

На правах рукописи



**АРИФУЛЛИН ИЛЬЯ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ПОСТАВОК ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ  
ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ  
В АЭРОПОРТАХ**

Специальность 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (ФГБОУ ВО «МАДИ»)

Научный руководитель: доктор экономических наук, профессор  
**Некрасов Алексей Германович**

Официальные оппоненты: **Курганов Валерий Максимович** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Математика, статистика и информатика в экономике» ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

**Салминен Эро Ойвович** – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленного транспорта ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Защита диссертации состоится 28 сентября 2017 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д **212.223.02** при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) по адресу: 190103, Санкт-Петербург, Курляндская ул., д. 2/5, ауд. 340К.

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: [rector@spbgasu.ru](mailto:rector@spbgasu.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/arifullin-ilya-vladimirovich>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, СПбГАСУ, диссертационный совет

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук,  
доцент



Олещенко  
Елена Михайловна

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Рост количественных показателей авиaperевозок в РФ и постоянное повышение требований к их регулярности и безопасности должен обеспечиваться, как одним из факторов, своевременной поставкой запасных частей для специальных автотранспортных средств (САТС), эксплуатирующихся в аэропортах. По мере морального и технического износа САТС, произведенных многие годы назад, возникает потребность в обновлении парка, в том числе и автомобилями иностранного производства. Это приводит к необходимости обеспечения разномарочной техники оригинальными агрегатами, запасными частями и комплектующими, которые можно заказать только в специализированных центрах или у дилеров фирм-производителей, расположенных, как правило, за пределами РФ. При этом проблему обеспечения специальных автомобилей запасными частями для поддержания их работоспособного состояния, необходимо рассматривать не только с точки зрения экономической эффективности, но и с точки зрения обеспечения безопасности авиационных перевозок

Интенсивная эксплуатация САТС, зачастую с нарушением действующих регламентов, требует построения для них эффективной системы обеспечения запасными частями, так как обслуживание зарубежной техники предъявляет высокие требования к качеству запасных частей и комплектующих. Обслуживанием автомобилей специального назначения аэропортов занимаются дилерские центры производителей или, в редких случаях, сами производители. Дилерским центрам невозможно выстроить работу по примеру автомобильной промышленности, использующей торгово-сервисные комплексы с плановой закупкой и доставкой запасных частей и комплектующих. Более того, в связи с переводом наземной техники аэропортов на технику зарубежного производства возрастает необходимость изменений в организации процесса поставок запасных частей, связанных с изменениями в маршрутах поставок.

Научно обоснованные методические средства решения указанной проблемы, а именно логистическая поддержка централизованной организации поставок запасных частей для САТС, эксплуатирующихся в нескольких аэропортах мегаполиса, отсутствуют. Следствие – высокие затраты на техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) САТС, связанные с непроизводительными простоями этой техники и значительными издержками по доставке запасных частей.

Сложность изложенной выше проблемы представляет собой востребованную практикой задачу, требующую решения не на инженерном уровне, а приложения новых научных знаний. Такие знания, в частности, в настоящем диссертационном исследовании должны быть обеспечены разработкой соответствующих методик системной организации и управления работой САТС.

**Степень разработанности темы исследования.** Значительный научный вклад по сформулированной теме исследования внесли такие авторы как: Л.Л. Афанасьев, И.И. Батищев, В.М. Беляев, Л.А. Бронштейн, В.Д. Волков, В.В. Донченко, В.В. Дыбская, А.В. Комаров, В.А. Корчагин, В.С. Лукинский, С.В. Милославская, Л.Б. Миротин, А.Г. Некрасов, С.М. Резер, В.И. Сарбаев,

Н.А. Троицкая, С.С. Ушаков, Г.В. Фролов, Н.С. Цурков, А.А. Чеботаев, И. Ансофф, Джонсон Дж.С., Э. Мате и другие. Научные работы этих авторов послужили основой для новизны, поставленных задач исследования, анализа и оценки эффективности организации работы разрабатываемого транспортного комплекса по поставке запасных частей.

В исследованиях перечисленных авторов рассматриваются математические модели систем управления запасами, детализируются концепции «точно в срок» и «логистика быстрого реагирования», однако, специфические вопросы исследования организации централизованного подхода к решению задачи обеспечения нескольких аэропортов материальными ресурсами из единого центра поставок (ЕЦП) не были решены.

Разработка системной методики как совокупности решений обоснованного множества частных задач, связанных общей целью – организацией интегрированной транспортно-логистической системы (ИТЛС), которая была бы способна обеспечить координацию поставщиков автомобильной техники специального назначения (дилерские центры) и конечных потребителей (специализированные службы аэропортов) с целью сокращения времени и издержек при транспортировке запасных частей, повысила бы эффективность работы служб технической эксплуатации САТС аэропортов и, в конечном счете, безопасность авиаперевозок.

**Цель исследования** – разработка методики организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, обеспечивающей возможность оптимизации количества автомобилей, привлекаемых для перевозки по критерию минимум затрат.

**Задачи исследования:**

– обосновать концепцию ИТЛС, обуславливающую оптимизацию поставок запасных частей САТС, эксплуатирующихся в аэропортах Московского авиационного узла (МАУ).

– разработать структуру функциональных элементов и межэлементных связей в ИТЛС поставками запасных частей как систему массового обслуживания (СМО) в рамках имитационной модели (ИМ).

– разработать алгоритм, имитирующий работу элементов проектируемой СМО и их межэлементных связей, с учётом воздействия случайных факторов (ресурсных колебаний, внешних воздействий и т.д.).

– определить оптимальное количество привлекаемого тоннажа автомобилей для реализации программы по хранению запасных частей и выполнению производственной программы по перевозкам, при котором достигаются минимальные суммарные затраты.

– разработать методику организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, обобщающую решение приведенных выше частных задач, функционально связанных между собой общей целью.

**Объект исследования** – транспортно-логистическая система поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах.

**Предмет исследования** – методика организации поставок запасных частей, обеспечивающая процесс технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах.

**Научная новизна исследования** заключается в достижении следующих конкретных результатов:

1. Разработан моделирующий алгоритм принятия управленческих решений в ИТЛС поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, т. е. формализованное логико-математическое описание системы управления в соответствии с поставленными задачами и уровнем детализации.

2. Разработана структура СМО в рамках имитационной модели, позволяющая собирать статистику по всем типам информационных блоков, включая очереди и каналы поставок, сокращающей время необходимое для реализации полного цикла поставок запасных частей для САТС МАУ.

3. Разработана методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, из ЕЦП, обеспечивающая определение оптимального значения тоннажа автомобилей, необходимого для реализации программы по хранению запасных частей, и производственной программы по их перевозкам, т. е. методика, представляющая собой совокупность решений, перечисленных выше частных задач, и обеспечивающая достижение основной цели диссертационного исследования.

4. Разработана математическая модель определения оптимального количества автомобилей, необходимых для перевозок запасных частей, при реализуемых значениях полного цикла работы и количества каналов в СМО, позволяющая осуществить количественную оценку работы ИТЛС по критерию минимум затрат.

**Практическая значимость** диссертационного исследования заключается в ориентации на практику применения разработанных моделей и методик при осуществлении операций и процессов, связанных с обслуживанием специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, за счет своевременной поставки запасных частей и комплектующих для осуществления ТО и Р.

**Методология и методы исследования** основываются на системном анализе теории управления запасами, теории случайных процессов, имитационного моделирования, статистических методов и методов разведочного анализа данных, сетей массового обслуживания и других методов многомерного анализа.

**Положения, выносимые на защиту:**

– функциональная структура интегрированной транспортно-логистической системы организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах.

– имитационная модель механизма принятия управленческих решений в транспортно-логистической системе поставок запасных частей.

– математическая модель определения оптимального количества автомобилей, необходимых для перевозок запасных частей, по критерию минимум затрат.

– методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, из ЕЦП.

– экспериментально полученные зависимости времени полного цикла поставок запасных частей от параметров применяемой СМО.

– зависимости удельных технико-эксплуатационных и экономических показателей работы автомобилей, привлекаемых для реализации производственных программ по перевозкам и хранению запасных частей на ЕЦП.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, а именно, пункту 2 «Оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей, использования программно-целевых и логистических принципов».

**Личный вклад автора.** Все основные идеи, положенные в основу методики организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, из ЕЦП принадлежат автору.

**Степень достоверности** результатов исследования подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями, а именно: эффективным использованием современного математического аппарата, методов системного анализа и методологии решения оптимизационных задач; отсутствием противоречий с данными, полученными ранее в исследованиях другими авторами по данной тематике; публикациями автора в изданиях, рецензируемых ВАК РФ.

**Апробация работы.** Результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на: 70-й...75-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, г. Москва (2012...2017 гг.); заседаниях кафедры «Менеджмент» МАДИ (2012...2017 гг.).

Результаты исследования используются в учебном процессе МАДИ при реализации практических и лабораторных занятий по дисциплинам «Проектирование поставок и контроллинг», «Мультимодальные транспортные системы». Разработанная методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, используется в ряде организаций транспортного комплекса: ЗАО НПО «Авиаисток», ЗАО «КВИНТМАДИ». Организационными представителями представлены акты о внедрении научных результатов.

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано восемь работ, 7 из них в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций. Общий объем работ составляет 3,5 печатных листа.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем составляет 140 страниц машинописного текста, включающего 42 рисунка и 9 таблиц. Библиография содержит 152 наименования, в том числе 15 источников на иностранном языке.

*Во введении* обосновывается тема исследования, востребованность практикой решения задачи оптимизации процесса поставок запасных частей для САТС, эксплуатирующихся в аэропортах, её выбор и актуальность. Формируется цель исследования, как разработка методического инструмента для организации поставок запасных частей из ЕЦП. Определяются частные задачи исследования, элементы научной новизны и практическая ценность работы, а также излагаются положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* анализируются основные характеристики, номенклатура и статистика отказов существующего парка САТС МАУ. Дается оценка эффективности используемых методов управления запасами и определения потребностей в запасных частях для автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах. Обосновывается концепция проектируемой ИТЛС и характер требований, предъявляемых к ней, как к СМО и её показателей эффективности. Таким образом, формулируется направление разработки методики организации поставок запасных частей для САТС из ЕЦП.

*Во второй главе* обоснованы структура и показатели качества обслуживания СМО. Разработаны этапы ИМ и формализованное логико-математическое описание системы управления в соответствии с поставленными задачами и уровнем детализации. Обоснованы математические модели подсистемы хранения запасов и определения потребности в запасных частях. Разработана структура технологического процесса для разработанной организационной структуры СМО. Разработана концепция и принципы построения ЕЦП, обеспечивающего оптимизацию процесса поставок запасных частей.

*В третьей главе* разработана методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах МАУ, и соответствующее математическое описание процесса функционирования ИТЛС. С этой целью:

1. Сформулирована задача оптимизации необходимого количества единиц подвижного состава для выполнения перевозок, обеспечивающего минимальные суммарные затраты, связанные с обработкой груза.

2. Разработан алгоритм расчёта соотношения объёмов хранения и прямой поставки запасных частей с управляющим параметром – число автомобилей привлекаемых для перевозки запасных частей.

3. Формализована процедура управления закупками, а именно, разработаны структуры плана закупок необходимых запасных частей; процесса регистрации потребности в запасных частях; процесса регистрации и контроля реализации заказов на закупку запасных частей с учетом необходимого объёма потребностей.

Результаты решения перечисленных выше частных задач обобщены в научный продукт – методику, обладающую требуемыми новыми функциональными возможностями, способными решить поставленную проблему интегрированной логистической поддержки (ИЛП) комплексного управления материально-техническим обеспечением специальных автомобилей МАУ.

*В четвёртой главе* проведены экспериментальные исследования на разработанной ИМ ЕЦП запасных частей. Обоснованы рекомендации по средней продолжительности полного цикла поставки запасных частей. В ИМ ЕЦП апробирована методика организации поставок запасных частей, позволяющая определять удельные технико-эксплуатационные и экономические показатели работы автомобилей, привлекаемых для перевозки заданных объёмов груза. По результатам расчётов определена функциональная зависимость удельного показателя «необходимый тоннаж автомобилей»  $q$  (т/сут) от времени цикла по-

ставки партии груза запасных частей. Решена задача определения оптимального количества привлекаемого тоннажа автомобилей для реализации программы по хранению запасных частей ЕЦП и выполнению производственной программы по их перевозкам.

*В заключении* изложены основные итоги выполненного исследования.

## II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

**1. Разработан моделирующий алгоритм принятия управленческих решений в ИТЛС поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах, т. е. формализованное логико-математическое описание системы управления в соответствии с поставленными задачами и уровнем детализации.**

Выполненный в работе анализ статистических данных по потребности в запасных частях в зависимости от времени наработки и пробега не выявил значительной зависимости между наработкой на отказ и пробегом различных видов САТС (коэффициент корреляции в пределах 0,44) (рисунок 1). Это объясняется тем, что пробег САТС при эксплуатации в аэропортах незначительный, поэтому пробег САТС не определяют объективно и с высокой степенью достоверности наработку на отказ и не может служить единственным определителем планово-предупредительной системы обеспечения процесса ТО и Р запасными частями. Учитывая, что в МАУ преобладают САТС зарубежного производства с жесткой регламентацией процессов ТО и Р, планирование поставок запасных частей целесообразно с учётом регламентов фирм-производителей.

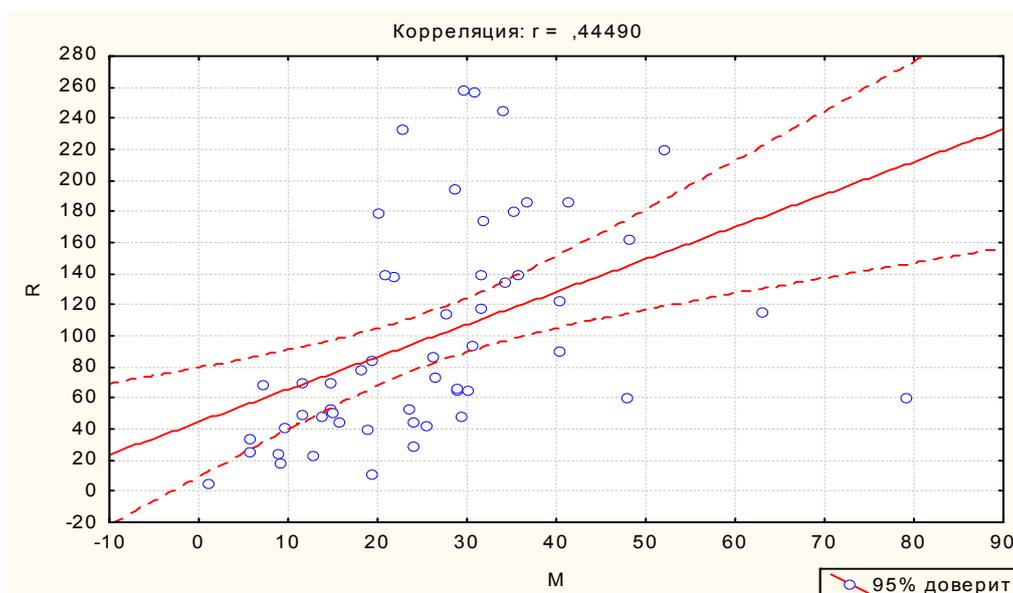


Рисунок 1 – График зависимости пробега САТС (R) от времени наработки на отказ (M)

Анализ также показал, что для повышения эффективности процессов ТО и Р САТС МАУ необходима разработка оригинальной системы ИЛП,

позволяющей объединить в единую систему действия эксплуатантов наземной техники аэропортов, предприятия материально-технического обеспечения и организации, принимающие участие в перевозке запасных частей (рисунок 2).

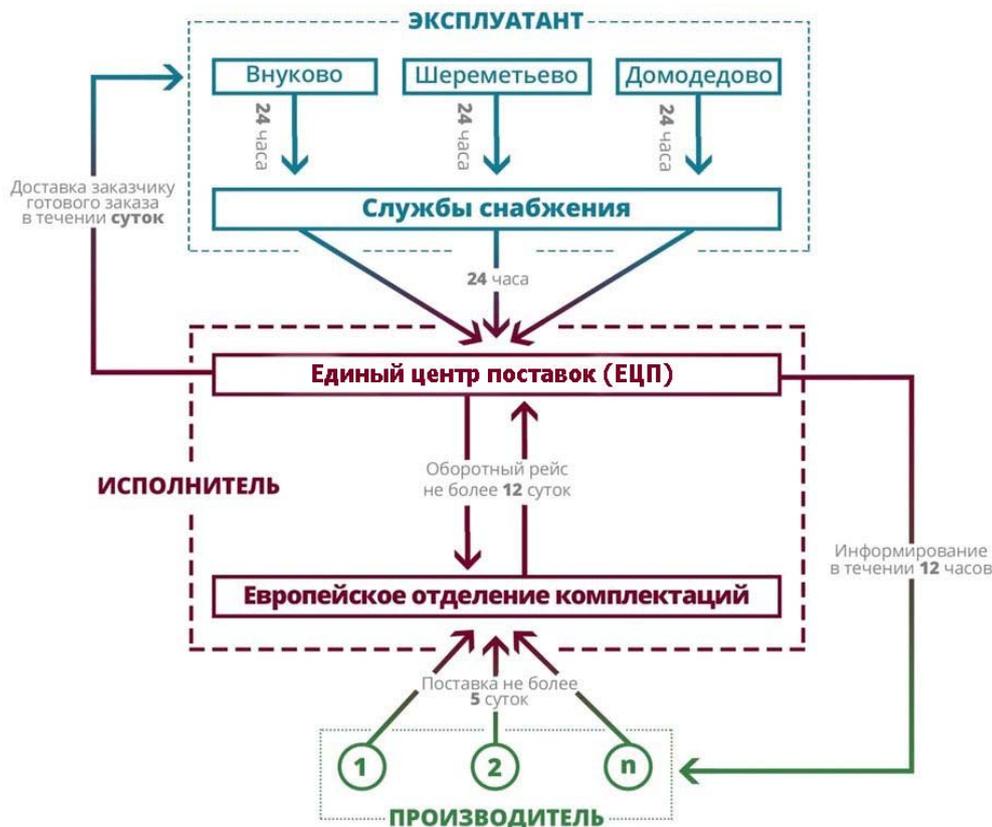


Рисунок 2 – Структура связей функциональных элементов в системе интегрированной логистической поставки запасных частей автомобильным транспортом

Схема организационной структуры управления запасами в цепи поставки представлен на рисунке 3.

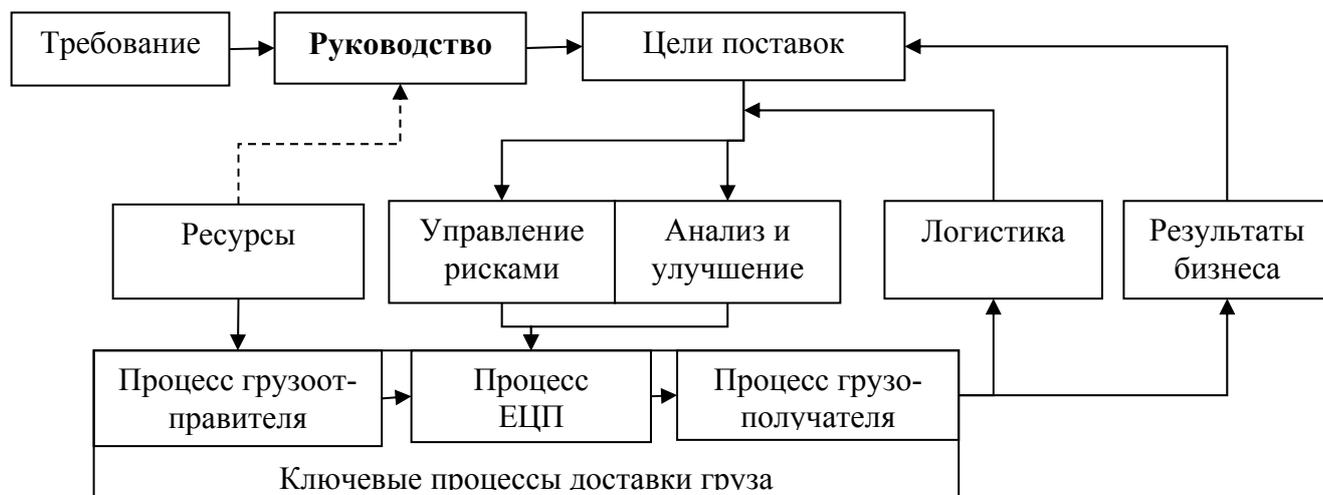


Рисунок 3 – Организационная структура системы управления запасами в цепи поставок

При формировании любой СМО необходимо установить эффективное равновесие (получить оптимальное решение) баланса между принятыми показателями эффективности системы. Для выполнения задачи оптимизации процессов поставки запасных частей для САТС МАУ примем показатель  $C$  экономической эффективности СМО, который включает затраты на хранение запасов запасных частей  $C_{xp}(t)$  и необходимые затраты на транспортирование  $C_{tp}(t)$  при минимизации ущерба, наносимого качеству эксплуатации САТС при увеличении простоев, связанных с отсутствием запасных частей  $Y_{np}(t)$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} C = C_{xp}(t) + C_{tp}(t) \rightarrow \min \\ Y = Y_{np}(t) \rightarrow \min \end{array} \right\} \quad (1)$$

Для описания СМО постановки задачи исследования в диссертации определена структура системы и правила обслуживания в ней (дисциплина исполнения), а также показатели эффективности обслуживания или численные показатели, по значению которых принимается решение о качестве работы исследуемой СМО. Иерархия системы является абстрактным представлением её структуры, необходимой для изучения функциональных взаимовлияний ее элементов и оказываемого воздействия на всю систему в целом. Определение ИТЛС в функциях элементов системы показано на рисунке 4.

**Подсистема формирования запасов запасных частей.** Проектируемая модель тесно связана с концепциями «точно в срок» и «логистикой быстрого реагирования», смысл которых заключается в поиске средств уменьшения или ликвидации разницы между реальным спросом и фактическим запасом и направленными на удовлетворение потребностей в самые короткие сроки при минимальных запасах.

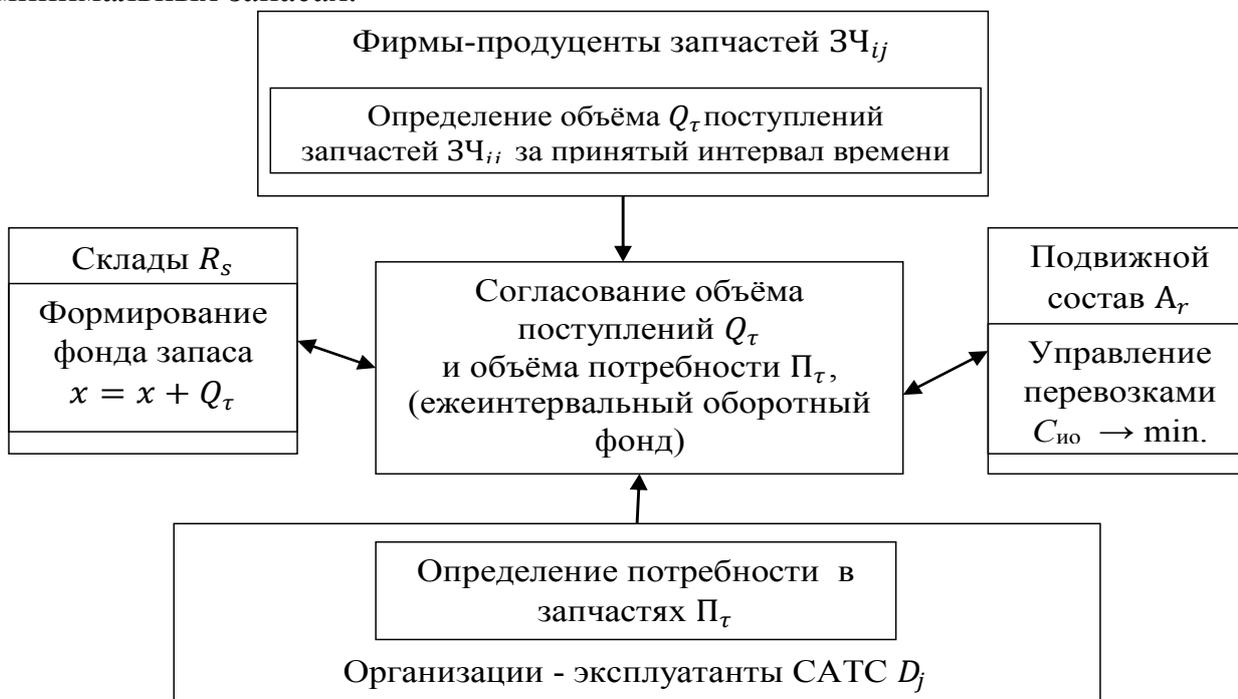


Рисунок 4 – Структура ИТЛС в функциях, реализуемых в процессах поставки запасных частей

Разрабатываемая математическая модель подсистемы управления запасами относится к динамической модели и олицетворяет систему конечно-разностных уравнений. В соответствии с обозначениями подсистема состоит из  $R$  складов, где  $S$  – номер каждого склада. Планируемое время использования запасных частей  $i$  вида для организации  $j$  работ на определенный момент времени  $t$  определяется параметром

$$q_{it} = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{T} \sum_{k=1}^{L_k} \cdot \sum_{l_k=1}^{L_k} \cdot \sum_{p_{kt}}^{P_k} \cdot \alpha_{k_{lk}}^{P_{kt}} + \delta \quad (2)$$

где  $b_{ij}$  – размер партии поступления запчастей, ед.;  $T$  – период времени поставок, час.;  $L_k$  – среднее значение времени поставки для  $k$ -го типа автомобиля, час;  $P_{kt}$  – количество обслуживаемых автомобилей на момент времени  $t$ , ед.

В процессе работы, на  $s$  склад, направляется поток заказов  $V_i$  (количество заказов в реальном времени) от заказчика на доставку запасных частей. Поток обрабатывается на складе и с определенной задержкой по времени передается изготовителю, зачастую часть требований склад удовлетворяет за счет собственных запасов  $x_{i_t}^1$ . В плановый период на  $s$ -й склад направляется поток заказов  $V_i$  (количество заказов в реальном времени) от эксплуатирующего предприятия на доставку запасных частей. На складе этот поток оформляется и перерабатывается, а затем, с некоторым запаздыванием перенаправляется на завод-изготовитель, при этом часть потока потребности склад реализует за счет имеющихся собственных запасов  $x_{i_t}^1$ . Следующим шагом выполняется расчет темпа пополнения складских запасов  $x_{i_t}^3$ . Окончательный вид уравнения расчета темпа отгрузки запасных частей со склада  $x_{i_t}^{10}$  выглядит следующим образом:

$$x_{i_t}^{10} = \min \left\{ \max \{ x_{i_t}^{10} / T \}; x_{i_t}^6 / (\tau_i^7 + \tau_i^2 \frac{x_{i_t}^2}{x_{i_t}^1}) \right\} \quad (3)$$

где  $x_{i_t}^6$  – количество не осуществленных заказов по отпуску детали  $i$ -го вида со склада;  $x_{i_t}^7$  – объем запасных частей  $i$ -го вида при транспортировке от изготовителя на склад;  $x_{i_t}^1$  – собственные запасы склада;  $x_{i_t}^2$  количество необходимого запаса; ;  $\tau_i^2$  – коэффициент фактического запаса склада;  $\tau_i^7$  – коэффициент, учитывающий объем запасных частей при транспортировке.

**Подсистема определения потребности в запасных частях.** В монотонной стратегии заказывания (инициализации заказов) определяется критическое значение  $x^*$ . После контроля уровня запасов на складе принимается решение о заявке на данную номенклатуру, если количество запчастей  $Z_n < x^*$ . Предполагается, что сформированный заказ выполняется немедленно. Если значение  $Z_n \geq x^*$ , то заявка на заказ не выполняется и в результате рекуррентная схема определяется как

$$Z_{n+1} = \begin{cases} Z_n + X_{n+1} - \Pi_{n+1}, & Z_n < x^* \\ Z_n - \Pi_{n+1}, & Z_n \geq x^* \end{cases} \quad (4)$$

где заявка на запчасти  $\Pi_{n+1}$  также представляет некоторую случайную величину.

**2. Разработана структура СМО в рамках имитационной модели, позволяющая собирать статистику по всем типам информационных блоков, включая очереди и каналы поставок, сокращающей время необходимое для реализации полного цикла поставок запасных частей для САТС МАУ.**

С целью оценки временных характеристик доставки разработана параметрически управляемая, многофазная, многоканальная и многоуровневая ИМ реализации технологического графа в рамках спроектированной организационной структуры (рисунок 5). В ИМ предусмотрена вариация следующими параметрами: формат сети верхнего уровня (разомкнутая, замкнутая), число фаз на верхнем уровне, приоритеты заявок, количество транзактов в замкнутой модели, показатели вероятностных законов распределения входных потоков и показателей обслуживания в узлах сети, а также матрицы переходных вероятностей. Для всех показателей указываются как математические ожидания, так и дисперсии. Данная модель позволяет собирать статистику по всем типам блоков, включая очереди, каналы и др. Выдаются значения максимального, минимального, среднего значения и дисперсии соответствующих показателей. В модели также реализована функция планирования эксперимента для произвольных комбинаций варьируемых параметров с указанием произвольных характеристик. С помощью интерфейсного взаимодействия с пакетом Statistica 10 реализованы функции построения графических объектов для собираемых характеристик.

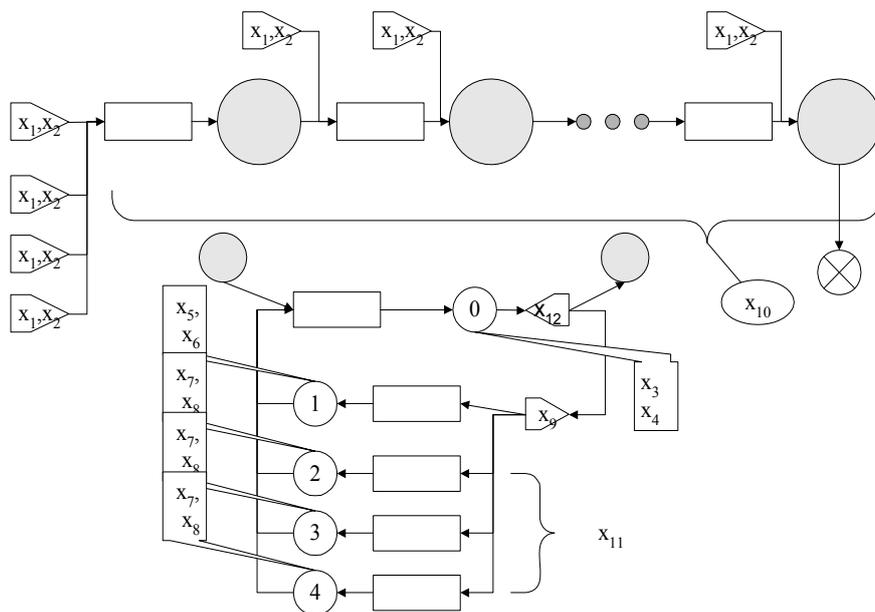


Рисунок 5 – Двухуровневая многофазная модель системы ИЛП поставок:  $x_{ij}$  – показатели подсистемы хранения запасов

Для замкнутого варианта сети (рисунок 6) определены времена T1, T2 и T3 формирования заявки на поставку комплектующих в аэропорте, последующей ее передачи в службу снабжения аэропорта и дальнейшего направления заказа в ЕЦП в Москве (для Домодедово, Шереметьево и Внуково соответственно).

Разработанные методы и модели сведены в единую методику ИТЛС поставок запасных частей МАУ. В общей структуре управления поставками после выбора цели система ИЛП проводит анализ возможных управляющих процедур для решения оптимизационной задачи. Определяется время оборотного рейса между ЕЦП в Москве и Европейским отделением комплектации (включает в себя информирование производителей ЕЦП в Москве и поставку комплектующих производителями Европейскому отделению комплектации), а также времени на перевозку необходимых комплектующих соответствующему аэропорту.

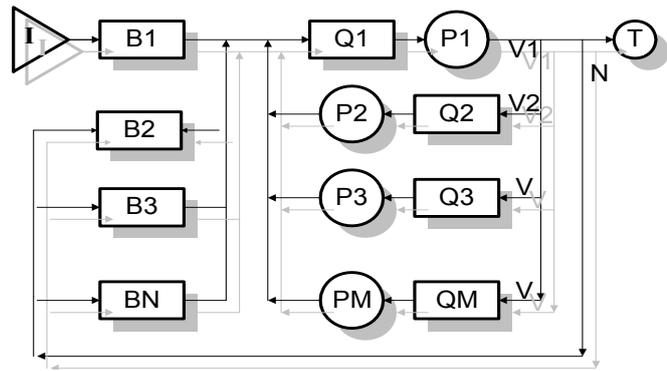


Рисунок 6 – Структура исходной модели СМО

На рисунке 7 представлены схемы с различными системами управления доставки запасных частей. На рисунке 7 (а) схема с отдельным управлением каждым из объектов МАУ, а на рисунке 7 (б) схема с центральной системой управления. Схема с центральной системой управления является технически более сложной, но обладает потенциалом сокращения издержек за счет применения единого подвижного состава в процессах нескольких участников, что позволяет загрузить подвижной состав по максимальным показателям, исключая простои и порожние перевозки.

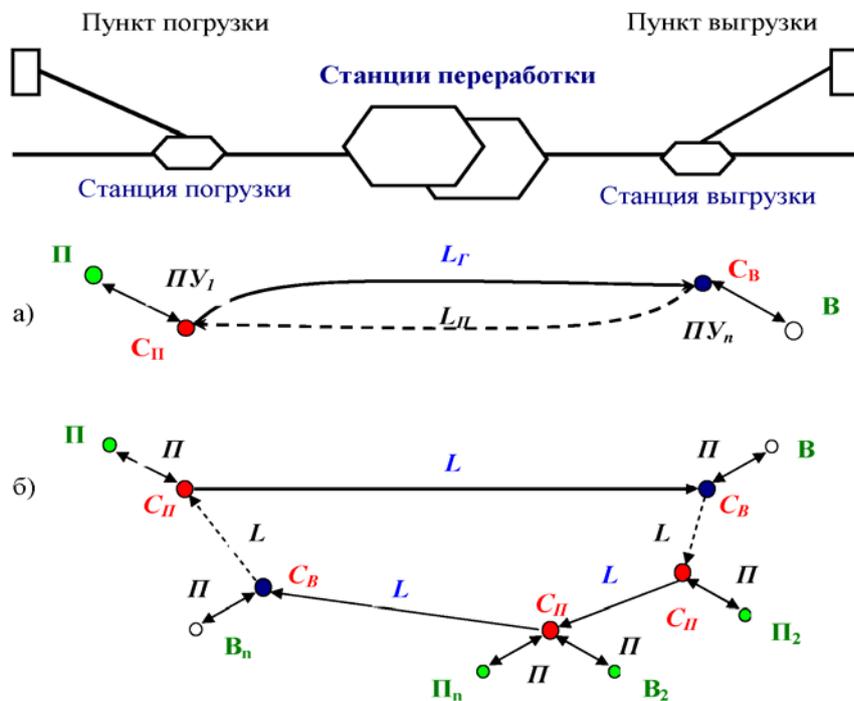


Рисунок 7 – Схемы маршрутов доставки запасных частей

$L_G$  – рейс груженный,  $L_P$  – порожный рейс,  $C_{П}$  – погрузочная станция,  $C_{В}$  – разгрузочная станция,  $П$  – погрузочный пункт,  $В$  – пункт выгрузки,  $ПУ$  – подача подвижного состава

**3. Разработана методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах из единого центра поставок, обеспечивающая определение оптимального значения тоннажа автомобилей, необходимого для реализации программы по хранению запасных частей и производственной программы по их перевозкам.**

Запасные части для САТС поступают в ЕЦП, где возможны два варианта реализации методики организации поставок запасных частей:

1) груз размещается в фонде формирования заказов в виде запаса, а в последствии на автомобилях доставляется потребителю. Реализуется метод обработки грузов «поставка-склад-автомобиль-потребитель»;

2) груз непосредственно из ежеинтервального оборотного фонда загружается на автомобили для перевозки заказчиком. Этот вариант называется «поставка-автомобиль-потребитель». Такой вариант поставки, как правило, не только возможен, но и показывает значительную эффективность обслуживания потребителей.

Таким образом, формируется задача определения некоторого соотношения перевозок грузов с ЕЦП вариантами «поставка-склад-автомобиль-потребитель», «поставка-автомобиль-потребитель» и необходимого количества единиц подвижного состава для выполнения заданного объёма перевозок. При моделировании данного процесса обработки груза на ЕЦП должны рассчитываться следующие величины: ежеинтервальный период времени принят 24 часа – сутки; период моделирования 365 дней – год;  $q_0$  – наличие продукции на базе в момент времени  $\tau$ , т;  $q_\tau$  – количество запасных частей, поступивших на ЕЦП в момент времени  $\tau$ , т;  $q_{1\tau}$  – количество запасных частей, обработанных обоими методами за сутки, т;  $q_{2\tau}$  – количество запасных частей, выгруженных на ЕЦП и обработанных методом «поставка-склад-автомобиль-потребитель» за сутки, т;  $\Pi_j$  – годовая потребность в запасных частях  $j$ -го потребителя, т;  $\Pi_\tau$  – суточная потребность в запасных частях, т;  $l_i$  – длина ездки от ЕЦП до  $i$ -го потребителя, км;  $t_{п.в1}$  – время погрузки или разгрузки 1-ой тонны запасных частей, час/т;  $t_{дв1}$  – время движения автомобиля, приходящееся на 1-н километр, час/км;  $A_r$  – среднее количество единиц подвижного состава, привлекаемое к перевозкам запасных частей, ед;  $t_n$  – время работы 1-го автомобиля в наряде за сутки, час/сут;  $T_{нг}$  – производительное время работы 1-го автомобиля в наряде (погрузка-разгрузка), час/год;  $T_{нп.г}$  – непроизводительное время работы 1-го автомобиля в наряде (простой в ожидании погрузки на ЕЦП), час/год;  $\alpha_p$  – среднее время работы 1-го автомобиля, отнесённое к 1-й тонне запасных частей при доставке её с ЕЦП потребителям;  $c_1$  – стоимость 1-го час непроизводительного пребывания автомобиля в наряде, руб./час;  $c_2$  – стоимость погрузки и выгрузки 1-й тонны запасных частей, руб./час;  $c_3$  – стоимость хранения 1-й тонны запасных частей на ЕЦП за сутки, руб./час;  $c_4$  – стоимость транспортировки 1-й тонны запасных частей, руб./час;  $T$  – период моделирования, год;  $d\tau$  – время пребывания груза на ЕЦП, сут.

Общие затраты за год на обработку груза в ЕЦП составят

$$z = c_1 T_{нп.г} + c_2 \int_0^T q_{1\tau} d\tau + c_3 \int_0^T (q_0 + q_{2\tau}) d\tau + c_4 2 \sum_j (t_{п.в1} \Pi_j + t_{дв1} l_j). \quad (5)$$

Управляющим параметром (параметром оптимизации) является количество автомобилей, привлекаемых для перевозок. Представим методику органи-

зации поставок запасных частей для САТС в МАУ в виде алгоритма, позволяющего оптимизировать затраты на транспортировку запасных частей при реализации ЕЦП (рисунок 8).

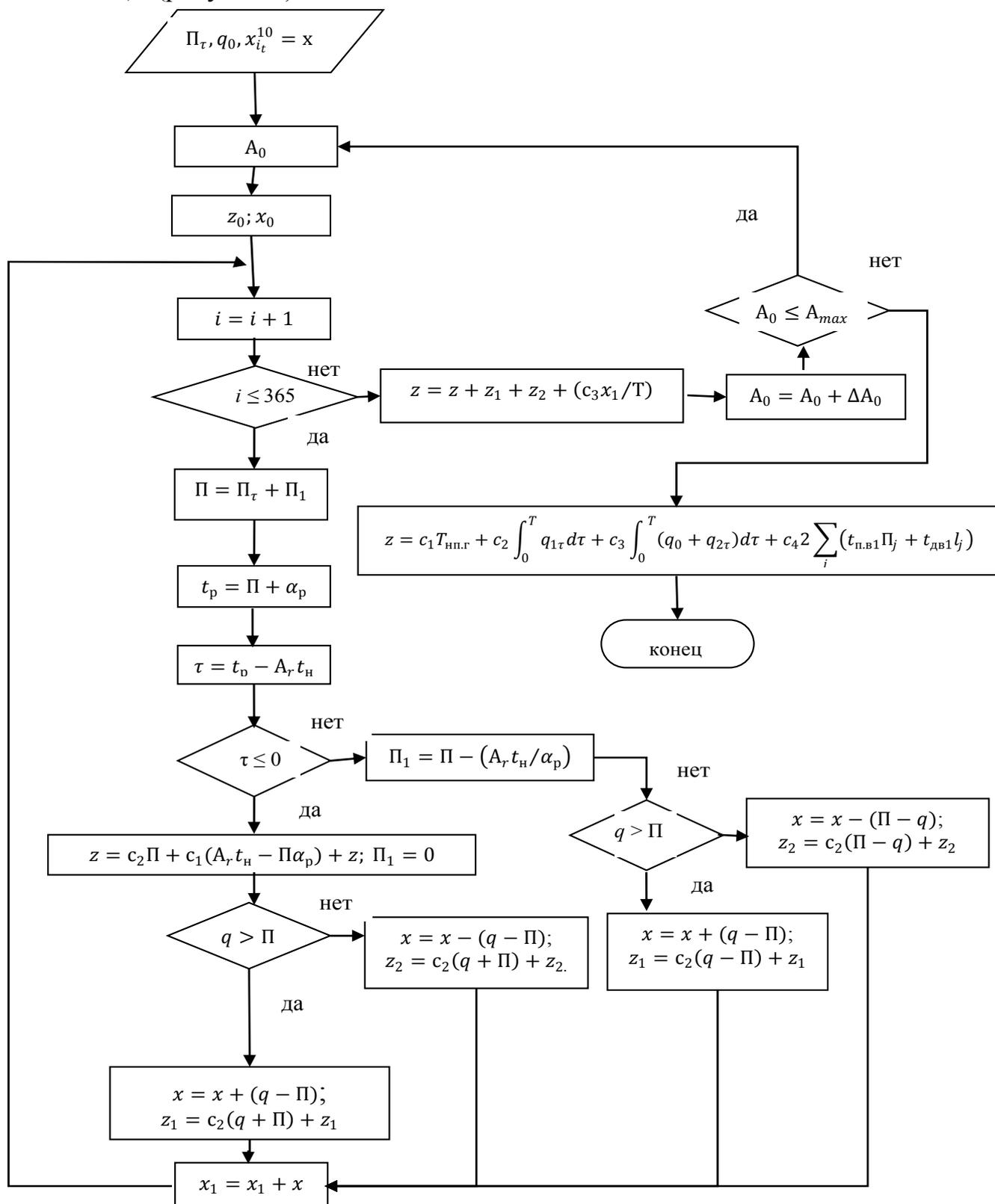


Рисунок 8 – Алгоритм методики организации поставок запасных частей для САТС в МАУ

В результате расчётов получены зависимости изменения значений эксплуатационных затрат от числа автомобилей. Минимум суммарных затрат будет соответствовать оптимальному количеству автомобилей, необходимых для вывоза поступающих запчастей. Разработанная ИТЛС отражает слияние традиционных сфер планирования перевозок с качественно новой системой ИЛП, основными целями которой являются:

1) влияние на разработку, то есть проектирование элементов системы, обеспечивающих оптимизацию параметров эксплуатации автомобилей по заданным критериям;

2) определение и уточнение объемов перевозок для обеспечения САТС МАУ;

3) перевозка необходимого объема запасных частей с минимальными затратами в течении всего срока службы САТС.

**4. Разработана математическая модель определения оптимального количества автомобилей, необходимых для перевозок запасных частей, при реализуемых значениях полного цикла работы и количества каналов в СМО, позволяющая осуществить количественную оценку работы ИТЛС по критерию минимум затрат.**

Определённая структура СМО и дисциплина обслуживания, а также показатели качества обслуживания, этапы ИМ и логико-математическое описание системы управления с учётом разработанных математических моделей подсистемы хранения запасов и подсистемы потребности в запасных частях, позволили провести эксперимент с имитационной моделью для получения достоверных результатов. Разработанная математическая модель позволяет собирать статистику по всем типам блоков, включая очереди, каналы и др. Построенная модель позволяет строить различные зависимости, в том числе времени цикла доставки от числа каналов и их производительности (рисунок 9).

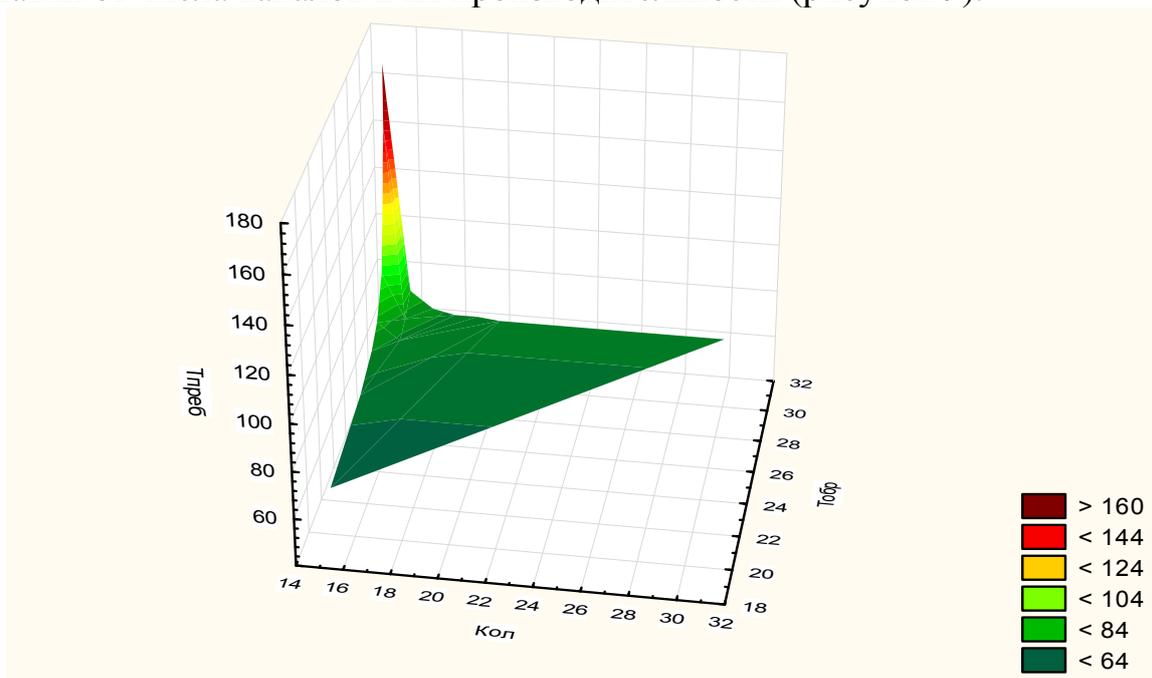


Рисунок 9 – Зависимость времени цикла поставки от числа каналов

Для апробации разработанной модели был выполнен анализ международной схемы маршрута перевозки запасных частей для САТС МАУ (Подольск (Россия) – Мюнхен (Германия)). Продолжительность оборотного рейса автопоезда рассчитывалась по формуле:

$$T_{OB} = t_{\text{Э}}^{\text{II}} + \frac{L^{\text{Э}}}{V_T \cdot T_{\text{дв}}^{\text{max}}} + t_{\text{III}}^{\text{Э}} + t_P^{\text{Э}} + t_{\text{II}}^{\text{II}} + \frac{L}{V_T \cdot T_{\text{дв}}^{\text{max}}} + t_{\text{III}}^{\text{II}} + t_P^{\text{II}}, \text{ сут.} \quad (6)$$

где  $t_{\text{Э}}^{\text{II}}$  – время погрузки в экспортном направлении;  $T_{\text{дв}}^{\text{max}}=9$  ч;  $V_T=55$  км/ч;  $t_{\text{III}}^{\text{Э}}$  – суммарные простои в пунктах пропуска за границу в экспортном направлении;  $t_{\text{II}}^{\text{II}}$  – время погрузки;  $t_P$  – время разгрузки.

На основе разработанной ИМ управления поставками запасных частей для САТС МАУ проведен ряд экспериментов, направленных на сравнительный анализ двухфазных многоканальных СМО (рисунок 10).

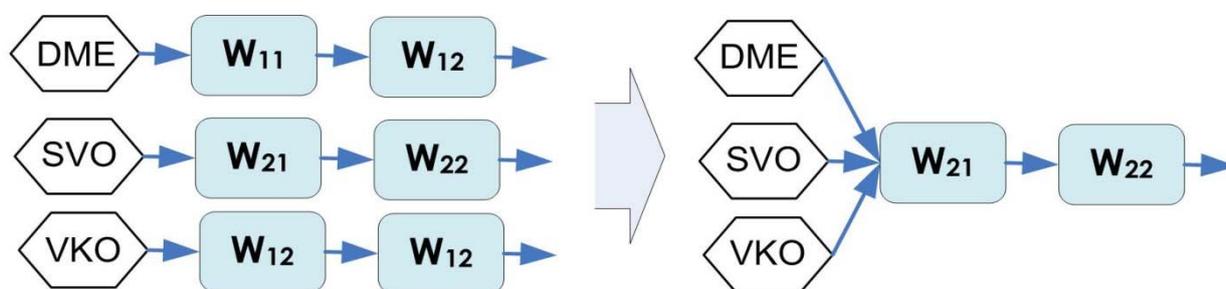


Рисунок 10 – Сравнительный анализ моделей поставок на базе имитационной модели СМО

На рис. 10, в первом случае, рассматривались три отдельные СМО для трех аэропортов по отдельности. Во втором случае рассматривалась единая СМО с объединением входных потоков и каналов первой фазы (поиск заказа). Количество каналов второй фазы (процесс доставки) не изменялось.

Если для первого варианта при **Вход**=6, **Кол**=5 и **Тобсл**=29,9 время цикла равно **Тпроб**=395 часов, то объединение потоков (**Вход**=2) и каналов (**Кол**=15) первой фазы (что соответствует второму варианту СМО) сокращает общий цикл до **Тпроб**=149 часов. При этом:

1. Средняя продолжительность полного цикла поставки (рисунок 11) при одновременном сокращении средних интервалов времени между поступлениями заказов от технических служб 3-х аэропортов с 480 часов до 72 часов с учетом ожидания для заказов, которые не могут быть выполнены ЕЦП в Москве сразу и при 1-канальном выполнении заказов ЕЦП в Москве (границы интервала времени выполнения оборотного рейса между ЕЦП в Москве и Европейским отделением комплектации – [216; 288] часов).

2. Средняя продолжительность полного цикла поставки при сдвиге границ интервала времени выполнения оборотного рейса между ЕЦП в Москве и Европейским отделением комплектации от [56; 72] к [216; 288] часов с учетом

ожидания заказов, которые не могут быть выполнены ЕЦП в Москве сразу и при 1-канальном выполнении заказов ЕЦП в Москве (средние интервалы времени между поступлениями заказов от каждой из служб снабжения 3-х аэропортов (Домодедово, Шереметьево, Внуково) – 120 часов).

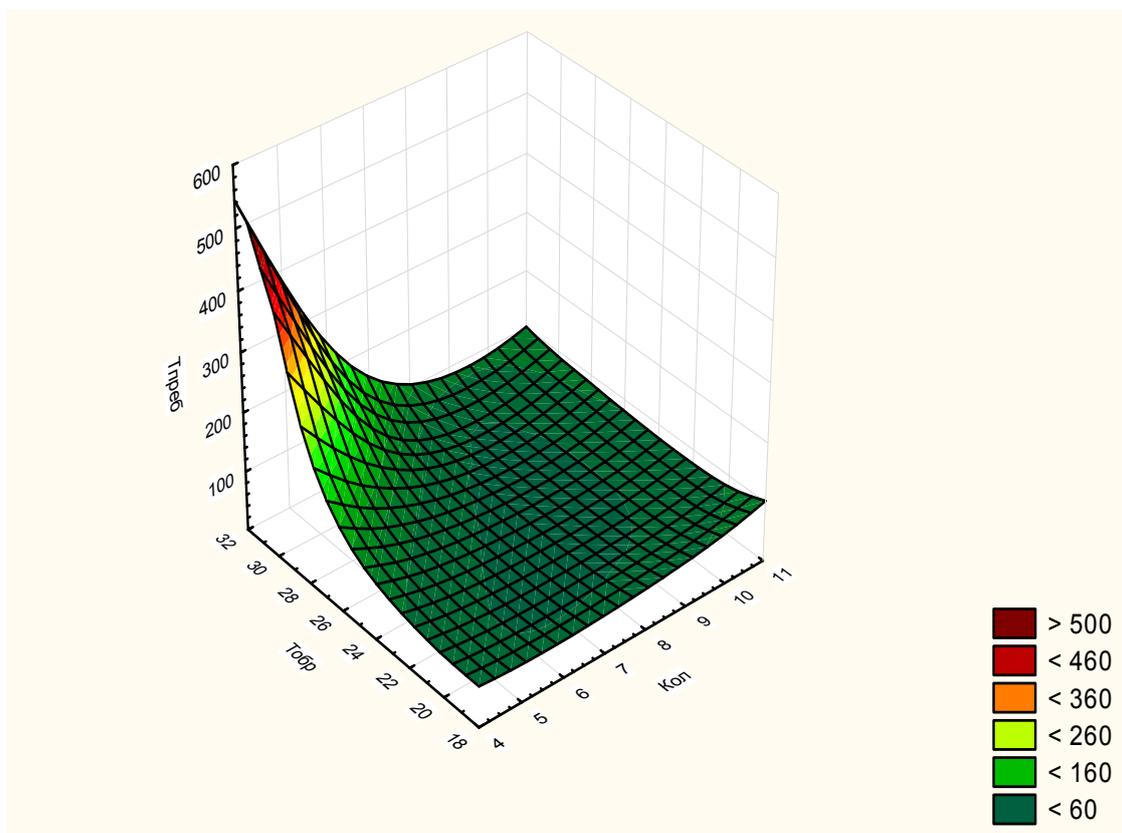


Рисунок 11 – Зависимость времени полного цикла от количества каналов и их производительности

По разработанной методике организации поставки запасных частей определяются удельные технико-эксплуатационные и экономические показатели работы автомобилей, привлекаемых для перевозки партий определённых потребностей в грузе. В частности, по результатам расчётов определена функциональная зависимость удельного показателя «необходимый тоннаж автомобилей»  $q$  (т/сут) от времени цикла доставки партии груза запасных частей (рисунок 12). При сокращении времени полного цикла доставки с  $T_{\text{проб}}=395$  часов до  $T_{\text{проб}}=149$  часов увеличивается необходимое количество автомобилей для выполнения заданного объёма перевозок и возрастают затраты на их эксплуатацию в рамках работы СМО по предлагаемому варианту.

Решаемая задача – определить оптимальное количество привлекаемого тоннажа автомобилей для реализации программы по хранению запасных частей ЕЦП и выполнению производственной программы по перевозкам (рисунок 13).

Применение технико-экономического критерия позволяет определить, что для рассматриваемого объёма партии груза запасных частей, поступающих в ЕЦП, суммарный тоннаж ежесуточного подвижного состава должен составлять  $q=7$  (т/сут).

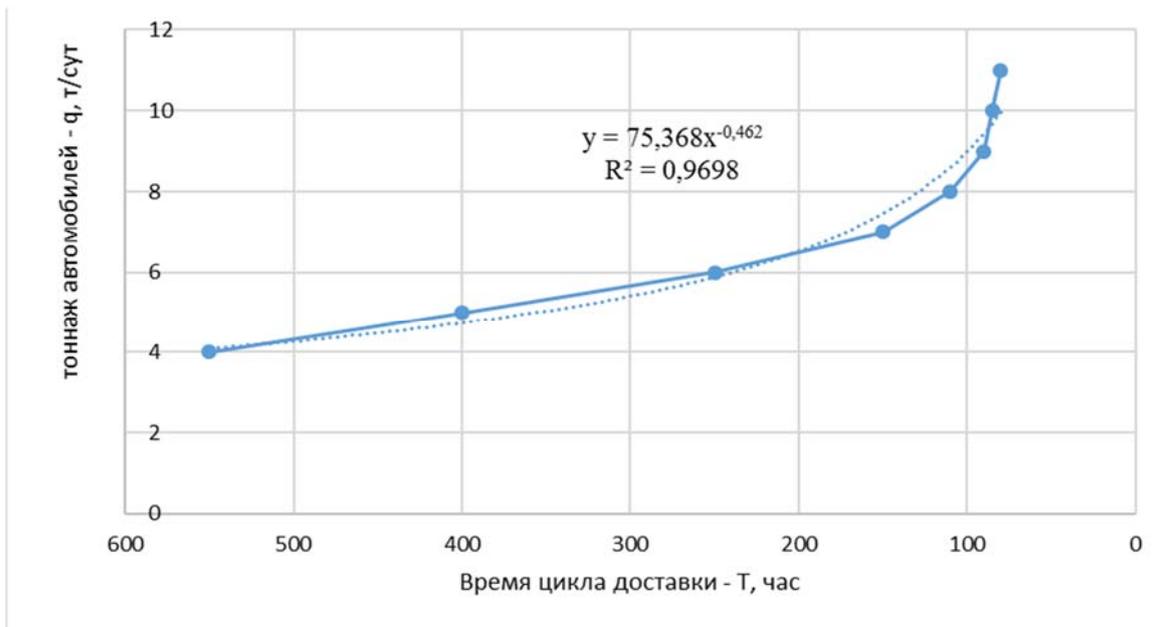


Рисунок 12 – Зависимость удельного показателя «необходимый тоннаж автомобилей» от времени цикла доставки

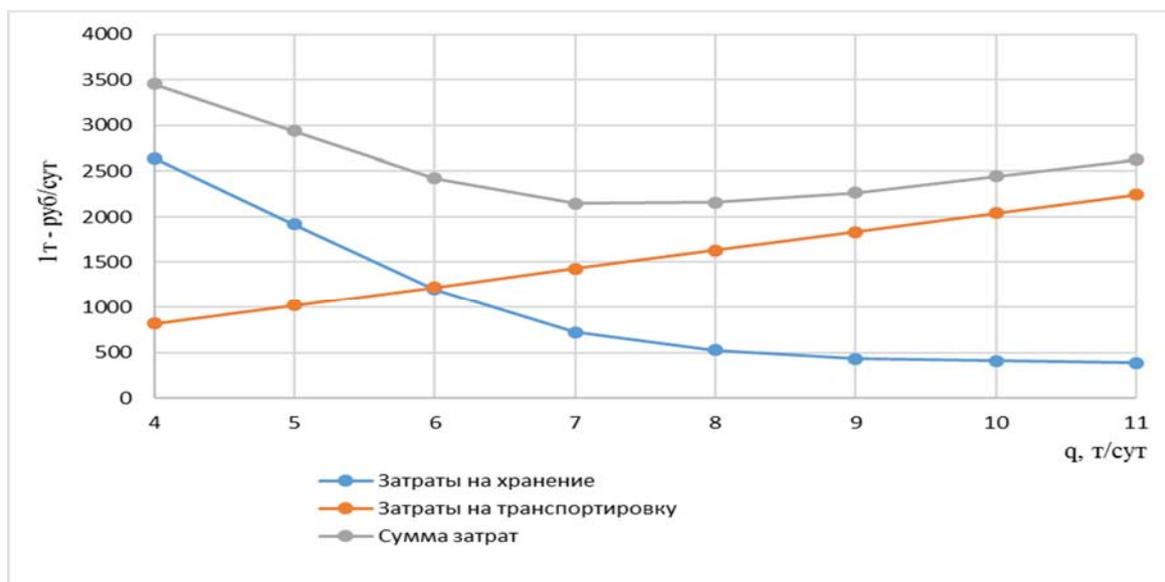


Рисунок 13 – Определение минимума затрат на реализацию программы по хранению запасных частей на ЕЦП и производственной программы по перевозкам

Основные результаты разработки ИТЛС управления хранением и перевозками (поставкой) запасных частей для САТС МАУ:

1. Время цикла доставки сократится  $T_{\text{преб}}=395$  часов до  $T_{\text{преб}}= 149$  часов.
2. Разработанная методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах и алгоритм её реализации позволяют определять оптимальный суммарный тоннаж ежедневно привлекаемого подвижного состава ( $q = 7$ , т/сут) по критерию минимум затрат.

3. Удельные затраты при реализации программ по хранению запасных частей на ЕЦП и производственной программы по их перевозкам сократятся с 2900 руб./сут. до 2100 руб./сут.

### **III. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В целях повышения эффективности процесса доставки запасных частей для САТС МАУ:

1. Разработаны этапы имитационного моделирования и формализованное логико-математическое описание системы управления в соответствии с поставленными задачами и уровнем детализации.

2. Разработана экономико-математическая модель подсистемы хранения запасов, представляющая схемы изменения величины запасных частей и комплектующих на складах, для планирования времени использования запасных частей для организации работ на определенный момент времени, главной целью которой является сокращение времени ожидания в ремонтном цикле.

3. Разработана подсистема определения потребности в запасных частях как модель управления фиксированным диапазоном в виде монотонной стратегии заказывания запчастей для САТС.

4. Сформирована структура технологического процесса для разработанной организационной структуры СМО в рамках имитационной модели, позволяющая собирать статистику по всем типам информационных блоков, включая очереди и каналы поставок.

5. Разработана методика организации поставок запасных частей для специальных автомобилей, эксплуатирующихся в аэропортах МАУ.

Согласно полученным результатам разработанный вариант СМО (объединение потоков ( $V_{\text{ход}}=2$ ) и каналов ( $K_{\text{ол}}=15$ ) первой фазы) сокращает общий цикл  $T_{\text{преб}}=395$  до  $T_{\text{преб}}=149$  часов. По результатам расчётов определена функциональная зависимость удельного показателя «необходимый тоннаж автомобилей»  $q$  (т/сут) – от времени цикла доставки партии груза запасных частей.

Решена задача определения оптимального количества привлекаемого тоннажа автомобилей для реализации программы по хранению запасных частей ЕЦП и выполнению производственной программы по перевозкам:  $q=7$  (т/сут).

Результатом внедрения в транспортно-логистическую систему управления поставками запасных частей для САТС МАУ разработанной методики будет сокращение удельных затрат с 2900 руб./сут. до 2100 руб./сут.

### **IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций**

1. Арифуллин, И. В. Интегрированная логистическая поддержка поставок запасных частей для аэродромной наземной техники (на примере пожарных машин аэропортов Московского авиационного узла) / И. В. Арифуллин,

В. В. Некрасов, А. А. Соловьева // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 7 (42). – С. 54-55.

2. **Арифуллин, И. В.** Новая модель проектного управления процессами жизненного цикла транспортно-логистической системы / И. В. Арифуллин, А. Г. Некрасов, В. В. Некрасов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 7. – С. 26-28.

3. **Арифуллин, И. В.** Создание интегрированной транспортно-логистической системы Новой Москвы путем внедрения комплексных транспортных узлов / И. В. Арифуллин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 9. – С. 64-66.

4. **Арифуллин, И. В.** Применение систем повторного использования деталей и узлов подвижного состава / И. В. Арифуллин, В. В. Некрасов, А. А. Соловьева // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 11. – С. 50-51.

5. **Арифуллин, И. В.** Система жизненного цикла запасных частей подвижного состава / И. В. Арифуллин, В. В. Некрасов, А. А. Соловьева, Е. С. Проненко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2014. – № 1. – С. 56-58.

6. **Арифуллин, И. В.** Комплексная оценка качества доставки запасных частей для технического обслуживания автотранспортного парка / И. В. Арифуллин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2016. – № 2(45). – С.37-41.

7. **Арифуллин, И. В.** Оптимизация технического обслуживания автомобилей (на примере аэродромных машин) с использованием основ логистических принципов доставки запасных частей / И. В. Арифуллин // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – №3 (56). – С. 218 – 220.

#### **Научные публикации в прочих изданиях**

8. **Арифуллин, И. В.** Логистика контейнерных перевозок / И. В. Арифуллин // Сборник докладов XI Международной научно-практической конференции «Проблемы подготовки профессиональных кадров по логистике в условиях глобальной конкурентной среды». – 2013. – Вып.: октябрь 2013 г. – С. 71-75.

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 03.07.2017. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Тираж 120 экз. Заказ 59. «С» 40.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.  
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, ул. Егорова, д. 5/8, лит. А.