

На правах рукописи



БУГРИМОВ ВИТАЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ
ЧАСТЯМИ СТАНЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский политехнический университет».

Научный руководитель: **Сарбаев Владимир Иванович,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Герامي Виктория Дарабовна,**
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой управления
логистической инфраструктурой ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский
университет «Высшая школа экономики», г.
Москва

Ременцов Андрей Николаевич,
кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры «Эксплуатация
автомобильного транспорта и автосервис»
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет (МАДИ)», г. Москва

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный
университет», г. Оренбург

Защита состоится **«15» ноября 2018 г. в 12-00 часов** на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.111.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77.**

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте (www.oreluniver.ru) ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» и в фундаментальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орел, пл. Каменская, д. 1.

Автореферат разослан «__» _____ **2018** г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (www.oreluniver.ru) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации (vak.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Телефон для справок +7(920)801-97-18. E-mail: bar20062@yandex.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.111.03



Ю.Н. Баранов

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современные автомобили являются сложными техническими объектами, состоящими в среднем из 70 тысяч элементов, имеющих разные показатели надежности, требующие ремонта и обслуживания, что сопряжено с заменой запасных частей и комплектующих. Однако, ряд недостатков в функционировании уже созданных систем управления складом запасных частей в организациях, обслуживающих и эксплуатирующих автомобильный транспорт, продолжает существовать. Наиболее частая проблема – переполненность складов, сопровождаемая дефицитом одних деталей и избытком других.

Выделяется большое количество задач материально-технического обеспечения, из которых наиболее значимыми являются следующие:

- гарантия оптимальных запасов запасных частей и комплектующих, а также путей их пополнения;

- улучшение процессов заказа, покупки и поставки комплектующих.

Если перечисленные задачи выполняются неудовлетворительно, станции технического обслуживания могут испытывать следующие проблемы:

- излишние простои автомобилей в ремонте, затрудняющие функционирование производственной зоны и ведущие к необходимости поиска всё больших помещений для хранения автомобилей, ожидающих ремонта или обслуживания;

- разрастание очередей на обслуживание;

- возрастание потока вынужденных отказов в обслуживании, связанных с нехваткой запасных частей;

- падение уровня конкурентоспособности предприятия на отечественном и иностранном рынках, понижение популярности конкретных автомобильных марок.

Решить эти проблемы позволит создание научно обоснованной системы управления запасами запасных частей на станции технического обслуживания.

Таким образом, исследования, направленные на повышение уровня материально-технического снабжения, являются актуальными.

Степень разработанности темы исследования. Научные исследования по управлению запасами станций технического обслуживания проводились следующими учеными: Ф.Н. Авдонькиным, Г.Л. Бродецким, В.В. Волгиным, А.М. Гаджинским, А.Г. Зарубиным, Н.И. Иващенко, Г.В. Крамаренко, Е.С. Кузнецовым, В.С. Лукинским, Л.Б. Миротиним, О.Ф. Пославским, В.А. Сакович, Н.В. Семеновым, В.И. Сергеевым, Р.Г. Хабибуллиным, А.М. Шейниным, В.А. Щетиной, а также иностранными учеными Дж. Хедли, Дж. Шрайбфедером.

Также заметный вклад внесли такие ученые, как С.В. Булатов, В.Д. Герами, В.А. Максимов, А.Н. Ременцов. Вместе с тем, современные условия требуют повышения уровня точности определения потребностей в запасных частях и оптимизации уровня запасов станции технического обслуживания.

Рабочей гипотезой стало предположение о том, что эффективность работы предприятий, специализирующихся на обслуживании автомобилей, может быть увеличена при управлении складом, основанном на функции спроса на запасные части и оптимизацией уровня максимального и минимального уровней запаса.

Целью исследования является повышение эффективности функционирования предприятий, занимающихся обслуживанием автомобилей, путем снижения затрат на хранение запасных частей на складе и устранения их дефицита.

Для достижения цели исследования поставлены и решены следующие задачи:

1. Провести системный анализ методов и моделей управления поставками запасных частей и комплектующих для станции технического обслуживания.

2. Разработать бизнес-процесс организации и выполнения ремонтных работ на станции технического обслуживания.

3. Провести статистический анализ временных рядов поступления заявок на отдельные группы автомобильных запасных частей.

4. Разработать имитационные модели однопродуктовой и многопродуктовой систем управления запасами запасных частей и комплектующих для станции технического обслуживания.

5. Сформировать показатели эффективности и включение алгоритма оптимизации в контур имитационной модели управления запасами станции технического обслуживания.

6. Осуществить программную реализацию разработанных методов, алгоритмов и моделей.

Объектом исследования является процесс потребления запасных частей и комплектующих на предприятиях, занимающихся обслуживанием автомобилей.

Предмет исследования: закономерности потребления запасных частей и комплектующих предприятий, занимающихся обслуживанием автомобилей в переменных условиях: при изменении объема заказов, стоимости хранения и других параметров.

Методы исследования: математический анализ, математическая статистика и теория вероятностей, теория массового обслуживания, логистика, системный анализ, теория менеджмента, имитационное и математическое моделирование, теория очередей и управления запасами.

Научная новизна состоит в предложенной совокупности методов, моделей, алгоритмов и методики управления поставками запчастей и комплектующих:

- в работе предложены модели генерации многомерных взаимосвязанных временных рядов, позволяющие моделировать потоки случайных заявок на запасные части станций технического обслуживания и отличающиеся основой в виде геометрического и экспоненциального распределения;

- обнаружена взаимосвязь между деталями, предварительно разделенными на группы, обладающие априорной зависимостью потребностей и поставок, позволяющая генерировать взаимосвязанные ряды потребностей в запасных частях;

- разработана однопродуктовая имитационная модель управления запасами запасных частей различной номенклатуры, для которых имеют место специфические случайные временные объемы заказов для реализации работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, позволяющая определить оптимальный уровень запасов на складе и отличающаяся тем, что может быть адаптирована для решения задач, направленных на сокращение трат и обеспечение минимального уровня финансовых вложений и дефицита при изменяющихся параметрах хранения запасов, таких как цена хранения, штраф за отсутствие и др.;

- разработана многопродуктовая модель управления складом запасных частей, позволяющая получать информацию о моменте, структуре и объеме заказа на его пополнение, что обеспечивает как можно более эффективное использование складских ресурсов и отличающаяся тем, что позволяет совместить поставки для снижения логистических издержек.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модели генерации многомерных взаимосвязанных временных рядов заявок на автомобильные запчасти для предприятий автосервиса;

2. Взаимосвязь между расходом и потребностью запасных частей отдельных групп деталей, выявленная и формализованная методами корреляционного анализа;

3. Адаптивная однопродуктовая имитационная модель управления запасами запчастей различной номенклатуры, для которых имеют место специфические случайные временные объемы заказов для реализации работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей;

4. Многопродуктовая имитационная модель управления запасами запасных частей, с алгоритмом управления запасами по прогнозу главных компонент, с помощью которой можно получать информацию о моменте, структуре и объеме заказа на его пополнение, что обеспечивает эффективное использование складских ресурсов, сокращение затрат и финансовых вложений, минимизацию дефицита при изменяющихся параметрах пополнения и хранения запасов, таких как: цена хранения, штраф за отсутствие и др.

5. Программно-инструментальная среда моделирования многопродуктовой системы управления запасами запчастей и комплектующих.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанная методика определения оптимального уровня запасов на складе запасных частей даёт возможность повысить эффективность работы предприятий, занимающихся обслуживанием автомобилей, свести до минимума затраты ресурсов и их потери, а также уровень удовлетворенности потребителей.

Результаты исследований имеют прикладной характер и могут быть использованы при совершенствовании технологического процесса управления складом запасных частей станций технического обслуживания, в учебном процессе высших учебных заведений.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обеспечивается принятой методологией исследования, включающей в себя современные научные методы: корреляционно-регрессионный анализ, планирование эксперимента, имитационное моделирование, а также апробацией при обсуждении результатов на международных научно-практических конференциях. Это позволило обеспечить доказательность и обоснованность разработанных подходов и полученных результатов.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» по пункту 2 «Оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей, использования программно-целевых и логистических принципов» и пункту 19 «Методы ресурсосбережения в автотранспортном комплексе».

Апробация работы. Основные результаты работы доложены, обсуждены и получили одобрение на: III Международной научной конференции «Актуальные вопросы транспорта в современных условиях» (г. Саратов, 2016 г.), XVIII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств» (г. Владимир, 2016 г.), Международной научно-практической конференции «Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей» (г. Ростов-на-Дону, 2017 г.), III Международной научной конференции «Эффективность технической эксплуатации и автосервиса транспортных и технологических машин» (г. Саратов, 2017 г.), III, IV Международных научно-практических конференциях «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел, 2017, 2018 гг.).

Реализация результатов работы. Научные результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях г. Москвы ООО «Рольф» филиал «Алтуфьево», ООО «СТО Олимп» и используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет».

Публикации. По результатам исследований опубликовано 13 печатных работ, в том числе 6 в ведущих изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Структура и объем диссертационной работы. Основная часть диссертации изложена на 175 страницах, включает в себя введение, 4 главы, заключение, список использованной литературы из 127 наименований и 3 приложений.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель и задачи, объект, предмет и методы исследования, сформулирована практическая значимость работы, приведены положения, обладающие научной новизной и выносимые на защиту, обоснована степень достоверности результатов, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе «Состояние проблемы и анализ методов и моделей управления запасами станции технического обслуживания» проведен анализ основных показателей технического состояния автомобилей, поддержания их работоспособности и связанной с этим потребности в запасных частях, проведен анализ исследований на тему обеспечения запасными частями станций технического обслуживания.

Проблематика управления запасами интересовала многих ученых и практиков как в России, так и за рубежом. Проведенные ими исследования достаточно хорошо разработали теорию управления запасами, но в современных экономических реалиях требуется повышение качества моделей управления запасами, что делает актуальным дальнейший поиск эффективных решений представленной проблемы.

В работе рассмотрены вопросы моделирования систем управления поставками запасных частей и комплектующих для организации технического обслуживания (ТО) и ремонта. В рамках моделей управления запасами был проведен анализ моделей без дефицита и с дефицитом, а также рассмотрена двухуровневая модель управления запасами, которая ставит задачи вероятностного моделирования. Кроме того, представлена классификация стратегий управления запасами, которые используются на практике.

Считается, что запасные части в течение некоторого длительного интервала времени имеют равномерный спрос с интенсивностью μ ед./час (в интервале Δt имеет место потребность в $\mu \cdot \Delta t$ запасных частях. Также в моменты $t_0=0, t_1, t_2, \dots$ реализуются поставки данной номенклатуры объемами Q_0, Q_1, Q_2, \dots соответственно. Далее будем рассматривать дискретное время, а запасы будут считаться неизменными за день. В качестве целевой функции применяются значения издержек.

$$f_1(T, y) = f_1(y(t), 0 \leq t < T) = s \sum_{i=1}^T y_i \chi(y_i \geq 0) + h \sum_{i=1}^T |y_i| \chi(y_i < 0) + gn(T), \quad (1)$$

где $\chi(A)$ – индикатор множества A ($y(t) \geq 0 \Rightarrow \chi(y(t) \geq 0) = 1$; $y(t) < 0 \Rightarrow \chi(y(t) \geq 0) = 0$), $f_1(T, y)$ – функция издержек управления запасами; $y(t)$ – объем запасов для определенной номенклатуры запасных частей и комплектующих на моменты $t > 0$, ед.; T – интервал планирования, дней; $n(T)$ – количество поставок на этом интервале, ед.; s – плата за хранение одной позиции за единицу времени, руб./мес; g – плата за доставку одной партии, руб., h – штраф за отсутствие детали, руб.

Движение запасных частей по складу показано на рисунке 1.

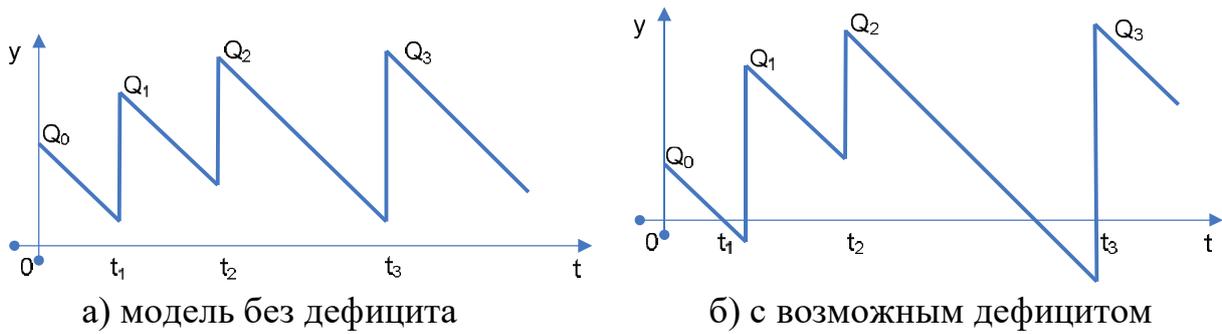


Рисунок 1 - Динамика складского объема запасов определенных деталей

В самом простом варианте решением задачи оптимизации является общеизвестная «формула квадратного корня» $Q_0 = \sqrt{\frac{2\mu g}{s}}$, а наиболее используемыми на практике стратегиями управления запасами являются: периодическая стратегия, с пополнением запасов в заранее заданные промежутки ΔT_i ; стратегия с критическим уровнем, в которой пополнение происходит при снижении запасов до критического уровня.

Далее в работе проведен системный анализ математических методов поддержки управленческих решений при организации управления ТО и ремонтом, сделан вывод о том, что имитационное моделирование позволяет создавать наиболее адекватные модели, которые способны учитывать различные виды стохастических неопределенностей.

В плане моделирования одномерных временных рядов заказов на определенные объемы запасных частей в работе предлагается использование модели авторегрессионного процесса в сочетании с механизмами сглаживания и скользящего среднего.

Для анализа потоков заказов на отдельные детали в диссертации используется комплекс методов статистического анализа, а именно, регрессионный, корреляционный, дисперсионный, факторный и другие.

В работе разработано описание этапов работ, связанных с выполнением обслуживания и ремонта автомобилей.

Во второй главе «Статистический анализ потока заказов и разработка аналитико-имитационной модели управления запасами деталей и узлов автомобилей» диссертации предложена общая структура и состав имитационной модели (ИМ) управления запасами, проведен детальный статистический анализ временных рядов потребностей запасных частей, который направлен на параметризацию предложенной модели с точки зрения оценки эффективности стратегий управления предприятием сервисного обслуживания.

В ходе проведенных теоретических исследований разработана имитационная модель системы управления запасами, которая обеспечивает формирование последовательности событий в моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N$, для каждого из которых задается преобразование состояния модели $Y_i \rightarrow Y_{i+1}$

(изменение количества запасных частей на складе), $i=1,2,\dots,N-1$, где $Y_i = (y_1^i, y_2^i, \dots, y_n^i)$ - вектор состояния модели. Кроме того, в модели учитываются состояние $X_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_m^i)$ внешней среды (поток заказов на запасные части) и вектор управления $U_i = (u_1^i, u_2^i, \dots, u_l^i)$ (циклический перевод модели по дням в течение горизонта планирования). В этих обозначения любая имитационная модель (в том числе модель управления запасами) определяется заданием оператора F , который определяет преобразование в рекуррентной форме:

$$Y_{i+1} = F(Y_i, X_{i+1}, U_{i+1}), \quad i = 1, 2, \dots, N-1. \quad (2)$$

Структура имитационной модели представлена на рисунке 2.

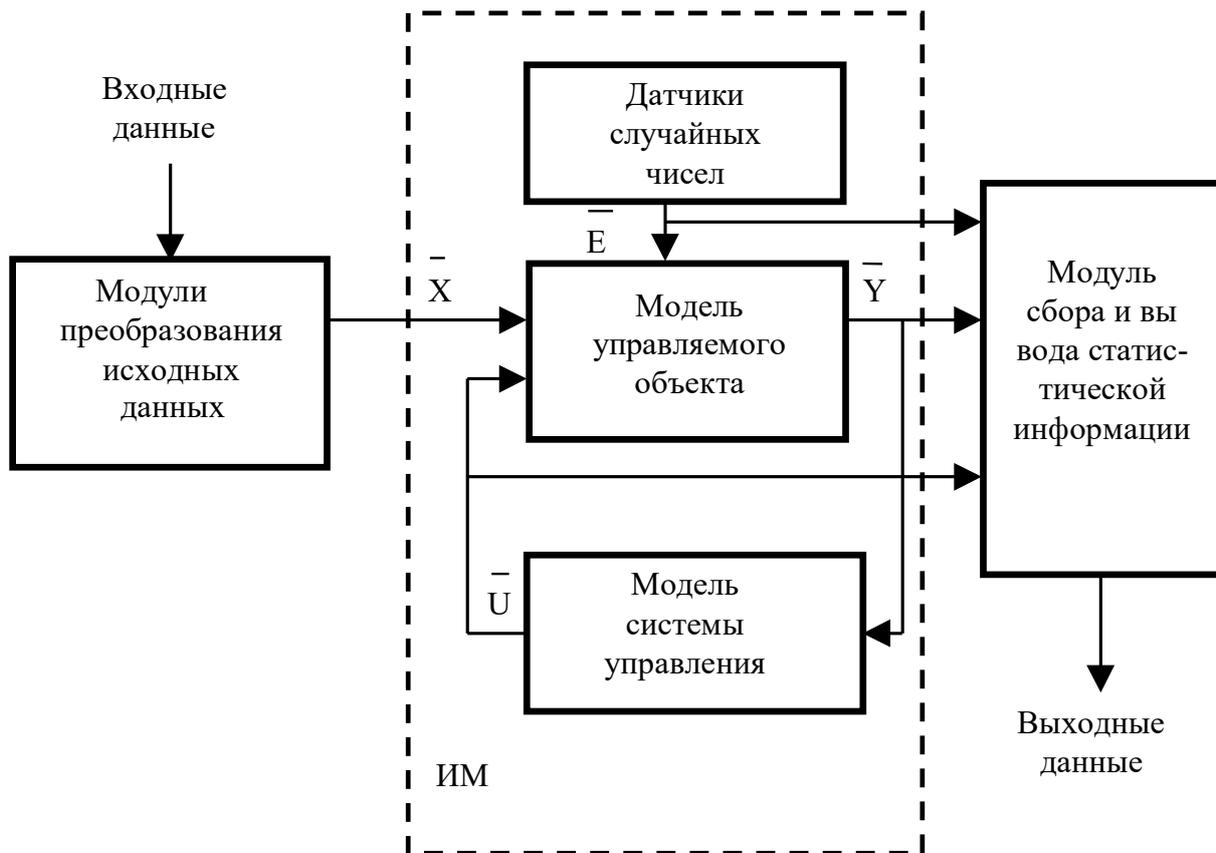


Рисунок 2 - Состав ИМ системы управления запасами

Для проведения исследований в качестве полигона был выбран дилерский центр «Рольф» филиал «Алтуфьево» г. Москвы, откуда были взяты данные по расходу и стоимости запасных частей, стоимости хранения и прочих показателей.

В основу проведенных в работе статистических исследований положено предположение о взаимосвязанности деталей при текущем ремонте автомобиля, то есть когда замена одних деталей влечет за собой одновременную замену и других. Для проведения анализа с целью последующей параметризации имитационной модели была сформирована совокупность номенклатуры деталей, предварительно разделенная на группы. Детали взаимосвязанные при ТО – группа I: 3 (масляный фильтр), 4 (салонный фильтр), 5 (воздушный фильтр двигателя), 7 (свеча зажигания). Детали кузовного ремонта - группа II: 47 (крепление бампера), 49

(усилитель бампера), 50 (подкрылки), 7 (клипса крепления бампера). Детали для предупредительного ремонта - группа III: 78 (гидронатяжитель ремня газораспределительного механизма (ГРМ)), 39 (ремень ГРМ), 87 (натяжной ролик ремня ГРМ), 110 (натяжитель ремня ГРМ).

На основании реализации процедур непараметрического оценивания показана адекватность аппроксимации распределений объема расхода деталей за один день экспоненциальным или геометрическим распределением. Поскольку количество деталей представляет целое число, в работе выполнена статистическая проверка на геометрическое распределение, которое через его единственный параметр p (вероятность появления заказа на запасную часть) имеет математическое ожидание $M\xi = \frac{1}{p}$ и дисперсию $D\xi = \frac{1-p}{p^2}$ (рисунок 3).



Рисунок 3 - Подгонка геометрического распределения запасной части масляный фильтр

В результате проведенного анализа показана возможность моделирования потока потребностей в запасных частях в виде пуассоновского, однако, для целочисленного варианта генерации объема потребностей за день используется геометрическое распределение.

Приведен смоделированный график расхода запасной части «крепление бампера» (рисунок 4).

В работе также проведен корреляционный анализ, который показал наличие существенных корреляций практически между всей номенклатурой группы запасных частей.

В работе проведен также спектральный анализ временных рядов заявок на соответствующие группы запасных частей и комплектующих, который показал наличие сезонных составляющих.



Рисунок 4 - График временного ряда объемов заказов позиции 47 (крепление бампера)

Значение запасов деталей Z_n в разработанной имитационной модели однопродуктовой системы управления запасами определяется на основании рекуррентного соотношения:

$$Z_{n+1} = Z_n + \eta_{n+1} - f(Z_{n+1} + \eta_{n+1}, \xi_{n+1}), \quad (3)$$

где ξ_{n+1} определяет необходимый объем запасных частей на временном интервале $(n, n+1]$; η_{n+1} определяет объем заказанных запасных частей на момент времени $n+1$; $f(Z_{n+1} + \eta_{n+1}, \xi_{n+1})$ задает функционал оценки задействованного объема запасных частей на момент $n+1$.

В рамках первого разделения моделей управления запасами возможна допустимость и недопустимость неравенства:

$$f(Z_{n+1} + \eta_{n+1}, \xi_{n+1}) > Z_n + \eta_{n+1}. \quad (4)$$

Если задолженность допускается, то функция $f(Z_{n+1} + \eta_{n+1}, \xi_{n+1}) = \xi_{n+1}$ и неравенство (4) приводится к виду:

$$Z_{n+1} = Z_n + \eta_{n+1} - \xi_{n+1}, \quad (5)$$

а отрицательное значение величины запаса говорит о том, что на данный момент времени имеется задолженность, соответствующая противоположному значению.

Если задолженность не допускается, то полагается, что заявки на запасные части удовлетворяются только в случае их наличия на складе (т.е. имеющихся запасов), что выражается равенством:

$$f(Z_{n+1} + \eta_{n+1}, \xi_{n+1}) = \min(Z_n + \eta_{n+1} - \xi_{n+1}, 0) \geq 0. \quad (6)$$

При этом неравенство (4) приводится к виду:

$$Z_{n+1} = \max(0, Z_n + \eta_{n+1} - \xi_{n+1}). \quad (7)$$

В работе также предлагается включение в контур моделирования стратегии управления запасами типа (Z_{\min}, Z_{\max}) , определяющуюся двумя действительными числами Z_{\min} и Z_{\max} , для которых справедливо неравенство $0 \leq Z_{\min} < Z_{\max} < \infty$.

В общем случае разработанная имитационная модель имеет следующий список управляемых параметров: Z_{\min} - минимальный объем запасов для формирования заявки на поставку запасных частей; Z_{\max} - максимальный объем запасов для формирования заявки на поставку запасных частей; T_{zak} - переменная, которая задает случайное время реализации поставки запасных

частей (исходное распределение равномерное по интервалу); T - горизонт планирования системы управления запасами; μ – параметр интенсивности запросов на определенную деталь ($\mu=1/(M_z+1)$, где M_z – среднее число запросов за единицу времени); s - цена хранения одной позиции за единицу времени; g - стоимость поставки партии; h – штраф за отсутствие деталей и другие.

Укрупненная блок-схема алгоритма подпрограммы моделирования однопродуктовой системы управления запасами содержит этапы генерации модельного ряда объемов запросов, принятия решения планирования заказа, контроль количества остатков на складе и другие.

Модель функционирует циклически и позволяет моделировать отдельные выборочные траектории для различных комбинаций параметров. В качестве горизонта планирования был принят один год.

Укрупненная блок-схема разработанной модели представлена ниже (рисунок 5).

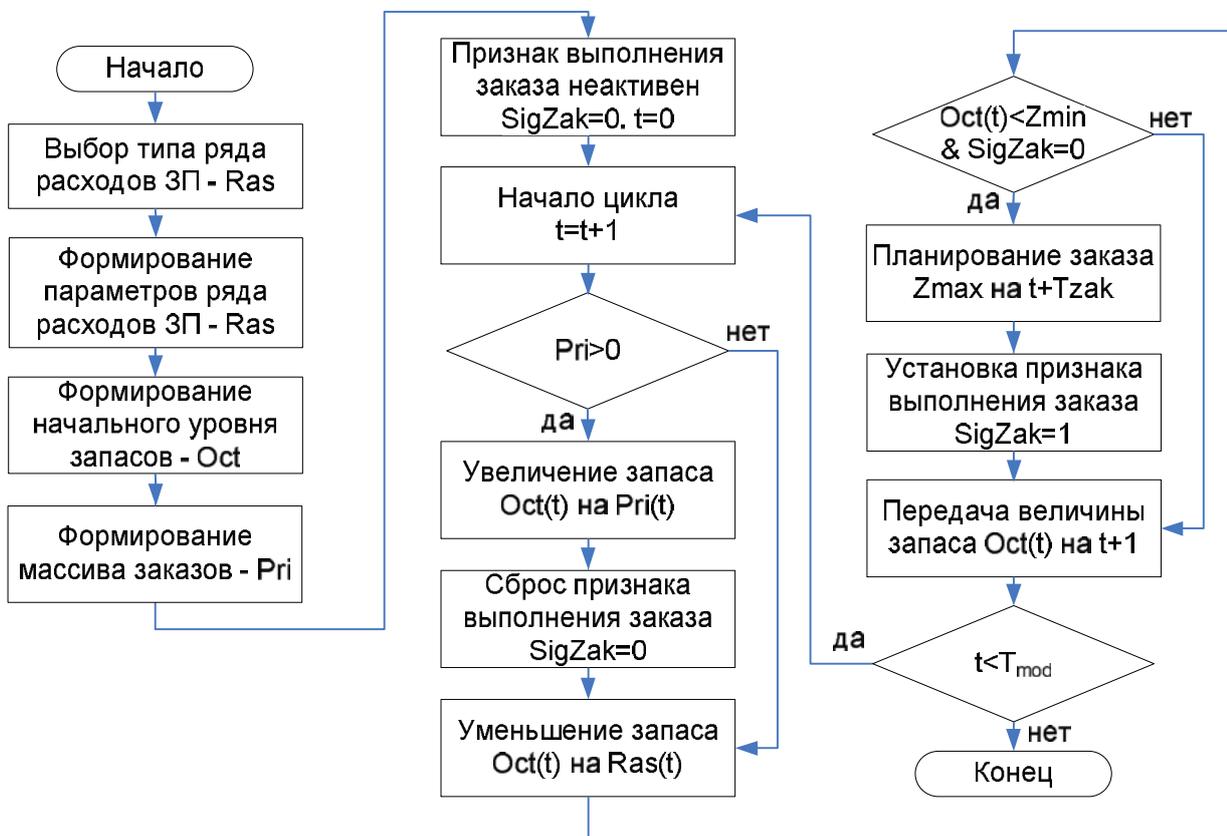


Рисунок 5 - Укрупненная блок-схема алгоритма подпрограммы моделирования однопродуктовой системы управления запасами

Приведенная имитационная модель позволяет получить отдельные выборочные траектории движения запасных частей на складе для различных параметров, входящих в модель (рисунок 6).

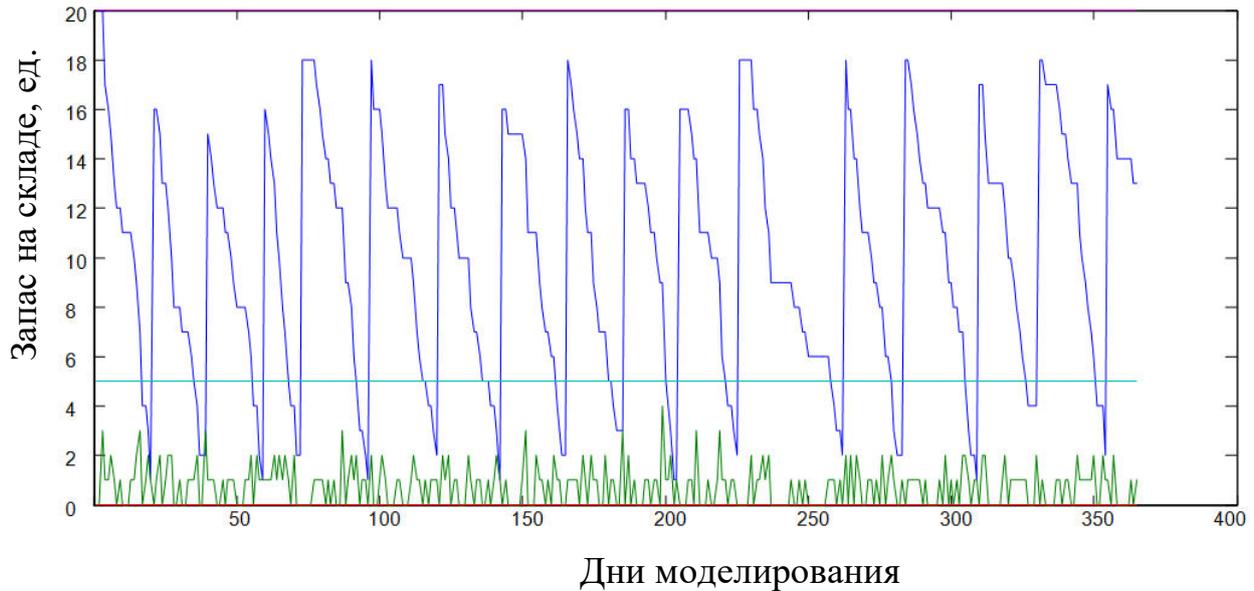


Рисунок 6 - Выборочная траектория объема запасов в случае недопустимости задолженностей

В дальнейших исследованиях в качестве целевой принята функция издержек по управлению запасами, рассчитываемая по зависимости (1).

Предварительный анализ модели на отдельных комбинациях факторов показал наличие экстремумов функции затрат для различных значений Z_{\min} и Z_{\max} (рисунок 7).

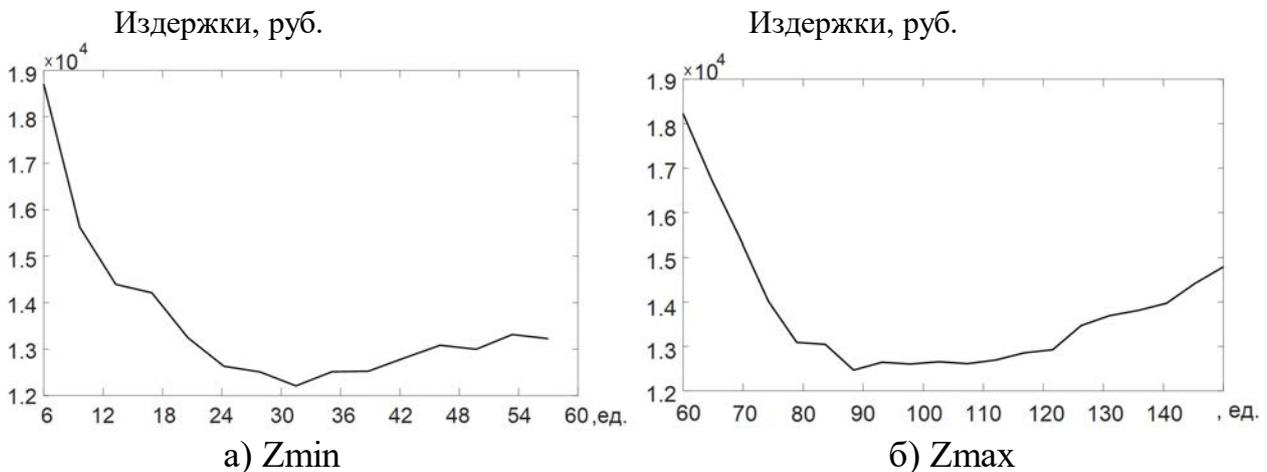


Рисунок 7 - Поведение функции затрат при различных комбинациях факторов

Вопросы детального анализа экспериментов на разработанной имитационной модели представляют отдельную подсистему, для которой выполнена программная реализация вариации всеми факторами модели с построением графиков и таблиц результатов.

В третьей главе «Планирование эксперимента и оптимизация на имитационной модели системы управления запасами деталей и узлов автомобилей» диссертации предложена методика планирования эксперимента на разработанной имитационной модели управления запасами и решена задача оптимизации параметров алгоритма управления запасами. В результате, модель расширяется до

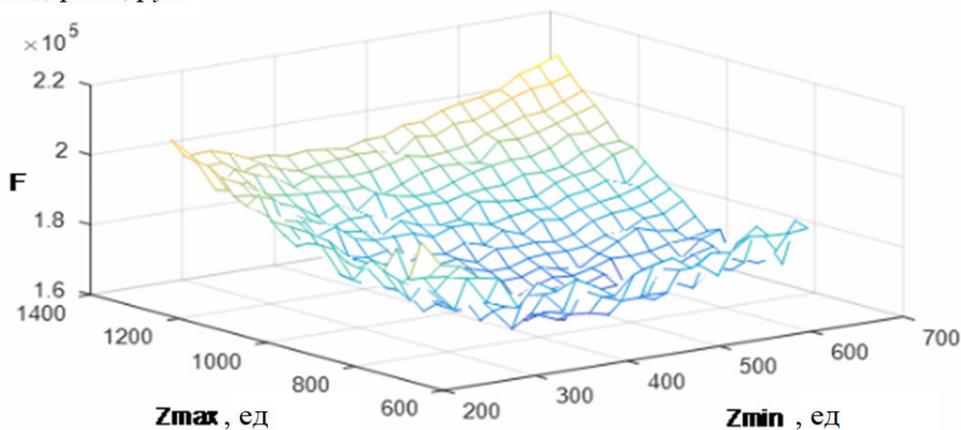
многопродуктовой с произвольным автокоррелированным потоком заявок, а также алгоритмами управления, основанными на прогнозных значениях интенсивности запросов запасных частей.

В общем случае основными управляемыми параметрами модели являются Z_{\min} и Z_{\max} , которые необходимо находить для текущих значений остальных факторов стоимости хранения и поставок.

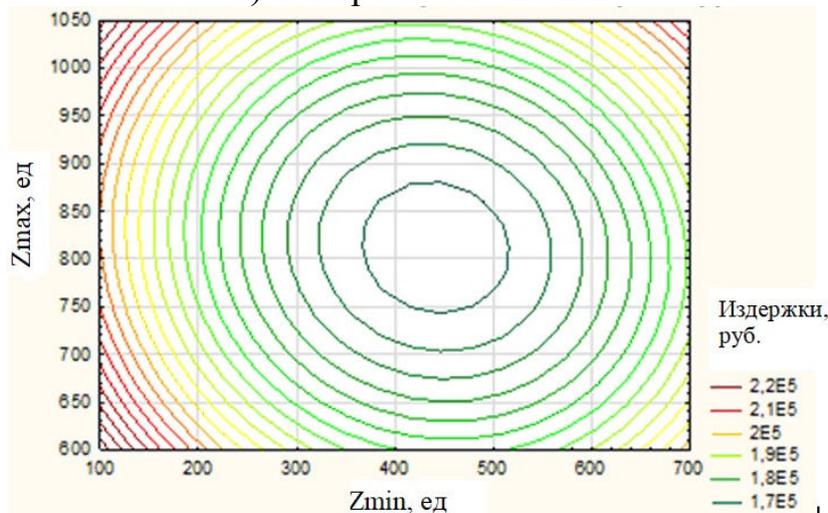
В работе разработана программно-аналитическая методика с использованием различных формальных моделей планирования эксперимента, а именно двухуровневых дробных факторных планов, трехуровневых планов Бокса-Бенкена, методов стохастической аппроксимации и других, позволяющих оценить и ранжировать эффекты всех исследуемых факторов модели. Исследования показали, что если на Z_{\max} максимальное влияние оказывает интенсивность расхода деталей, то на Z_{\min} - штраф за отсутствие.

Так для масляного и воздушного фильтров, а также других запасных частей, выполнена оценка параметров геометрического распределения. Для полученных оценок параметров проведено моделирование и получены оптимальные значения управляемых параметров $Z_{\min} = 450$ ед., $Z_{\max} = 820$ ед. (рисунок 8).

Издержки, руб.



а) Поверхность отклика



б) Контурный график

Рисунок 8 - Оптимизация поставок для масляного фильтра

Данный эксперимент повторялся, и в результате была определена зависимость влияния интенсивности входных потоков заявок на оптимальные значения параметров Z_{\min} и Z_{\max} .

Проведенный анализ показал наличие нелинейных зависимостей и существование оптимальных значений управляемых параметров.

Помимо моделей генерации одномерных временных рядов в работе предложены модели генерации многомерных рядов, которые имитируют взаимосвязанный поток потребностей в определенных деталях, что показали модели факторного анализа. Далее на основе процедуры скользящего среднего получена совокупность взаимосвязанных и округленных значений временных рядов (рисунок 9), где z_1 , z_2 , z_3 – временные ряды потоков заявок на ремень ГРМ, гидронатяжитель ремня ГРМ и натяжной ролик ремня ГРМ соответственно.

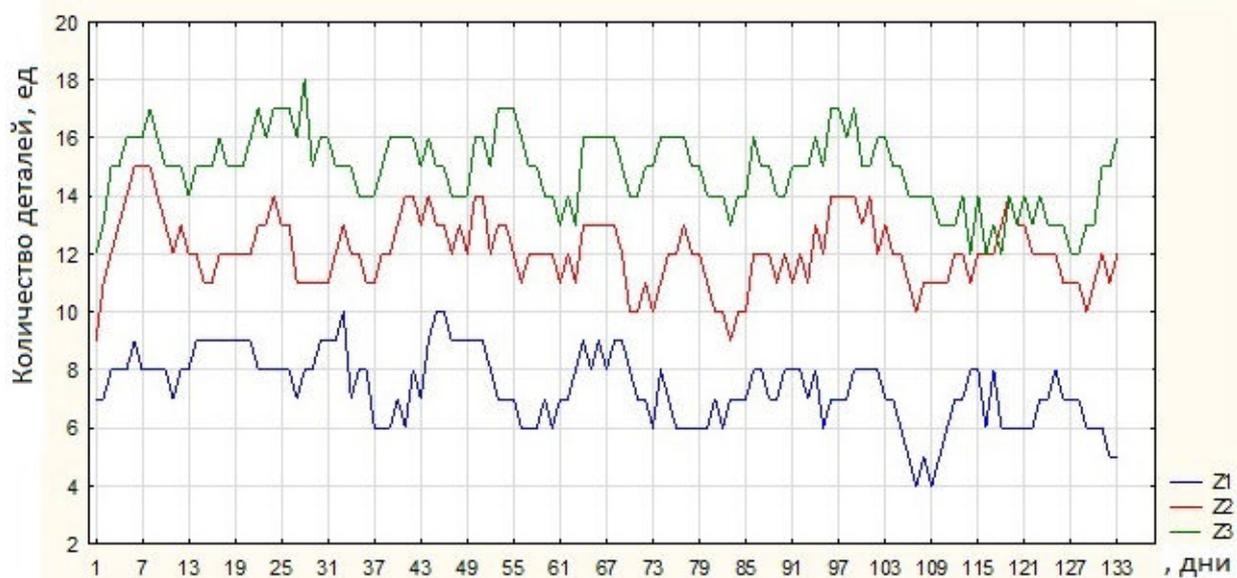


Рисунок 9 - Множество взаимосвязанных и автокоррелированных временных рядов поставок деталей

Далее, как для исходных многомерных временных рядов потребностей в различных деталях, так и модельных, предложена методика прогноза запроса деталей, которая учитывает корреляционные взаимосвязи. Методика содержит три основных этапа:

- на первом этапе решается задача формирования главных факторов, как линейного преобразования исходных заявок;
- на втором этапе решается задача построения прогноза для полученных временных рядов главных компонент;
- на третьем этапе выполняется обратное преобразование полученных прогнозных значений главных факторов для формирования прогнозов исходных рядов заявок на поставки различных групп запасных частей и комплектующих.

Разработанные модели многомерных временных рядов потребностей в деталях и процедура прогнозирования потребностей на основе взаимосвязанных временных рядов являются базовыми для построения многопродуктовой модели управления запасами (рисунок 10).

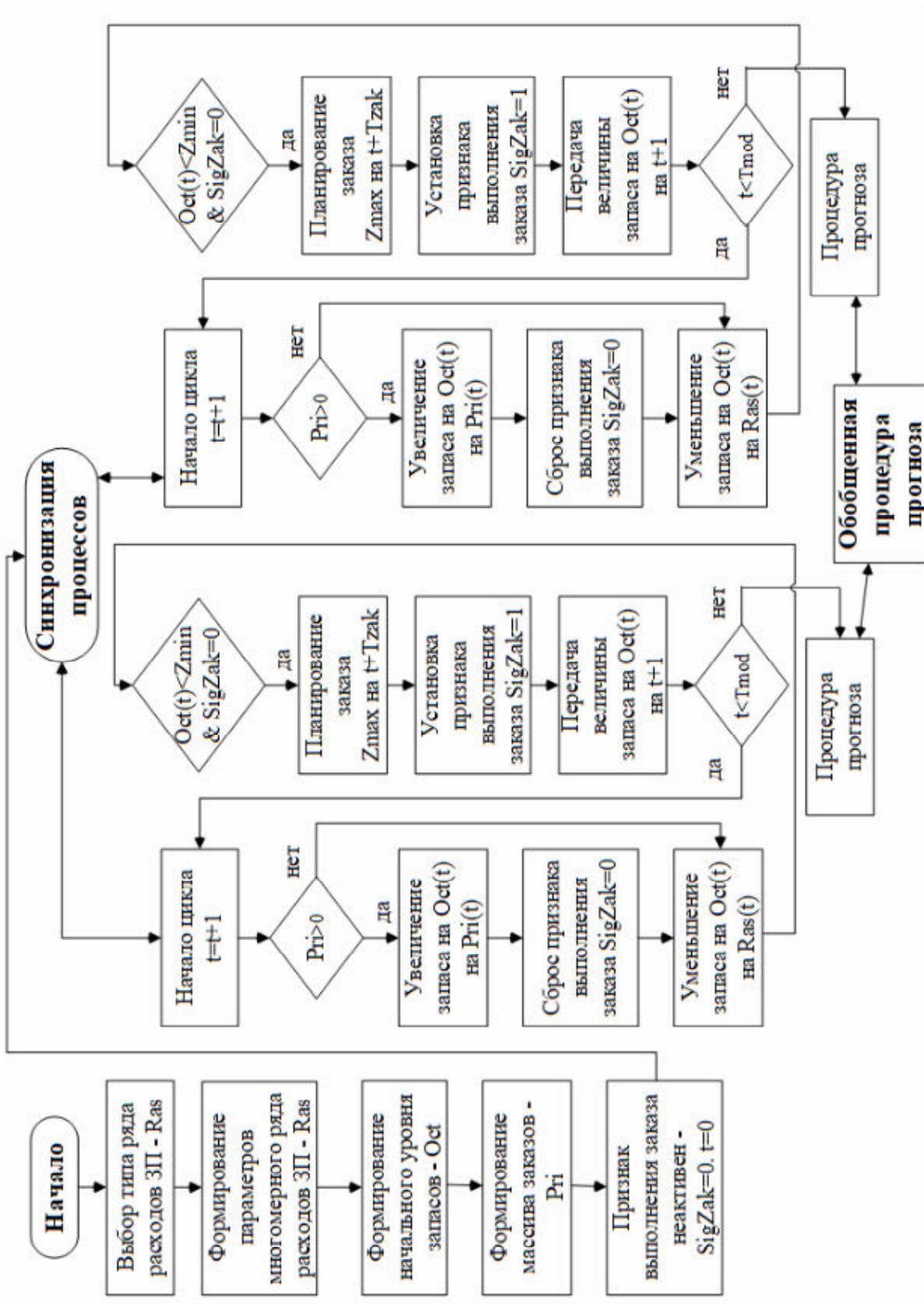


Рисунок 10 - Укрупненная блок-схема моделирования многопродуктовой системы управления запасами

Предложенный алгоритм дает возможность моделировать объединенные схемы поставок различных групп запасных частей и комплектующих.

В результате реализации программы формируется семейство выборочных траекторий случайных временных рядов с невырожденными автокорреляционными и кросскорреляционными характеристиками.

Учитывая, что для каждой позиции строится прогноз интенсивности, данные передаются на верхний уровень моделирования, на котором выбирается стратегия совместных поставок, что сокращает расходы на доставку.

В четвертой главе «Программная реализация и апробация разработанных методов и моделей управления запасами станции технического обслуживания» рассмотрены вопросы программной реализации, апробации результатов исследования и оценки экономической эффективности от внедрения предложенных методов и моделей управления запасами.

В результате проведенных исследований предложена обобщенная методика формирования стратегии управления запасами запасных частей.

Адекватность разработанной модели системы управления запасами склада запасных частей станции технического обслуживания доказывается эффективностью результатов имитационного моделирования на основе данных ООО «Рольф» филиал «Алтуфьево».

В результате апробации разработанной методики был получен ряд диаграмм сравнительного анализа, где представлены значения предсказанных и фактических значений остатков запасных частей на складе. Однако более обоснованным критерием адекватности модели прогноза и управления является статистика Фишера (F-отношение), построенная на основании вычисленных значений таблицы дисперсионного анализа.

Для варианта значений остатков критерия Фишера равно 43,8 при табличном значении равном 19 для уровня ошибки 0,05, что говорит об адекватности предложенной модели. Аналогичные результаты были получены для других видов запасных частей.

Разработанные компоненты были использованы для выдачи рекомендаций по формированию параметров системы управления запасами ООО «Рольф» филиал «Алтуфьево», в итоге экономический эффект от внедрения методики составил 2,2 млн. руб.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований решена научная задача совершенствования систем управления запасами станций технического обслуживания на основе предложенных научных подходах, алгоритмах и программных продуктах имитационного моделирования процессов управления запасами, имеющая существенное значение для развития автомобильного транспорта.

1. Выполнен системный анализ методов и моделей управления поставками запасных частей и комплектующих, проведен анализ моделей без

дефицита и с дефицитом, а также рассмотрена двухуровневая модель управления запасами, которая ставит задачи вероятностного моделирования, представлена классификация стратегий управления запасами, которые используются на практике, разработана классификация факторов, влияющих на потребность станции технического обслуживания в запасных частях.

2. Предложена общая структура и состав имитационной модели управления запасами, разработаны и реализованы алгоритмы моделирования однопродуктовой и многопродуктовой систем управления запасами без дефицита и с дефицитом, а также двухуровневая модель управления запасами запасных частей для станции технического обслуживания.

3. На основе использования разработанных алгоритмов и программ вероятностного моделирования построена имитационная модель, позволяющая решать однопродуктовые и многопродуктовые задачи управления запасами, задачи оптимизации параметров алгоритма управления запасами, с произвольным автокоррелированным потоком заявок, а также алгоритмами управления, основанными на прогнозных значениях интенсивности запросов запасных частей для станций технического обслуживания автомобилей.

4. Проведен детальный статистический анализ временных рядов потребностей запасных частей, который направлен на параметризацию предложенной модели с точки зрения оценки эффективности стратегий управления предприятием сервисного обслуживания. В результате анализа выделены классы случайных процессов и временных рядов, имеющие наибольшее практическое применение при моделировании потоков заказов и потребностей в запасных частях. Предложена методика прогноза запроса деталей, которая учитывает корреляционные взаимосвязи между расходом различных запасных частей. Коэффициент корреляции составил значение от 0,25 до 0,86 внутри группы связанных запасных частей.

5. Для повышения эффективности различных схем управления запасами запасных частей на станции технического обслуживания и последующего анализа результатов предложена программно-аналитическая методика с использованием различных формальных моделей планирования эксперимента, а именно двухуровневых дробных факторных планов, трехуровневых планов Бокса-Бенкена, методов стохастической аппроксимации и других, позволяющих оценить и ранжировать эффекты всех исследуемых факторов модели.

6. Предложен алгоритм выполнения работ, связанных с выполнением бизнес-процесса регистрации, учета и контроля процесса выполнения ремонтных работ, который включает бизнес-функции: приемки соответствующего автомобиля или агрегата для выполнения ремонтных работ, разборки и диагностики компонентов, формирования технологической документации для реализации ремонтных работ, общее планирование необходимых запасных частей и комплектующих, необходимых при организации производственной деятельности авторемонтного предприятия.

7. Разработана обобщенная методика формирования стратегии управления запасами запасных частей, включающая семь этапов, от получения

статистических данных, до формирования управленческих решений по управлению запасами запасных частей для станции технического обслуживания. Адекватность модели, разработанной в исследовании, предложенных методик и системы управления запасами склада запасных частей станции технического обслуживания доказываемая эффективностью использования результатов на предприятиях ООО «Рольф» филиал «Алтуфьево». Критерий Фишера при проверке адекватности модели составил 43,8 при табличном значении равном 19. Экономический эффект от внедрения методики на полигоне составил 2,2 млн. руб.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах:

- в рецензируемых научных журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» ВАК:

1. Bugrimov, V.A. Evaluation of the frequency of diagnostics of components and assemblies for transport and technological machines on the basis of hidden Markov chains / V.A. Bugrimov, A.B. Nikolaev, B.V. Sakun, M.Yu. Karelina, S.N. Satsyshev // International Journal of Advanced Studies. – 2016. – Том № 6. – № 4. – С. 23-37.

2. Bugrimov, V.A. Management procedure of supplies of units, materials and constituent parts for repair and maintenance support of transport and production machines / V.A. Bugrimov, V.Yu. Stroganov, B.V. Sakun, Than Naing Min, P.S. Yakunin // International Journal of Advanced Studies. – 2016. – Том № 6. – № 4. – С. 77-90.

3. Бугримов, В. А. Использование факторного анализа для оптимизации размера заказываемых партий запасных частей станцией техобслуживания / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев, В.В. Бородулин // Научное обозрение. – 2017. – № 2. – С. 65-71.

4. Бугримов, В. А. Моделирование процессов управления запасами предприятия автосервиса / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев // Научное обозрение. – 2017. – № 8. – С. 63-68.

5. Бугримов, В.А. Статистическая основа имитационного моделирования системы управления запасами предприятия автосервиса / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев, В.В. Бородулин // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 1 (56). – С. 132-138.

6. Бугримов, В.А. Моделирование системы управления запасами станции технического обслуживания / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев, В.В. Бородулин // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 4 (59). – С. 9-17.

- в прочих изданиях:

7. Бугримов, В.А. Процессно-ориентированное моделирование функционирования предприятия сервисного обслуживания / В.А. Бугримов, А.А. Подберезкин, Е.О. Кузьмичева, С.К. Атаева // Планирование и

моделирование в строительстве и на транспорте: межвузовский сборник научных трудов. – М.: МАДИ, 2015. – С. 72-80.

8. Бугримов, В.А. Моделирование бизнес-процессов управления запасами комплектующих на основе формальной теории процессов и анализа ценовой политики / В.А. Бугримов, А.А. Подберезкин, А.А. Ивахненко, С.Ю. Смирнов // Планирование и моделирование в строительстве и на транспорте: межвузовский сборник научных трудов. – М.: МАДИ, 2015. – С. 99-108.

9. Бугримов, В.А. Классификация факторов, влияющих на потребность предприятий автосервиса в запасных частях / В.А. Бугримов, Р.А. Иванов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев // Актуальные вопросы транспорта в современных условиях: сборник научных статей по материалам III Международной научной конференции 28 октября 2016 г. – Саратов: Издательский дом «Райт-ЭКСПО», 2016. – С. 64-68.

10. Бугримов, В.А. Декомпозиция бизнес-процесса ремонтных работ автосервиса / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев, В.В. Бородулин // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: материалы XVIII Международной научно-практической конференции. – Владимир, 2016. – С. 95-98.

11. Бугримов, В. А. Метод управления запасами на основе имитационного моделирования потоков / В.А. Бугримов, В.Ю. Строганов, В.М. Черненький // Динамика сложных систем - XXI век. – М., 2017. – Т. 11. – № 3. – С. 4-10.

12. Бугримов, В. А. Разработка структуры имитационной модели управления запасами предприятия автосервиса / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев // Транспорт и логистика: инновационное развитие в условиях глобализации технологических и экономических связей: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Рост. гос. ун-т путей сообщения. Ростов-на-Дону, 2017. – С. 71-74.

13. Бугримов, В. А. Моделирование потока заказов запасных частей в автосервисе / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев // Эффективность технической эксплуатации и автосервиса транспортных и технологических машин: сборник научных статей по материалам III Международной научной конференции 14 апреля 2017 г. – Саратов, 2017. – С. 14-19.