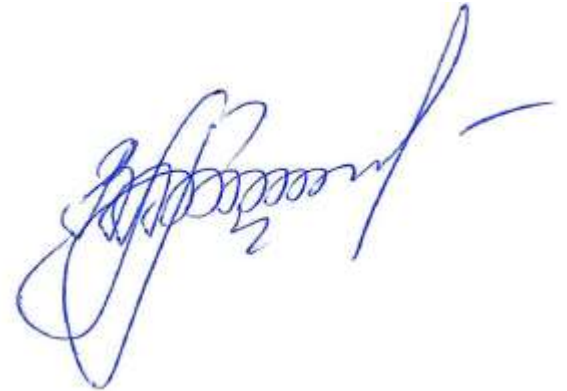


*На правах рукописи*



**БУЗИН Владимир Анатольевич**

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В  
МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ**

Специальность 2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические системы  
страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте  
(технические науки)

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС).

Научный руководитель – **Захаров Николай Степанович**,  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Ларин Олег Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГАОУ ВО «Российский университет  
транспорта» (г. Москва), кафедра  
логистических транспортных систем и  
технологий, профессор;

**Катаргин Владимир Николаевич**,  
кандидат технических наук, профессор,  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный  
университет» (г. Красноярск), кафедра  
транспорта, профессор.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Оренбургский государственный  
университет»

Защита состоится «22» декабря 2023 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета 44.2.008.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) в ауд. Б2-15 (зал диссертационных советов) по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 6б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат разослан «20» октября 2023 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по почте в адрес диссертационного совета 44.2.008.02.

Тел./факс: +7 (343) 221-24-44. E-mail: NSirina@usurt.ru.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. техн. наук



Юшкова Ирина Анатольевна

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В современных условиях для успешной работы автотранспортные предприятия должны быть конкурентоспособными. Чтобы снизить тарифы на услуги, необходимо снижать затраты на эксплуатацию автомобилей. В себестоимости использования автомобилей существенную долю составляют затраты на материалы, используемые при техническом обслуживании (ТО) подвижного состава. При снабжении материалами необходимо находить компромисс между бесперебойным снабжением, требующим увеличения размеров заказов, и снижением объемов запасов, увеличивающих стоимость оборотных фондов. На расход ресурсов существенно влияют климатические условия, поэтому необходимо учитывать их при снабжении. В настоящее время потребность в ресурсах для ТО планируется, как правило, исходя из фактического расхода за предыдущий год. При этом не учитывается, что расход меняется по сезонам.

В этой связи необходимо отметить актуальность исследований, направленных на разработку методики планирования потребности автотранспортных предприятий в материалах для технического обслуживания с учетом вариации интенсивности и условий эксплуатации.

**Степень разработанности темы.** Известные методики определения потребности в материалах для ТО и ремонта автомобилей предполагают, как правило, что поток требований на ресурсы – стационарный. На практике же этот поток меняется по времени, что обусловлено сезонными изменениями интенсивности и условий эксплуатации автомобилей. Существующие методики определения потребности в ресурсах для ТО автомобилей и управления их запасами недостаточно учитывают вариацию потока требований на ТО. Поэтому необходимы исследования, направленные на разработку теоретических положений и практических рекомендаций по определению размеров запасов и периодичности поставок материалов для ТО автомобилей при нестационарном потоке требований.

**Целью работы** является повышение эффективности использования автомобилей путем разработки методики планирования потребности автотранспортных предприятий в материалах для технического обслуживания с учетом вариации интенсивности и условий эксплуатации.

**Объект исследований** – процесс формирования потребности в материалах для ТО автомобилей.

**Предмет исследований** – закономерности формирования потребности в материалах для ТО в условиях неравномерности потока требований.

### **Задачи исследований:**

- установить факторы, влияющие на расход материалов для ТО автомобилей;
- разработать модель потока требований на ТО с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей;
- установить закономерности влияния условий эксплуатации на расход материалов для ТО автомобилей и разработать математические модели для их описания;
- разработать методику определения потребности в материалах для технического обслуживания автомобилей при нестационарном потоке требований и оценить эффект от ее использования.

**Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:**

– установлены факторы, влияющие на объем и неравномерность потока требований на материалы для ТО автомобилей, в число которых входит не только количество обслуживаемых автомобилей, но и вариация интенсивности эксплуатации, вариация фактической периодичности ТО, соотношение периодичности ТО и годового пробега автомобиля;

– установлены закономерности, формирующие расход материалов на ТО при эксплуатации автомобилей, учитывающие влияние неравномерности интенсивности эксплуатации, изменения температуры и влажности воздуха на потребность в ресурсах;

– разработаны математические модели влияния перечисленных факторов на интенсивность расходования ресурсов;

– разработана имитационная модель формирования расхода материалов для ТО при эксплуатации автомобилей, позволяющая определять их расход при эксплуатации в переменных условиях, а также планировать периодичности и объемы поставок с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации.

**Теоретическая значимость** заключается в установлении закономерностей и разработке моделей формирования потока требований на материалы для ТО автомобилей.

**Практическая значимость** заключается в разработке методики планирования потребности автотранспортных предприятий в материалах для технического обслуживания автомобилей и уменьшение на этой основе суммарных затрат, связанных с приобретением, поставкой и хранением материалов.

**Методология и методы исследований.** Общая методология диссертационных исследований основана на системном подходе. При выполнении теоретических исследований использовались логический метод, анализ и синтез, гипотетический метод. В экспериментальных исследованиях применялись планирование эксперимента, пассивный натурный и активный имитационный эксперименты, корреляционно-регрессионный анализ, метод проверки статистических гипотез.

**Положения, выносимые на защиту:**

– обоснование факторов, влияющих на расход материалов для ТО автомобилей;

– модель потока требований на ТО с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей;

– закономерности влияния условий эксплуатации на расход материалов для ТО автомобилей и математические модели для их описания;

– методика определения потребности в материалах для технического обслуживания автомобилей при нестационарном потоке требований.

**Область исследований** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте: п. 9. Управление транспортным производством и перевозками в организационно-технических системах.

**Степень достоверности научных положений и результатов.** Результаты исследований получены на основе известных методов разработки математических моделей, корректных подходов при оценке их адекватности экспериментальным данным. Теоретические положения, выводы и рекомендации основаны на аналитических исследованиях, проверенных и подтвержденных при корректном

получении, обработке и анализе достаточного объема экспериментальных данных.

**Апробация результатов.** Результаты исследований используются в производственной деятельности Сургутской центральной базы производственного обслуживания по прокату и ремонту нефтепромысловой спецтехники и навесного оборудования ПАО «Сургутнефтегаз» (СЦБПО ПРНС и НО), а также в учебном процессе Тюменского индустриального института при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 23.03.03 – и 23.04.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, в учебном процессе Тюменского высшего военно-инженерного командного училища имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова при подготовке специалистов по направлению 23.05.02 – Транспортные средства специального назначения, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Теоретические положения и результаты работы используются в учебном процессе ТюмИУ по направлению подготовки кадров высшей квалификации 23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта» на кафедре «Сервис транспортных и технологических машин» и в лекционном материале при подготовке бакалавров по направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и апробированы на международных науч.-практ. конференциях «Проблемы функционирования систем транспорта» (Тюмень, 2015, 2017, 2018), «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2015, 2016, 2017, 2019), «Новые технологии – нефтегазовому региону» (Тюмень, 2017), «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства» (Тюмень, 2017, 2020), «Наука в информационном обществе» (Оренбург, 2017), «Наука и технологии XXI века: возможности и риски» (Костанай, 2017), «Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе» (Тюмень, 2017), «Актуальные проблемы современной науки» (Челябинск, 2017), «Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса» (Нижневартовск, 2017), всероссийской науч.–практ. конференции «Сервис автомобилей и технологических машин» (Тюмень, 2015).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе 7 статей в научных журналах, включённых в перечень ведущих рецензируемых научных изданий, утверждённых ВАК РФ, и 20 публикаций в Материалах научно-практических конференций.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка литературы и приложений. Содержит 210 страниц машинописного текста, 73 таблицы, 118 рисунков, 8 приложений и список использованной литературы из 169 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, приводятся цель и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность результатов, положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** раскрыта проблема обеспечения запасными частями и материалами для ТО автомобилей, проанализированы результаты выполненных ранее исследований влияния основных факторов на потребность в ТО, рассмотрена система снабжения запасными частями и материалами для ТО и Р автомобилей,

методики определения потребности в ресурсах разных видов.

Изучению вопросов, связанных с темой диссертации, посвящены работы Авдонькина Ф.Н., Андрианова Ю.В., Бедняка М.Н., Васильева В.И., Власова В.М., Вознесенского А.В., Говорущенко Н.Я., Давидовича Л.Н., Денисова А.С., Довбни Б.Е., Евтюкова С.А., Захарова Н.С., Звягина А.А., Катаргина В.Н., Котикова Ю. Г., Корчагина В.А., Краморенко Г.В., Кузнецова Е.С., Курганова В.М., Ларина О.Н., Лукинского В.С., Макаровой А.Н., Мастепана Н.А., Напольского Г.М., Проникова А.С., Ракитина А.Н., Резника Л.Г., Сергиенко Е.С., Тахтамышева Х.М., Филатова М.И., Шевелева Е.С., Шейнина А.М., Щетины В.А. и других.

Анализ ранее выполненных работ показал, что в соответствии с тактиками проведения ТО требования на использование ресурсов генерируются или в результате достижения регламентированной наработки до ТО (тактика I-1), или технического состояния, близкого к предельному (тактика I-2). Поэтому необходимо отдельно рассмотреть факторы, влияющие на расход материалов на замену по пробегу или времени, а также факторы, влияющие на расход материалов для замены по состоянию.

На потребность в ресурсах для ТО влияет большое количество факторов, причем, предположительно, перечни значимых факторов различны не только для материалов 1-й и 2-й групп, но и разных материалов из 2-й группы. Для определения факторов, значимо влияющих на расход ресурсов каждого наименования, необходимо провести специальные исследования.

Результаты ранее выполненных исследований подтверждают предположение о нестационарности потока требований на ТО, что позволяет сделать вывод о стохастичности процесса расходования ресурсов для проведения ТО. В большинстве известных методик при расчете потребностей в ресурсах процесс их потребления рассматривается как стационарный. На практике же потребность меняется во времени, при этом наиболее значимы сезонные изменения. Поэтому, учитывая нестационарность потока требований на ресурсы, аналитическим моделям следует предпочесть имитационные.

**Во втором разделе** рассматриваются теоретические вопросы, связанные с разработкой методики определения размеров запасов материалов для ТО автомобилей при нестационарном потоке требований. Изложена общая методика исследований, обоснована целевая функция, установлена структура и закономерности функционирования изучаемой системы. На основе априорного ранжирования выполнен предварительный отбор факторов, влияющих на потребность в ресурсах для ТО автомобилей. Выявлены закономерности формирования потока требований на ТО, разработана имитационная модель потока требований на ТО. Рассмотрены закономерности формирования ресурса фильтров с учетом сезонных условий, а также разработана имитационная модель формирования ресурса фильтрующих элементов автомобильных двигателей.

Система снабжения предназначена для обеспечения предприятия материальными ресурсами в необходимом для бесперебойного функционирования объеме. При этом затраты на ее функционирование должны быть минимальными.

Эффективность функционирования изучаемой системы (рис. 1) оценивается суммарными затратами  $C_{\Sigma}$  на приобретение, транспортировку, хранение ресурсов, а также потерь от вложения средств в оборотный фонд. Поэтому в общем виде целевую функцию для данных исследований можно записать так:

$$C_{\Sigma} - C_{\Sigma \min} \rightarrow 0,$$

где  $C_{\Sigma \min}$  – минимально возможные затраты, связанные со снабжением ресурсами для ТО автомобилей.

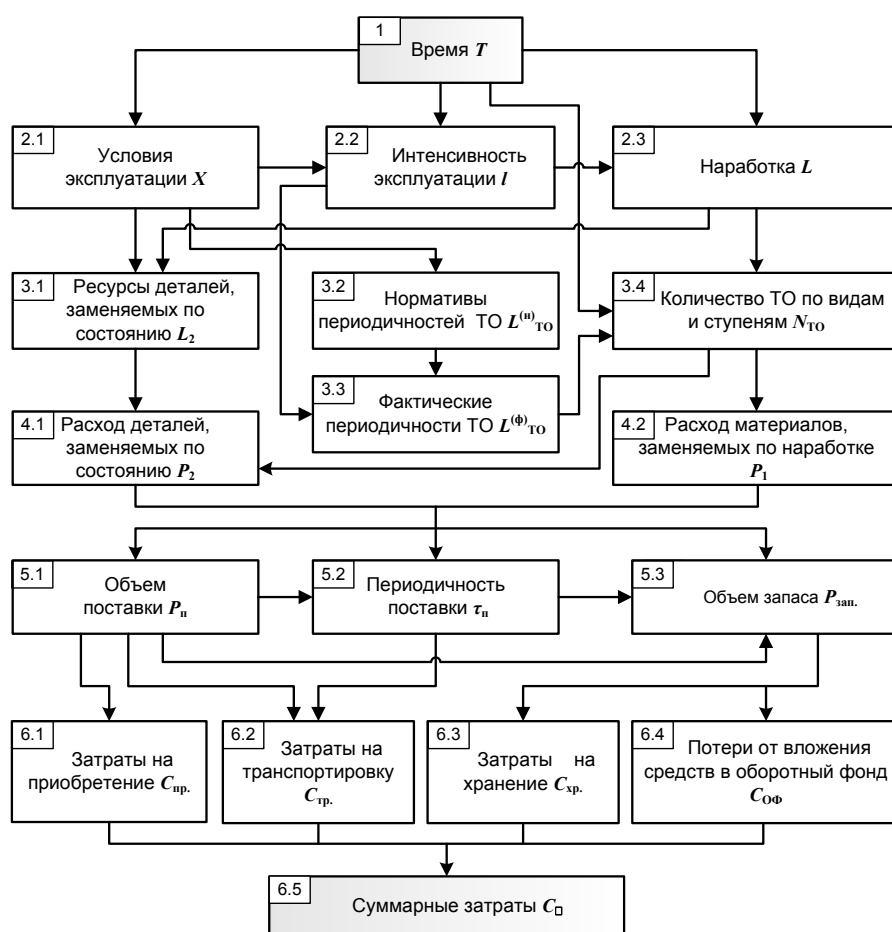


Рисунок 1 – Структура изучаемой системы

Для достижения этой цели текущие суммарные затраты должны приближаться к минимально возможным, то есть

$$C_{\Sigma} = C_{\text{пр.}} + C_{\text{тр.}} + C_{\text{хр.}} + C_{\text{оф}} \rightarrow \min,$$

где  $C_{\text{пр.}}$  – затраты на приобретение ресурсов;

$C_{\text{тр.}}$  – затраты на транспортировку ресурсов;

$C_{\text{хр.}}$  – затраты на хранение ресурсов;

$C_{\text{оф}}$  – потери, связанные с вложением средств в запасы ресурсов (оборотный фонд).

На основе анализа результатов ранее выполненных исследований составлен исходный перечень факторов, влияющих на расход материалов для ТО автомобилей, включающий четыре группы: конструктивные, эксплуатационные, технологические и организационные. Для рациональной организации снабжения материалами необходимо знать не только средние расходы по всем пунктам номенклатуры, но и вариацию расходов. Поэтому рассмотрены факторы, влияющие как на расход, так и на его вариацию, для материалов, заменяемых как по наработке, так и по состоянию. По каждой из четырех указанных групп на основе экспертного анализа (рис. 2) установлены предварительные перечни наиболее значимых факторов. Полученный перечень достаточно обширен, и изучить их влияние на про-

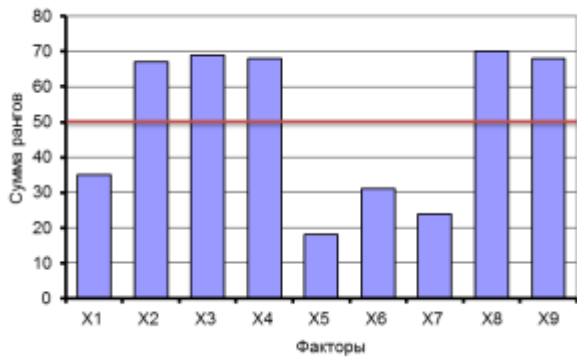


Рисунок 2 – Априорная диаграмма рангов факторов, влияющих на расход ресурсов, заменяемых по наработке: X1 – совершенство конструкции; X2 – сложность конструкции; X3 – унификация; X4 – технология изготовления; X5 – интенсивность эксплуатации; X6 – транспортные, дорожные, климатические условия; X7 – уровень концентрации подвижного состава; X8 – учет работы подвижного состава; X9 – удаленность от источников ресурсов

цесс расходования материалов для ТО автомобилей в рамках одной диссертационной работы не представляется возможным. Поэтому далее рассматриваются только факторы, непосредственно связанные с заявленной темой диссертации, а

именно – факторы, меняющиеся сезонно.

Модель потока требований на ТО с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей разработана на базе методического подхода, предусматривающем фиксацию наработок каждого автомобиля на начало прогнозного периода, а также вида последнего выполненного ТО и наработки, при которой оно выполнено, последующее прогнозирование приращений наработок по каждому автомобилю за сутки, проверку достижения нормативной наработки до очередного ТО, подсчет количества прогнозируемых технических воздействий. Укрупненный алгоритм имитационной модели потока требований на ТО представлен на рис. 3.

Если интенсивность эксплуатации автомобилей меняется в течение года, то долговечность элементов автомобиля определяется долями пробега в разные сезоны. Для оценки влияния сезонных

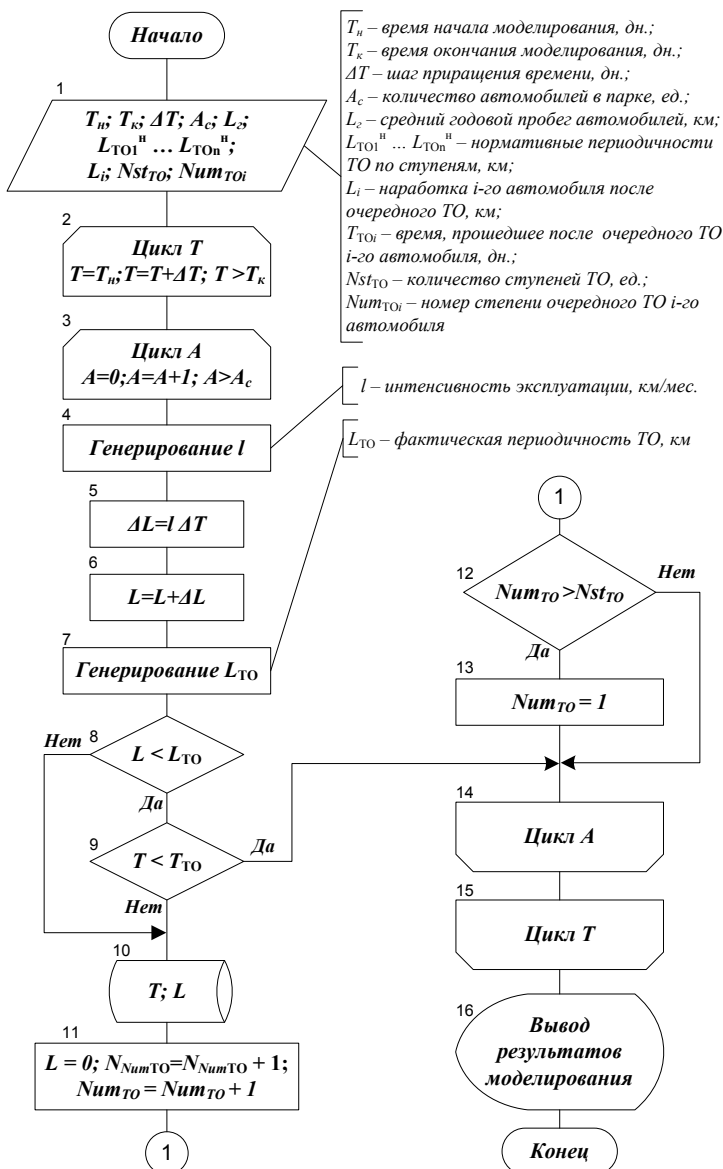


Рисунок 3 – Укрупненный алгоритм имитационной модели потока требований на ТО



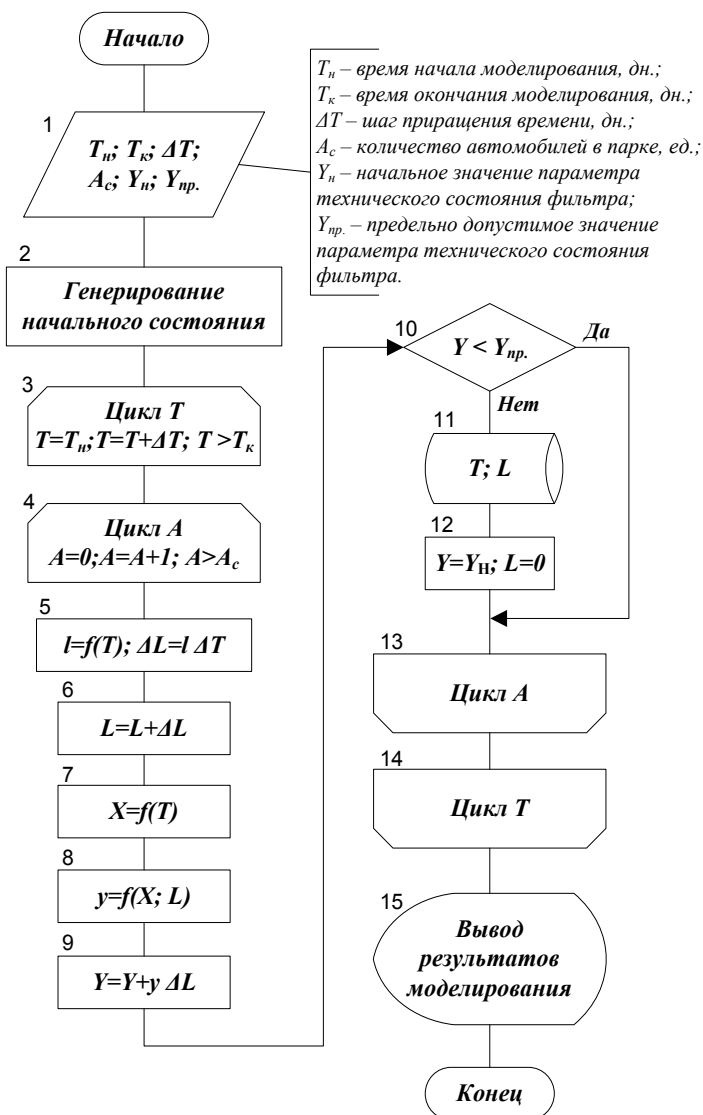


Рисунок 4 – Укрупненный алгоритм имитационной модели формирования ресурса фильтрующих элементов автомобильных двигателей

условий на ресурс фильтрующих элементов автомобильных двигателей разработана имитационная модель (рис. 4).

Рассматриваемая имитационная модель позволяет моделировать поток замен фильтров, а также их ресурс в различных условиях. Для проверки адекватности модели проведены сравнительные натурные и имитационные эксперименты.

**В третьем разделе** представлены результаты экспериментальных исследований. Они проводились с целью проверки выдвинутых в разделе 2 гипотез о факторах, влияющих на расход ресурсов для ТО, и виде математических моделей, а также для определения численных значений параметров этих моделей. Изложены цели и задачи, общая и частные методики экспериментальных исследований. На основе статистических данных о фактических расходах оценена значимость сезонной вариации потребности в ресурсах для ТО автомобилей, а также значимость изменения по времени количества ТО. Проверена адекватность имитационной модели потока требований на ТО с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей.

Установлено влияние периодичности ТО и интенсивности эксплуатации автомобилей на вариацию потока требований на ТО. Оценены фактические ресурсы элементов автомобилей, заменяемых при ТО. Установлено влияние температуры воздуха на интенсивность отказов приводных ремней, а также сезонных условий на ресурс воздушных фильтров. Проверена адекватность имитационной модели формирования ресурса фильтрующих элементов автомобильных двигателей.

Для проверки гипотезы о существенном влиянии сезонных условий на расход ресурсов проведен пассивный эксперимент, заключающийся в сборе информации о количестве замен расходных материалов, количестве замен, а также количестве и объемах доливов технических жидкостей. Поскольку количество замен зависит от количества ТО, то оценивалась и вариация числа ТО по месяцам в течение года.

Данные об изменении по времени расхода ресурсов аппроксимированы гармонической моделью. Статистическая оценка значимости гармоник проводилась по критерию Стьюдента. Сезонные изменения считались значимыми, если статисти-

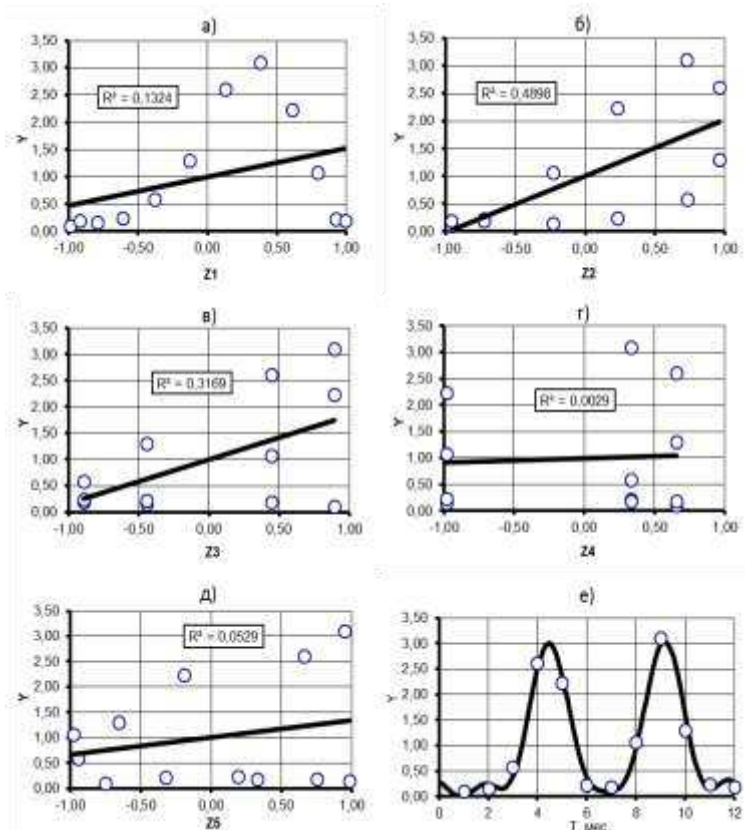


Рисунок 5 – Изменение по времени относительного количества доливов охлаждающей жидкости: а ... д – 1-я ... 5-я линеаризованные гармоники; е – гармоническая модель

Таблица 1 – Значения коэффициента сезонной неравномерности потребности в материалах, используемых при ТО автомобилей

Наименования материалов	Коэффициент неравномерности
Ремень привода гидроусилителя руля	1,576
Ремень привода водяного насоса	1,262
Ремень привода генератора	1,986
Ремень привода компрессора	1,304
Накладка тормозной колодки	1,393
Лампа А 24-21-3	1,407
Лампа А 24x5	1,420
Элемент фильтра очистки воздуха	1,306
Масло моторное	1,263
Масло трансмиссионное:	1,337
Масло гидравлическое	1,531
Антифриз	3,125

стически значимыми являлись первая (период – один год) или вторая (период – 1/2 года) гармоники. Для того, чтобы результаты экспериментов по ресурсам разных наименований можно было сопоставить, данные о расходах пересчитывались в относительные единицы.

Результаты оценки значимости сезонных изменений количества доливов охлаждающей жидкости представлены на рис. 5. Аналогичные результаты получены и для других видов материалов. Для всех материалов сезонная вариация потребности статистически значима. Обобщённые результаты анализа представлены в табл. 1.

Ранее в исследованиях Довбни Б.Е., Шевелева Е.С., выполненных под руководством Захарова Н.С., установлено, что в течение года потребность в ТО автомобилей варьирует.

Поскольку расход ресурсов зависит от количества обслуживаний, необходимо проверить наличие указанных закономерностей для рассматриваемых в данной работе предприятий и автомобилей. Проверка этого предположения выполнена на основе пассивного эксперимента, заключающегося в

сборе информации о количестве фактически выполненных ТО по месяцам в течение года.

Для сопоставления закономерностей изменения во времени количества ТО для автомобилей различного назначения разных предприятий данные о количестве технических воздействий пересчитывались в относительные единицы путем деления месячных значений на среднее месячное значение.

Установлено, что для всех рассматриваемых случаев статистически значима первая (7 случаев) или вторая (5 случаев) гармоники. Это подтверждает полученные ранее другими авторами результаты. Кроме того, рассчитан коэффициент неравномерности количества ТО по месяцам  $K_n$  в течение года, равный отношению максимального месячного значения к среднему месячному значению. Пределы изменения  $K_n$  – от 1,27 до 2,34.

Таким образом, на основе пассивного эксперимента установлено, что на расход материалов для ТО всех видов существенно влияют сезонные условия: максимальное отклонение месячного расхода от среднemesячного составляет 23 ... 212 %. Максимальное месячное количество ТО превышает среднemesячное значение на 27 ... 134 %.

Для оценки адекватности имитационной модели потока требований на ТО выполнен эксперимент, заключающийся в моделировании месячных количеств ТО для автомобилей конкретного предприятия и сравнении их с фактическими значениями. Данные об интенсивности эксплуатации автомобилей по месяцам, а также фактических количествах ТО по месяцам получены в транспортных подразделениях ПАО «Сургутнефтегаз». Результаты моделирования количества ТО представлены на рис. 6. Расчетные значения количества ТО сравнивались с фактическими (рис. 7).

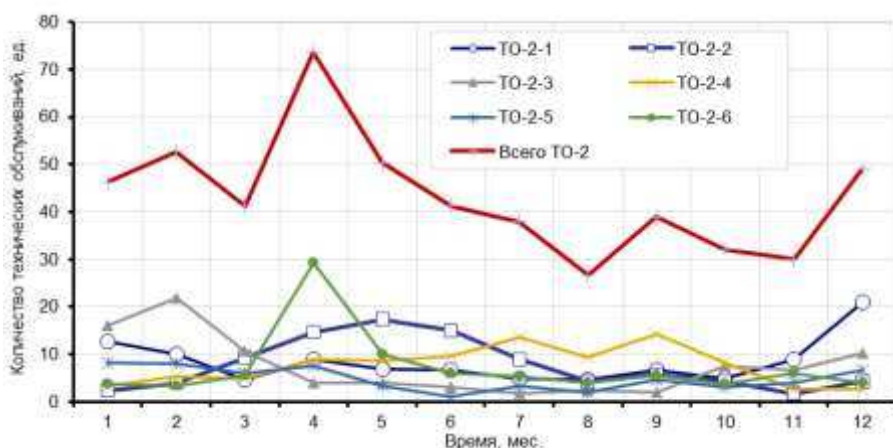


Рисунок 6 – Результаты моделирования количества требований на ТО

Для количественной оценки соответствия расчетных и фактических значений использовалась средняя ошибка аппроксимации  $\epsilon$  и дисперсионное отношение Фишера  $F$ . Расчеты показали, что значение  $\epsilon$  находится в пределах 6,87 ... 9,45 %, а  $F$  во всех случаях превышает табличное значение критерия Фишера с вероятностью не менее 0,95.

Известно, что количество технических воздействий увеличивается с увеличением интенсивности эксплуатации. Показано, что с увеличением производ-

ственной программы уменьшается случайная компонента количества технических воздействий, то есть снижается коэффициент вариации количества ТО  $V_{N_{ТО}}$ . Для проверки выдвинутых гипотез проведены экспериментальные исследования на имитационной модели.

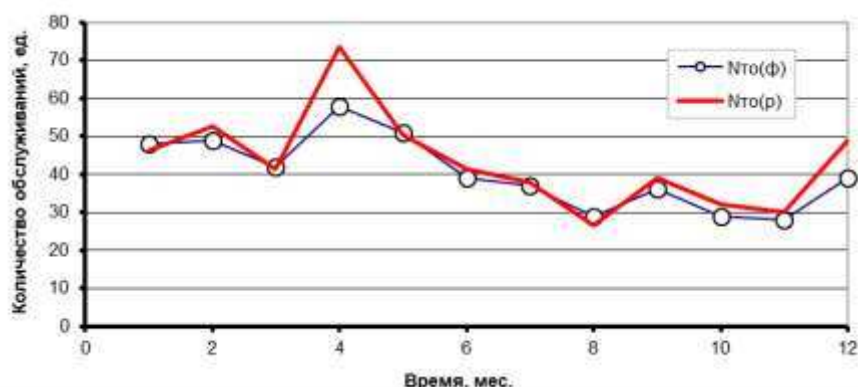


Рисунок 7 – Сравнение расчетных  $N_{ТО}^{(р)}$  и фактических  $N_{ТО}^{(ф)}$  значений количества ТО

Результаты представлены на графике рис. 8. Из него видно, что с увеличением интенсивности эксплуатации коэффициент вариации количества технических воздействий  $V_{N_{ТО}}$  снижается. Предполагая, что  $V_{N_{ТО}}$  зависит не только от интенсивности эксплуатации, но и от периодичности ТО, полученные результаты представили в системе координат «Годовой пробег в долях периодичности ТО –  $V_{N_{ТО}}$ » (рис. 9).

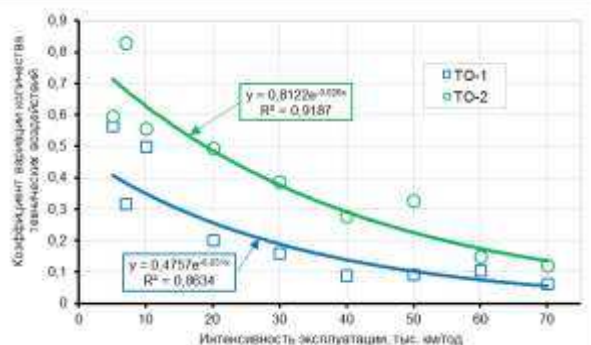


Рисунок 8 – Влияние интенсивности эксплуатации автомобилей на коэффициент вариации количества ТО

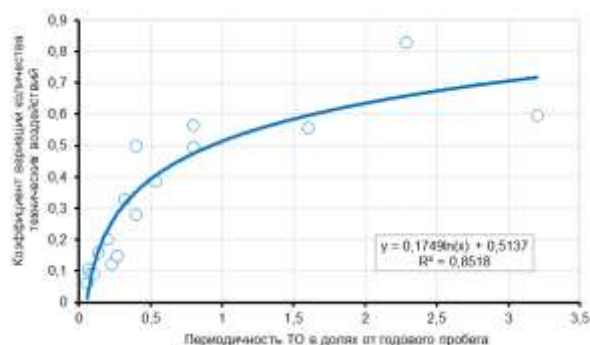


Рисунок 9 – Влияние периодичности ТО в долях годового пробега автомобилей на коэффициент вариации количества ТО

То есть на коэффициент вариации количества ТО влияет не интенсивность эксплуатации или периодичность ТО, а количество технических воздействий, определяемое соотношением общего пробега автомобилей за рассматриваемый период и периодичности ТО. С увеличением интенсивности эксплуатации и уменьшением периодичности ТО количество технических воздействий растет.

Для установления закономерностей влияния условий эксплуатации на расход материалов для ТО автомобилей проведены экспериментальные исследования. Влияние температуры воздуха на интенсивность отказов элементов, заменяемых по состоянию, устанавливалось на основе статистических данных об отказах, полученных в транспортных подразделениях ПАО «Сургутнефтегаз».

На рис. 10 представлена зависимость интенсивности отказов приводных ремней двигателей автомобилей Урал-4320 от температуры воздуха. Проверка по

t-статистике Стьюдента показала, что для всех четырех ремней влияние температуры на интенсивность отказов значимо. Предположение о том, что с понижением температуры воздуха интенсивность отказов приводных ремней возрастает, подтверждено. Это увеличение связано с ростом нагрузки на ремни из-за повышения сопротивления вращению валов приводимых агрегатов вследствие увеличения вязкости смазочных материалов, а также с ухудшением эластичности материалов ремней. Проверка по критерию Фишера показала, что для всех случаев с вероятностью 0,95 адекватны линейные модели.

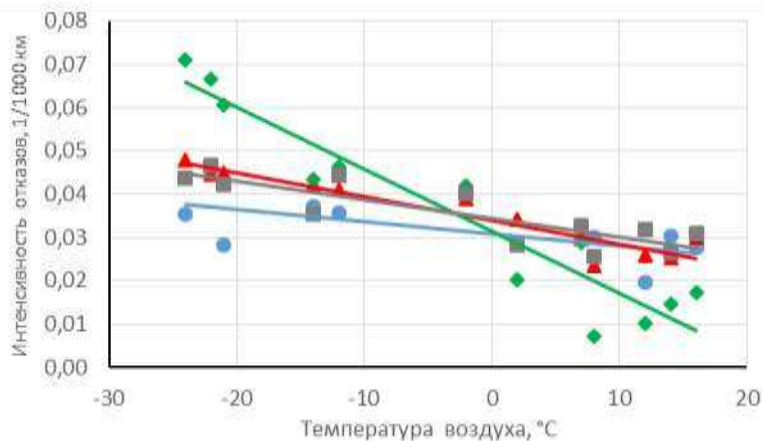


Рисунок 10 – Влияние температуры воздуха на интенсивность отказов приводных ремней двигателей автомобилей Урал-4320: ● – ремень привода гидросилителя руля; ▲ – ремень привода водяного насоса; ◆ – ремень привода генератора; ■ – ремень привода компрессора

В теоретических исследованиях выдвинуто предположение о том, что интенсивность загрязнения воздушных фильтров зависит от сезонных условий. Проверка этой гипотезы осуществлялась на основе экспериментальных исследований по определению фактической интенсивности загрязнения фильтров в разные периоды года. В условиях реальной эксплуатации в течение года ежемесячно измерялась масса фильтрующих элементов на 20 автомобилях Урал-4320. При обработке экспериментальных данных рассчитаны средние по каждому месяцу интенсивности загрязнения фильтрующих элементов  $m$ . Сопоставляя полученные данные и средние месячные значения температуры воздуха  $t$ , влажности воздуха  $h$ , количества осадков  $H$ , скорости ветра  $V_v$ , средней технической скорости автомобилей  $V_t$ , получили эмпирические зависимости, фрагмент которых представлен на рис. 11-12.

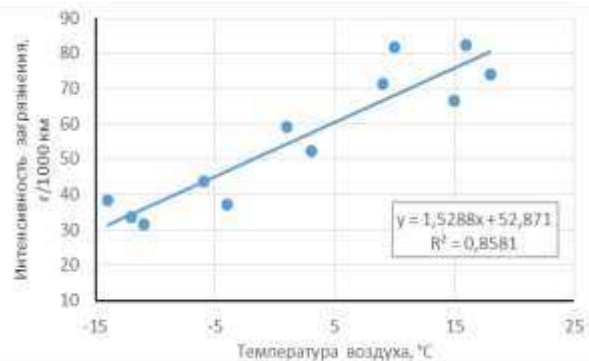


Рисунок 11 – Влияние средней месячной температуры воздуха на интенсивность загрязнения фильтрующих элементов воздушных фильтров

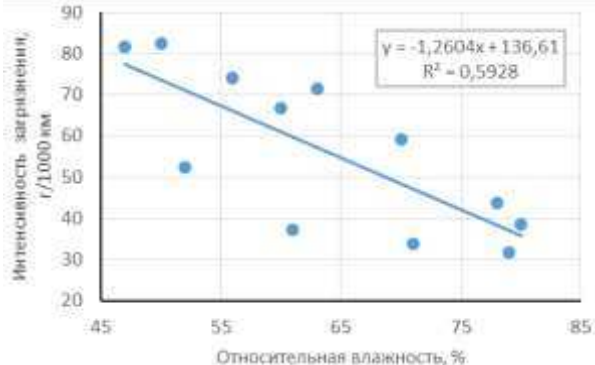


Рисунок 12 – Влияние средней месячной относительной влажности воздуха на интенсивность загрязнения фильтрующих элементов воздушных фильтров



Проверка значимости коэффициентов парной корреляции факторов и интенсивности загрязнения фильтрующих элементов показала, что с вероятностью выше 0,95  $t$  и  $h$ , а также  $V_T$  влияют существенно, соответствующие зависимости адекватно описываются линейными моделями. Влияние  $H$  и  $V_B$  несущественно:  $t$ -статистика Стьюдента для них составила 0,24 и 0,56 при критическом значении  $t_{0,90} = 1,81$ .

Установлено, что между температурой воздуха и средней технической скоростью существует статистически значимая корреляционная связь, а между температурой воздуха и относительной влажностью воздуха – отсутствует, поэтому средняя техническая скорость исключена из перечня влияющих факторов. Двухфакторная модель влияния сезонных условий на интенсивность загрязнения воздушных фильтров имеет вид (рис. 13):

$$m = 71,6 + 1,23t - 0,418h - 0,0082th, [\text{г}/1000 \text{ км}].$$

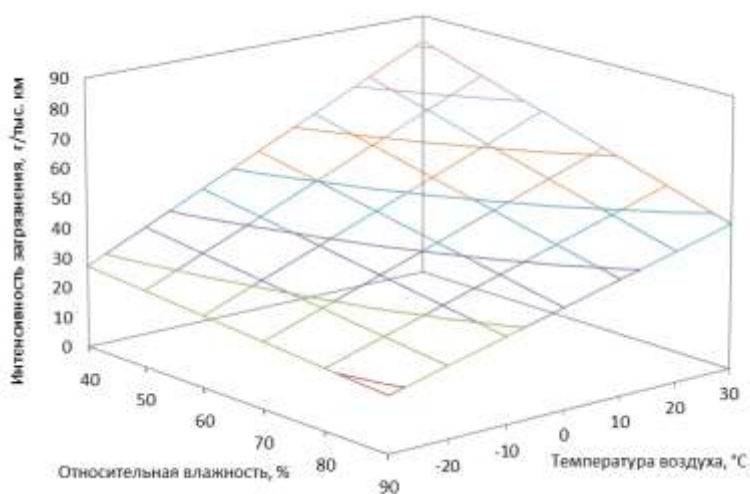


Рисунок 13 – Влияние температуры и относительной влажности воздуха на интенсивность загрязнения фильтрующих элементов воздушных фильтров двигателей автомобилей Урал-4320

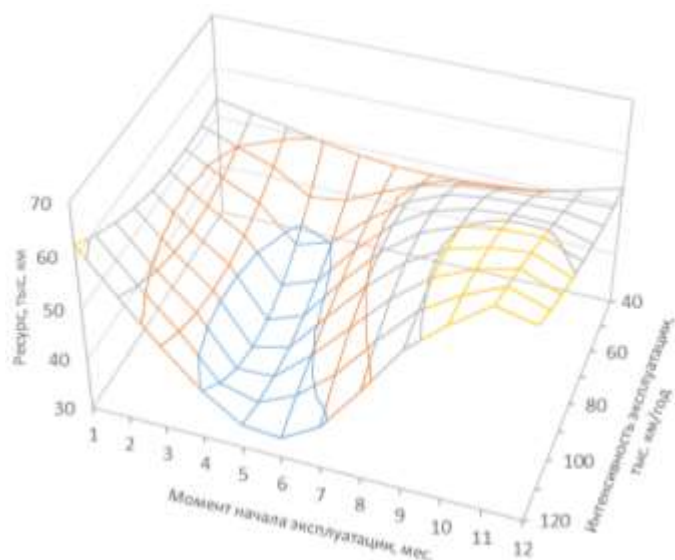


Рисунок 14 – Влияние интенсивности эксплуатации автомобилей и даты начала эксплуатации воздушных фильтров на их ресурс

Коэффициент множественной корреляции  $R$  для модели составил 0,87, а коэффициент детерминации – 0,76, что свидетельствует о достаточно полном учете факторов. Вероятность значимости  $R$  превышает 0,95, средняя ошибка аппроксимации равна 8,64 %, вероятность адекватности модели экспериментальным данным – выше 0,95.

Проверка адекватности модели потока замен воздушных фильтров (рис. 14) проводилась путем сравнения месячных количеств замен в течение года, полученных в результате натурного эксперимента, а также рассчитанных на основе имитационного моделирования для тех же условий. Сравнительный анализ

показал, что расчетное дисперсионное отношение равно 35,12 и превышает табличное значение критерия Фишера с вероятностью 0,99. По серии из 30 испытаний средняя ошибка аппроксимации составила 7,35 %. Из приведённых данных можно сделать вывод об адекватности модели.

**Четвертый раздел** посвящен методике использования результатов исследований и оценке их эффективности. Описана методология использования полученных результатов, изложена методика определения потребности в материалах для ТО автомобилей с учетом сезонных условий, предусматривающая расчет годовых и месячных потребностей, страхового запаса, определение периодичностей и объемов поставок. Описаны программа для моделирования потока требований на ТО автомобилей, программа для моделирования потока замен и ресурса фильтров и прогнозирования ресурса сменных элементов воздушных фильтров. Рассчитан эффект от использования методики определения потребности в материалах для ТО автомобилей с учетом сезонных условий.

Поток требований на материалы для ТО – нестационарный, то есть его характеристики меняются по времени. Изменение обусловлено вариацией по времени интенсивности и условий эксплуатации. Поэтому при планировании потребности в ресурсах необходимо не только определять расход за какой-либо период (например, год), но и распределять его по времени.

Учитывая наличие двух различных тактик проведения ТО – по наработке (I-1) и по состоянию (I-2), материалы необходимо разделять на две соответствующие группы, поскольку планирование потребности в них осуществляется по-разному.

Расход материалов первой группы зависит от норматива периодичности замены и интенсивности эксплуатации автомобилей.

Для планирования потребности в материалах, заменяемых по наработке, необходим прогноз количества обслуживаний по ступеням, развернутый во времени. Разработанная в данных исследованиях имитационная модель позволяет решить эту задачу.

Используя результаты этого прогноза и зная количество расходуемого на одно обслуживание материала по каждой позиции номенклатуры, можно определить потребность на рассматриваемый период, распределенную по времени. Расход за год рассчитывается по формуле:

$$P_{1г} = N_{ТОг} \cdot p_{ТО} \cdot k_{п},$$

где  $N_{ТОг}$  – плановое количество ТО, ед./год;

$p_{ТО}$  – расход материала на одно ТО, ед. (кг, л);

$k_{п}$  – коэффициент повторяемости операции замены данного материала.

Потребность в материалах для ТО в  $i$ -м месяце с учетом сезонной вариации можно рассчитать по формуле:

$$P_{1i} = \frac{1}{12} \cdot P_{1г} \cdot k_{с1},$$

где  $k_{с1}$  – коэффициент сезонной неравномерности потребности в материалах для ТО, заменяемых по наработке.

Для материалов, заменяемых по состоянию, расход определяется, исходя из средней наработки на замену  $\bar{L}$ :

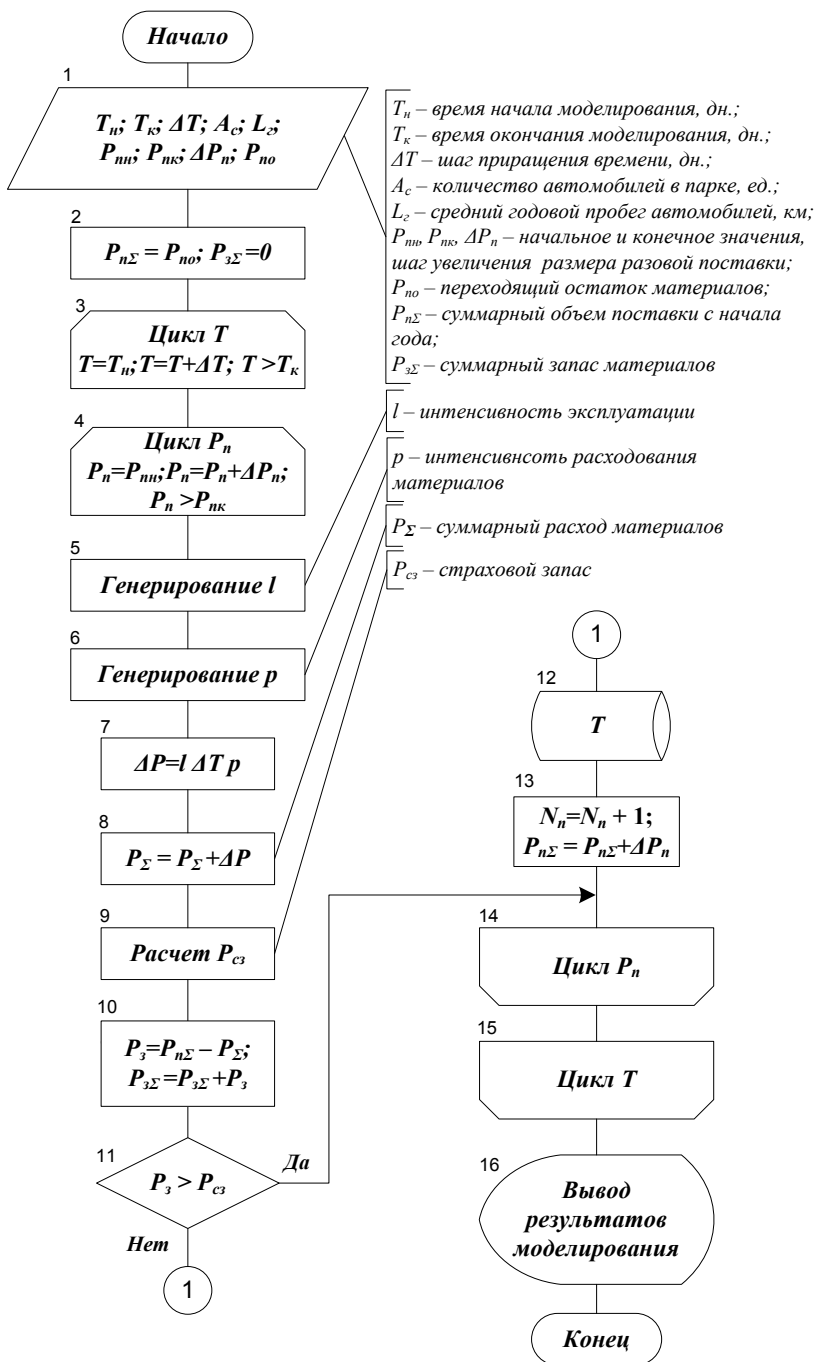


Рисунок 16 – Укрупненный алгоритм имитационной модели для определения периодичностей и объемов поставок материалов

$$P_{2\Gamma} = \frac{L_{\Gamma} \cdot A_c \cdot p_{\text{ТО}}}{\bar{L}},$$

где  $L_{\Gamma}$  – годовой пробег автомобиля;

$A_c$  – списочное количество автомобилей;

Для технических жидкостей здесь  $p_{\text{ТО}}$  (расход материала на одно ТО) – средний объем долива (л), а  $\bar{L}$  – средняя наработка на долив.

Потребность в материалах для ТО, заменяемых по состоянию, в  $i$ -м месяце можно рассчитать по формуле:

$$P_{2i} = \frac{1}{12} \cdot P_{2\Gamma} \cdot k_{C2},$$

где  $k_{C2}$  – коэффициент сезонной неравномерности потребности в материалах для ТО, заменяемых по состоянию.

Поскольку процесс расходования материалов нестационарный, то аналитическим путем рассчитать периодичности и объемы поставок невозможно. Для этого предложена имитационная модель. Ее алгоритм приведен на рис. 16.

Полученные результаты позволяют оптимизировать объемы и пе-

риодичности поставок (рис. 17), а также рассчитывать размер страховых запасов материалов с учетом изменения по времени интенсивности и условий эксплуатации автомобилей.

Расчетный экономический эффект от применения полученных результатов составил 1077,32 тыс. руб. в год по парку из 260 автомобилей семейства Урал-4320, а в расчете на один автомобиль в год – 4,14 тыс. руб.



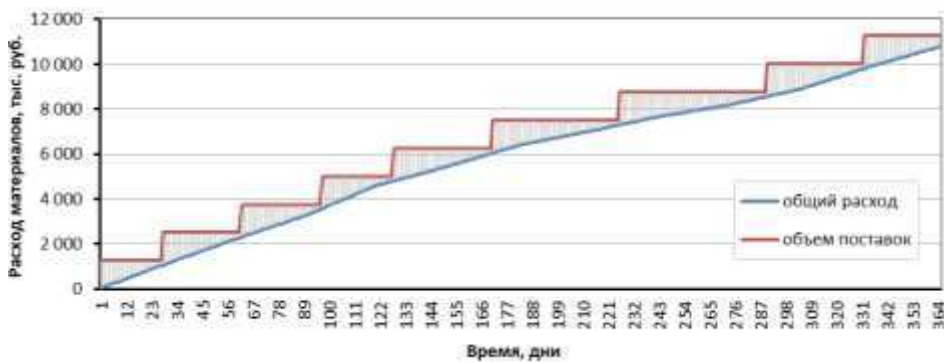


Рисунок 17 – Изменение по времени общего расхода и объемов поставок материалов при оптимальных объемах и периодичностях поставок ( $L_r = 28$  тыс. км)

### III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований решена научно-практическая задача по повышению эффективности использования автомобилей путем разработки методики планирования потребности автотранспортных предприятий в материалах для технического обслуживания с учетом вариации интенсивности и условий эксплуатации.

2. На основе сформированного по результатам анализа ранее выполненных исследований исходного перечня, а также экспертного анализа установлены факторы, влияющие на расход материалов для ТО автомобилей. К ним относятся интенсивность эксплуатации, транспортные, дорожные, климатические условия, уровень концентрации подвижного состава. Кроме того, установлены факторы, влияющие по вариацию расхода ресурсов для ТО.

3. Показано, что поток требований на ТО является нестационарным. Это положение проверено экспериментально для автомобилей различного назначения 13-ти марок и моделей. Коэффициент неравномерности потока требований на ТО для них составил от 1,27 до 2,34. Разработана имитационная модель потока требований на ТО, позволяющая определять количество технических обслуживаний по ступеням и их распределение во времени с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей. Оценка на основе сравнения фактических значений количества ТО и рассчитанных на модели показала ее адекватность с вероятностью не ниже 0,95. Средняя ошибка аппроксимации находится в пределах 6,87 ... 9,45 %.

4. Установлены закономерности и математические модели влияния условий эксплуатации на расход материалов для ТО автомобилей. Экспериментально определены численные значения параметров моделей для автомобилей семейства Урал-4320. Установлено, что на расход материалов для ТО всех видов существенно влияют сезонные условия. Коэффициент неравномерности потока требований на них составил от 1,23 до 3,12. Влияние температуры воздуха на интенсивность отказов ремней привода гидроусилителя руля, водяного насоса, компрессора, генератора описывается линейными моделями. Влияние температуры и относительной влажности воздуха на интенсивность загрязнения воздушных фильтров описывается двухфакторной линейной моделью. Вероятность ее адекватности, определенная по критерию Фишера, составила 0,95. Разработана имитационная модель формирования ресурса фильтрующих элементов автомобильных двигателей. Ее адекватность при моделировании потока замен воздушных

фильтров, а также ресурсов фильтров до замены проводилась путем сравнения данных, полученных в результате натурального эксперимента, а также в результате имитационного моделирования для тех же условий. Вероятность соответствия модели экспериментальным данным составила 0,95, средняя ошибка аппроксимации – 7,35 %.

5. Разработана методика определения потребности в материалах для технического обслуживания автомобилей с учетом изменения по времени интенсивности и условий эксплуатации автомобилей, позволяющая оптимизировать объемы и периодичности поставок, а также рассчитывать размер страховых запасов материалов с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации автомобилей. Эффект от ее использования составляет около 4,14 тыс. руб. на один автомобиль в год.

6. Продолжение исследований в данной области целесообразно в направлении установления закономерностей влияния дорожных, транспортных условий и условий движения на расход материалов для ТО автомобилей.

#### IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Публикации, в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Бузин, В.А. Организация технического обслуживания с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей / В.А. Бузин, Н.С. Захаров, А.Э. Александров // Транспорт Урала. – 2023. – №2. – С. 60-65.

2. Бузин, В.А. Имитационная модель потока требований на техническое обслуживание автомобилей // Транспортное дело России. – 2018. – №5. – С. 194-197.

3. Zakharov, N.S. Basic Simulation Models of Car Failure Flows / N.S. Zakharov, A.N. Makarova, V.A. Buzin // *Earth Science: International science and technology conference. – 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 459 042084 (Международные базы данных «Scopus» и «WoS»).

4. Абакумов, Г.В. Формирование ресурса масляных фильтров двигателей в переменных условиях эксплуатации / Г.В. Абакумов, В.А. Бузин, Е.И. Макаров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 51-53.

5. Абакумов, Г.В. Влияние сезонных условий на объемы работ по техническому обслуживанию транспортно-технологических машин в агропромышленном комплексе / Г.В. Абакумов, В.А. Бузин, В.Н. Карнаухов // Вестник Курганской ГСХА. – 2015. – №4. – С. 33-35 (Международная база данных «Agris»).

6. Аникеев, В.В. Сравнительный анализ существующих типов воздухоочистителей автотракторной техники / В.В. Аникеев, В.А. Бузин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 6. – С. 68-70.

7. Бузин, В.А. Планирование расхода специальных жидкостей для технического обслуживания автомобилей / В.А. Бузин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – №8. – С. 75-80.

8. Бузин, В.А. Предварительный отбор факторов, влияющих на потребность в ресурсах для технического обслуживания автомобилей // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2018. – №3. – С. 205-213.

**Публикации в других изданиях:**

9. **Бузин, В.А.** Концептуальные вопросы моделирования ресурса фильтрующих элементов двигателей при эксплуатации машин / В.А. Бузин // Сервис автомобилей и технологических машин: Материалы Всероссийской науч.–практ. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С. 24-27.
10. Абакумов, Г.В. Изменение качества моторных масел при эксплуатации машин / Г.В. Абакумов, **В.А. Бузин** // Сервис автомобилей и технологических машин: Материалы Всероссийской науч.–практ. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С. 3-6.
11. **Бузин, В.А.** Структура системы при моделировании ресурса масляных фильтров двигателей в переменных условиях эксплуатации / В.А. Бузин // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 39-42.
12. **Бузин, В.А.** Анализ исследований в области влияния сезонных условий на эффективность использования автомобилей / В.А. Бузин // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных: в 2 томах. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 106-110.
13. Аникеев, В.В. Долговечность двигателей колесных и гусеничных машин, и ее показатели / В.В. Аникеев, **В.А. Бузин** // Транспортные и транспортно–технологические системы: Материалы Международ. науч.–техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2016. – С. 18-21.
14. **Бузин, В.А.** Изменение в течение года технического состояния масляных фильтров автомобилей // Транспортные и транспортно–технологические системы: Материалы Международ. науч.–техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2016. – С. 41-44.
15. Абакумов, Г.В. Совершенствование системы снабжения запасными частями и материалами для технического обслуживания и ремонта автомобилей / Г.В. Абакумов, **В.А. Бузин**, А.Н. Макарова // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы Международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 13-16.
16. **Бузин, В.А.** Влияние сезонных условий на интенсивность загрязнения масляных фильтров автомобилей / В.А. Бузин, Г.В. Абакумов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы Международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 45-48.
17. **Бузин, В.А.** Оценка значимости сезонных изменений интенсивности загрязнения воздушных фильтров двигателей автомобилей КАМАЗ / В.А. Бузин // Транспортные и транспортно–технологические системы: Материалы Международ. науч.–техн. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 54-58.
18. **Бузин, В.А.** Влияние температуры окружающего воздуха на интенсивность загрязнения масляных фильтров автомобилей КАМАЗ-4310 / В.А. Бузин // Новые технологии – нефтегазовому региону: Материалы Международ. науч.–практ. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 30-33.
19. Предварительный отбор факторов, влияющих на расход моторного масла автомобилями [Электронный ресурс] / **В.А. Бузин**, Е.И. Макаров, А.Н. Макарова, Н.С. Захаров // Наука в информационном обществе: Сб. статей Международ. науч.-практ. конф. – Оренбург: НИЦ «АнтроВита», 2017. – С. 45-53. – Режим доступа: <http://soc-is.ru/wp-content/uploads/Наука-в-информационном-обществе.pdf>.
20. Совершенствование методики расчета потребности в расходных материалах для проведения технического обслуживания автомобилей [Электронный ресурс] / **В.А. Бузин**, А.Н. Макарова, Е.И. Макаров, Н.С. Захаров // Наука и технологии XXI века: возможности и риски: Сб. статей Международ. науч.-практ. конф. – Костанай: НИЦ

«АнтроВита», 2017. – С. 55-59. – Режим доступа: <http://soc-is.ru/wp-content/uploads/Наука-и-технологии-XXI-века.-Возможности-и-риски.pdf>.

21. Оценка значимости сезонных изменений расхода материалов для технического обслуживания автомобилей / **В.А. Бузин**, А.Н. Макарова, Е.И. Макаров, Н.С. Захаров // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: Материалы Международ. науч.-практ. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 270-272.

22. Снабжение материалами для технического обслуживания и ремонта автомобилей с учетом частоты спроса / **В.А. Бузин**, А.Н. Макарова, Е.И. Макаров, Н.С. Захаров // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: Материалы Международ. науч.-практ. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 273-275.

23. **Бузин, В.А.** Влияние интенсивности эксплуатации автомобилей на вариацию количества технических обслуживаний / В.А. Бузин, Н.С. Захаров, А.С. Кочетков // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международ. науч.-практ. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 185-187.

24. Захаров, Н.С. Проблема определения размеров запасов материалов для технического обслуживания автомобилей на основе прогноза производственной программы / Н.С. Захаров, **В.А. Бузин**, Р.В. Тянь // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международ. науч.-практ. конф. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 229-233.

25. **Бузин, В.А.** Оценка надежности приводных ремней 6РК-1220 двигателей автомобилей семейства ГАЗ / В.А. Бузин, А.Н. Макарова // Актуальные проблемы современной науки: Сб. статей Международ. науч.-практ. конф. – Челябинск: НИЦ «АнтроВита», 2017. – С. 87-95. – Режим доступа: <http://soc-is.ru/wp-content/uploads/Актуальные-проблемы-современной-науки.pdf>.

26. **Бузин, В.А.** Влияние температуры окружающего воздуха на интенсивность загрязнения воздушных фильтров автомобилей / В.А. Бузин // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: Материалы Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых. – Нижневартовск: ФТИУ, 2017. – С. 335-338.

27. Развитие технической эксплуатации автомобилей: проблемы и перспективы / Н.С. Захаров, А.Н. Макарова, **В.А. Бузин**, В.В. Зуев // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международ. науч.-практ. конф. Т. 1. – Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 290 – 295.

28. Влияние климатических факторов на расход ресурсов для технического обслуживания автомобилей / **В.А. Бузин**, Н.С. Захаров, А.Н. Макарова, С.В. Плотникова // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 24-28.

29. Анализ отказов автомобилей индивидуального пользования / Н.С. Захаров, Н.О., Сапоженков, **В.А. Бузин**, В.С. Петров, В.А. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – №2. – С. 30-33.

Бузин Владимир Анатольевич

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТРЕБНОСТИ В МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ

2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки)

Подписано в печать «19» октября 2023

Формат 60x90 1/16

Тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1/4

Заказ 829