

*На правах рукописи*



ТЕНЬКОВСКАЯ Светлана Александровна

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПУТЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ  
АВТОМОБИЛЕЙ**

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

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2023

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

**Научный руководитель –** **Захаров Николай Степанович,**  
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (ФГБОУ ВО «ТИУ»), кафедра сервиса автомобилей и технологических машин, заведующий кафедрой.

**Официальные оппоненты:** **Грязнов Михаил Владимирович,**  
доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова»), кафедра логистики и управления транспортными системами, профессор.

**Богумил Вениамин Николаевич,**  
кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (ФГБОУ ВО «МАДИ»), кафедра транспортной телематики, доцент.

**Ведущая организация –** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»).

Защита состоится 22 декабря 2023 г. в 11 часов 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, 66.

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 «23» октября 2023 г.

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

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. техн. наук

Юшкова Ирина Анатольевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Автомобильный транспорт имеет большое значение в транспортной системе России. Широкое применение он получил во всех отраслях народного хозяйства. Главные преимущества этого вида транспорта: относительно высокая скорость; возможность использования его при перевозках «от двери до двери», без дополнительных перегрузок, высокая маневренность.

Более 64% объёмов грузовых перевозок внутри страны осуществляет грузовой транспорт, являясь основным перевозчиком для ведущих секторов экономики. При этом в нашей стране наблюдается тенденция увеличения этой доли. Посредством автотранспорта ежедневно перевозится почти 17 млн. тонн грузов. Автомобильный транспорт обеспечивает объединение в единый комплекс территорий нашей страны, а также способствует усилению национальной безопасности, нормальной жизнедеятельности государства и его целостности, при этом способствуя ликвидации экономического отставания окраинных районов и решению важных политических задач.

В условиях Севера и Сибири очень важным является возможность доставки грузов без перегрузки и работа на больших расстояниях от постоянного базирования, поэтому в нефтегазодобывающей отрасли автомобильный транспорт имеет первостепенное значение. Нефтегазовая отрасль насчитывает тысячи единиц техники, ежегодно на эксплуатацию которых расходуются миллионы рублей.

В структуре жизненного цикла автомобиля срок его эксплуатации является самым продолжительным этапом. Он оказывает непосредственное влияние на структуру парка автомобилей, размер ремонтной базы, конечные результаты деятельности предприятия. Этот показатель используется для замены устаревшей техники на новую, для планирования воспроизводства средств производства, а также учитывается при развитии материально-технической базы, технического перевооружения отрасли и т.д.

В настоящее время одной из проблем нефтегазодобывающих предприятий в РФ является критический уровень состояния транспортных средств. Большую часть из них эксплуатируют, превышая допустимые нормы срока службы, другая же значительная часть имеет срок эксплуатации, близкий к критическому. Следовательно, это ведет к снижению показателей безопасности транспорта и снижению эффективности его функционирования.

**Степень разработанности темы.** Вопросы надежности транспортного обслуживания рассматривались в работах В. Н. Богумила, М. В. Грязнова, В. М. Курганова, Н. А. Филипповой и других. Надежности транспортно-технологического обслуживания (ТТО) производственных процессов уделено меньше внимания. Факторы, влияющие на срок эксплуатации автомобилей были классифицированы такими авторами как В. М. Власов, Б. В. Гольд, Н. С. Захаров А. А. Звягин, Е. С. Кузнецов, Р. В. Кугель и другими. Для определения рационального срока службы автомобилей применяют аналитические и графические методы, их разновидности: статистические,

графоаналитические, технико-экономические и другие. В основе большинства методов нахождения рациональных сроков службы автомобилей лежит определение критерия оптимальности. В работах авторов Р. А. Латыпова, Н. Сухова, Д. Н. Хаймана критерий оптимальности представляет из себя отдельные составляющие себестоимости перевозок, например, расход на запасные части. В работах В. Мамыкина, В. Трикозюка предполагается, что автомобиль должен использоваться до тех пор, пока величина прибыли от его эксплуатации не будет меньше себестоимости. В качестве оптимума срока службы автомобиля Р. Н. Коллегаев использует максимальную среднюю рентабельность за срок его использования. В исследованиях А. В. Терентьева определение эффективного пробега автомобиля предполагается на уровне, соответствующем минимуму затрат на техническую эксплуатацию.

Существующие в настоящее время методологические основы установления срока службы автомобилей перестали удовлетворять современной макроэкономической ситуации. Многие крупные компании передали транспортно-технологическое обслуживание производственных процессов на аутсорсинг. При этом компания выступает как заказчик, а автотранспортные предприятия – как подрядчики, получающие контракты на основе конкурсов. В условиях конкурсов указываются предельная стоимость заданного объёма работ, а также требования к количеству, номенклатуре и возрасту подвижного состава. В этих условиях технико-экономический метод определения оптимального срока службы автомобилей, изучению которого посвящено большое число исследований, не всегда возможно применить. Главное для заказчика – обеспечить заданную надёжность транспортно-технологического обслуживания. При этом важнейшим фактором, управляя которым можно решить такую задачу, является возраст автомобиля.

В ранее выполненных исследованиях при определении оптимального или рационального предельного возраста автомобилей рассматривают как календарный срок эксплуатации, так и наработку в километрах или моточасах. При этом мало внимания уделяется их совместному влиянию. Не всегда учитывается, что эксплуатационные свойства автомобилей, в том числе техническое состояние, одновременно изменяются под воздействием процессов изнашивания и накопления усталостных повреждений с увеличением наработки, а также корродирования и старения материалов деталей с течением времени.

Поэтому требуется разработка новой методики определения срока эксплуатации автомобилей, учитывающей актуальные критерии предельного срока эксплуатации, а также основанной на закономерностях изменения технико-эксплуатационных свойств автомобилей под совместным влиянием наработки и времени.

**Объект исследования** – процесс изменения эксплуатационных свойств и показателей эффективности автомобилей по наработке и времени.

**Предмет исследования** – закономерности изменения потока отказов автомобилей, коэффициента технической готовности (КТГ) по времени и наработке.

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – разработка методики определения рационального срока службы автомобилей, обеспечивающего заданный уровень надежности транспортно-технологического обслуживания.

Задачи исследования:

- 1) определение факторов, влияющих на срок службы автомобилей;
- 2) обоснование методов определения рационального срока службы автомобилей;
- 3) установление закономерностей влияния возраста и наработки на параметр потока отказов автомобилей и коэффициент технической готовности;
- 4) разработка методики определения рационального срока службы автомобилей.

**Научная новизна исследования:**

- 1) результаты отбора факторов, влияющих на срок службы автомобилей;
- 2) разработанные теоретические подходы к определению предельных сроков службы автомобилей по условиям безопасности и надежности транспортно-технологического обслуживания, отличающиеся от известных ранее критериями определения предельного возраста и закономерностями изменения свойств автомобилей по возрасту и наработке;
- 3) установленные закономерности и математические модели влияния возраста и наработки на параметр потока отказов автомобилей, удельные простои в ТР и коэффициент технической готовности.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.**

Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей и разработке моделей зависимости параметра потока отказов и коэффициента технической готовности от наработки и времени. Практическая значимость исследования заключается в разработке методики определения рационального срока службы автомобилей, использование которой обеспечивает снижение количества отказов, потерь от простоев автомобилей в текущем ремонте и простоев основного производства обслуживаемых промышленных предприятий.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.9.1 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте: п. 2. Технологии организации транспортной работы и *оптимизация структуры подвижного состава*, воздушных, морских, речных судов в транспортных системах; п. 11. *Надежность и безопасность функционирования транспортных систем*, управление рисками.

**Методология и методы исследования.** В основу работы легли систематизация нормативной документации, исследовательских работ, научно-технической литературы и методы математической статистики, используемые для обработки результатов. Методической основой работы послужили элементы системного подхода, методы логического и экономического анализа и экспертных оценок.

**Положения, выносимые на защиту:**

- 1) обоснование факторов, влияющих на срок службы автомобилей;

2) модели зависимости параметра потока отказов и коэффициента технической готовности от наработки и времени;

3) методика определения рационального срока службы автомобилей, обеспечивающая заданный уровень надежности транспортно-технологического обслуживания.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов исследования обеспечена применением апробированных методов исследований, обращению к надежным источникам для сбора исходных данных, используемых в эксперименте. Конечные численные значения результатов были определены при помощи известных методов статистики с применением современных программных комплексов.

Основные результаты исследования представлены и одобрены на конференциях и конкурсах всероссийского и международного уровня: «Новые технологии – нефтегазовому региону» (г. Тюмень, 2017 г.), «Современное развитие России через призму научных исследований» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.), «Приоритеты роста» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.), «Наука без границ» (г. Тобольск, 2018 г.), «Транспортные и транспортно-технологические системы» (г. Тюмень, 2022 г.), «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2022 г.), «Проблемы функционирования систем транспорта» (г. Тюмень, 2022 г.).

**Реализация работы.** Результаты исследований приняты к использованию в Сургутской центральной базе производственного обслуживания по прокату и ремонту нефтепромысловой спецтехники и навесного оборудования ПАО «Сургутнефтегаз», в учебном процессе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

**Публикации.** Результаты исследования опубликованы в 18 работах, 3 из которых – в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет 170 страниц. Работа включает 21 таблицу и 82 рисунка. Список использованных источников включает 149 наименований, 6 из которых – иностранные источники.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлено обоснование актуальности темы диссертационного исследования, обозначен предмет и объект исследования, поставлена цель и задачи, раскрыта научная и практическая значимость работы.

**В первом разделе** показано влияние оптимизации возрастной структуры парка автомобилей на эффективность деятельности нефтегазодобывающего предприятия (НГДП). Рассмотрены следующие виды сроков службы автомобиля: экономический, гарантированный, моральный, амортизационный, оптимальный, рациональный. Сделан вывод, что в настоящее время большинство НГДП в значительной степени превышают сроки службы автомобиля, в связи с чем они не могут быть признаны рациональными.

Сроки эксплуатации автомобилей, установленные в данное время на автотранспортных предприятиях нефтедобывающей отрасли Севера и Сибири, зависят от ряда эксплуатационных, технических, конструктивных и других факторов.

Обзор и систематизация основных методик определения рациональных сроков службы автомобилей позволили сделать вывод, что большинство из них предполагают в качестве критерия оптимальности минимум затрат или максимум прибыли, то есть предлагают использовать для определения срока службы автомобилей технико-экономический метод, который имеет ряд недостатков и не учитывает реальные факторы, влияющие на надежность транспортного обслуживания.

Для оценки надежности транспортного обслуживания используется отношением числа выполненных заявок без нарушений требований заказчика к общему числу заявок на доставку, доля времени предоставления услуг потребителям в заданных объемах и качестве, или вероятность выполнения транспортного задания. При этом отмечается, что основным фактором, влияющим на надежность транспортного обслуживания, является техническая готовность подвижного состава.

На основе анализа результатов ранее выполненных исследований была сформулирована цель и задачи диссертационного исследования, которые направлены на теоретическое, методическое обеспечение и экспериментальное обоснование совершенствования методики определения рационального срока службы автомобилей.

**Во втором разделе** представлены теоретические исследования. Описана общая методика исследований, изложены концептуальные положения и сформулированы рабочие гипотезы.

Концептуальный подход к разработке методики определения рационального срока службы автомобилей включает следующие положения:

1 – срок службы автомобиля измеряется в годах  $T$  его работы или в километрах пробега  $L$  от начала эксплуатации до списания; эти показатели взаимосвязаны через интенсивность эксплуатации  $l$ ;

2 – эксплуатационные свойства автомобилей, в том числе техническое состояние, одновременно изменяются под воздействием процессов изнашивания и накопления усталостных повреждений с увеличением наработки, а также корродирования и старения материалов деталей с течением времени;

3 – метод определения оптимального срока службы по критерию минимума суммарных затрат на приобретение и эксплуатацию автомобилей  $C_{\Sigma}$  имеет ограниченную область применения: в большинстве случаев на кривой суммарных затрат не наблюдается ярко выраженного минимума, в некоторых случаях минимума нет вообще, то есть кривая имеет монотонный характер;

4 – в условиях передачи промышленными предприятиями транспортно-технологического обслуживания на аутсорсинг задачу формирования возрастной структуры парка необходимо решать не только АТП, выступающим

а качестве подрядчиков, но и предприятиям-заказчикам для обеспечения надежности выполнения заданного объема работ.

В рамках системного подхода идентифицирована структура изучаемой системы (рис. 1), сформулированы целевые функции (табл. 1).

Таблица 1 – Целевые функции

Номер целевой функции	Критерии предельного срока эксплуатации	Целевая функция
1	Оптимальный срок службы	$C_{\Sigma}(L, T) \rightarrow \min$
2	Предельный срок службы по условию безопасности	$\omega(L, T) \leq \omega_{\text{пр.}}$
3	Предельный срок службы по условию надежности обслуживания	$\alpha_T(L, T) \geq \alpha_T^{(\text{пр.})}$

Предельный срок службы зависит от условий эксплуатации, поскольку интенсивность изменения технического состояния автомобилей определяется режимами работы, обусловленными эксплуатационными факторами. Для оценки значимости факторов, влияющих на предельный срок службы автомобилей, проведен экспертный анализ, результаты которого представлены на рис. 2.

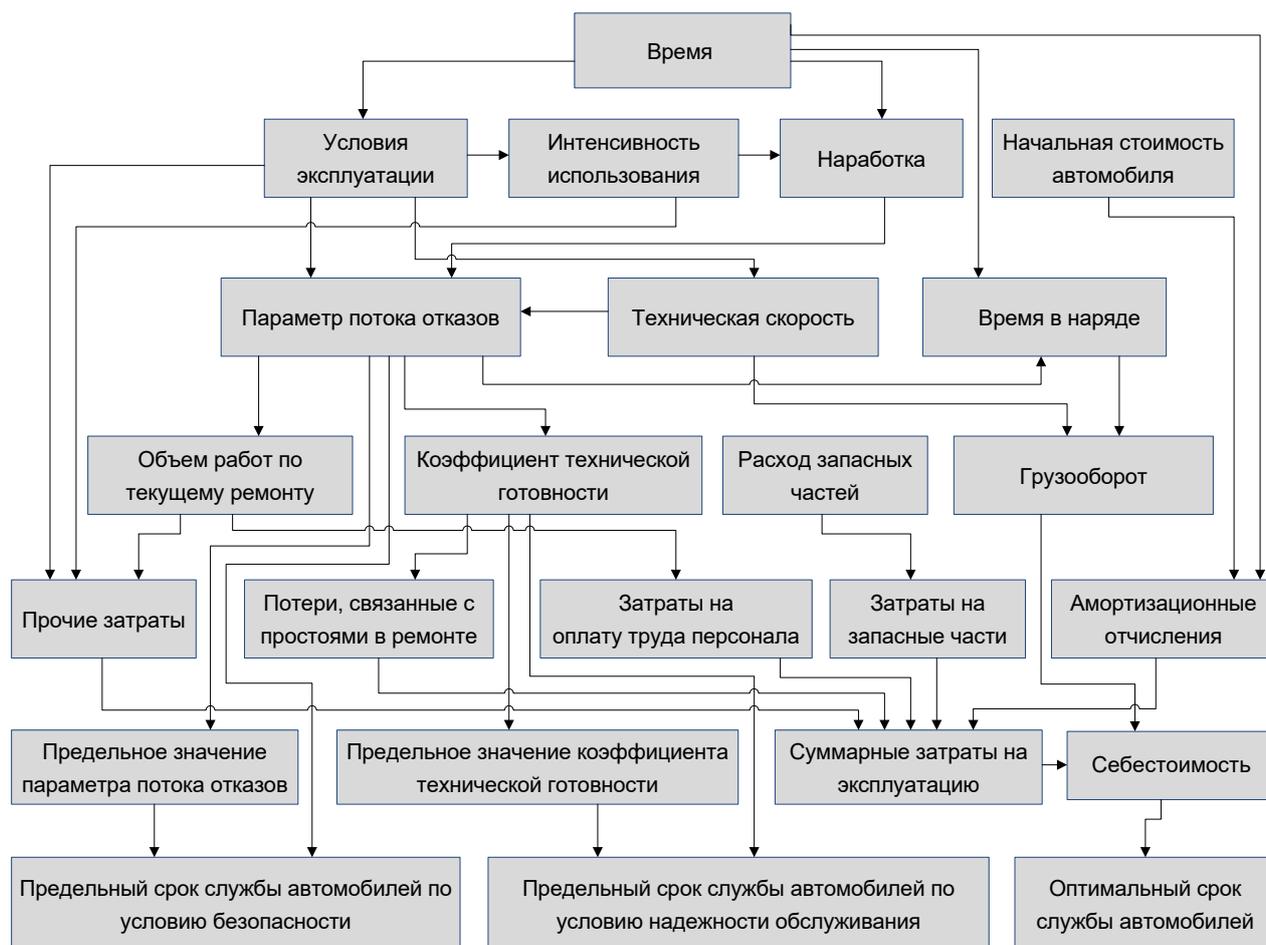


Рисунок 1 – Структура изучаемой системы

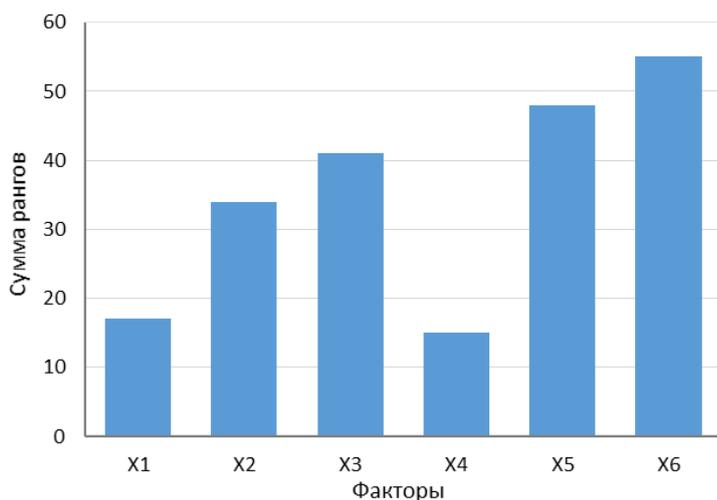


Рисунок 2 – Априорная диаграмма рангов факторов, влияющих на срок эксплуатации автомобилей: X1 – дорожные условия; X2 – режим работы; X3 – качество вождения; X4 – природно-климатические условия; X5 – организационно-технические факторы; X6 – производственные факторы

Установлено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на срок эксплуатации автомобилей, являются природно-климатические условия и дорожные условия. Этот результат согласуется с известными методиками корректирования нормативов ресурса автомобилей до капитального ремонта, в которых он корректируется в зависимости категории условий эксплуатации, климатического региона и модификации подвижного состава. Если норматив установлен для конкретной модели автомобилей, то нужно учитывать только первых два фактора.

При анализе целевой функции (1) выдвинуто предположение, что в зависимости от интенсивности эксплуатации автомобилей и начальной их стоимости возможны три основных случая наличия на кривой  $C_{\Sigma} = f(T)$  минимума (рис. 3): четко выраженный минимум; нечетко выраженный минимум; отсутствие минимума.

В соответствие с целевой функцией (2) может быть определен предельный срок службы по условию безопасности (рис. 4). Для этого необходимо установить закономерность влияния наработки и возраста на параметр потока отказов  $\omega = f(L, T)$  систем автомобиля, влияющих на безопасность движения, установить предельное значение параметра потока отказов  $\omega_{пр.}$ , построить проекцию (4) на плоскость  $LOT$  (рис. 4) линии пересечения (3) поверхности (1) и плоскости (2).

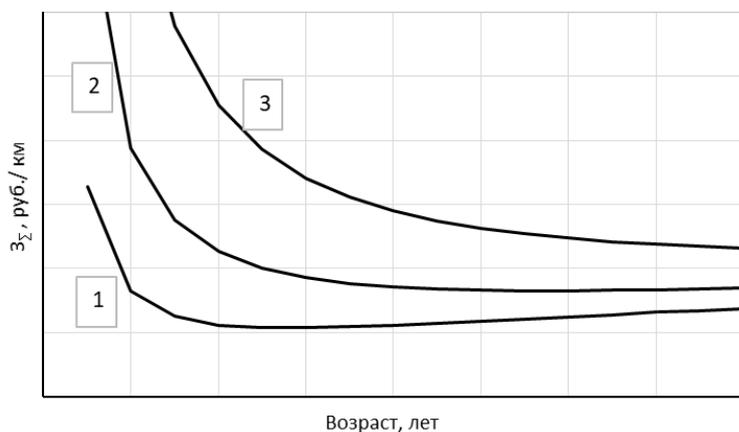


Рисунок 3 – Гипотеза о виде целевой функции (1): 1 – наличие минимума; 2 – нечетко выраженный минимум; 3 – монотонная зависимость

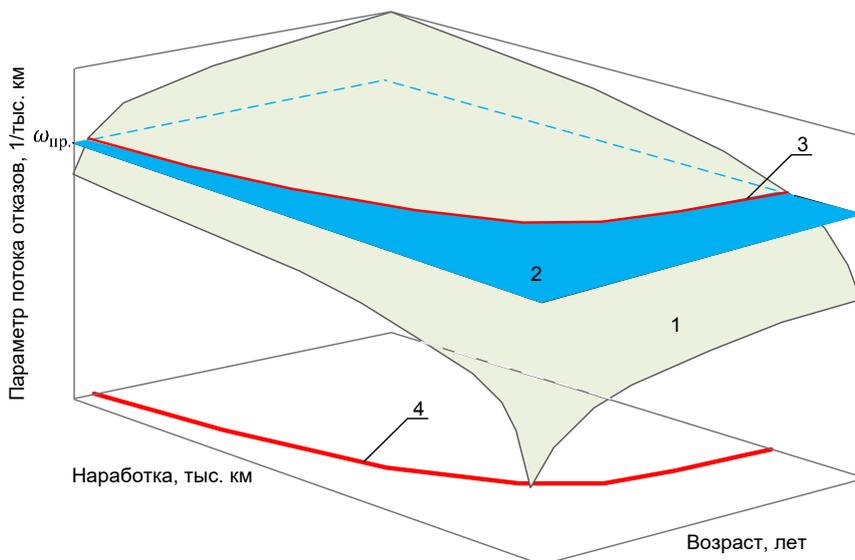


Рисунок 4 – Предельный срок службы по условию безопасности: 1 – поверхность  $\omega=f(L,T)$ ; 2 – плоскость  $\omega_{(пр.)}$ ; 3 – линия пресечения поверхности и плоскости; 4 – проекция линии пресечения на плоскость  $LOT$

Выдвинута гипотеза о возможности описания рассматриваемой зависимости моделью вида:

$$\omega = A_0 + A_1 \ln(L) + A_2 \ln(T), \quad (1)$$

где  $A_0, A_1, A_2$  – константы модели.

Тогда предельный возраст автомобилей по условиям безопасности при разных наработках с начала эксплуатации можно рассчитать по формуле:

$$T = e^{\frac{\omega_{пр.} - A_0 - A_1 \ln(L)}{A_2}}. \quad (2)$$

Аналогичный подход может быть реализован с использованием целевой функции (3). Для этого необходимо установить зависимость удельных простоев автомобилей в ТР от наработки и возраста. Предполагается, что её можно описать моделью вида:

$$D_{ТР} = A_0 + A_1 L^{A_2} + A_3 T^{A_4}, \quad (3)$$

где  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$  – константы модели.

С использованием этой модели возможен расчет потенциального коэффициента технической готовности  $\alpha_T$  для разных возрастов и наработок с начала эксплуатации автомобилей:

$$\alpha_T = 1 - \frac{D_{ТР} L_T + D_{ТО} \frac{L_T}{L_{ТО}}}{D_{РГ}}, \quad (4)$$

где  $L_T$  – годовой пробег автомобилей, тыс. км;

$D_{ТО}$  – время простоя в ТО, дни на одно обслуживание;

$L_{ТО}$  – периодичность ТО, тыс. км;

$D_{РГ}$  – количество рабочих дней в году.

Если предположить, что за промежуток времени  $T_D$  продолжительность периода, когда транспортно-технологическое обслуживание выполняется в соответствии предъявляемыми заказчиком требованиями, равно  $T_1$ , а  $T_0$  – продолжительность периода отказа в транспортно-технологическом обслуживании, то показатель надежности ТТО можно определить по формуле:

$$K_R = \frac{T_1}{T_d}$$

По своей сути  $K_R$  – это вероятность выполнения транспортно-технологического обслуживания в соответствии предъявляемыми заказчиком требованиями.

Надежность транспортно-технологических систем не сводится только к надежности подвижного состава. Отказ в ТТО может быть обусловлен разными причинами. Поэтому

$$K_R = 1 - K_F^{(T)} - K_F^{(YЭ)} - K_F^{(орг.)}$$

где  $K_F^{(T)}$  – коэффициент отказа в обслуживании по техническим причинам (коэффициент технической неготовности  $K_F^{(T)} = 1 - \alpha_T$ );

$K_F^{(YЭ)}$  – коэффициент отказа в обслуживании из-за условий эксплуатации (заторы, непроезжаемые дороги при переувлажнении, затоплении, снежных заносах, а также низкие температуры воздуха);

$K_F^{(орг.)}$  – коэффициент отказа в обслуживании по организационным причинам (отсутствия ресурсов: топлива, смазочных материалов, специальных жидкостей, ...; отсутствия водителей: отпуск, болезнь, ...; прочие причины).

Расчёт предельного возраста автомобилей при разных наработках с начала эксплуатации по критерию надежности обслуживания выполняется с использованием формулы:

$$T = \sqrt{\frac{A_4 \sqrt{\frac{Д_{рг}(1-\alpha_T^{(пр.)})}{L_T} - \frac{1}{L_{T0}} - A_0 - A_1 L^{A_2}}}{A_3}}}{A_3}} \quad (5)$$

Здесь  $\alpha_T^{(пр.)}$  рассчитывается, исходя из заданных значений  $K_R$ , а также предполагаемых  $K_F^{(YЭ)}$  и  $K_F^{(орг.)}$ .

**В третьем разделе** осуществляется экспериментальная проверка гипотез, выдвинутых в теоретических исследованиях, и определение численных значений параметров математических моделей.

Первый этап экспериментальных исследований посвящен проверке гипотез о целевой функции. Установлено, что наибольшее влияние на форму кривой  $C_\Sigma = f(T)$  оказывает интенсивность эксплуатации и начальная стоимость автомобилей (рис. 5 ... 7).

Второй этап эксперимента направлен на оценку фактического возраста и сроков эксплуатации автомобилей. Суть исследований заключалась в сборе данных о возрасте, наработках с начала эксплуатации, об отказах, интенсивности эксплуатации автомобилей. Источник информации – базы данных транспортных предприятий, обслуживающих нефтегазовые компании. Объем консолидированной базы данных составляет около 15 миллионов записей.

На основе этих данных установлены эмпирические дифференциальные (рис. 8 и 10) и интегральные (рис. 9 и 11) распределения фактических наработок и возрастов автомобилей рассматриваемых предприятий.

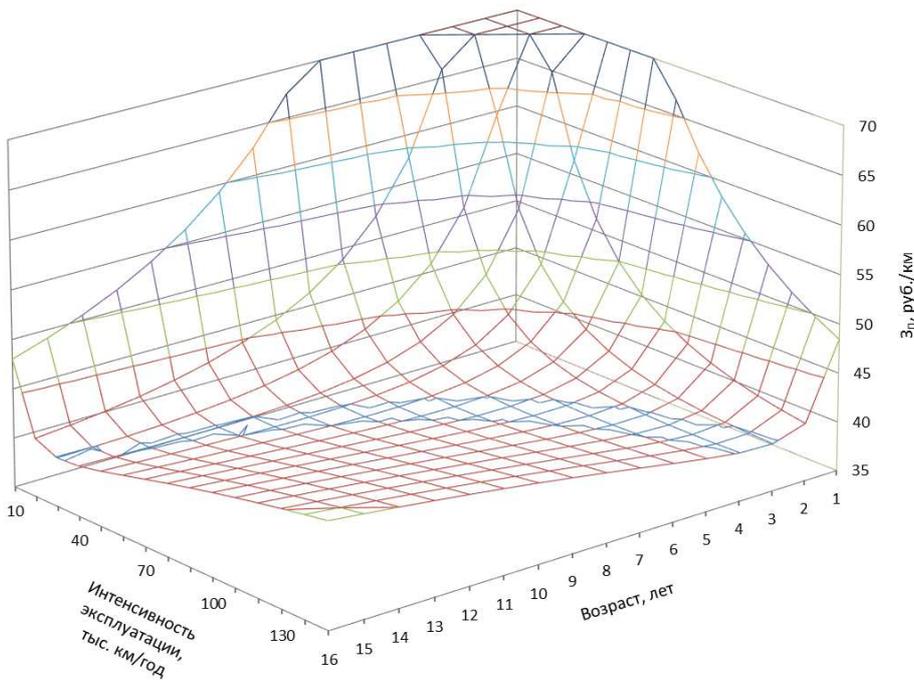


Рисунок 5 – Влияние возраста и интенсивности эксплуатации автомобилей на суммарные затраты

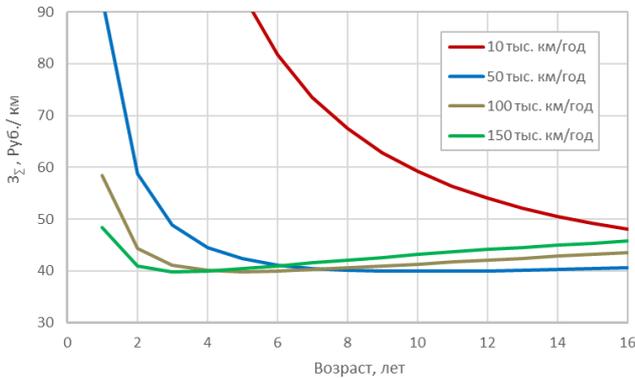


Рисунок 6 – Влияние возраста автомобилей на суммарные затраты при различной интенсивности эксплуатации

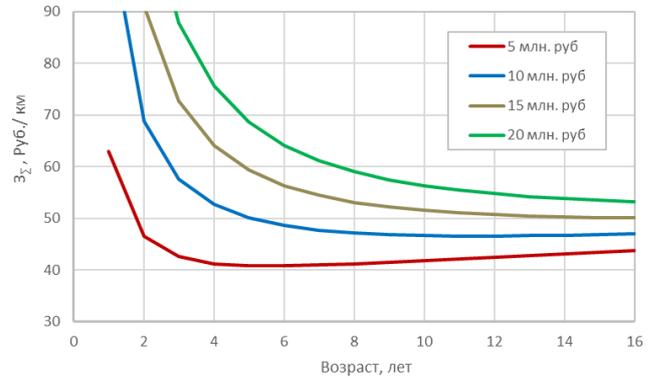


Рисунок 7 – Влияние возраста на суммарные затраты при различной начальной стоимости автомобилей

Из рис. 10 и 11 видно, что около 50 % автомобилей имеют возраст более 10 лет и наработку свыше 300 тыс. км.

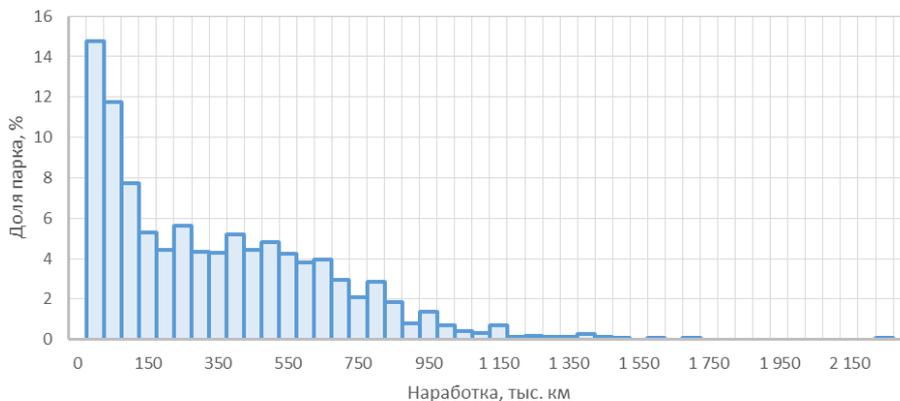


Рисунок 8 – Распределение наработок с начала эксплуатации автомобилей КАМАЗ

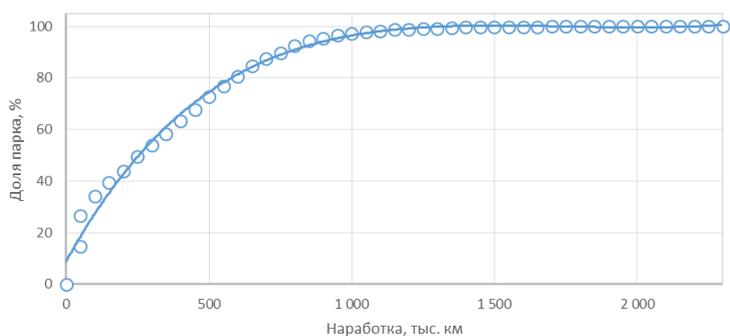


Рисунок 9 –  
Интегральное  
распределение  
наработок  
начала  
эксплуатации  
КАМАЗ

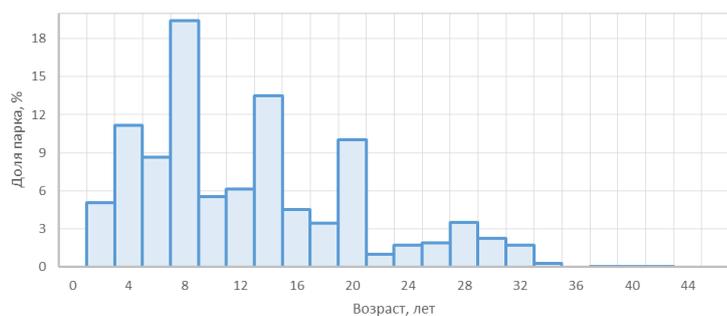


Рисунок 10 –  
Распределение  
возраста  
автомобилей  
КАМАЗ

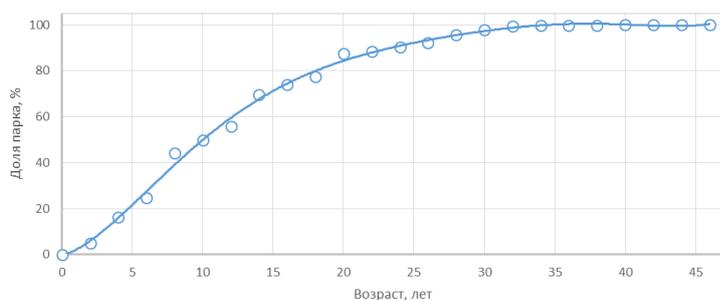


Рисунок 11 –  
Интегральное  
распределение  
возраста  
автомобилей КАМАЗ

На третьем этапе экспериментальных исследований проверено предположение об отсутствии корреляции между возрастом автомобилей и наработкой с начала эксплуатации. Результаты представлены на графике (рис. 12). Проверка значения коэффициента корреляции по критерию Стьюдента показала отсутствие статистически значимой линейной корреляционной связи, что подтверждает выдвинутое предположение и свидетельствует о необходимости учета интенсивности эксплуатации при определении рационального срока службы автомобилей.

Далее проверено предположение о виде модели для описания закономерности влияния наработки на параметр потока отказов автомобилей. Установлено, что с вероятностью выше 0,95 эта закономерность адекватно описывается логарифмической моделью, например, (рис. 13)

$$\omega = 0,056 \ln(L) - 0,088. \quad (6)$$

Аналогичный результат получен и для зависимости параметра потока отказов от возраста.

На следующем этапе исследований проверена адекватность двухфакторной модели (1). Для этого построено двумерное распределение отказов автомобилей по наработке и возрасту. В каждом интервале наработки и возраста рассчитаны суммарные пробеги за рассматриваемый период. Значение

параметра потока отказов в каждом интервале определялось как отношение количества отказов к суммарной наработке.

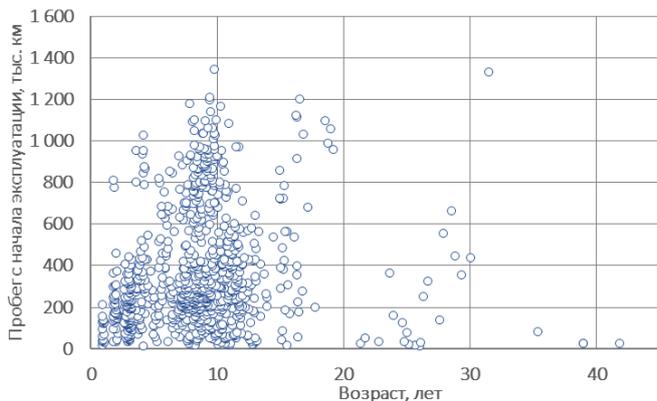


Рисунок 12 – Связь между возрастом и наработкой автомобилей

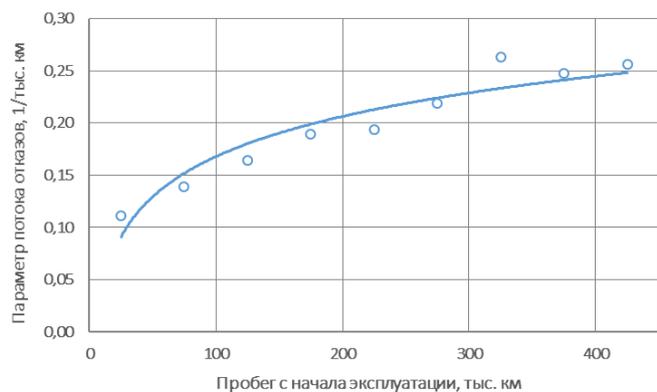


Рисунок 13 – Влияние наработки на параметр потока отказов автомобилей

Обработка результатов эксперимента показала, что математическая модель (1) с вероятностью выше 0,95 адекватна исходным данным. Пример такой модели представлен ниже (рис. 14):

$$\omega = 0,068 \ln(L) + 0,053 \ln(T) - 0,03. \quad (7)$$

Аналогичные результаты получены для зависимости (3) удельных простоев автомобилей в ТР от наработки и возраста (рис. 15):

$$D_{ТР} = 0,060L^{0,51} + 0,206T^{0,55} - 0,209. \quad (8)$$

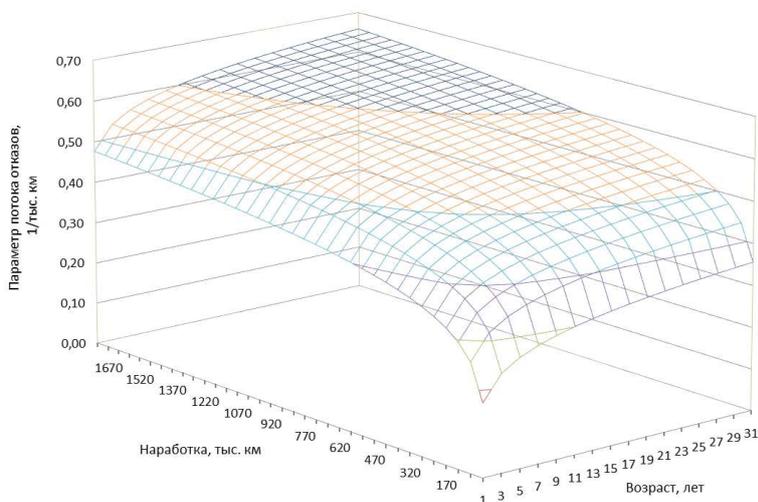


Рисунок 14 – Влияние наработки и возраста на параметр потока отказов автомобилей

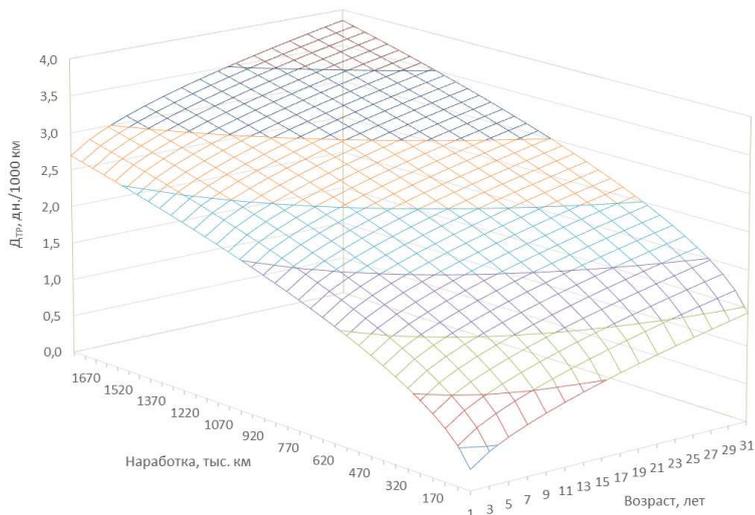


Рисунок 15 – Влияние возраста и наработки с начала эксплуатации на удельные простои в ТР автомобилей

С использованием формулы (4) значения  $D_{ТР}$  пересчитаны в коэффициент технической готовности. По этим данным построен график рис. 16.

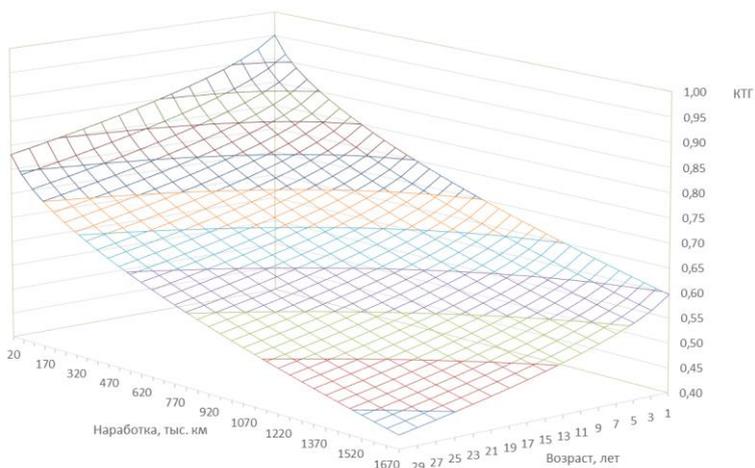


Рисунок 16 – Влияние возраста и наработки с начала эксплуатации на КТГ

Исходя из полученных результатов и типичных для рассматриваемых предприятий значений  $K_F^{(УЭ)}$  и  $K_F^{(орг.)}$  получена зависимость показателя надежности ТТО от возраста и наработки автомобилей с начала эксплуатации (рис. 17).

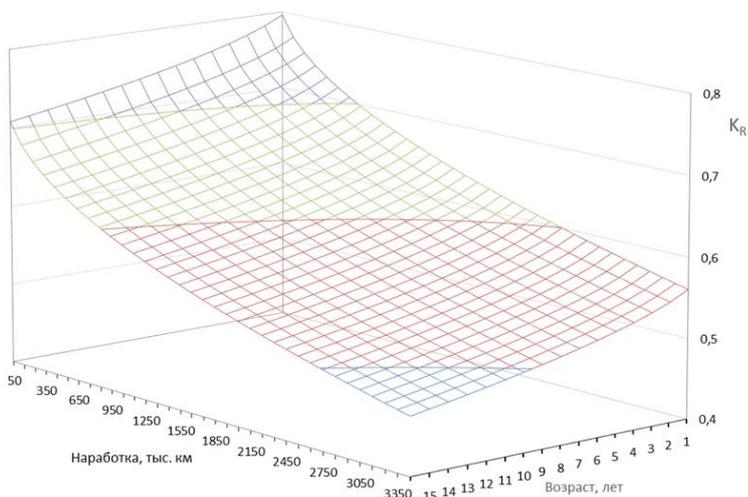


Рисунок 17 – Влияние возраста и наработки с начала эксплуатации на надежность транспортно-технологического обслуживания

Таким образом, в третьем разделе были подтверждены все гипотезы, выдвинутые во втором разделе.

**В четвертом разделе** разработаны методики практического использования, рассчитан предельный возраст автомобилей.

Методика определения предельного срока службы автомобилей по условиям безопасности предусматривает выполнение следующих действий:

- сбор данных о количестве отказов систем автомобилей, влияющих на безопасность движения, в разных интервалах наработки и возраста;
- сбор данных об интенсивности эксплуатации автомобилей;
- расчет параметра потока отказов в разных интервалах наработки и возраста;
- аппроксимация полученных данных моделью (1);
- определение предельного значения параметра потока отказов;
- расчет предельного возраста автомобилей по условиям безопасности при разных наработках с начала эксплуатации.

Фрагмент результатов расчета по данной методике в графическом виде представлен на рис. 18.

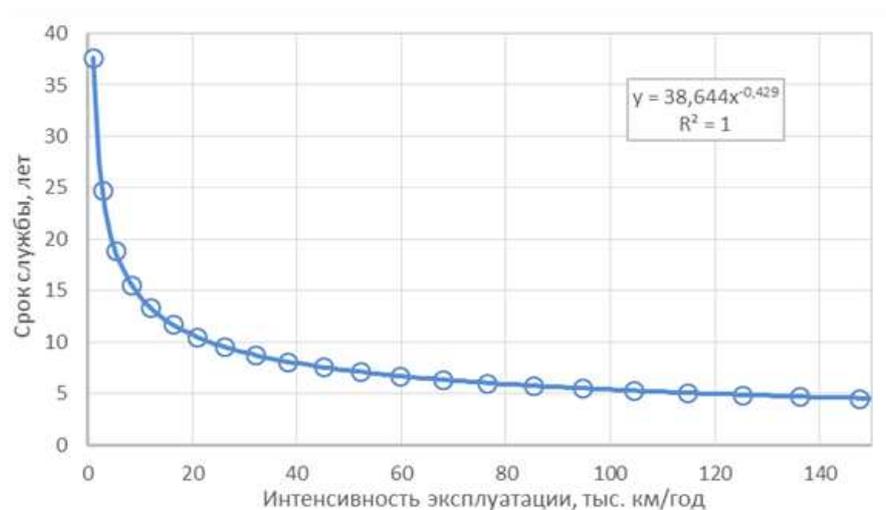


Рисунок 18 – Влияние интенсивности эксплуатации на предельный срок службы автомобилей

Методика определения предельного срока службы автомобилей по критерию надежности обслуживания предусматривает следующие действия:

- сбор данных о простоях автомобилей в текущем ремонте при разных наработках и возрастах;
- сбор данных об интенсивности эксплуатации автомобилей;
- расчет удельных простоев в ТР (дни/1000 км) в разных интервалах наработки возраста;
- аппроксимация полученных данных моделью (3);
- расчет потенциального коэффициента технической готовности для разных возрастов и наработок с начала эксплуатации автомобилей;
- определение предельного значения КТГ, обеспечивающего заданную надежность транспортно-технологического обслуживания;

– расчет предельного возраста автомобилей по критерию надежности обслуживания при разных наработках с начала эксплуатации.

Фрагмент результатов расчета, используемых на практике, представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Фрагмент таблицы с предельными сроками службы

Марка и модель автомобиля	Предельный возраст (годы) при интенсивности эксплуатации (тыс. км год)								
	до 5	свыше 5 ... 10	свыше 10 ... 20	свыше 20 ... 30	свыше 30 ... 40	свыше 40 ... 60	свыше 60 ... 80	свыше 80 ... 100	свыше 100
Урал 4320	25	20	17	15	13	11	10	9	8
КАМАЗ 43118	23	20	17	15	14	13	12	11	10
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

На основе полученных результатов разработан нормативный документ. После его внедрения средневзвешенный возраст автомобилей, находящихся в эксплуатации, должен измениться с 9,85 лет до 6,1 лет. При этом вероятность отказа узлов и механизмов, влияющих на безопасность движения, снизится на 22,3 % (с 0,102 отказов на 1000 км до 0,079 отказов на 1000 км), коэффициент технической готовности повысится на 8,7 %, затраты на километр пробега должны снизиться на 6,2 %.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. В процессе выполненных исследований решена научно-практическая задача разработки методики определения рационального срока службы автомобилей, обеспечивающего заданный уровень надежности транспортно-технологического обслуживания.

2. Установлено, что для рассматриваемых предприятий надежность транспортно-технологического обслуживания на 78 % определяется технической готовностью подвижного состава, а на 22 % – условиями эксплуатации и организационными факторами. В свою очередь техническая готовность существенно зависит от возраста и наработки автомобилей с начала эксплуатации.

3. На основе анализа ранее выполненных исследований и априорного ранжирования установлено, что на рациональный срок службы автомобилей в наибольшей степени влияют дорожные и климатические условия. Обосновано, что при определении рациональных сроков службы автомобилей использование технико-экономического метода не всегда возможно, поэтому в качестве критериев для решения этой задачи предложено использовать безопасность и надежность транспортно-технологического обслуживания. Показано, что при определении рационального срока службы автомобилей необходимо учитывать совместное влияние наработки и времени с начала эксплуатации. Разработаны теоретические подходы к определению рациональных сроков службы автомобилей по условиям безопасности и надежности транспортно-технологического обслуживания.

4. Установлено, что вид зависимости параметра потока отказов от возраста и наработки определяется размером парка автомобилей и организацией ТР. Для малочисленных парков и индивидуального метода ремонта эти зависимости близки к экспоненциальным, а для больших парков и агрегатном методе ТР – к логарифмическим. Показано, что влияние возраста и наработки с начала эксплуатации на параметр потока отказов адекватно описывается логарифмическими моделями, а на удельные простои в ТР и коэффициент технической готовности – степенными.

5. На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика определения рационального срока службы автомобилей по критериям безопасности и надежности обслуживания. Эффект от ее использования образуется за счет более точного определения срока эксплуатации автомобилей, снижения на этой основе количества отказов, потерь от простоев автомобилей в текущем ремонте и простоев основного производства обслуживаемых промышленных предприятий.

6. Дальнейшие исследования в этой области целесообразно направить на разработку методики корректирования рационального срока службы автомобилей в зависимости от условий эксплуатации.

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

### **- в рецензируемых научных журналах из «Перечня...» ВАК:**

1. Захаров Н. С. Повышение надежности функционирования транспортно-технологических систем путем ограничения срока службы автомобилей / Н. С. Захаров, С. А. Теньковская, А. Э. Александров // Транспорт Урала. – 2023. – №2. – С. 54-59.

2. Захаров Н. С. Факторы, влияющие на надежность автомобилей самосвалов при работе в условиях Западной Сибири / Н. С. Захаров, С. А. Теньковская, А. Акжол Уулу // Транспортное дело России. – 2018. – №4(137). – С. 130-132.

3. Теньковская С. А. Влияние наработки и срока эксплуатации автомобилей на параметр потока отказов / С. А. Теньковская // Транспортное дело России. – 2019. — №2. – С. 165-166.

### **- в других изданиях:**

4. Захаров Н. С. Влияние наработки автомобилей нефтегазодобывающего предприятия на расход запасных частей / Н. С. Захаров, С. А. Теньковская, А. Акжол Уулу // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – №7. – С. 84-87.

5. Захаров Н.С. Совершенствование методики формирования потребности в запасных частях для автомобилей при обслуживании объектов нефтедобычи / Н. С. Захаров, С. А. Теньковская, А. В. Власов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019 – №2. – С. 32-40.

6. Теньковская С. А. Повышение эффективности управления материальными запасами автотранспортного предприятия в условиях Крайнего Севера и Сибири / С. А. Теньковская, А. В. Власов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2020. – №2. – С. 61-69.

7. Захаров Н. С. Влияние наработки и возраста на поток отказов автомобилей/ Н. С. Захаров, С. А. Теньковская // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 2. – С. 120–128.

8. Теньковская С. А. Методы определения оптимального срока службы автомобилей / С. А. Теньковская // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы

международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием). – Тюмень: ТИУ, 2016. – С 352-354.

9. **Теньковская С. А.** Automobile rational service life determination / С. А. Теньковская // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы международной научно-практической конференции. Т. 6. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 392-393.

10. **Теньковская С. А.** Влияние возрастной структуры на эффективность использования транспорта / С. А. Теньковская, А. В. Власов // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Тюмень: ТИУ, 2018. – С. 73-74.

11. **Теньковская С. А.** Методы определения рационального срока службы подвижного состава автомобильного транспорта / С. А. Теньковская, А. В. Власов // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Тюмень: ТИУ, 2018. – С. 75-77.

12. **Теньковская С. А.** Влияние наработки автомобилей нефтегазодобывающего предприятия на параметр потока отказов / С. А. Теньковская // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. – Чита: ЗабГУ, 2018. – С. 248-251.

13. **Теньковская С. А.** Влияние наработки с начала эксплуатации и возраста автомобилей УТТ НГДП на параметр потока отказов / С. А. Теньковская, А. В. Власов // Механика XXI века: материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Братск: БрГУ, 2019. – С. 277-279.

14. **Теньковская С. А.** Влияние наработки с начала эксплуатации и возраста автомобилей на параметр потока отказов / С. А. Теньковская // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 321-323.

15. **Теньковская С. А.** Рационализация методики формирования потребности в запасных частях для автомобилей при обслуживании объектов нефтегазодобычи / С. А. Теньковская, А. В. Власов // Автомобиле- и тракторостроение: материалы Международной научно-практической конференции. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 3-6.

16. **Теньковская С. А.** Совершенствование методики формирования резерва запасных частей / С. А. Теньковская, А. В. Власов // Инновации в управлении региональным и отраслевым развитием: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2019. – С. 47-51.

17. **Теньковская С. А.** Идентификация исследуемой системы при оптимизации срока службы автомобилей / С. А. Теньковская // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тюмень: ТИУ, 2020. – С. 372-374.

18. **Теньковская С. А.** Совершенствование методики определения рационального срока службы автомобилей / С. А. Теньковская // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XVII международной научно-практической конференции. – Оренбург: ОГУ, 2022. – С. 547-553.

Теньковская Светлана Александровна

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПУТЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ  
АВТОМОБИЛЕЙ**

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

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 19.10.2023. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 1,2. Заказ 830. Тираж 100 экз.  
УрГУПС

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.