-прикладная задача совершенствования управления процессами обеспечения заявок по перевозке специфических грузов на базе автоматизированной системы управления.

**Степень разработанности темы исследования.** Большой вклад в исследование проблем автоматизации управления перевозками на железнодорожном транспорте внесли труды С.В. Дуваляна, А.С. Гершвальда, В.А. Ивницкого, В.И. Ковалева, П.А. Козлова, Э.К. Лецкого, В.И. Моисеенко, Э.С. Поддавашкина, Т.И. Рыбаковой, В.Ш. Хисматулина, М.Н. Чепцова, А.Н. Шабельникова, В.В. Яковлева, и многих других.

Развитием и решением вопросов регулирования порожних вагонопотоков на основе ресурсосберегающих технологий занимались В.М. Акулиничев, Е.В. Архангельский, М.М. Бабаев, В.И. Бобровский, Т.В. Бутько, П.С. Грунтов,

Н.И. Данько, В.И. Жуковицкий, В.М. Запара, Г.Н. Кирпа, Л.М. Коммодов, А.Н. Котенко, В.М. Лысенков, Д.В. Ломотько, Н.Л.Медведева, В.К. Мироненко, Е.В. Нагорный, В.Я. Негрей, В.В. Повороженко, В.Н. Самсонкин, А.А. Смехов, Е.А. Сотников, М.П. Топчиев, П.А. Яновский и другие ученые.

Существующая система регулирования порожних вагонопотоков была сформирована в 50-х годах прошлого века для условий плановой экономики с единым собственником вагонов, управляющим ими как одним обезличенным парком, состояние вагонного парка существенно отличалось от нынешнего, и вопрос о пригодности вагонов под погрузку груза конкретной фракции не был актуален, равно как и проблема перевозок специфических грузов и защиты от них окружающей среды. На сегодняшний день новая система хозяйствования требует новых подходов к управлению порожними вагонными парками, что не учитывалось при проведении более ранних фундаментальных исследований.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы – совершенствование системы управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на доставку специфических грузов.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнить анализ структуры грузопотока, обрабатываемого на грузовых станциях, с выделением их специализации и определить основные риски влияния перевозки специфических грузов на экологию прилегающих территорий, а также определить возможности существующих информационно-управляющих систем (ИУС) в части поддержки принятия решений при обеспечении порожним подвижным составом заявок грузоотправителей.

2. Выполнить анализ процесса обеспечения порожними вагонами как объекта управления и разработать модели расчета эксплуатационных расходов при управлении процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов.

3. Разработать формальную модель, отображающую управление процессами обеспечения порожним подвижным составом заявок грузоотправителей, которая позволит ускорить доставку порожних вагонов в пункты погрузки, снизить нагрузку на технические средства железных дорог и уменьшить негативное влияние на экологию.

4. Разработать структуру и алгоритмы функционирования системы автоматизированного управления процессами обеспечения заявок на перевозку специфических грузов и обосновать ее параметры.

**Объект исследования** – система управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов.

**Предмет исследования** – система автоматизированного управления процессами обеспечения заявок грузоотправителей на перевозку специфических грузов.

**Научная новизна** полученных результатов заключается в следующем:

1. Получили дальнейшее развитие модели расчета эксплуатационных расходов при управлении процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, с учетом

неопределенности времени ожидания вагонами обработки и возможностью определения оптимального способа обеспечения заявки.

2. Впервые разработана модель управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, которая позволяет учитывать и корректировать влияние негативных факторов на управление процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей.

3. Впервые предложена структура и алгоритмы системы автоматизированного управления процессами обеспечения заявок на перевозку специфических грузов, с учетом автоматизации определения пригодности вагонов, расчета и сравнения стоимости и времени доставки вагонов в пункт погрузки, в зависимости от выбранного способа обеспечения.

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

Теоретическая значимость результатов исследований заключается в раскрытии закономерностей и обосновании рекомендаций по совершенствованию управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов в условиях экологической безопасности, за счет ускорения продвижения вагонов и снижения эксплуатационных расходов на выполнение заявок, а также в формализации процесса удовлетворения заявок грузоотправителей на перевозку специфических грузов, с учетом различных вариантов направления порожних вагонов в адрес грузоотправителей и требований экологической безопасности.

Практическое значение результатов исследований:

1. Разработаны структура и алгоритмы системы автоматизированного управления процессами обеспечения заявок на перевозку специфических грузов, которые внедрены в ГП «Донецкая железная дорога» в виде рекомендаций по повышению эффективности распределения порожних вагонов.

2. Модели расчета эксплуатационных расходов при управлении процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, модель управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, структура и алгоритмы системы автоматизированного управления процессами обеспечения заявок на перевозку специфических грузов применяются в учебном процессе кафедры организации перевозок и управления на железнодорожном транспорте ГООВПО «ДОНИЖТ».

3. Разработаны модели расчета эксплуатационных расходов при управлении процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, получен патент на полезную модель «Автоматизована система розподілу порожніх вагонів із системою підтримки рішення» (номер патента 63644). Предложены рекомендации по совершенствованию технологии управления распределением порожних вагонов при обеспечении специализированных грузовых станций,

результаты исследований внедрены на Одесской железной дороге, что подтверждено соответствующим актом.

**Методология и методы исследования.** При решении поставленных задач были использованы методы системного анализа, теории вероятности, методы математического программирования, имитационное моделирование.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Установлено, что процесс обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на перевозку специфических грузов без введения системы автоматизированного управления приводит к нанесению значительного ущерба экологическому состоянию прилегающих территорий и низкой эффективности использования подвижного состава, обоснование математических моделей и алгоритмов выбора способа обеспечения заявок порожними вагонами позволяет устранить факторы, снижающие эффективность работы.

2. Показано, что предложенные алгоритмы системы автоматизированного управления процессами обеспечения заявок на перевозку специфических грузов способствуют повышению качества управления процессами, быстродействия на 18,27 % и снижению расходов на обеспечение заявок на 4,4 %.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается адекватностью предложенной модели, корректностью формулировки математического описания задачи; использованием основополагающих положений системного анализа, современных методов имитационного моделирования.

Полученные результаты, положения и выводы отвечают требованиям паспорта специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки), в частности: п. 3 «Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.»; п. 4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»; п. 16 «Теоретические основы, методы и алгоритмы построения экспертных и диалоговых подсистем, включенных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.».

Основные положения диссертационной работы апробированы на научно-практических конференциях: III международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной экономической науки», г. Омск, 21-24 апреля 2015 г.; V Всероссийской научно-практической конференции «История и перспективы развития транспорта на севере России. Молодежь – транспорту России», г. Ярославль, 9 июня 2016 г.; Всероссийской научно-практической конференции «Повышение эксплуатационной эффективности подвижного состава и технологических машин», г. Хабаровск, 23 ноября 2016 г.; V международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной экономической науки», г. Омск, 15-17 мая

2017 г.; VI Всероссийской научно-практической конференции «История и перспективы развития транспорта на севере России», г. Ярославль, 8 июня 2017 г.; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфокоммуникациях», г. Хабаровск, 29 сентября 2017 г.; XLII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», г. Алматы, 18 апреля 2018 г.; IX Международной научно-практической конференции «Транспорт Евразии XXI века: Современные цифровые технологии на рынке транспортных и логистических услуг», г. Алматы, 20-21 декабря 2018 г.; II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МИЛЛИОНЩИКОВ-2019», г. Грозный, 30-31 мая 2019 г.; XVI Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты», г. Донецк, 21-22 ноября 2019 г.

**Личный вклад соискателя.** Все результаты и положения, составляющие основное содержание диссертации, вынесенные на защиту, получены автором самостоятельно. Личный вклад соискателя заключается в обосновании идеи работы и ее реализации, цели и задач работы, в выборе методов и направлений исследований, выполнении теоретических, аналитических и экспериментальных исследований, разработке положений и методических рекомендаций по использованию результатов работы, а также их внедрению в производство.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 18 научных работах, в том числе: 1 работа в изданиях, входящих в перечень специализированных научных изданий, утвержденный ВАК ДНР; 6 работ в изданиях, входящих в перечень специализированных научных изданий, утвержденный ВАК Украины; 10 – по материалам конференций; 1 – патент на полезную модель.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 187 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и четырех приложений. Работа иллюстрирована 111 рисунками, содержит 58 таблиц. Список литературы включает 124 источника.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснованы актуальность направления исследований, сформулированы цель и задачи исследования, отражена научная новизна, практическое значение полученных результатов и личный вклад автора, приведена информация об апробации и публикации результатов исследований.

**Первый раздел** посвящен анализу теоретических исследований и поиску перспективных направлений совершенствования системы управления

процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов при выполнении требований экологической безопасности.

Большую часть (более 55%) перевозок сети железных дорог, и Донецкой железной дороги (около 75%) в частности, составляют насыпные и навалочные грузы, которые обладают специфическими свойствами. Из-за физических свойств данных грузов возникает угроза окружающей среде, поэтому особое внимание следует уделять не только совершенствованию технических средств, но и технологии распределения порожних вагонов, которые были бы пригодны под конкретный груз, а также доставлялись быстрее, для наилучшего удовлетворения заявок грузоотправителей на перевозку и уменьшения времени взаимодействия грузов с окружающей средой, при их хранении. При выполнении распределения порожних вагонов по существующему варианту работы возникают значительные простои вагонов на технических станциях, нагрузка на инфраструктуру, которой можно избежать, и потребность в очистке вагонов от остатков груза, в результате чего возникает значительное время простоя на грузовых станциях и может наноситься ущерб экологической ситуации прилегающих территорий. Поэтому предлагается, выполнять управление процессами обеспечения заявок на перевозку специфических грузов на базе автоматизированной системы управления.

В результате анализа возможных факторов влияния железнодорожного транспорта на экологию прилегающих территорий была предложена математическая модель интегрированной оценки факторов ожидаемых экологических потерь:

$$R(Y_{\varepsilon}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^l R_{ij}(E) \cdot Y_{ijq}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество зон влияния на экологию прилегающих территорий,  $m$  – количество факторов экологических рисков;  $l$  – составляющие материального убытка;  $R(E)$  – риск экологического убытка;  $Y$  – материальный убыток.

На сегодняшний день, на сети ГП «Донецкая железная дорога» нет единой автоматизированной системы управления перевозочным процессом, а существующие информационные системы, как на сети ОАО «Российские железные дороги», так и за рубежом, используемые при регулировании порожних вагонопотоков, в основном являются информационно-справочными и не предоставляют возможных рациональных вариантов решений относительно самого процесса обеспечения порожними вагонами. Поэтому возникает актуальная научно-прикладная задача формирования системы автоматизированного управления обеспечением порожними вагонами с элементами поддержки принятия решений диспетчера по регулированию вагонного парка (ДГПВ), которая кроме того должна учитывать факторы минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Решение этой задачи требует рассмотрения перевозочного процесса как сложной системы и формализации процесса обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на перевозку специфических грузов, с корректировкой возможностей существующих информационно-управляющих систем.

**Во втором разделе** процессы управления обеспечением порожними вагонами заявок на перевозки рассмотрены как объект управления, выявлены основные особенности, влияющие факторы, разработаны модели расчета эксплуатационных расходов при управлении процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, с учетом неопределенности времени ожидания вагонами обработки и возможностью определения оптимального способа обеспечения заявки.

Перевозочный процесс железнодорожного транспорта является комплексом взаимосвязанных технологических операций, направленных на перемещение грузов между пунктами, указанными заказчиком такого перемещения – грузоотправителем. Перевозочный процесс является, фактически, самоцелью существования железнодорожной системы. Одной из составляющих перевозочного процесса является процесс обеспечения клиентов железнодорожного транспорта погрузочными ресурсами, т.е. доставка порожних вагонов для обеспечения заявок грузоотправителей на погрузку. Перевозочный процесс удобно представить в виде структуры (Рисунок 1).

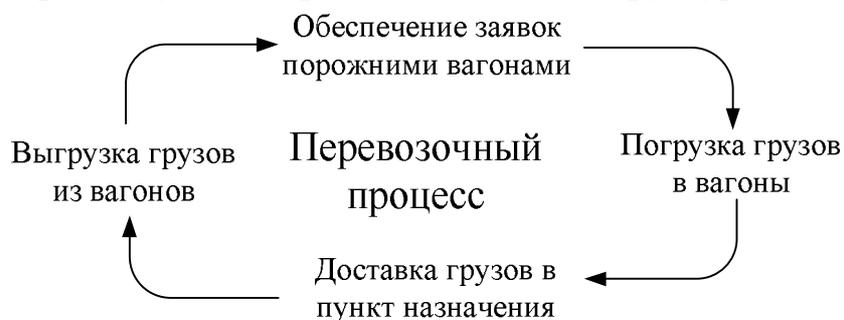


Рисунок 1 – Структурная схема перевозочного процесса

Основной функцией железнодорожного транспорта является удовлетворение заявок клиентов на перевозки их грузов или на доставку пассажиров к местам потребления услуг, в данной работе рассматриваются грузовые перевозки железнодорожного транспорта. Ресурсами для обеспечения заявок выступают имеющиеся порожние вагоны, пригодные под погрузку, а также инфраструктура и тяговые средства. Одной из приоритетных целей функционирования железнодорожного транспорта является снижение затрат на обеспечение заявок и выполнение перевозок грузов, за счет чего может быть получена прибыль. В случае перевозок специфических грузов, в зависимости от их особенностей, на процессы оперативного управления при обеспечении заявок накладывается ряд ограничений. Это связано с: необходимостью очистки и промывки вагонов после перевозки специфических грузов; невозможностью использовать под погрузку наличные порожние вагоны, в связи со специфическими особенностями груза. Как следствие, усложняется система управления процессами обеспечения порожними вагонами и увеличиваются расходы на обеспечение заявок.

Алгоритм управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок на перевозку представлен на рисунке 2.

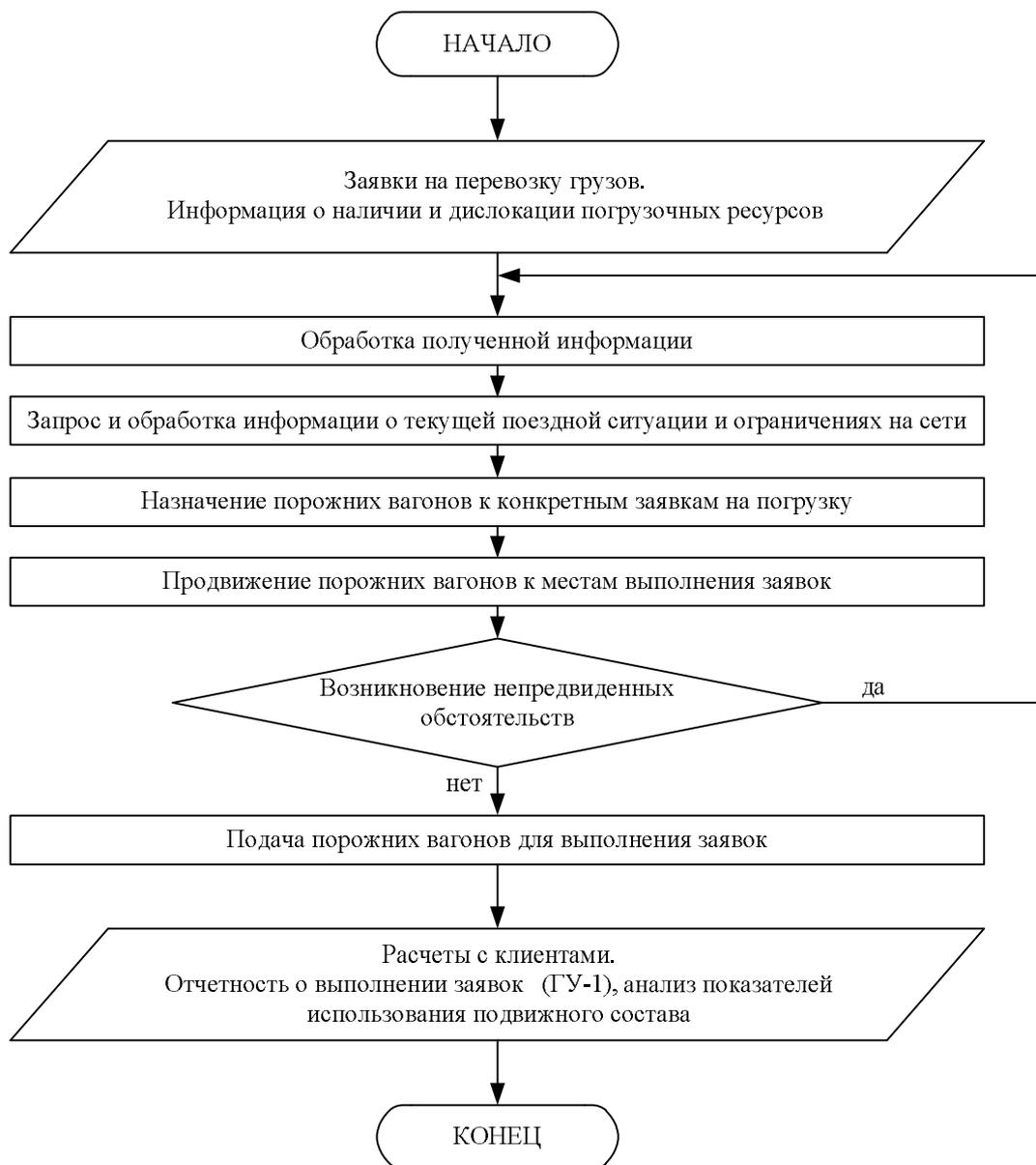


Рисунок 2 – Алгоритм управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок на перевозку

Как объект управления процессы обеспечения порожними вагонами заявок на перевозки представлены на рисунке 3. В результате анализа свойств объекта определено, что на стабильность обеспечения порожними вагонами заявок на перевозку грузов влияют:

- пригодность вагона для перевозки конкретного груза;
- длительность времени обслуживания заявок в отдельных подсистемах.

Необходимость определения пригодности вагона под погрузку конкретного специфического груза связана с неудовлетворительным техническим состоянием вагонов. Кроме того, в зависимости от рода груза, выгруженного из вагона, может потребоваться промывка или очистка вагона, что в значительной степени влияет на время нахождения вагонов на грузовых пунктах. Для оценки пригодности вагона под конкретный груз разработана методика присвоения категорий годности ( $g \in \{1,2,3,4\}$ ).



Рисунок 3 – Процессы обеспечения порожними вагонами как объект управления

Проведены статистические исследования количества вагонов со специфическим грузом (глина), прибывающим в адрес крупного порта. По результатам наблюдения доказано, что функция вероятности распределения случайной величины  $x$  количества вагонов с глиной, поступающих на припортовую станцию подчинена закону распределения Пойа:

$$f(x) = 15 \cdot \left[ \frac{66^x}{x!} \cdot \frac{(1 + 0,42) \cdot (1 + 2 \cdot 0,42) \dots (1 + (x - 1) \cdot 0,42)}{(1 + 27,72)^{\left(x + \frac{1}{0,42}\right)}} \right]. \quad (2)$$

В условиях устойчивого транспортного рынка количество вагонов данного типа, находящихся на станции, подчинено биномиальному закону распределения:

$$f(x_i, n_i, p_i) = \frac{n_i!}{x_i!(n_i - x_i)!} p_i^{x_i} (1 - p_i)^{n_i - x_i}, \quad (3)$$

где  $x_i$  – количество порожних вагонов необходимого типа на станции;  $n_i$  – общее количество порожних вагонов на станции;  $p_i$  – постоянная вероятность нахождения порожних вагонов необходимого типа на станции.

Тогда математическое ожидание числа порожних вагонов необходимого типа составит  $\overline{X}_i = n_i p_i$ , а интенсивность их поступления на станцию из пункта выгрузки в порожнем состоянии будет равна  $\lambda_i = \frac{\overline{X}_i}{t_{nep_i}}$ , где  $t_{nep_i}$  – среднее время на

перемещение группы вагонов  $\overline{X}_i$  из пункта выгрузки на станцию. Время накопления вагонов на можно определить по формуле:

$$t_{након} = \frac{q_b^2}{2 \sum_{i=1}^k \lambda_i}, \quad (4)$$

Модель расчета суммарных эксплуатационных расходов на обеспечение порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, в случае доставки в составе поездов, состоящих из груженых и порожних вагонов, будет иметь следующий вид:

$$C = (t_{очист} + t_{оф} + t_{обр}^{омнр}) \cdot C_{ГС} + t_{ож}^{нач} \cdot C_{ин} + C_{нум} + \sum_{i=1}^n (t_{обр}^{проб} + t_{з_i} + t_{над_i} + t_{рас_i} + t_{ос_i} + \frac{q^2}{2 \sum_{i=1}^k \lambda_i} + t_{оф_i} + t_{обр}^{омнр}) \cdot C_{ТС} + t_{ож}^{мехн} \cdot C_{ин} + (t_{з} + t_{над} + t_{рос} + t_{ос}) \cdot C_{ГС} + t_{ож}^{кон} \cdot C_{ин} \quad (5)$$

где  $t_{очист}$  – время, необходимое для очистки вагонов после выгрузки, ч;  $t_{оф}$  – время на окончание формирования состава, ч;  $t_{обр}^{омнр}$  – технологическое время на обработку состава своего формирования перед отправлением, ч;  $C_{ГС}$  – стоимость вагоно-часа простоя с учетом маневровых операций, руб.;  $t_{ож}$  – время межоперационных простоев, ч;  $C_{ин}$  – стоимость вагоно-часа непроизводительного простоя, руб.;  $C_{нум}$  – расходы, связанные с перемещением вагонов со станции отправления до станции назначения, руб.;  $t_{обр}^{проб}$  – технологическое время обработки поезда перед расформированием, ч;  $C_{ТС}$  – стоимость поезда-часа простоя на станции, руб.

Система ограничений:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{очист} < t_{очист}^{норм} \\ \left( \frac{\sqrt{\sum (I_{ex}^i - I_{ex}^{cp})^2 \cdot \rho_i^*}}{I_{ex}^{cp}} \right) \geq \left( \frac{\sqrt{\sum (t_i - t_{об})^2 \cdot \rho_i^*}}{t_{об}} \right) \\ \psi < 1 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{- время очистки вагонов} \\ \text{не должно превышать нормы,} \\ \text{установленной соглашением} \\ \text{- закон распределения времени} \\ \text{обслуживания не должен} \\ \text{превышать интенсивности} \\ \text{входящего потока} \\ \text{- загрузка системы должна} \\ \text{быть меньше 1} \end{array}$$

Модель расчета суммарных эксплуатационных расходов на обеспечение порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов в составе порожних маршрутов, будет иметь следующий вид:

$$C = \left( t_{очист} + \frac{q_e^2}{2 \sum_{i=1}^k \lambda_i} + t_{ПТЕ} + t_{подт} + t_{обр}^{омнр} \right) \cdot C_{ГС} + \left( \frac{q_e}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} + t_{неп_i} + \frac{q_e}{l_\phi} \cdot t_{П} - \frac{q_e}{N_\phi} \right) \times \\ \times N_\phi \cdot C_B \cdot \int_{t_{неп}}^{t_{проз}} f(t_{вр}) dt_{вр} + t_{ож}^{нач} \cdot C_{ин} + C_{нум} + \sum_{i=1}^n t_i^{mp} \cdot C_{ТС} + \\ + t_{ож}^{мехн} \cdot C_{ин} + (3,75 + 0,46 \cdot n_{отц}) \cdot C_{ГС} + t_{ож}^{кон} \cdot C_{ин} \quad (6)$$

где  $q_b$  – количество вагонов в формируемом порожнем маршруте;  $\lambda$  – интенсивность поступления порожних вагонов необходимого типа на

припортовую станцию, ваг/ч;  $t_{ПТЕ}$  – технологическое время на выполнение операций, связанных с расстановкой вагонов в соответствии с требованиями ПТЭ, ч;  $t_{подм}$  – технологическое время на подтягивание вагонов со стороны вытяжных путей для ликвидации окон на путях сортировочного парка, ч;  $t_{неp}$  – среднее время перемещения вагонов из порта на припортовую станцию в порожнем состоянии, ч;  $l_{\phi}$  – длина грузового фронта в вагонах;  $t_{\Pi}$  – время на подачу-уборку одной подачи, ч;  $N_{\phi}$  – производительность грузового фронта, ваг/ч;  $C_B$  – стоимость вагоно-часа простоя с учетом перемещения, руб.;  $t_{ep}$  – время простоя одного вагона в резерве, ч;  $t_{прог}$  – прогнозируемое время подвоза вагонов на станции погрузки, ч;  $t_i^{mp}$  – время нахождения вагонов на технической станции, при проследовании ее в составе транзитных поездов, ч;  $n_{отц}$  – количество вагонов, отцепляемых от поезда на соответствующей станции.

Система ограничений модели доставки порожних вагонов для перевозки специфических грузов в составе порожних маршрутов:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{рез} = \left( \frac{q_B}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} + t_{неp_i} + \frac{q_B}{l_{\phi}} \cdot t_{\Pi} - \frac{q_B}{N_B} \right) \cdot \frac{N_B \cdot Q_C}{q_{CT} \cdot q_B} < Q_{ГC_{\Pi}} \quad \text{- количество вагонов в резерве не должно превышать емкости припортовой станции } Q_{ГC_{\Pi}} \\ \left( \frac{\sqrt{\sum (I_{ex}^i - I_{ex}^{cp})^2 \cdot \rho_i^*}}{I_{ex}^{cp}} \right) \geq \left( \frac{\sqrt{\sum (t_i - t_{об})^2 \cdot \rho_i^*}}{t_{об}} \right) \quad \text{- закон распределения времени обслуживания не должен превышать интенсивности входящего потока} \\ \psi < 1 \quad \text{- загрузка системы должна быть меньше 1} \end{array} \right.$$

**Третий раздел** посвящен разработке модели управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, позволяющей учитывать и корректировать влияние негативных факторов на управление процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей и моделированию управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей.

Доставка порожних вагонов из пунктов выгрузки в пункты погрузки, для обеспечения заявок грузоотправителей, может выполняться группами вагонов, в составе поездов, состоящих из груженых и порожних вагонов, следующих согласно Плану формирования поездов, и перерабатываемых на попутных технических станциях, либо в составе порожних маршрутов, при достаточном количестве поступивших заявок в адрес одного или соседних пунктов погрузки.

С помощью математического аппарата сетей Петри формализованы процессы обеспечения заявок грузоотправителей порожними вагонами (Рисунок 4).

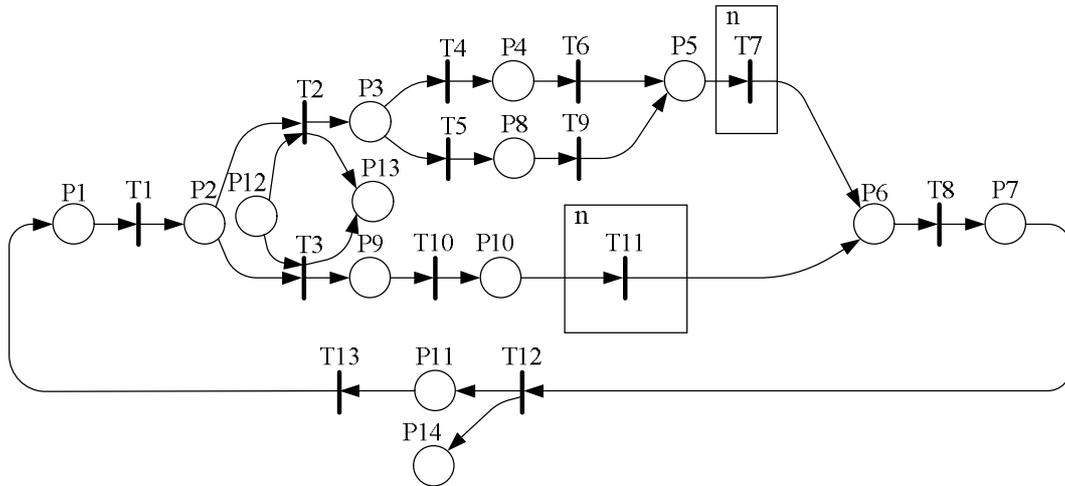


Рисунок 4 – Укрупненная модель управления перевозочным процессом с выделением процессов обеспечения порожними вагонами заявок на перевозку грузов

При применении управляющих воздействий, направленных на оптимизацию управления процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов возможно сократить или полностью исключить влияние негативных факторов на управление процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей.

Результаты моделирования стоимости обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей в случае обеспечения 48 порожних вагонов, следующих в составе поездов, состоящих из груженых и порожних вагонов в существующих условиях и в случае применения управляющих воздействий представлены на рисунке 5. Стоимость обеспечения заявок при применении предложенных управляющих воздействий ниже на 4,4 %, быстродействие системы повысилось на 18,27 %.

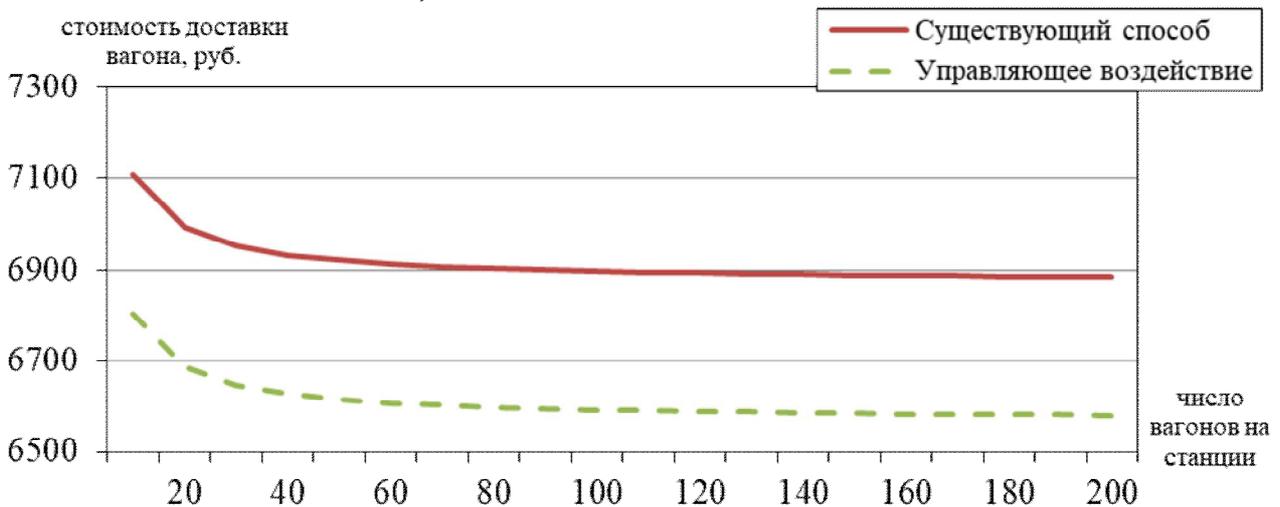


Рисунок 5 – График сравнения стоимости обеспечения порожними вагонами в случае обеспечения 48 вагонов, следующих в составе поездов, состоящих из груженых и порожних вагонов в существующих условиях и в случае применения управляющих воздействий

**Четвертый раздел** посвящен разработке структуры и алгоритмов системы автоматизированного управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов и интеграции ее в действующие информационно-управляющие системы железнодорожного транспорта, расчету экономической эффективности предложенных мероприятий.

Алгоритм системы управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов приведен на рисунке 6. В зависимости от количества заявок на погрузку специфических грузов требующих обеспечения в пределах одной или соседних станций погрузки системой принимается решение о возможности формирования в адрес данной станции погрузки (нескольких станций) маршрута. В случае невозможности организации маршрута, в связи с недостаточными объемами планируемой погрузки, вагоны будут направляться для обеспечения заявок на погрузку группами в составе поездов, состоящих из груженых и порожних вагонов, следующих согласно Плану формирования поездов. Если принято решение об обеспечении заявок на перевозку специфических грузов маршрутом, то системой проводится анализ достаточности вагонов соответствующей категории пригодности для формирования маршрута из порожних вагонов, и в случае отсутствия необходимого числа вагонов они извлекаются из резерва.

Для эффективного управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов с учетом внедрения разработанных алгоритмов предлагается автоматизированная система управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов. Структура автоматизированной системы управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов представлена на рисунке 7.

Система реализуется на рабочем месте диспетчера по регулированию вагонного парка (АРМ ДГПВ). ДГПВ входит в структуру дорожного центра управления (ДЦУ) и взаимодействует в работе с поездными диспетчерами (ДНЦ), управляющими перевозочным процессом на соответствующих участках сети и контролирующими работу дежурных по станциям (ДСП) своих участков. Информацию о наличии порожних вагонов на станциях ДГПВ получает от маневровых диспетчеров станций (ДСЦ). Передача информации о наличии порожних вагонов на станционных путях между АРМ ДСЦ и АРМ ДГПВ в автоматизированном режиме реализована в эксплуатируемых ИУС железнодорожного транспорта, но в разработанной системе информация о высвобождаемых вагонах поступает в момент готовности вагонов к уборке и подбор будущего пункта погрузки, с учетом пригодности, автоматизировано производится до возврата вагонов железной дороге.

Проведенное экономическое обоснование внедрения предложенной системы обеспечения порожними вагонами по железной дороге доказало, что годовая экономия составляет 11,9 млн. руб., а рабочий парк вагонов сокращается на 41 вагон. Результаты расчетов подтверждены актами внедрения.

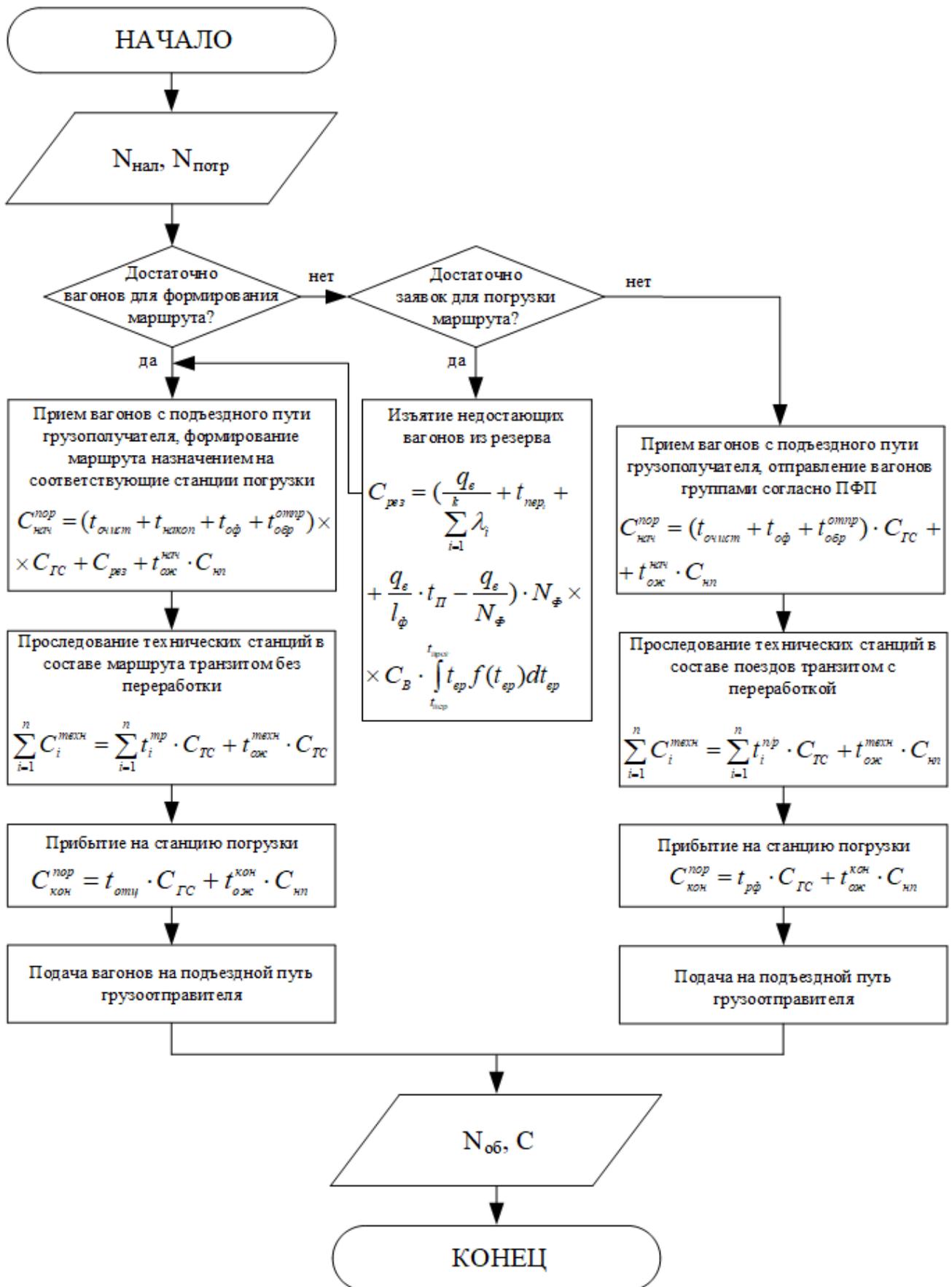


Рисунок 6 – Алгоритм системы управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов

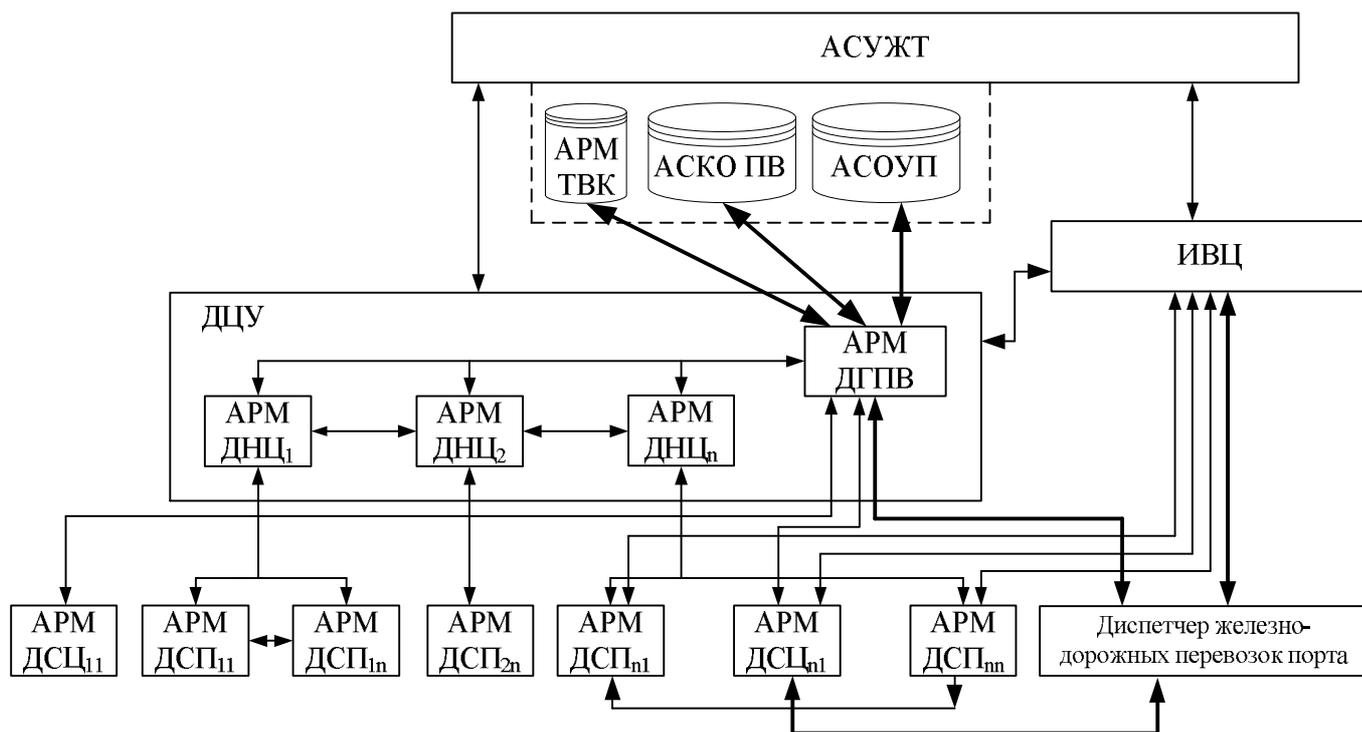


Рисунок 7 – Структура автоматизированной системы управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой получено новое решение актуальной научно-технической задачи, заключающейся в развитии структуры, математического и алгоритмического обеспечения системы автоматизированного управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов, с учетом пригодности вагонов под погрузку, соблюдения требований экологической безопасности, минимизации затрат на обеспечение перевозок.

Основные научные и практические результаты проведенного исследования, полученные в соответствии с поставленными в диссертации целью и задачами, а также выводы и предложения автора заключаются в следующем:

1. Проведен анализ работы грузовых станций ГП «Донецкая железная дорога» и установлено, что 75 % грузов, погрузка которых выполняется на территории дороги, являются специфическими, имеют свойство распыляться и негативно влиять на экологическое состояние окружающей природной среды, смерзаться или слеживаться, и усложнять процесс выгрузки груза из вагона, влиять на его дальнейшую пригодность под погрузку, а также требуют утилизации остатков груза. Определены основные недостатки существующей системы обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов, выделены основные направления негативного влияния железных дорог на экологию прилегающих территорий, установлена необходимость введения

системы автоматизированного управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов.

2. Установлены основные особенности системы управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов как объекта управления, на основании которых разработаны модели расчета эксплуатационных расходов при управлении процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей на погрузку специфических грузов, с учетом неопределенности времени ожидания вагонами обработки и возможностью определения оптимального способа обеспечения заявки, за счет расчета и сравнения эксплуатационных расходов по соответствующим вариантам выполнения заявок.

3. Разработана модель, отображающая управление процессами обеспечения порожним подвижным составом заявок грузоотправителей, позволяющая ускорить доставку порожних вагонов в пункты погрузки, снизить нагрузку на технические средства железных дорог и уменьшить негативное влияния на экологическую ситуацию прилегающих территорий, за счет учета и корректировки влияния негативных факторов на управление процессами обеспечения порожними вагонами заявок грузоотправителей.

4. Разработана структура и алгоритмы функционирования системы автоматизированного управления процессами обеспечения заявок на перевозку специфических грузов, с учетом автоматизации определения пригодности вагонов, расчета и сравнения стоимости и времени доставки вагонов в пункт погрузки, в зависимости от выбранного способа обеспечения. Разработаны рекомендации по внедрению разработанной структуры и алгоритмов системы автоматизированного управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов в действующие информационно-управляющие системы железнодорожного транспорта. Эффективность предложенной системы управления оценена в условиях управления процессами распределения порожних вагонов после перевозки в них глины в адрес крупного морского порта. Полученный годовой экономический эффект по железной дороге составляет 11,9 млн. руб., а рабочий парк вагонов сокращается на 41 вагон.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**- в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК ДНР:**

1. **Шеховцов, А.И.** Анализ процесса обеспечения заявок грузоотправителей порожними вагонами как системы / А.И. Шеховцов // Сборник научных трудов ДОНИЖТ. – Донецк, ДОНИЖТ, 2019. – № 52. – С. 44-49.

**- в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК Украины:**

2. **Шеховцов, А.И.** Автоматизированная система распределения порожних вагонов / В.Ф. Чеклов, В.М. Чеклова, **А.И. Шеховцов** // Вісник

Донецкого института автомобильного транспорта. – Донецьк, ДІАТ, 2008. – № 2. – С. 13-18.

3. **Шеховцов, А.И.** Анализ взаимодействия железнодорожных станций с морскими портами и влияние их работы на экологию / В.Ф. Чеклов, В.М. Чеклова, **А.И. Шеховцов**, Т.А. Панас // Залізничний транспорт України. – К., 2011. – № 2. – С. 19-21.

4. **Шеховцов, А.И.** Определение районов влияния на экологические условия при погрузке специфических грузов на железнодорожном транспорте / А.И. Шеховцов // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, ДонІЗТ, 2011. – № 28. – С. 38-43.

5. **Шеховцов, А.И.** Разработка математической модели обеспечения порожним подвижным составом специализированных грузовых станций / А.И. Шеховцов // Вісник ДААТ. – Донецьк, ДААТ, 2011. – № 2. – С. 28-32.

6. **Шеховцов, А.И.** Моделирование доставки специфических грузов в ГП «Мариупольский МТП» / В.Ф. Чеклов, **А.И. Шеховцов** // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, ДонІЗТ, 2013. – № 34. – С. 9-13.

7. **Шеховцов, А.И.** Совершенствование технологии распределения порожних вагонов после перевозки специфических грузов и ее экономическое обоснование / А.И. Шеховцов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, СНУ ім. В. Даля, 2013. – № 4 (193). – С. 325-328.

- в других изданиях:

8. **Шеховцов, А.И.** Анализ адекватности модели оборота вагонов / А.И. Шеховцов // Актуальные проблемы современной экономической науки. Сборник трудов III международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов, 21-24 апреля 2015 г. – Омск: Амфора, 2015. – С. 183-185.

9. **Шеховцов, А.И.** Математическая оценка прибытия на грузовые станции специфических грузов / А.И. Шеховцов // История и перспективы развития транспорта на севере России молодежь – транспорту России (к 60-летию Ярославского филиала МИИТ), 9 июня 2016 г.: Сборник научных статей / Под ред. проф. О.М. Епархина – Ярославль: Ярославский филиал МИИТ, 2016. – С. 51-54.

10. **Шеховцов, А.И.** Автоматизированное рабочее место диспетчера железнодорожных перевозок порта / А.И. Шеховцов // Вестник Института тяги и подвижного состава: материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Повышение эксплуатационной эффективности подвижного состава и технологических машин», посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. В.Г. Григоренко, 23 ноября 2016 г. / Под ред. А. Е. Стецюка. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2016. – С. 87-90.

11. **Шеховцов, А.И.** Проблемы и перспективы управления порожними вагонопотоками в современных условиях / А.И. Шеховцов // Актуальные проблемы современной экономической науки: Материалы V международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в

2 ч., 15-17 мая 2017 г. Часть 1. – Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2017. – С. 363-367.

12. **Шеховцов, А.И.** Математическая модель обеспечения грузоотправителей порожними вагонами / А.И. Шеховцов // История и перспективы развития транспорта на севере России, 8 июня 2017 г.: Сборник научных статей / Под ред. проф. О.М. Епархина. Ярославль: Ярославский филиал МИИТ, 2017.– С. 125-129.

13. **Шеховцов, А.И.** Моделирование технологии обеспечения заявок грузоотправителей подвижным составом / А.И. Шеховцов // Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфокоммуникациях : труды Всерос. науч.-практ. конф. ученых трансп. вузов, инженерных работников и представителей академической науки с международным участием, 29 сентября 2017 г. / Под. ред. А.И. Годяева. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2017. – С. 242-247.

14. **Шеховцов, А.И.** Проверка адекватности укрупненной модели обеспечения заявок грузоотправителей подвижным составом / А.И. Шеховцов // «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика» Материалы XLII Междунар. науч.-практ. конф., 18 апреля 2018 г./ Под ред. Б.М. Ибраева. – Алматы: КазАТК имени М. Тынышпаева, 2018. – 2 т. – С. 144-148.

15. **Шеховцов, А.И.** Построение подсистемы «Нахождение на технической станции» модели обеспечения заявок грузоотправителей подвижным составом / А.И. Шеховцов // «Транспорт Евразии XXI века: Современные цифровые технологии на рынке транспортных и логистических услуг» Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., 20-21 декабря 2018 г./ Под ред. Р.К. Сатовой. – Алматы: КазАТК имени М. Тынышпаева, 2018. – С. 230-232.

16. **Шеховцов, А.И.** Анализ оперативного взаимодействия работников железной дороги, при обеспечении заявок грузоотправителей порожними вагонами / А.И. Шеховцов // МИЛЛИОНЩИКОВ-2019. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 100-летию ГГНТУ, 30-31 мая 2019 г. – Грозный: «Типография Спектр», 2019. – Т. 1. – С. 103-105.

17. **Шеховцов, А.И.** Обоснование структуры и алгоритмов системы управления процессами обеспечения порожними вагонами перевозок специфических грузов / М.Н. Чепцов, **А.И. Шеховцов** // Материалы XVI Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты», 21-22 ноября 2019 г. – Донецк: ДОНИЖТ, 2019. – С.

18. Пат. 63644 Украина Автоматизированная система распределения порожних вагонов с системой поддержки решения / Чеклов В.Ф., Чеклова В.М., **Шеховцов А.И.**; заявитель и владелец патента Чеклов В.Ф. – № u 2011 05417; заяв. 27.04.2011; публ. 10.10.2011, Бюл. № 19.