

На правах рукописи



МАЛЬШАКОВ Альберт Владимирович

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ
НА НАДЕЖНОСТЬ ПНЕВМОПОДВЕСКИ АВТОБУСОВ
БОЛЬШОГО КЛАССА**

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Захаров Николай Степанович

Официальные оппоненты: **Филатов Михаил Иванович**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ
ВПО «Оренбургский государственный университет», заведующий кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», профессор;

Рябов Игорь Михайлович
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Волгоградский государственный технический университет», кафедра «Автомобильные перевозки», профессор

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**

Защита диссертации состоится 28 сентября в 15-00 на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д **212.223.02** при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) по адресу: 190103, Санкт-Петербург, Курляндская ул. д. 2/5, ауд. 340-К.

Тел./Факс: (812) 316-58-73, E-mail: rector@spbgasu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/users/malshakov-albert-vladimirovich>.

Автореферат разослан «__» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
доцент



Олещенко Елена Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Освоение углеводородных ресурсов Сибири в условиях падения цен на энергоносители требует снижения себестоимости их добычи. На долю транспорта приходится до половины всех расходов по добыче нефти и газа. Кроме специальных автомобилей, непосредственно участвующих в производственных процессах нефтегазодобычи, важную роль играют пассажирские транспортные средства (автобусы), перевозящие персонал к месту работы.

Климатические условия сибирского региона в зимний период снижают надежность автомобилей, это вызвано экстремально низкими температурами окружающей среды, достигающими до $-50...-60$ °С. При таких низких температурах металлические и полимерные материалы, применяющиеся в конструкции автобусов, становятся хрупкими, возрастает количество внезапных отказов. Практика показывает, что количество отказов в зимнее и осеннее время, по сравнению с летним, возрастает в 5-6 раз. Кроме того, продолжительная и холодная зима благоприятствует накоплению снега. Например, в ХМАО в твердом виде выпадает свыше 30 % годового количества осадков. Повышенный снежный покров совместно с низкой температурой усиливают негативное воздействие на узлы и агрегаты автомобиля, особенно это касается деталей пневматической подвески. Исследования показывают, что сезонные снижения температуры воздуха приводит к значительному повышению количества отказов и простоев автомобилей по этой причине.

Потребность в запасных частях для восстановления работоспособности пневмоподвески в разные периоды года различны, и это не всегда учитывается действующей в автотранспортных предприятиях системой управления запасами на складе. Поэтому определение оптимального уровня запасов элементов подвески в разные периоды года с учетом особенностей эксплуатации служебных автобусов и сезонной вариации температуры окружающей среды, а также интенсивности осадков, является задачей, востребованной практикой, требующей привлечения науки.

Степень разработанности темы исследования.

Вопрос обеспечения надежности автомобилей изучается длительное время. В разные периоды исследованиями, направленными на его решение, занимались ведущие институты страны: НАМИ, НИИАТ, СПбГАСУ, МАДИ, ВГТУ, СИБАДИ, ВГУ имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, КАДИ, ОГУ, ХАДИ, ТюмГНГУ и многие другие.

Влияние температурных условий на надежность автомобиля отражено в трудах Е.С. Кузнецова, И.А. Луйка, Л.Г. Резника, Г.М. Ромалиса, С.Т. Чаркова, Н.С. Захарова, В.А. Максимова, М.И. Филатов, А.Н. Ракитина, Н.В. Семенова, Ю.С. Уржумцева, С.А. Чернова, Я.И. Кувшинова и других.

Надежность подвески исследовали Р.В. Ротенберг, И.Г. Пархиловский, Р.А. Акопян, М.Д. Агеев, Н.Н. Яценко, В.Я. Анилович, В.П. Афанасьев, В.К. Вахламов, А.И. Бучин, Ф.А. Цхай и другие.

Динамику работы пневмоподвески изучали Р.А. Акопян, Я.М. Певзнер, А.М. Горелик, В.А. Поляков, К.И. Гвинерия, Г.Д. Джохадзе, Н.Н. Рахманов, Б.И. Гершман, И.М. Рябов, А.К. Бируля, Н.А. Бухарин, В.Л. Бидерман, Н.Ф. Метлюк, В.П. Автушко и другие.

Обзор и анализ выполненных перечисленными учеными работ показывает, что влияние сезонных колебаний условий эксплуатации изучено не в полной степени, поэтому требуется разработать методическое обеспечение для учета влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – разработка методики оценки влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса для решения задачи определения потребного количества запасных частей.

Задачи исследования:

- 1) осуществить обзор и анализ выполненных исследований с целью обоснования научной новизны исследуемой темы;
- 2) обосновать факторы, значимо влияющие на надежность элементов пневмоподвески автобусов большого класса;
- 3) установить закономерности влияния выбранных факторов на показатели надежности пневмоподвески;
- 4) разработать математическую модель найденных закономерностей;
- 5) разработать имитационную модель формирования потребности в элементах пневмоподвески при эксплуатации автобусов в переменных природно-климатических условиях;
- 6) разработать методику оценки влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса и определить экономический эффект от практического использования полученных результатов.

Объект исследования – процесс формирования потока отказов пневмоподвески автобусов большого класса с учетом сезонной вариации природно-климатических факторов.

Предмет исследования – методика оценки влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- определены факторы, влияющие на надежность пневмоподвески автобусов большого класса и закономерности их влияния на интенсивность потока отказов пневмобаллонов;
- разработаны математические модели влияния сезонных факторов на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов большого класса;
- разработана имитационная модель формирования потребности в элементах пневмоподвески при эксплуатации автобусов в переменных природно-климатических условиях;
- разработана методика определения потребности в запасных частях на основе имитационной модели и выявленных закономерностей формирования потока отказов пневмоподвески в течение года.

Методической основой диссертационного исследования являются экспериментальные и теоретические методы исследования – системный анализ, метод априорного ранжирования, пассивный натурный и активный имитационный эксперименты, корреляционно–регрессионный анализ, имитационное моделирование, компьютерное программирование.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта: п. 2. «Оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей, использования программно-целевых и логистических принципов»; п. 9. «Эксплуатационная надежность автомобилей, агрегатов и систем».

Практическая ценность и реализация результатов исследований.

По результатам проведенных экспериментально-теоретических исследований разработано методическое и программное обеспечение (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610010, дата регистрации 11.01.2016), позволяющее рассчитывать количество пневмобаллонов с учетом сезонной вариации интенсивности и условий эксплуатации, использование которого даст возможность уменьшить простой автомобилей в ожидании ремонта, что снижает потери прибыли.

Базовые положения диссертационного исследования внедрены в Сургутском УТТ № 3 ОАО «Сургутнефтегаз», что подтверждено соответствующим актом о внедрении от 13.11.2015 № 33-01-40-2295.

Результаты исследования применяются в учебном процессе ТИУ при подготовке студентов по направлению 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», что подтверждено актом о внедрении в учебный процесс (протокол №11 от 01.06.2016).

Апробация работы. Основные результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на международной научно-практической конференции «Проблемы функционирования систем транспорта» (Тюмень, 2013, 2014, 2015, 2016 г.); международной научно-практической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2013, 2014, 2015 г.), всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии – нефтегазовому региону» (Тюмень, 2013, 2014 г.), на IV международном конгрессе студентов и молодых ученых (аспирантов, и докторантов) «Актуальные проблемы строительства», секция «Техническая эксплуатация транспортных средств» (Санкт-Петербург, 2016 г.).

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 29 печатных работах общим объемом 6,13 п. л., лично автором – 4,07 п. л., в том числе 6 работ опубликовано в изданиях, входящих в утвержденный ВАК РФ перечень ведущих рецензируемых научных журналов.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, 4-х глав с выводами по каждой из них, общих выводов. Диссертационная работа содержит 155 страниц машинописного текста, в том числе 20 таблиц, 48 рисунков, список использованной литературы из 157 наименований отечественных и зарубежных авторов, 6 приложений на 45 страницах.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи, определены объект и предмет исследования, отражены научная новизна и практическая значимость полученных автором результатов.

В первой главе проведен анализ влияния различных факторов на надежность узлов и агрегатов автомобиля. В выполненных ранее исследованиях вопросы надежности элементов автомобилей изучали Е.С. Кузнецов, В.С. Лукинский, В.А. Щетина, Н.С. Захаров, А.А. Лудченко и еще ряд отечественных и зарубежных ученых. Сформулированы гипотезы о влиянии различных факторов на величину наработки на отказ пневмоподвески автобусов большого класса. Для обнаружения потенциала совершенствования методики управления запасом пневмобаллонов на складах рассмотрена действующая методика компании ОАО «Сургутнефтегаз».

Во второй главе представлена общая методика исследования, которая включает теоретические разработки, а также сбор и анализ результатов натуральных испытаний, статистических данных и имитационного эксперимента. Выполнен анализ закономерностей формирования потребного количества запасных частей для автобусов большого класса. Выдвинуты гипотезы о видах математических моделей влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса. Разработана модель формирования потребного количества запасных частей. Разработана 3-D модель пневмобаллона и проведено исследование механизма происхождения отказа пневмобаллона автобуса большого класса.

В третьей главе изложены результаты экспериментальных исследований. Их можно разделить на три этапа. Первый этап – сбор экспериментальных данных о наработках на отказ пневмоподвески автобусов большого класса, полученных при обработке путевых листов и баз данных ОАО «Сургутнефтегаз». Одновременно получены данные о температуре воздуха и уровне осадков в регионе за последние 5 лет. Второй этап – обработка результатов пассивного эксперимента с целью установления закономерностей влияния сезонных факторов на интенсивность отказов пневмоподвески. Третий этап – активный эксперимент по испытанию прочности пневмобаллонов в разных температурных условиях.

В четвертой главе систематизированы результаты диссертационного исследования. Разработана имитационная модель для определения потребного количества пневмобаллонов при различных условиях эксплуатации автобусов. В результате имитационного моделирования определены пороговые размеры запасов на складе для автобусов большого класса. Выполнена оценка эффективности использования результатов исследований.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Определены факторы, влияющие на надежность пневмоподвески автобусов большого класса и закономерности их влияния на интенсивность потока отказов пневмобаллонов

Необходимым условием успешной работы транспортного предприятия является эффективная работа системы материально-технического снабжения.

Для того чтобы обеспечить, с одной стороны, бесперебойное снабжение ресурсами и исключить простои автомобилей из-за их отсутствия, а с другой – минимизировать затраты на их доставку и хранение, необходимо знать, какие факторы влияют на процесс расходования и восполнения ресурсов.

В качестве метода определения значимых факторов используется метод априорного ранжирования. Были рассмотрены следующие факторы: квалификация водителя, дорожные условия, интенсивность эксплуатации, природно-климатические условия, возраст автомобиля (пробег с начала эксплуатации) (рисунок 1).

Априорное ранжирование факторов, а также анализ ранее выполненных исследований, в частности Захарова Н.С. и Ракитина А.Н., позволяют сделать вывод, что наибольшее влияние на поток отказов узлов и агрегатов автомобилей оказывают интенсивность эксплуатации автомобилей, климатические и дорожные условия.

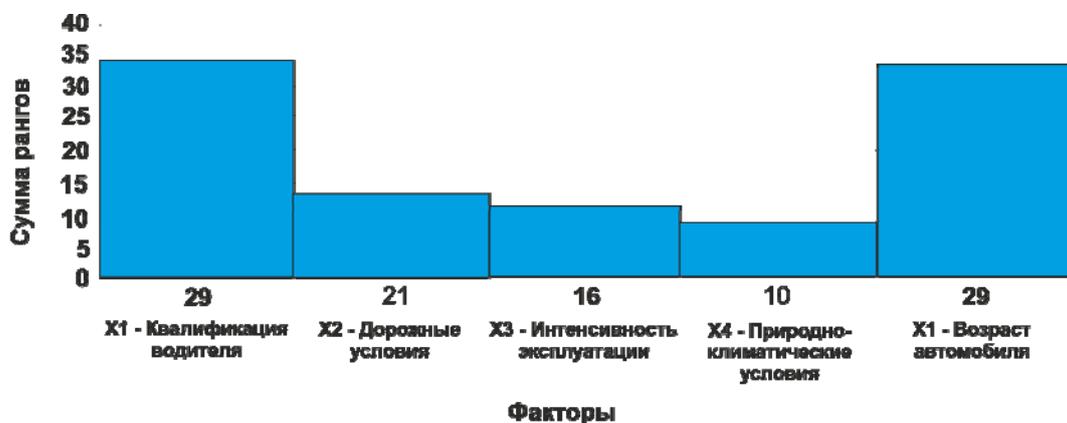


Рисунок 1 – Диаграмма априорного ранжирования факторов

Анализ по всем представленным в исследовании маркам и моделям автобусов большого класса показал, что на первой позиции по числу отказов находится двигатель, на второй и третьей – передняя и задняя подвеска. В дальнейшем была поставлена задача по определению перечня деталей, оказывающих наибольшее влияние на надежность каждого узла.

Важно отметить что пневмоподвеска, а именно пневмобаллон, относится к перечню деталей, лимитирующих надежность.

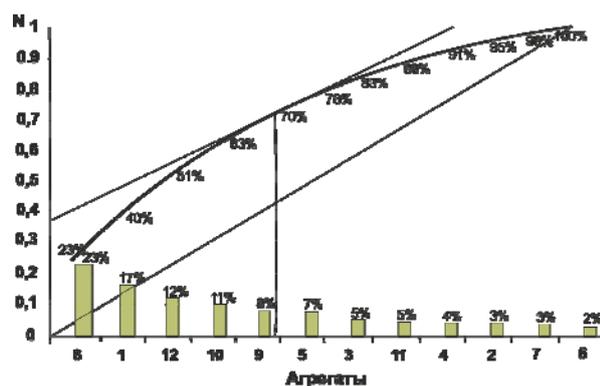


Рисунок 2 – Диаграмма Парето (KAROSA C-934): 1 – подвеска задняя; 2 – сцепление; 3 – электрооборудование; 4 – кузов; 5 – шины; 6 – рулевое управление; 7 – коробка передач; 8 – двигатель; 9 – тормозная система; 10 – шины; 11 – карданная передача; 12 – передняя подвеска

При обработке результатов эксперимента установлено, что наработка на отказ пневмоподвески автобусов находится в интервале от 14 до 264 тыс. км.

Закон распределения Вейбулла обеспечивает наилучшую аппроксимацию эмпирических данных (рисунок 3).

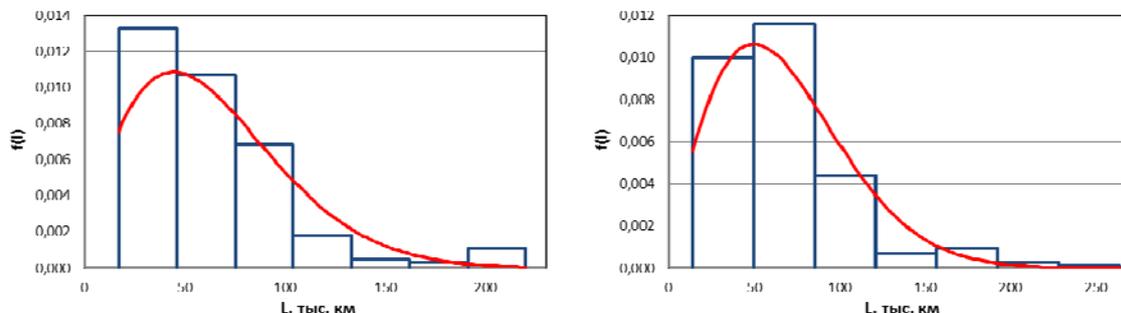


Рисунок 3 – Распределение наработок на отказ пневмоподвески автобуса (2014, 2015 гг.)

Анализ условий эксплуатации автобусов показал, что как дорожные условия, так и интенсивность эксплуатации достаточно стабильны и могут быть зафиксированы на постоянном уровне. Таким образом, далее исследовалось влияние природно-климатических условий. Согласно ранее проведенным исследованиям, наиболее вариативными и существенно влияющими на надежность подвески при эксплуатации в условиях Севера являются температура окружающей среды и суточное количество осадков.

Опыт эксплуатации пневмоподвески показал, что в зимний период эксплуатации часто имеет место намерзание льда на кожухе пневмобаллона (рисунок 4). Это связано с одновременным воздействием низкой температуры окружающей среды и слоя снега на дорожном покрытии.



Рисунок 4 – Образование ледяной корки в защитном кожухе \ пневмобаллона KAROSA C-934

Для оценки надежности пневмобаллона в различных условиях был проведен активный эксперимент, который проходил в три этапа. На первом этапе рассматривались два пневмобаллона, один из синтетического каучука, другой из натурального каучука. Каждый пневмобаллон, участвующий в эксперименте, подвергался последовательно увеличивающейся нагрузке при температуре 20 °С.

Из рисунка 5 видно, что баллоны как из натурального каучука, так и из синтетического каучука в этих условиях разрушаются при близких нагрузках

При охлаждении пневмобаллонов до $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ нагрузка на разрыв баллона из синтетического каучука уменьшается, и баллон разрушается уже при нагрузке 20 кН, а из натурального каучука выдерживает большую нагрузку. Волокна натурального каучука расположены ближе друг к другу, что позволяет длительное время выдерживать более низкие температуры воздуха, а также продольные и вертикальные деформации.

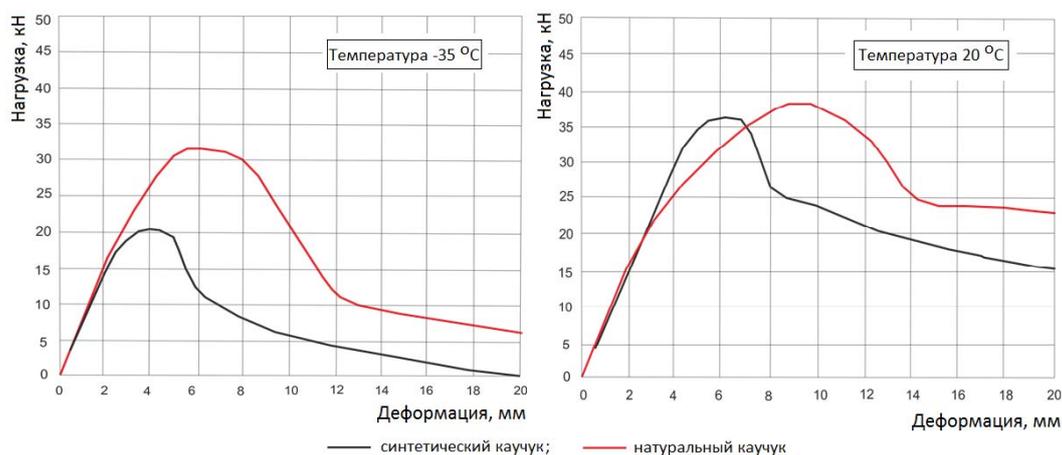


Рисунок 5 – Сравнительный график деформации пневмобаллонов автобуса KAROSA-C934 при различных температурах внешней среды

Из рисунка 5 видно, что пневмобаллон из натурального каучука лучше приспособлен к работе в условиях крайнего Севера.

2. Математические модели влияния сезонных факторов на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов большого класса.

Предварительный анализ данных по отказам пневмобаллонов автобусов показал необходимость совместного учета обоих факторов (температуры воздуха и доли дней с осадками).

Для описания закономерностей влияния указанных факторов на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов могут быть использованы следующие модели:

$$\lambda = a_0 + a_1t + a_2t^2; \quad (1)$$

$$\lambda = b_1D^{b_2}, \quad (2)$$

где $a_0 \dots a_2, b_1, b_2$ – параметры моделей (эмпирические коэффициенты).

Для оценки точности аппроксимации исследуемых закономерностей однофакторными математическими моделями использовались стандартные статистические критерии.

Численные значения дисперсионного отношения Фишера составили 6,7 и 8,3. Они превышают табличное значение с вероятностью выше 0,95, что свидетельствует об адекватности моделей.

При выборе вида многофакторной модели, учитывающей совместное влияние температуры и доли дней с осадками, рассматривались модели на главных эффектах и со смешанными эффектами.

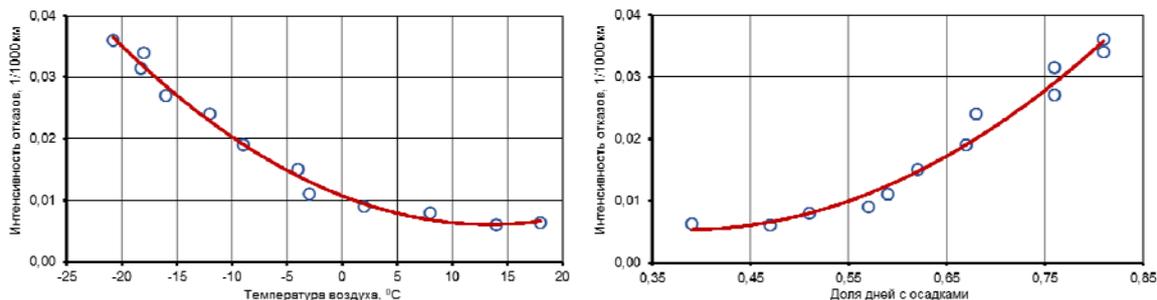


Рисунок 6 – Влияние температуры воздуха и доли дней с осадками на изменение интенсивности отказов пневмоподвески автобуса KAROSA-C934 (2015 г.)

Анализ показал, что первая модель не в полной мере соответствует физическому смыслу изучаемого процесса: при низких температурах в зимний период года интенсивность отказов возрастает, при увеличении в этих условиях количества осадков это влияние еще сильнее. При положительных температурах этой связи не должно быть. В модели на главных эффектах учесть совместное влияние факторов невозможно. Следовательно, необходимо использовать модель со смешанными эффектами (рисунок 7):

$$\lambda = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t D^A + A_4 t^2 D^A + A_5 D^A, \quad (3)$$

где $A_0 \dots A_6$ – эмпирические коэффициенты.

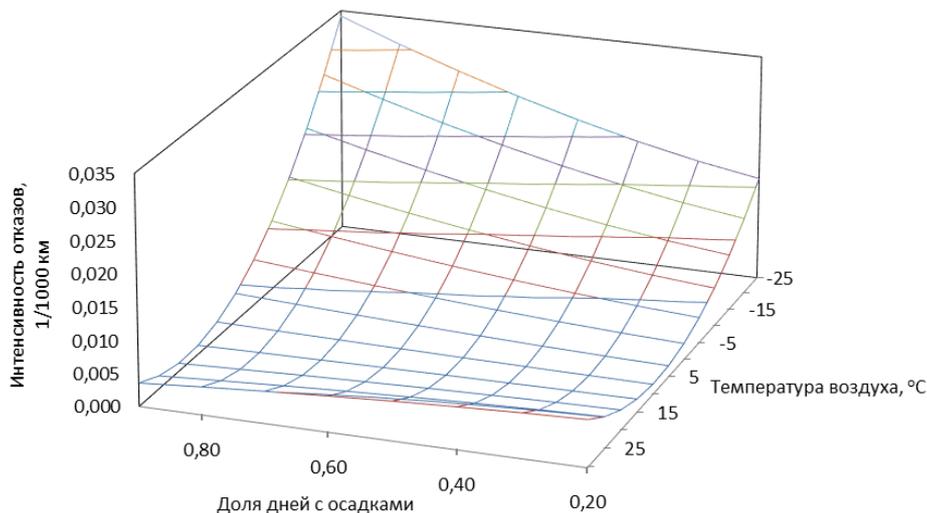


Рисунок 7 – Влияние температуры воздуха и доли дней с осадками на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов большого класса MAN A 72 (модель со смешанными эффектами)

Численные значения параметров этой модели представлены в таблице 1.

Проверка модели (3) по критерию Фишера подтвердила ее адекватность с вероятностью выше 0,95, средняя ошибка аппроксимации составила 4,6 %.

Анализ изменения температуры воздуха в течение года показал устойчивую связь между календарными датами и численными значениями температуры (рисунок 8). Таким образом, имеет место циклическое повторение изменения температуры, а значит, она может быть определена для любой даты с помощью простых полигармонических моделей.

Таблица 1 – Численные значения параметров математической модели влияния температуры воздуха и доли дней с осадками на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов

Марка и модель автобуса	$A_0, 10^{-6} \text{ км}^{-1}$	$A_1, 10^{-6} \text{ км}^{-1} (\text{°C})^{-1}$	$A_2, 10^{-6} \text{ км}^{-1} (\text{°C})^{-2}$	$A_3, 10^{-6} \text{ км}^{-1} (\text{°C})^{-1}$	$A_4, 10^{-9} \text{ км}^{-1} (\text{°C})^{-2}$	$A_5, 10^{-6} \text{ км}^{-1}$	A_6
KAROSA C-934	8,2	-0,21	0,013	-0,68	3,9	5,1	1,63
KAROSA 954.1360	9,1	-0,20	0,011	-0,69	3,5	4,8	1,60
MAN A72 LION'S CLASSIC U	2,1	-0,18	0,012	-0,55	6,6	5,9	1,62
IVECO FRANCE SFR160 CROSSWAY	2,5	-0,17	0,014	-0,58	6,9	5,7	1,61
НЕФАЗ-5299-01	1,3	-0,22	0,013	-0,67	3,5	5,0	1,58
ЛИАЗ-5256-35	1,1	-0,20	0,039	-0,65	3,0	4,8	1,59

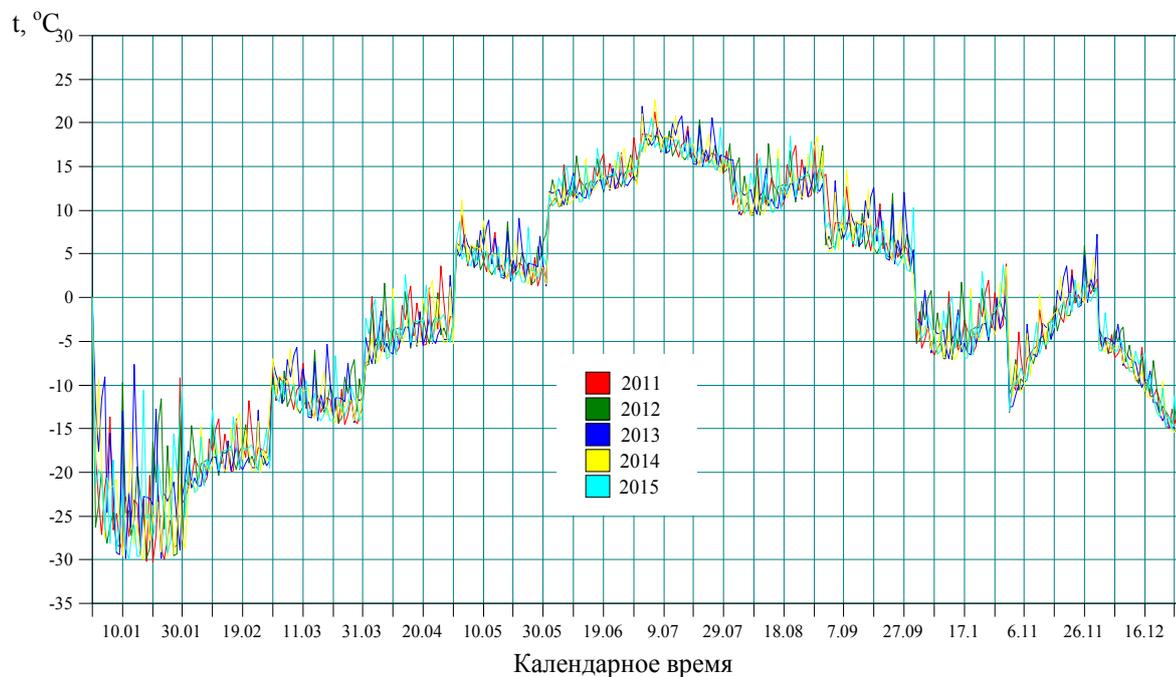


Рисунок 8 – Изменение температуры окружающей среды в течение года

3. Имитационная модель формирования потребности в элементах пневмоподвески при эксплуатации автобусов в переменных природно-климатических условиях

В качестве целевой функции при разработке методики оценки влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса выбраны затраты, связанные с дефицитом запасных частей, простоем основного производства, хранением на складе запасных частей и их приобретением (рисунок 9):

$$Z_{\text{общ.}} = Z_{\text{упущ.}} + Z_{\text{произв.}} + Z_{\text{хран.}} + Z_{\text{приобр.}} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $Z_{\text{упущ.}}$ – упущенная прибыль от дефицита запасных частей; $Z_{\text{произв.}}$ – потери, связанные с простоем основного производства при отсутствии бригады рабочих из-за невыхода автомобиля на линию; $Z_{\text{хран.}}$ – затраты, связанные с хранением на складе запасных частей; $Z_{\text{приобр.}}$ – затраты, связанные с приобретением запасных частей.

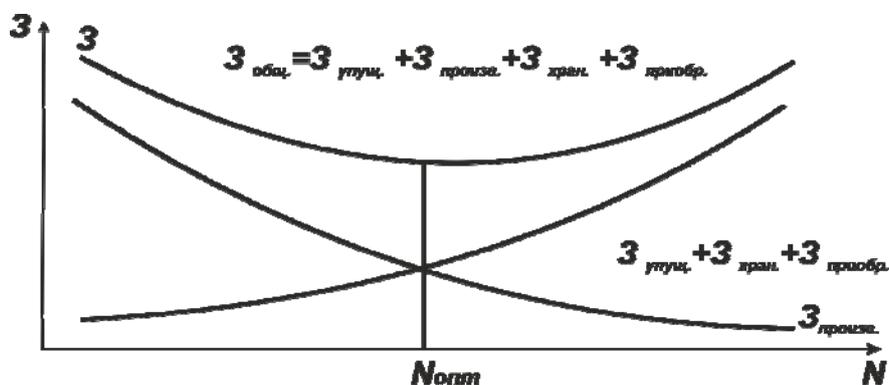


Рисунок 9 – Определение потребного числа запасных частей $N_{\text{опт}}$ по критерию минимума суммарных затрат

Общий алгоритм имитации отказов пневмобаллонов при эксплуатации автобусов и управления их запасом представлен на рисунке 10.

Имитационная модель предусматривает следующие допущения и ограничения:

- дорожные условия считаются одинаковыми для всей группы автобусов данной марки и модели;
- модель предусматривает имитацию только внезапного отказа;
- результаты имитации определяются начальным состоянием подвески по каждому из группы автобусов одной марки и модели;
- время выполнения заказа составляет 90 дней, что соответствует действующей системе снабжения в рассматриваемом предприятии.

Алгоритм реализован с помощью системы «Stamm 2.1» (рисунок 11). В качестве исходных данных для имитационного эксперимента использовались выборки, сформированные в самой модели с учетом имеющихся данных о возрастном составе группы автобусов.

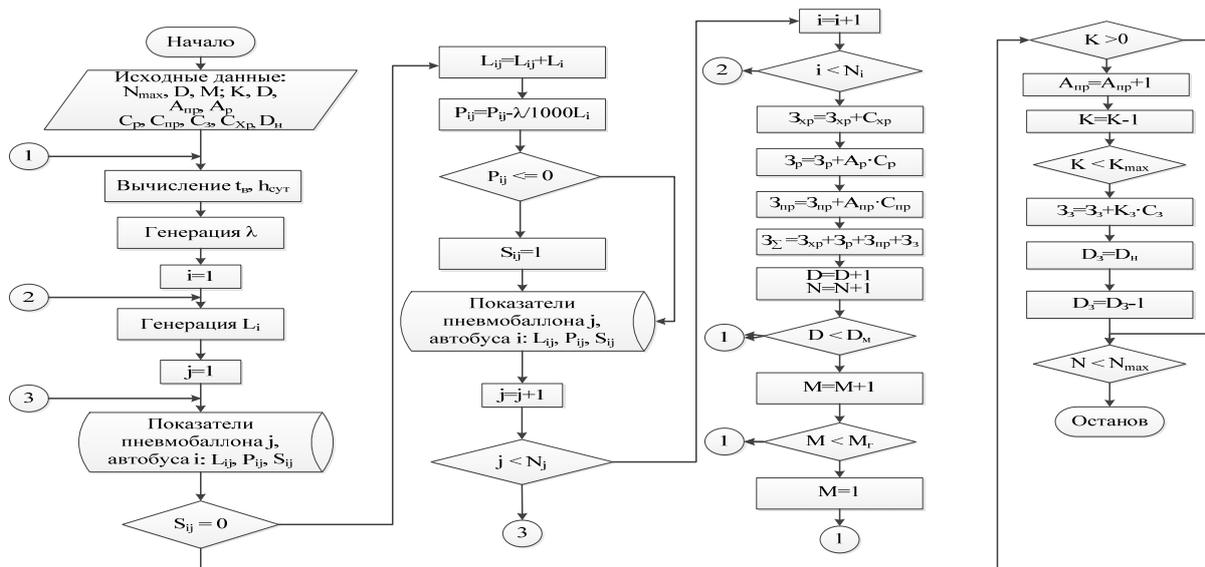


Рисунок 10 – Алгоритм имитационной модели влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса:

N_{max} – число итераций модели, ед.; D_n – среднее время выполнения заказа, дней; D – число месяцев; M – номер месяца; D_m – количества дней в текущем месяце; K – число пневмобаллонов на складе, ед.; K_{max} – пороговый уровень запаса, ед.; $A_{пр}$ – число автобусов в простое, ед.; A_p – число автобусов в ремонте, ед.; C_p – стоимость замены пневмобаллона, руб.; $C_{пр}$ – затраты, связанные с простоем автобуса, руб.; $C_{хр}$ – затраты, связанные с хранением пневмобаллона, руб.; C_3 – затраты, связанные с выполнением заказа, руб.; i – порядковый номер автобуса в базе данных; j – порядковый номер пневмобаллона автобуса в базе данных; t_b – температура окружающей среды, °C; $h_{сут}$ – суточная интенсивность осадков, мм.; λ – параметр потока отказов, 1/1000 км.; L_i – суточный пробег i -го автобуса, км.; Z_p – суммарные затраты на восстановление работоспособности автобусов, руб.; $Z_{пр}$ – суммарные затраты, связанные с простоем автобусов, руб.; $Z_{хр}$ – суммарные затраты, связанные с хранением пневмобаллонов на складе, руб.; Z_3 – суммарные затраты, связанные с выполнением заказа, руб.; Z_{Σ} – совокупные затраты, связанные с эксплуатацией автобусов, руб.; D_3 – текущее время с момента заказа, дней; S_i – статус автобуса, 0 – «исправен», 1 – «неисправен», 2 – «в простое»; L_{ij} – пробег j -го пневмобаллона i -го автобуса, км.; P_{ij} – вероятность безотказной работы j -го пневмобаллона i -го автобуса; N_i – число пневмобаллонов i -го автобуса, ед.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Текущий	день	1	Температура	-17		Интенсивнос	На линии	0	
2		месяц	1	Осадки	0		0.00191	Резерв	1	
3	дни от начала года		1828							
4	Число автобусов		98	Пневмобаллоны						
5	№ автобуса	Исх. статус	пробег	1	2	3	4			
6	1	2	215.40	0.98654540	0.98492	0.984799	0.98818086	310015.54		
7				291205.343	291205.3	291205.3	291205.343			
8				0	0.97910			ремонт		
9				216.506887	291205			статус после пробега	2	1
10	Затраты			Текущее			Отказы	0		
11	Простой 1 автобу	9600	В ремонт	570	171000	На складе	0			Максимальный уровень
12	Стоимость пневм	15000	Простои	24683	236764	Заказ	1770	58		Минимальный уровень
13	Замена	3000	На хранение		292191					Срок исполнения
14	Хранение 1 пневм	150	Заказ		510000					Заказано
15	Заказ 1 баллона	1000	Итого		241906					

Рисунок 11 – Реализация имитационной модели влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса в системе «Stamm 2.1»

Максимальный пробег автобусов в начальной выборке составил от 0 до 150 тыс. км, что соответствовало их возрасту от 1 до 5 лет с равномерным ежегодным обновлением парка для данной марки и модели.

Далее проводился эксперимент по имитации отказов и управлению запасами с варьированием порогового уровня запасов. Остановка модели и анализ результатов осуществлялся при достижении модельного времени пяти лет. Результаты для двух марок и моделей автобусов представлены на рисунки 12 и 13.

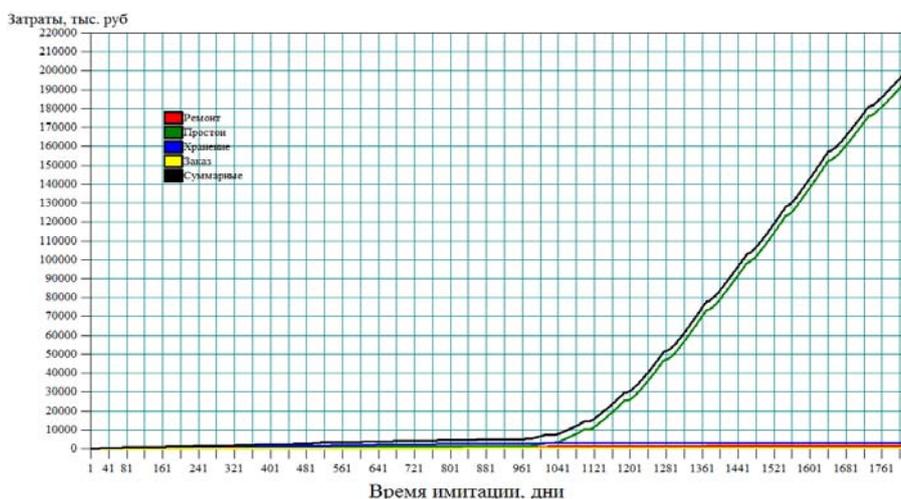


Рисунок 12 – График изменений затрат по времени для KAROSA-C954 (при возрасте от 1 до 5 лет)

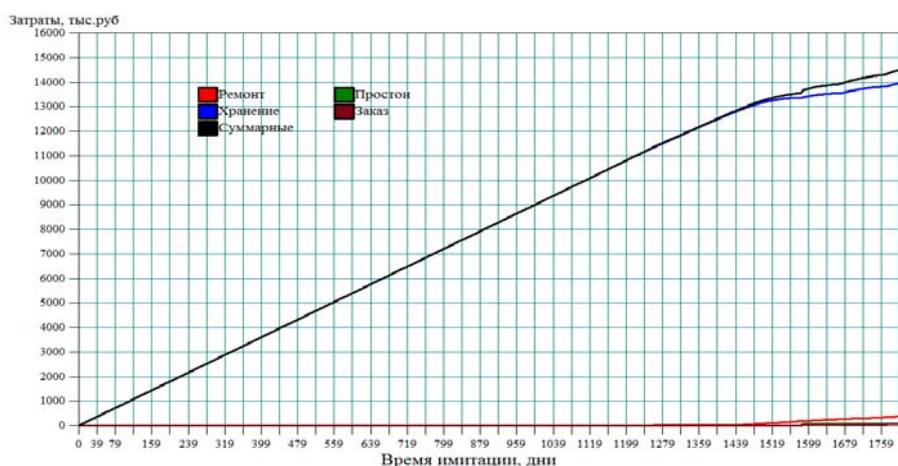


Рисунок 13 – График изменений затрат по времени для MAN A-72 (при возрасте от 1 до 5 лет)

Анализ результатов показал, что вследствие более высокой надежности пневмоподвески MAN за этот период времени не было простоев автобусов из-за неисправности и отсутствия запаса пневмобаллонов на складе, а первые отказы соответствуют 5 годам эксплуатации.

На следующем этапе модельное время обнулялось, и эксперимент повторялся в течение следующих пяти лет виртуального времени. Это соответствовало начальному возрасту парка от 5 до 10 лет. Результаты для автобусов MAN A-72 представлены на рисунке 14.

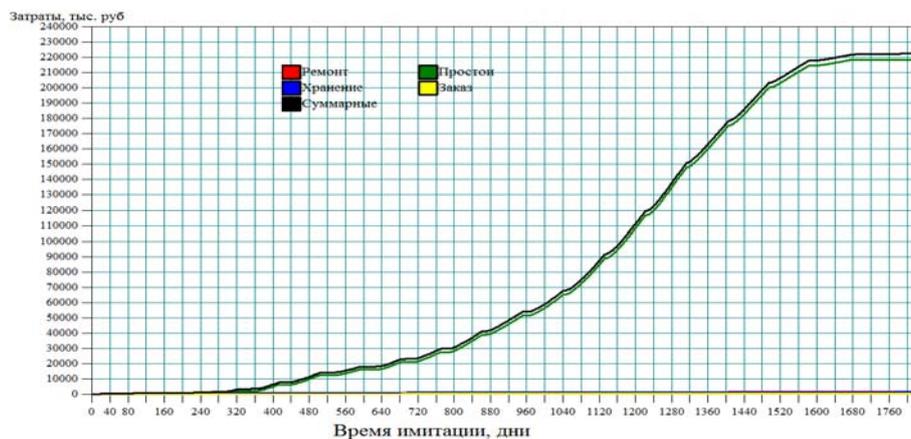


Рисунок 14 – График изменений затрат по времени для MAN A-72 (при возрасте от 5 до 10 лет)

По результатам имитационного эксперимента были построены кривые изменения затрат, связанные с поддержанием работоспособности пневмоподвески для двух марок и моделей автобусов (рисунки 15 и 16).

Результаты позволили определить оптимальный с точки зрения минимума затрат пороговый уровень запаса на складе для представленных марок и моделей автобусов большого класса в течение года.

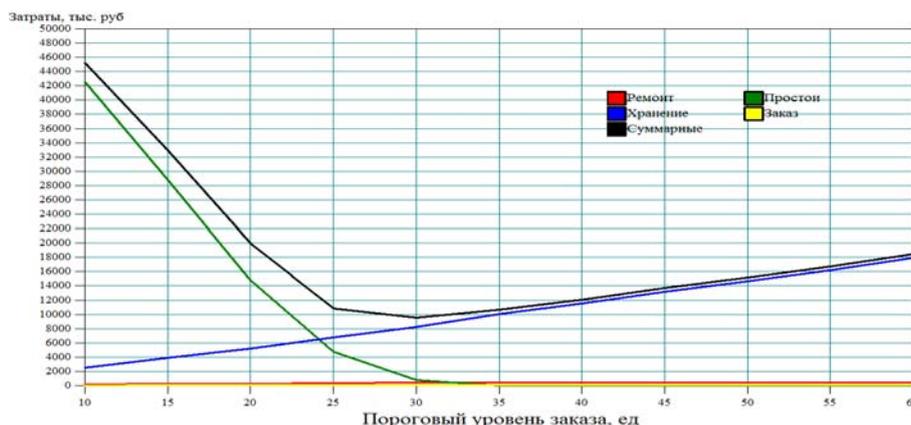


Рисунок 15 – График изменений затрат при различном уровне порогового запаса MAN A-72

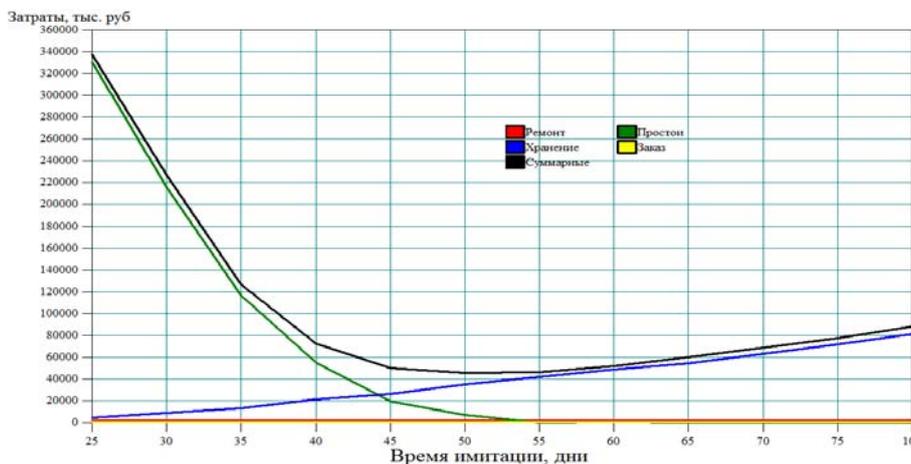


Рисунок 16 – График изменений затрат при различном уровне порогового запаса KAROSA-C954

4. Разработана методика определения потребности количества запасных частей, на основе имитационной модели и выявленных закономерностей формирования потребности в запасных частях в течение года.

Для практического использования результатов создан программный продукт «*Air Suspension*», который позволяет определить потребность в баллонах пневмоподвески автобусов большого класса в течение года. Методика определения оптимальных запасов, периодичности и объема поставок внедрена в УТТ № 3 в ОАО «Сургутнефтегаз».

В ОАО «Сургутнефтегаз» создан центральный склад запасных частей, а также консигнационные склады в отдельных подразделениях. Консигнационные склады сотрудничает с официальными дилерами, которые находятся в данном регионе, а также заводами-производителями MAN, IVECO, KAROSA и др.

Одной из сложностей работы с зарубежной техникой является поставка запасных частей и их хранение. В ОАО «Сургутнефтегаз» поставка запасных частей происходит централизованно. Официальный дилер подписывает контракт с ОАО «Сургутнефтегаз» на поставку запасных частей. Максимальный срок поставки запасных частей составляет три месяца. Ниже представлен график изменения по времени потребности в пневмобаллонах для автобусов большого класса (рисунок 18).

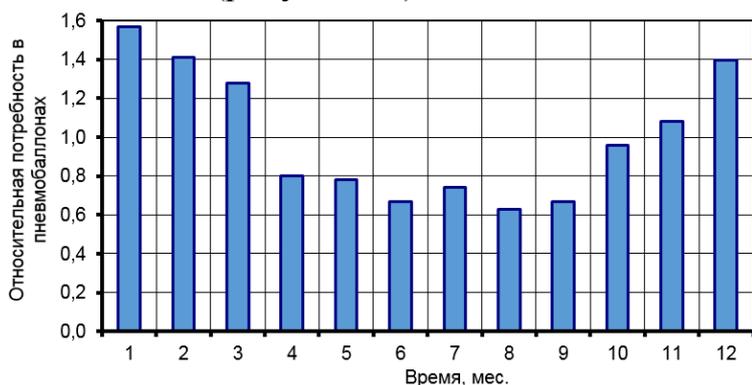


Рисунок – 18 Изменение в течение года относительной потребности в пневмобаллонах

До внедрения методики финансовые потери составили за 2014 год – 3 450 000 рублей. Потери из-за недостатка запасных частей по автобусам KAROSA C-934 составили 7 230 000 рублей, а по шести маркам и моделям автобусов – 17 490 000 рублей. После внедрения методики экономический эффект за первое полу-

годие 2015 года составил 89 230 рублей.

Использование на практике полученных результатов позволяет сократить простой автобусов, что снижает потери прибыли, а также сократить затраты на хранение запасных частей.

В приложениях представлены акты внедрения в УТТ-3 ОАО «Сургутнефтегаз» и акт использования разработанной методики в учебном процессе ТИУ.

Результаты

1. Установлены факторы, которые необходимо учитывать при моделировании потока отказов. Для пневмоподвески автобусов большого класса такими факторами являются суточное количество осадков и температура воздуха.

2. Выявлены закономерности формирования потока отказов пневмоподвески автобусов большого класса.

3. Разработаны математические модели влияния сезонных факторов на поток отказов пневмоподвески автобусов большого класса. Установлен вид двухфакторной модели влияния осадков и температуры на интенсивность потока отказов пневмоподвески автобусов большого класса.

4. Разработана имитационная модель формирования потребности в элементах пневмоподвески при эксплуатации автобусов в переменных природно-климатических условиях.

5. Разработана методика оценки влияния сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса. Результаты исследований используются в учебном процессе ТИУ, а также внедрены в Управлении технологического транспорта №3 ОАО «Сургутнефтегаз».

III. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Терехов, А. С.** Оценка надёжности пневматической подвески автобусов большого класса [Текст] / А. С. Терехов, А. Н. Макарова, А. В. Мальшаков // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 232–235.

2. **Мальшаков, А. В.** Влияние сезонных условий на параметр потока отказов пневмоподвески автобусов MAN A72 [Текст] / А. В. Мальшаков // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1, 2. – С. 111.

3. **Мальшаков, А. В.** Имитационная модель закономерности влияния сезонных условий на надежность пневматической подвески автобусов [Текст] / А. В. Мальшаков // Научное обозрение. – 2016. – № 24. – С. 106–111.

4. **Мальшаков, А. В.** Моделирование закономерностей влияния сезонных условий на интенсивность отказов автобусов ЛИА3-5256 [Текст] / А. В. Мальшаков, А. С. Терехов // Научное обозрение. – 2017. – № 1. – С. 43–48.

5. **Мальшаков, А. В.** Оценка значимости факторов закономерности влияния сезонных условий на надежность пневматической подвески автобусов [Текст] / А. В. Мальшаков // Научное обозрение. – 2017. – № 1. – С. 60–63.

6. **Мальшаков, А. В.** Влияние отрицательных температур на прочностные характеристики пневмоподвески [Текст] / А. В. Мальшаков, Н. И. Веревкин // Научное обозрение. – 2017. – № 6. – С. 57–59.

публикации в прочих изданиях:

7. **Захаров, Н. С.** Влияние доли дней с осадками на параметр потока отказов пневмоподвески автобусов ЛИА3-5256-35 [Текст] / А. В. Мальшаков, Н. С. Захаров // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы всеросс. с международным участием науч.-практ. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 127–130.

8. **Захаров, Н. С.** Влияние температуры воздуха на параметр потока отказов пневмоподвески автобусов большого класса ЛИА3-5256-35 [Текст] / А. В. Мальшаков, Н. С. Захаров // Новые технологии – нефтегазовому региону:

материалы всеросс. с международным участием науч.-практ. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, – 2015. – С. 130–133.

9. **Мальшаков, А. В.** Моделирование закономерности влияния сезонных условий на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов KAROSA C-934 [Текст] / А. В. Мальшаков, А. Акжол Уулу // Нефть и газ западной Сибири: материалы международ. науч.-техн. конф., посвящённой 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича. – Тюмень: ТюмГНГУ, – 2015. – № 2. – С. 252–257.

10. **Захаров, Н. С.** Влияние доли дней с осадками на параметр потока отказов пневмоподвески автобусов KAROSA C-934 [Текст] / Н. С. Захаров, А. В. Мальшаков // Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства: труды IV международ. науч.-техн. конф. (Резниковские чтения) – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2015. – С. 175–178.

11. **Мальшаков, А. В.** Влияние доли дней с осадками на параметр потока отказов пневмоподвески автобусов MAN A72 [Текст] / А. В. Мальшаков // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 204–207.

12. **Мальшаков, А. В.** Система формирования оптимального количества запасных частей для автобусов большого класса [Текст] / А. В. Мальшаков // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, – 2014. – С. 160–164.

13. **Мальшаков, А. В.** Влияние сезонных условий на надежность пневмоподвески автобусов большого класса [Текст] / А. В. Мальшаков // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С. 164–167.

14. **Мальшаков, А. В.** Влияние сезонных условий на интенсивность отказов пневмоподвески автобусов KAROSA C934 [Текст] / А. В. Мальшаков, А. Акжол Уулу // Нефть и газ западной Сибири: материалы международ. науч.-техн. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – С. 248–252.

15. **Захаров, Н. С.** Оценка наработки на отказ пневмоподвески автобусов большого класса НЕФАЗ – 5299-01 [Текст] / Н. С. Захаров, А. В. Мальшаков // Проектирование и управление автомобильными дорогами: реформирование учебных программ в Российской Федерации. Разработка и внедрение магистерских программ в России: материалы международ. науч.-практ. конф. – Оренбург: Издательско-полиграфический комплекс «Университет», 2014. – С. 58–60.

охранные документы на результаты интеллектуальной деятельности:

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610010. Имитационная модель для определения потребности пневмоболлонов в автобусах большого класса с учетом сезонной вариации / Н.С. Захаров, А.В. Мальшаков. – Заявка №2015660573 от 05.11.2015, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 11.01.2016.

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 30.06.2017. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,2. Тираж 120 экз. Заказ 61. «С» 42.

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.