

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

На правах рукописи



САВИН ЛЕОНИД ОЛЕГОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО
СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Новиков Александр Николаевич

Орел –2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА	13
1.1 Роль и основные направления развития автомобильного транспорта в современных условиях.....	13
1.2 Эксплуатационная надежность автомобильного транспорта и ее параметры.....	16
1.2.1 Классификация условий эксплуатации автомобильного транспорта и их влияние на надежность	16
1.2.2 Анализ влияния условий эксплуатации в различных регионах России на техническое состояние двигателей внутреннего сгорания	24
1.2.3 Закономерности изменения определяющих параметров двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта	29
1.3 Проблемы организации и перспективы развития гибкой системы технического обслуживания автомобильного транспорта	36
1.4 Выводы по первой главе	41
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ПОМОЩИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ	43
2.1 Классификация и сравнительный анализ основных методов прогнозирования.....	43
2.2 Вероятностное прогнозирование технического состояния при помощи квазидетерминированных моделей	48
2.3 Прогнозные квазидетерминированные модели изменения значений определяющих параметров двигателей внутреннего сгорания в ходе эксплуатации.....	57
2.4 Выводы по второй главе	69

3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА	70
3.1 Общие подходы к определению оптимальных значений периодичности технического обслуживания агрегатов автомобильной техники.....	70
3.2 Порядок расчета удельного показателя готовности автомобильного транспорта к использованию по назначению.....	72
3.3 Разработка алгоритма определения оптимальной периодичности технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания.....	87
3.4 Разработка методики проведения технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта в различных условиях эксплуатации.....	97
3.5 Выводы по третьей главе.....	99
4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	100
4.1 Описание эксперимента «Исследование закономерностей постепенного изменения информативных параметров двигателей внутреннего сгорания автомобилей семейства ЗИЛ, КамАЗ».....	100
4.2 Построение функции, аппроксимирующей изменение значений информативных параметров ДВС, при помощи метода наименьших квадратов.....	103
4.3 Проверка нормальности распределения случайных коэффициентов и определение параметров их распределения	104
4.4 Оценка адекватности прогнозных моделей изменения значений величины компрессии двигателей автомобилей типа ЗИЛ и КамАЗ в ходе эксплуатации.....	106
4.5 Апробация полученных результатов.....	114
4.6 Выводы по четвертой главе.....	118

5 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	119
5.1 Разработка научно-технических предложений по организации гибкой стратегии технического обслуживания ДВС АТ.....	119
5.2 Разработка «Положения по организации гибкой стратегии технического обслуживания ДВС АТ».....	126
5.3 Экономическая эффективность результатов исследований.....	127
5.4 Выводы по пятой главе.....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ А Копии патентов РФ на полезные модели.	144
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Копии свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ	146
ПРИЛОЖЕНИЕ В Копии актов внедрения результатов диссертационного исследования.....	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В современных условиях автомобильный транспорт является важнейшей составной частью транспортной системы РФ, и его значение исключительно велико. Достоинства автомобильного транспорта, предопределяющие достаточно высокие темпы его развития, связаны с удобством его использования, а также с оперативностью и мобильностью. При этом очевидно, что указанные выше достоинства зависят как от надежности самих транспортных средств, так и от мер по обеспечению их работоспособности в процессе использования, а также в существенной степени – от условий их эксплуатации (природно-климатических, транспортных и дорожных). Очевидно, что эти условия, во многом определяющие режимы работы различных систем и агрегатов автомобильной техники (АТ), в различных регионах РФ могут существенно отличаться друг от друга. При этом стандартные конструкции АТ разрабатываются с учетом максимальной приспособленности к типовым (усредненным) условиям и не всегда учитывают так называемые особые условия эксплуатации, к которым относятся, например, высокие и низкие температуры, повышенная агрессивность окружающей среды, влажность и запыленность воздуха, интенсивные атмосферные осадки и ветровая нагрузка, дорожные условия и рельеф местности, особенности перевозимого груза и порядок организации перевозок, а также условия маршрутов, зависящие от протяженности поездок, интенсивности движения и т.п. Очевидно, что все представленные выше условия эксплуатации АТ в своей совокупности оказывают так же достаточно существенное влияние на надежность одного из важнейших агрегатов АТ двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Надежность ДВС обеспечивается, в первую очередь, его техническим состоянием, которое обуславливается совокупностью изменяющихся свойств деталей, узлов и характеризуется значением их параметров. На техническое состояние ДВС АТ в различных условиях эксплуатации оказывает воздействие множество различных механических, физических и химических факторов

(внешних и внутренних). При этом большая часть таких факторов является по своей природе случайной, а их влияние приводит к постепенному изменению значений различных параметров ДВС с течением времени.

Проведенный анализ работ в данной области позволяет выделить наиболее важные (определяющие) параметры, которые вплотную связаны с ускоренным выходом из строя ДВС в различных условиях эксплуатации АТ. Очевидно, что в зависимости от условий эксплуатации эти контролируемые параметры будут отличаться. В работе под определяющим параметром (ОП) ДВС будем понимать такой диагностический параметр, который в данный текущий момент времени оказывает большое влияние на работоспособность ДВС, и определяет возможность его дальнейшего использования по назначению. Выход одного из таких параметров за допустимые (заданные) пределы приводит к отказу ДВС и АТ в целом, и наоборот, поддержание значений указанных параметров в пределах нормы позволит обеспечить работоспособность ДВС в течение всего заданного интервала времени (срока службы). Следовательно, при эксплуатации АТ в различных условиях одной из достаточно важных и актуальных задач является поддержание в установленных пределах значений данных параметров. Очевидно, что, зная закономерности постепенного изменения значений определяющих параметров ДВС с течением времени и предвидя момент выхода этих параметров за установленные пределы, можно произвести их заблаговременную и своевременную настройку (регулировку) и тем самым не допустить отказа. Данная задача по определению момента достижения определяющим параметром своего предельно допустимого значения решается путем прогнозирования, по результатам которого делают научно обоснованные выводы о потенциальной надежности того или иного узла (агрегата) АТ[18].

Таким образом, на ДВС АТ в ходе эксплуатации действует, как правило, целая совокупность различного рода условий и факторов, оказывающих комплексное влияние на надежность. В этой связи вероятно, что снижение надежности АТ при эксплуатации в различных условиях должно учитываться ресурсным и оперативным корректированием соответствующих нормативов

технической эксплуатации. Правильно организованная техническая эксплуатация АТ предполагает поддержание требуемых параметров ДВС в пределах нормы в течение заданного срока службы в условиях воздействия случайных внешних факторов. Это может быть достигнуто путем прогнозирования технического состояния ДВС, основанного на выявлении и изучении закономерностей постепенного изменения контролируемых параметров. В конечном итоге предупреждение отказов при помощи прогнозирования приводит к снижению затрат на эксплуатацию ДВС и к обеспечению надежности АТ в целом.

Степень разработанности темы исследования. О важности и актуальности данного направления свидетельствует достаточно большое количество работ, однако большая часть трудов, к сожалению, посвящена исследованию лишь отдельных вопросов. В них проводился анализ влияния на надежность АТ строго определенных условий эксплуатации либо рассматривались вопросы обеспечения надежности отдельных узлов (агрегатов), и только для некоторых типов АТ. Так, например, влияние природно-климатических и сезонных условий на надежность АТ в целом исследовалось в работах А.М. Ишкова, Р.С. Григорьева, В.Л. Игнатова, К.К. Прокопьева, В.П. Степанова. Схожие вопросы, но уже для отдельных узлов и агрегатов АТ, рассматривались в работах Г.С. Лосавио, А.И. Яговкина и других ученых. Проблемы обеспечения надежности АТ в различных условиях эксплуатации применительно к конкретным типам (маркам) АТ изучались Р.С. Григорьевым, М.А. Кузьминовым, Н.С. Захаровым, Г.В. Абакумовым, Ю.М. Першиным (для автомобилей Урал, МАЗ, КрАЗ и БелАЗ), а также П.П. Ощепковым и В.В. Ионовым (для автомобилей КамАЗ). Вопросы повышения надежности АТ при ее эксплуатации в отдельных регионах РФ исследовались в работах С.Г. Павлишина, Р.Р. Зинатуллина (Дальний Восток), В.Р. Кузьмина (в условиях Севера), Е.В. Агеева (в условиях жаркого климата) и ряда других авторов. Влияние транспортных и дорожных условий эксплуатации на надежность АТ рассматривалось в диссертациях А.И. Петрова, Л.Г. Резника, публикациях Н.Н. Чуклинова, А.И. Туленова, а также других ученых. Проведенный анализ

имеющихся по данной теме работ позволяет сделать вывод о том, что проблема обеспечения надежности АТ при ее эксплуатации в различных условиях в настоящее время окончательно не решена, а данные по теме работы носят, по большей части, частный характер и посвящены исследованию лишь ее отдельных аспектов. В известных трудах по данной тематике анализ закономерностей постепенного выхода за допустимые пределы тех или иных параметров производился лишь для сравнительно небольшого количества узлов (агрегатов) АТ и, как правило, лишь для отдельных (частных) условий ее эксплуатации. Кроме того, имеющийся по данной теме статистический материал, полученный различными исследователями, в целом почти не анализировался и не обобщался и, следовательно, выводы по работам также носят в значительной степени частный характер. Следует отметить, что авторами данных исследований была выполнена достаточно большая работа по выявлению и обоснованию определяющих параметров разных типов АТ в различных условиях ее эксплуатации, что позволяет осуществить дальнейшее вероятностное прогнозирование надежности АТ. Однако авторами не была показана возможность использования имеющихся статистических данных для разработки математических моделей случайного процесса постепенного изменения во времени контролируемых параметров АТ, позволяющих осуществить прогнозирование времени выхода этих параметров за допустимые пределы (момента отказа) с любой заданной вероятностью, а также решение обратной задачи – нахождения вероятности безотказной работы АТ на заданном интервале времени. Недостаточная проработанность данных вопросов, в свою очередь, привела к недостаточной разработанности научно обоснованных подходов к обоснованию гибких стратегий ТО применительно к АТ. В результате, несмотря на перспективность применения данных стратегий, в настоящее время на практике по-прежнему достаточно широко применяются жесткие плановые стратегии ТО АТ, рассчитанные для типовых (усредненных) условий ее применения и, как правило, недостаточно полно учитывающие различные условия эксплуатации.

Таким образом, при использовании АТ в различных условиях эксплуатации существует объективное противоречие (несоответствие) между существованием жестко заданных параметров (периодичности по пробегу и объема) ТО АТ при жесткой стратегии ее обслуживания, рассчитанными для усредненных условий и не учитывающей влияние условий эксплуатации на ДВС, с одной стороны, и отсутствием разработанной гибкой стратегии ТО ДВС, которая бы учитывала эти условия и тем самым позволила бы повысить эффективность функционирования АТ, – с другой. Указанное обстоятельство приводит к тому, что рассчитанные для типовых (усредненных) условий эксплуатации сроки проведения ТО (регламентных работ), приведенные в технической документации, зачастую оказываются недостаточно обоснованными, что существенно снижает эффективность функционирования АТ при эксплуатации в различных условиях за счет снижения коэффициента готовности автомобильного парка в целом и повышения непроизводительных затрат на эксплуатацию (увеличения затрат на ремонт и восстановление работоспособности) ДВС АТ. Данное несоответствие позволяет сформулировать научную задачу: на основе анализа процессов постепенного изменения во времени значений контролируемых параметров ДВС АТ и с учетом существующих методов вероятностного прогнозирования значений случайных процессов разработать прогнозные квазидетерминированные (КД) модели постепенного изменения во времени значений определяющих параметров ДВС АТ, алгоритм определения оптимальной периодичности ТО ДВС, а также методику проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации.

Объектом исследования является двигатель внутреннего сгорания АТ в процессе эксплуатации.

Предметом исследования является процесс постепенного изменения во времени значений информативных параметров ДВС АТ, эксплуатируемого в различных условиях.

Целью работы является совершенствование гибкой стратегии ТО ДВС для обеспечения готовности АТ при эксплуатации

Для достижения поставленной цели были решены следующие научные

задачи:

1. Анализ факторов, влияющих на надежность ДВС АТ при эксплуатации, а также информативных параметров (ИП), постепенное изменение которых в различных условиях эксплуатации может привести к постепенному отказу ДВС и в результате – к снижению готовности АТ.

2. Выбор и обоснование показателей эффективности функционирования ДВС (показателя готовности и затрат на эксплуатацию), зависящих от периодичности проведения ТО ДВС.

3. Разработка вероятностных моделей постепенного изменения информативных параметров ДВС АТ при функционировании в различных условиях.

4. Разработка алгоритма определения оптимальной периодичности ТО ДВС.

5. Разработка методики проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации.

6. Разработка научно-технических предложений по применению разработанного методического инструментария при организации ТО ДВС.

Научная новизна результатов исследования состоит в:

– разработаны вероятностные модели постепенного изменения контролируемых параметров ДВС, учитывающие условия эксплуатации и позволяющие определить время достижения параметрами своих предельных значений;

– на основе статистических данных впервые получены зависимости удельного коэффициента готовности от периодичности проведения ТО ДВС, в различных условиях эксплуатации;

– получены зависимости для корректирования сроков проведения технического обслуживания ДВС от условий эксплуатации при использовании нового подхода для определения наработки.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Предложено использование квазидетерминированного(КД)

моделирования для прогнозирования постепенного изменения контролируемых параметров ДВС для определения сроков проведения ТО при эксплуатации АТ в различных условиях.

2. Разработан и внедрен алгоритм определения оптимальной периодичности ТО ДВС, на основе результатов анализа и моделирования процесса постепенного изменения информативных параметров и позволяющего достичь компромисса между разнородными показателями эффективности функционирования – коэффициентом готовности и затратами на эксплуатацию;

3. Разработана и внедрена методика проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации, позволяющая либо минимизировать затраты на эксплуатацию АТ при выполнении требований по ее надежности (прямая задача), либо обеспечить максимально возможное значение коэффициента готовности АТ при заданных ограничениях на затраты (обратная задача).

Методология и методы исследования. Решение научной задачи основывается на использовании метода КД-моделирования случайных процессов, методов математической статистики и теории вероятностей (в частности, методов вероятностного прогнозирования надежности), системного анализа, а также теории эффективности целенаправленных процессов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа факторов, влияющих на надежность агрегатов АТ при эксплуатации в различных условиях.

2. Вероятностные модели изменения с течением времени информативных параметров ДВС АТ при функционировании в различных условиях.

3. Алгоритм определения оптимальной периодичности проведения ТО ДВС АТ.

4. Методика проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации.

5. Научно-технические предложения по применению разработанного методического инструментария при организации ТО АТ при эксплуатации в различных условиях.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность научных положений, основных выводов и результатов работы обеспечиваются применением современных методов исследования с использованием теории малой выборки при статистической обработке данных, а также за счет анализа состояния исследований в данной области, согласованности теоретических выводов с экспериментальными данными, апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на научных конференциях различного уровня.

Результаты исследования апробировались на IX Международной научно-технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ)» (Курск, 2017); 8-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные инновации в науке и технике»; X Международной научно-технической конференции «САМИТ» (Курск, 2018), XI Всероссийской межведомственной научной конференции (Орел, 2019), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 971, 052087 (2020) (ICMTMTE 2020), VI и VII Международной научно-практической конференциях «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2020, 2021).

Публикации. Результаты диссертации отражены в 14 работах, опубликованных в периодических научно-технических изданиях, из них 4 научные статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (Scopus, Web Of Sciens) Получены 2 патента на полезную модель, а также 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Реализация и внедрение результатов работы. Полученные научные результаты реализованы и внедрены в автомобильных парках в в/ч 35657, в/ч 69793, в/ч 77071, в/ч 16662, в/ч 28677, и используются для организации ТО и ремонта ДВС АТ автомобильного парка данных организаций, что подтверждается соответствующими актами о внедрении.

Результаты проведенных исследований применяются в учебном процессе на кафедре СиРМ в ОГУ им. И.С. Тургенева.

1 АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

1.1 Роль и основные направления развития автомобильного транспорта в современных условиях

В современных условиях автомобильный транспорт является важнейшей составной частью транспортной системы РФ, и его значение исключительно велико. В настоящее время основным документом стратегического планирования РФ в сфере транспорта является Транспортная стратегия РФ на период до 2030 г., утвержденная распоряжением Правительства РФ № 1032-рот 11.06.2014г [1-5]. В свою очередь, основным инструментом реализации данной стратегии является государственная программа «Развитие транспортной системы РФ», предусматривающая достижение следующих основных целей [6]:

1. Формирование единого транспортного пространства России.
2. Обеспечение доступности и качества транспортных услуг в соответствии с социальными стандартами и на уровне потребностей развития экономики РФ.
3. Интеграция в мировое транспортное пространство, а также развитие транзитного потенциала страны.
4. Нарращивание уровня безопасности транспортной системы, а также снижение ее негативного воздействия на окружающую среду.

Степень достижения указанных целей определяется Министерством транспорта по специально разработанным целевым индикаторам (рисунок 1.1) [6].

Анализ приведенных Министерством транспорта статистических данных показывает, что в настоящее время наблюдается постоянная положительная динамика по большинству основных индикаторов. Указанное обстоятельство позволяет сделать вывод о достаточно планомерном развитии транспортной системы в РФ. В настоящее время ежегодные объемы перевозок грузов АТ составляют более 5 млн тонн, объемы пассажирских перевозок – более 11 млн

человек, ежегодный грузооборот АТ превышает 200 млрд т/км, а пассажирооборот – 100 млрд пасс/км [6].

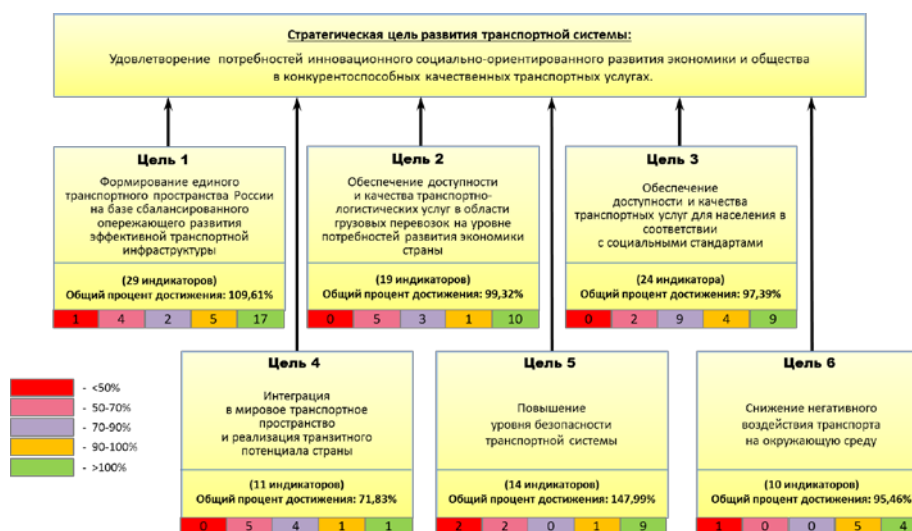


Рисунок 1.1 – Уровень достижения целей по развитию транспортного комплекса РФ, указанных в «Транспортной стратегии – 2030»

Сравнительный обзор отчетно-статистических данных позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время автомобильный транспорт является ключевым звеном транспортного комплекса страны [4]. При организации транспортного обслуживания как различных отраслей экономики и сфер народного хозяйства страны, так и населения в целом ведущее положение в настоящее время по-прежнему сохраняется именно за автомобильным транспортом. Это объясняется, в первую очередь, следующими особенностями и преимуществами АТ относительно других видов транспорта [1, 4]:

- широкими возможностями применения разных видов АТ в различных сферах жизнедеятельности общества;
- удобством использования АТ совместно с другими видами транспорта для налаживания смешанных перевозок грузов и пассажиров;
- отсутствием во многих населенных пунктах страны других путей сообщения, кроме автомобильных дорог;

- эффективной логистикой автоперевозок благодаря широкому внедрению навигационных спутниковых технологий GPS и ГЛОНАСС;

- маневренностью, гибкостью и оперативностью АТ, широкими возможностями его применения, а также удобством его использования.

В силу данных причин АТ играет существенную роль в транспортном комплексе страны и в народном хозяйстве в целом, находя широкое применение при обеспечении различных нужд предприятий многих отраслей на всей территории России [4]. В настоящее время АТ обслуживает более 3 млн предприятий и организаций всех форм собственности, индивидуальных предпринимателей, а также население страны [1]. По объемам перевозок грузов автотранспорт превосходит железнодорожный транспорт почти в шесть раз [4]. В связи с этим число автомобильной техники (АТ), используемой для решения различного рода задач, постоянно возрастает (рисунок 1.2) [7]. Темпы роста объемов автомобильных перевозок в целом совпадают со средним темпом экономического роста РФ, превосходя при этом темпы роста объема перевозок другими видами транспорта, что характерно не только для РФ, но и для большинства развитых зарубежных стран [4]. При этом анализ основных тенденций социально-экономического развития позволяет прогнозировать дальнейшее увеличение автомобильных перевозок грузов и пассажиров [3].

К основным направлениям дальнейшего развития АТ в ближайшие 10-15 лет можно отнести следующие:

- увеличится рост автомобильного парка страны, особенно легкового, при этом в его состав будут входить автомобили самых различных типов и марок, в результате повысится актуальность мероприятий, направленных на поддержание их работоспособности;

- доля индивидуальных (частных) автомобилей по-прежнему будет увеличиваться, усложнится конструкция АТ вследствие ужесточения требований к безопасности, что приведет к изменению при организации их ТО и ремонта;

- расширение предпринимательства даст повод к сосредоточению большого количества автомобилей на малых предприятиях. При этом такие предприятия

часто не располагают удовлетворительной производственно-технической базой, не говоря уже о персонале и технологиях для обеспечения требуемого уровня работоспособности АТ [3].

Таким образом, достоинства автомобильного транспорта, предопределяющие достаточно высокие темпы его развития, связаны с удобством его использования, а также с оперативностью (мобильностью) и гибкостью возможностей по перевозке пассажиров и доставке грузов. При этом данные свойства АТ зависят от уровня работоспособности и технического состояния автомобильного парка, которые зависят от надежности самих автомобилей и от мер по обеспечению их работоспособности в процессе эксплуатации, а также в существенной степени – от условий их эксплуатации.

1.2 Эксплуатационная надежность автомобильного транспорта и ее параметры

1.2.1 Классификация условий эксплуатации автомобильного транспорта и их влияние на надежность

Очевидно, что при использовании АТ достаточно важное значение имеют условия ее эксплуатации, которые в общем виде подразделяются на дорожные, природно-климатические и транспортные [19].

Дорожные условия эксплуатации АТ определяются интенсивностью движения, рельефом местности, типом дорожного покрытия, а также технической категорией дороги (от первой до пятой) [22]. Дорожные условия в различных регионах страны могут сильно отличаться друг от друга, при этом эти условия во многом определяют режимы работы различных систем и агрегатов АТ. Так, например, значительный износ и разрушение дорожного покрытия, по разным оценкам, могут снизить надежность автомобиля на 14-33 % [22]. Схожие цифры приводит в своей работе А. И. Туленов [24]: по его данным срок службы для АТ, постоянно используемой в особых дорожных условиях, понижается примерно на 30 % [24].

Таблица 1.1 – Влияние типа покрытия дороги на режим работы агрегатов грузовых автомобилей [1]

Параметры	Покрытие дороги				
	цементно- и асфальтобетон	битумные и минеральные смеси	щебеночные, гравийные	грунтовые, укрепленные	естественные грунтовые дороги
Средняя техническая скорость, км/ч	66	56	36	27	20
Среднее суммарное число оборотов коленчатого вала двигателя на 1 км пробега	2228	2561	2628	3185	4822
Среднее квадратичное отклонение угла поворота рулевого колеса, град	8	9,5	12	15	18
Число торможений на 1 км	0,24	0,25	0,35	0,42	0,9
Число переключений передач на 1 км	0,52	0,62	1,24	2,1	3,2
Число колебаний подвески с амплитудой более 30 мм на 100 км	68	128	214	352	625
Коэффициент сопротивления качению	0,014	0,02	0,032	0,04	0,08

Обширная территория РФ расположена в четырех различных климатических поясах. В рамках климатических поясов различают пять основных климатических зон. К первой зоне относятся области и районы южной территории РФ; ко второй – регионы, расположенные на западе и северо-западе страны, а также Приморский край; к третьей зоне – западная часть страны, большая часть Сибири и Дальнего Востока; в четвертую зону входят северные районы Сибири, Дальнего Востока и Урала, а также Якутия. К особой зоне относятся районы, расположенные за Полярным кругом, а также севернее широты 60° [22].

Анализ данных таблицы 1.2 показывает, что основная часть территории России находится в умеренном и холодном климатических районах. Зона холодного климата занимает площадь 13,9 млн км² (Сибирь и северные районы Европейской части России).

Таблица 1.2 – Районирование территории России по природно-климатическим условиям [42]

Административно-территориальная единица	Климатический район	Средняя $t_{o.g}$, °C	
		январь	январь
Республика Саха (Якутия) Область Магаданская	Очень холодный	-50...-30	2...18
Республики: Алтай, Бурятия, Карелия, Коми, Тува, Хакасия. Края: Алтайский, Красноярский, Приморский, Хабаровский. Области: Амурская, Архангельская, Иркутская, Камчатская, Кемеровская, Мурманская, Новосибирская, Омская	Холодный	-50...-30	2...25
Республики: Башкортостан, Удмуртская Области: Пермская, Свердловская, Курганская, Челябинская	Умеренно холодный	-30...-15	8...25
Республики: Северо-Осетинская, Адыгея, Дагестан, Ингушская, Карачаево-Черкесская, Кабардино-Балкарская, Край: Краснодарский, Ставропольский Области: Калининградская, Ростовская	Умереннотеплый, умереннотеплый влажный, теплый влажный	-8...-4	16...25
Остальные регионы России	Умеренный	-15...-8	8...25

Зона умеренного климата (6,8 млн км²) имеет наибольшую плотность населения, в ней сосредоточена и большая часть автомобильного парка страны. К эксплуатации же в условиях экстремально низких и высоких температур АТ приспособлена хуже. Вместе с тем средние температуры января на территории России меняются в пределах от 0 до -50 °C, июля – от +1 до +25°C, при этом экстремальные значения температур составляют -73 °C (Оймякон) и + 45,4 °C (Утта, Калмыкия). В этой связи исследователи отмечают, что минимальное число отказов конструктивных элементов АТ происходит при температурах, лежащих в интервале от -5 до +15°C [22], при этом для каждого агрегата АТ существует свой собственный оптимальный тепловой режим.

Зависимость интенсивности изнашивания различных узлов и агрегатов АТ и, как следствие, общего числа отказов, от температуры воздуха имеет минимум

именно при оптимальной температуре (рисунок 1.2) [1]. Так, например, минимальный износ двигателя соответствует температуре охлаждающей жидкости 70–90 °С, и т.д.

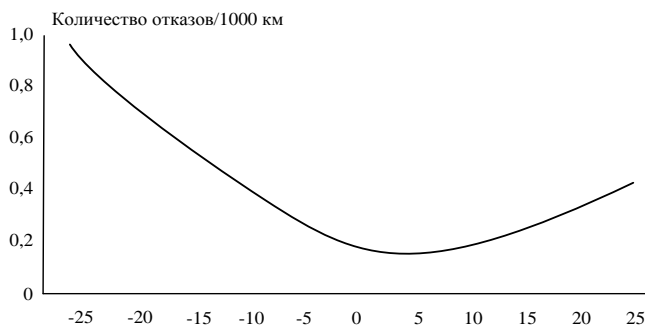


Рисунок 1.2 – Влияние температуры окружающего воздуха на изменение общего числа отказов и неисправностей (по данным НИИАТ) [1]

К иным природно-климатическим факторам, влияющим на надежность ДВС АТ, относятся влажность и запыленность воздуха, ветровая нагрузка, интенсивность атмосферных осадков, агрессивность окружающей среды и солнечная радиация, а также сезонность условий эксплуатации.

Влажность воздуха вкупе с температурой значительно оказывают влияние на изменение технического состояния АТ из-за коррозии конструкционных металлов. Завышенная влажность вызывает интенсивное развитие атмосферной коррозии клемм проводки, разных деталей, узлов и агрегатов, старение резинотехнических изделий. Совместное воздействие коррозионной среды и нагрузок понижает предел выносливости сплава, крепость и пластичность железных деталей [26].

Изменения запыленности воздуха в различных условиях могут достигать от 1 до 1000 мг/м³ и выше. Содержание пыли в воздухе при движении по шоссе составляет летом в среднем 15 мг/м³, а по грунтовым дорогам увеличивается до 6 000 мг/м³. Потеря видимости происходит при содержании пыли в воздухе около 1 500 мг/м³ [22, 24]. Попадание пыли – это основной источник абразивного

изнашивания. Огромный вред несут мелкодисперсные частицы пыли, которые не задерживаются фильтрующими элементами [22]. По данным [24] двигатель изнашивается от проникновения пыли в пределах от 33,9 до 78 %. При этом при постоянной работе в условиях запыленности интенсивность изнашивания деталей двигателя может оказаться критической [24].

Интенсивность атмосферных осадков также оказывает влияние на надежность АТ. Это связано с тем, что при наличии интенсивных осадков (снега, дождя) АТ, как правило, движется на пониженных передачах и малых скоростях, при этом чаще используется система торможения. Кроме того, в климатических зонах с повышенным уровнем атмосферных осадков из-за высокой влажности воздуха повышается коррозия металлов элементов конструкции АТ [22].

Ветровая нагрузка также влияет на надежность отдельных узлов и агрегатов АТ. Постоянный боковой ветер заставляет водителя воздействовать на рулевое колесо в одну сторону для соблюдения прямолинейного движения, что служит источником износа рулевого управления и шин. Кроме того, ветровая нагрузка влияет на тепловой режим и на скорость охлаждения двигателя, увеличивая ее в 2,5–3 раза по сравнению с безветренной погодой [22].

Солнечная радиация ускоряет процессы старения материала шин, вызывает выгорание лакокрасочных покрытий, а также размягчает все открытые резиновые уплотнения, нарушая их нормальное функционирование и приводят к усталостным трещинам.

Агрессивность окружающей среды характеризуется повышением коррозионной активностью воздуха, присущей прибрежным морским районам. При указанных условиях неизбежна интенсивная коррозия металлических деталей АТ. К агрессивной окружающей среде также относят различного рода химические грузы, перевозимые на АТ [22]. Высокая агрессивность окружающей среды при обосновании сроков проведения ТО АТ учитывается путем введения специальных поправочных коэффициентов 0,8 [27].

Высота над уровнем моря влияет, прежде всего, на выходные показатели двигателей АТ. Так, с повышением высоты из-за падения коэффициента

наполнения цилиндров двигателя снижается их мощность в силу уменьшения разницы между давлениями, создаваемыми в цилиндрах и атмосферным давлением.

В работе [29] приводится характерное распределение отказов автомобилей семейства КамАЗ при эксплуатации на Дальнем Востоке (рисунок 1.3 и рисунок 1.4).

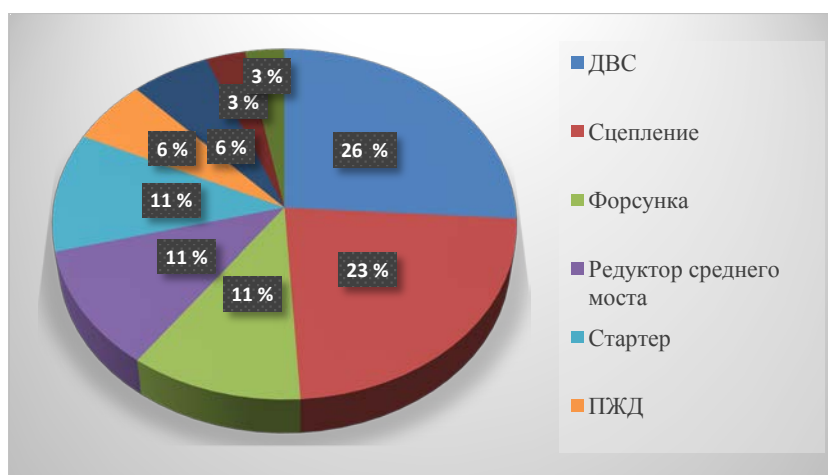


Рисунок 1.3 – Распределение отказов по агрегатам и системам автомобилей семейства КамАЗ при эксплуатации в ДФО

Сезонные условия эксплуатации, связанные с перепадами температуры, изменением дорожных условий, а также с появлением ряда дополнительных факторов (пыли летом, влаги и грязи осенью и весной), также оказывают существенное влияние на надежность АТ.

Очевидно, что все представленные выше условия эксплуатации АТ в своей совокупности оказывают достаточно существенное влияние на надежность агрегатов АТ, основным из которых является двигатель. По этой причине при организации ТО АТ, эксплуатирующийся в описанных выше условиях, во многих случаях оказывается целесообразным использование предупредительной (гибкой) стратегии ТО АТ.

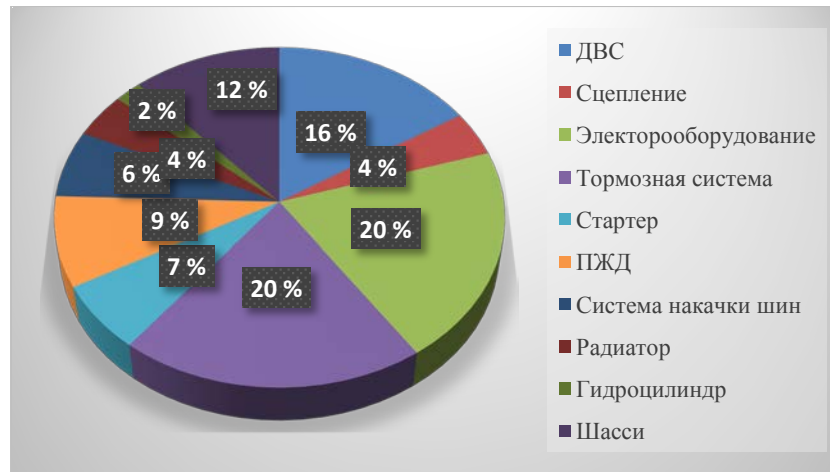


Рисунок 1.4 – Распределение отказов по агрегатам и системам самосвалов КамАЗ-65115 при эксплуатации в ДФО

Следует отметить, что природно-климатические условия воздействуют на все автомобили, эксплуатируемые в данном регионе, в то время как дорожные и транспортные условия эксплуатации АТ могут существенно различаться даже в рамках одного населенного пункта или района. В реальных условиях эксплуатации все рассмотренные выше факторы (транспортные, дорожные и природно-климатические) действуют на АТ в своей совокупности, оказывая комплексное влияние на ее надежность. Для учета такого совместного влияния разнородных факторов разработаны специальные показатели и критерии, позволяющие учесть воздействие на надежность АТ нескольких факторов одновременно. Так, для учета совместного влияния природно-климатических и дорожных условий эксплуатации в РФ выделено пять основных дорожно-климатических зон, для каждой из которых характерны примерно одинаковые климатические условия и приблизительно схожие показатели дорожных условий (таблица 1.3) [22]. Аналогичным образом для учета совокупного влияния дорожных и транспортных условий эксплуатации в РФ установлены пять различных категорий условий эксплуатации (таблица 1.9) [1].

Таблица 1.3 – Дорожно-климатические зоны России [22]

Дорожно-климатические зоны	Краткая характеристика зон
1	Холодная тундра, покрытая лесом, и вечная мерзлота
2	Леса с постоянно обильно увлажненными грунтами
3	Лесостепь с периодически обильно увлажненными грунтами
4	Лесостепь и отсутствие обильно увлажненных грунтов
5	Пустынные места с засушливым климатом и соленые грунты

Таблица 1.4 – Классификация дорог по рельефу местности [1]

Наименование	Обозначение	Высота над уровнем моря, м
Равнинные	P1	до 200
Слабохолмистые	P2	свыше 200 до 300
Холмистые	P3	свыше 300 до 1000
Гористые	P4	свыше 1000 до 2000
Горные	P5	свыше 2000

Таблица 1.5 – Классификация дорог по типу дорожного покрытия [1]

Обозначение	Наименование материала
Д1	Усовершенствованные капитальные (цементобетонные монолитные, железобетонные или армированные сборные, асфальтобетонные)
Д2	Усовершенствованные облегченные (битумные смеси – щебень, гравий, песок)
Д3	Переходные (щебень (гравий) без обработки, дегтебетон)
Д4	Переходные (из грунтов и местных каменных материалов, обработанные вяжущими материалами, мостовые из булыжника, зимники)
Д5	Низкие (грунт, укрепленный или улучшенный местными материалами; лежневое и бревенчатое покрытие)
Д6	Естественные грунтовые дороги, временные карьерные и отвальные дороги; подъездные пути, не имеющие твердого покрытия

Таблица 1.6 – Категории условий эксплуатации [1]

Условия движения	Тип рельефа местности	Тип дорожного покрытия					
		Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6
За пределами пригородной зоны (более 50 км от границы города)	P1						
	P2	I		II			
	P3						
	P4						
	P5						
В малых городах (до 100 тыс. жителей) и пригородной зоне	P1						
	P2	II					
	P3						
	P4			III		IV	V
	P5						
В больших городах (более 100 тыс. жителей)	P1						
	P2						
	P3						
	P4						
	P5						

1.2.2 Анализ влияния условий эксплуатации в различных регионах России на техническое состояние двигателей внутреннего сгорания

Надежность узлов и агрегатов АТ рассчитывается, как правило, исходя из неких усредненных условий эксплуатации АТ. При этом многие производители АТ, в особенности зарубежные, при обосновании нормативов по периодичности и объему ТО АТ не всегда учитывают специфики эксплуатации АТ в тех или иных регионах нашей страны (местных условиях). В то же время эти условия эксплуатации в силу их существенного влияния на надежность АТ часто оказываются достаточно важными, и их необходимо учитывать. Рассмотрим их более подробно.

В предыдущем разделе было отмечено, что на АТ в ходе ее эксплуатации действует, как правило, целая совокупность различного рода условий и факторов, оказывающих комплексное влияние на ее надежность. Тем не менее, среди этих условий эксплуатации в целом можно выделить наиболее часто встречающиеся и оказывающие наибольшее влияние на надежность АТ условия эксплуатации АТ, и в силу этого – наиболее хорошо изученные и освещенные в научных

публикациях и работах. К таким условиям эксплуатации АТ относятся, в первую очередь, ее эксплуатация при низких и высоких температурах, а также эксплуатация в наиболее сложных (песчаных и горных) условиях.

Особенности эксплуатации АТ при низких температурах были подробно описаны в работе Е. В. Агеева[21]. Автор отмечает, что к условиям можно отнести все климатические районы России, кроме умеренного. Сочетание нескольких различных неблагоприятных факторов является основной характеристикой условий эксплуатации АТ. Низкая температура окружающего воздуха и более тяжелые дорожные условия (снежные заносы, обледенение и др.), а также метели, ветер характеризуют холодные климатические районы севера и северо-востока страны. В работах [26, 27] показано, что в условиях низких температур свыше пяти месяцев в году работает более 60 % АТ, при этом отсутствует приспособленность АТ для работы в этих условиях. В северных регионах страны число отказов АТ в несколько раз больше, чем в условиях средней полосы, а также в 1,5-2 раза увеличивается число отказов, приходящееся на двигатель внутреннего сгорания в зимних условиях. В работе [21] приводится характерное распределение отказов АТ в течение года в соответствии с рисунком 1.5.

Низкие температуры приводят к изменению физико-механических свойств конструкционных сталей, металлических сплавов, пластмасс, резины и других материалов, что вызывает частые поломки узлов и деталей.

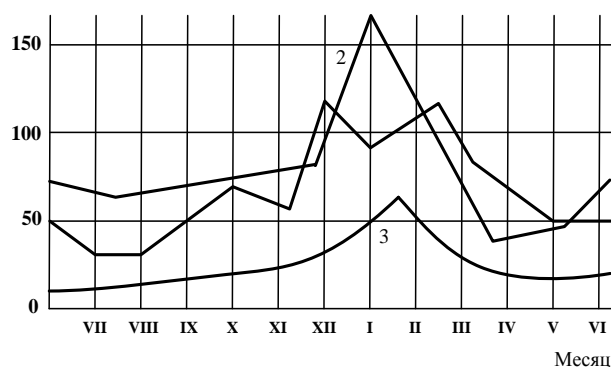


Рисунок 1.5 – Распределение отказов агрегатов и систем АТ по месяцам года: 1 – двигатель, 2 – подвеска, 3 – рулевой механизм

В работе [30] приводится характерное распределение отказов автомобилей семейства КамАЗ (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Распределение отказов по системам в %

Система	% отказов
Тормозная система	18,63
Электрооборудование	13,82
Двигатель	11,76
Ходовая часть	10,84
Кабина, ее оборудование и оперение	7,91
Система питания	6,63
Система охлаждения	6,38
Рулевое управление	5,77
Колеса, ступицы	3,59
Система выпуска газа	3,12
Приборы	2,91
Сцепление	2,46
Коробка передач	2,15
Прочие	4,67

Выход из строя узлов и деталей тормозной системы, электрооборудования, двигателя, трансмиссии, ходовой части происходит наиболее часто. Более 50% всех отказов приходится на системы, отвечающие за безопасность на дорогах.

Результаты проведенных исследований показывают, что тепловой режим двигателя и его агрегатов оказывает существенное влияние на срок службы автомобиля в целом. Этот режим определяется температурой окружающего воздуха, степенью нагрузки и скоростью автомобиля [26, 27].

Вопросами повышения надежности АТ при ее эксплуатации в условиях низких температур занимались В. В. Ионов, П. П. Ощепков, С.Н. Павлишин, Р.Р. Зинатуллин и другие ученые. В работе [28] произведен анализ основных причин отказов различных агрегатов автомобилей КамАЗ в условиях северо-востока РФ. В работе [30] исследовались вопросы оценки влияния надежности автомобиля КамАЗ на безопасность на дорогах в условиях Севера [30]. Проведенный анализ

имеющихся по данному направлению работ позволяет сделать вывод о том, что для повышения надежности АТ и эффективности ее технической эксплуатации в целом большинство исследователей рекомендуют производить корректировку периодичности и объема нормативов ТО АТ при ее эксплуатации в условиях низких температур [21, 28, 30]. Для различных районов страны могут быть использованы разные коэффициенты, корректирующие периодичность проведения ТО АТ. Так, для умеренного, умеренно теплого, умеренно теплого влажного и теплого влажного климатических районов этот коэффициент равен 1, для жаркого сухого и очень жаркого сухого, а также для умеренно холодного и холодного районов – 0,9, для очень холодного – 0,8 [27].

Особенности эксплуатации автомобилей при высоких температурах. Высокие температуры воздуха вызывают частые перегревы двигателя. В результате при высокой температуре наружного воздуха, превышающей отметку 40°C, мощность двигателя на 12 % уменьшается, а расход топлива увеличивается на 17,5 % [25]. Перегреваются приборы системы электрооборудования, особенно в подкапотном пространстве, что приводит к возникновению более частых отказов [25].

Таким образом, при эксплуатации АТ в условиях жаркого климата (повышенных температур) влияние описанных выше факторов приводит к снижению надежности АТ. Следовательно, для поддержания показателей надежности АТ в заданных (требуемых) пределах при ее эксплуатации в данных условиях целесообразна соответствующая корректировка сроков проведения ТО ДВС.

Особенности эксплуатации автомобилей в горной местности.

В таких условиях в пределах сравнительно коротких участков дороги могут существенно отличаться природные условия: от зимнего в зоне вечных снегов до летнего климата у подножия горы [25]. Наполнение цилиндров уменьшается, понижается мощность двигателей, происходит процесс ухудшения сгорания вследствие увеличения высоты подъема, при котором уменьшаются давление и плотность воздуха. Кроме того, снижение плотности воздуха является одной из

причин ухудшения топливной экономичности двигателей (переобогащение рабочей смеси в карбюраторных двигателях). Срок службы двигателей уменьшается, приводя к ускоренному износу деталей, так как топливо при этом сгорает не полностью, смывает масляную пленку со стенок цилиндров, разжижает масло, уменьшая его вязкость и смазывающую способность [25].

Таблица 1.8 – Распределение отказов по агрегатам и системам автомобилей КамАЗ-5511 в различных условиях эксплуатации, % [21]

Агрегат и система	Местность	
	горная	равнинная
Двигатель	21,5	14,7
Сцепление	4,9	6,3
Коробка передач	1,7	7,1
Карданная передача	3,8	6,3
Ведущие мосты	3,4	7,1
Рама	0,3	-
Подвеска	9,6	5,4
Передняя ось	2,3	6,7
Колеса и ступицы	12	7,5
Рулевое управление	3,5	6,2
Тормозная система	16,7	10,3
Электрооборудование	11	12,5
Платформа	4,9	6,3
Кабина	4,4	3,6

В таких условиях в пределах сравнительно коротких участков дороги могут существенно отличаться природные условия: от зимнего в зоне вечных снегов до летнего климата у подножия горы [25]. Наполнение цилиндров уменьшается, понижается мощность двигателей, происходит процесс ухудшения сгорания вследствие увеличения высоты подъема, при котором уменьшаются давление и плотность воздуха. Кроме того, снижение плотности воздуха является одной из причин ухудшения топливной экономичности двигателей (переобогащение рабочей смеси в карбюраторных двигателях). Срок службы двигателей уменьшается, приводя к ускоренному износу деталей, так как

топливо при этом сгорает не полностью, смывает масляную пленку со стенок цилиндров, разжижает масло, уменьшая его вязкость и смазывающую способность [25].

Очевидно, что должно проводиться ресурсное и оперативное корректирование соответствующих нормативов технической эксплуатации для поддержания надежности ДВС и автомобиля в целом при ее эксплуатации в горной местности, как и для других условий эксплуатации АТ [21]. Это связано с тем, что надежность узлов и агрегатов АТ, как правило, рассчитывается производителем исходя из неких усредненных условий эксплуатации АТ. В то же время эти условия эксплуатации АТ обязательно должны быть учтены, поскольку на практике оказывается, что их влияние на надежность на ДВС АТ достаточно велико.

1.2.3 Закономерности изменения определяющих параметров двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта

Безопасность при использовании АТ обеспечивается, прежде всего, техническим состоянием узлов и агрегатов (совокупностью изменяющихся параметров ее составных частей) [42].

В зависимости от условий эксплуатации на автомобиль воздействует множество различных механических, физических и химических факторов (внешних и внутренних). К внутренним факторам относят процессы, происходящие при работе автомобиля, а также квалификацию водителей и обслуживающего персонала, к внешним – природно-климатические, дорожные условия и пр. Факторы, влияющие на техническое состояние АТ при ее эксплуатации, по своей природе случайны [42]. При этом основными постоянно действующими причинами изменения технического состояния автомобиля, его агрегатов и механизмов можно отнести изнашивание [42].

Детали ДВС АТ подвержены практически всем видам изнашивания, которые делят на три основные группы: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое [42].

Для оценки качества, надежности и других свойств ДВС АТ могут быть использованы различные параметры (в общем виде они подразделяются на структурные, конструктивные и диагностические) [1]. Конструктивные параметры характеризуют качественную меру проявления технического состояния ДВС АТ и ее составных частей по геометрическим характеристикам изделий (по размерам деталей, их положению относительно друг друга и т.п.), а диагностические – по косвенным признакам [1].

На рисунке 1.6 представлена классификация основных видов изнашивания деталей.

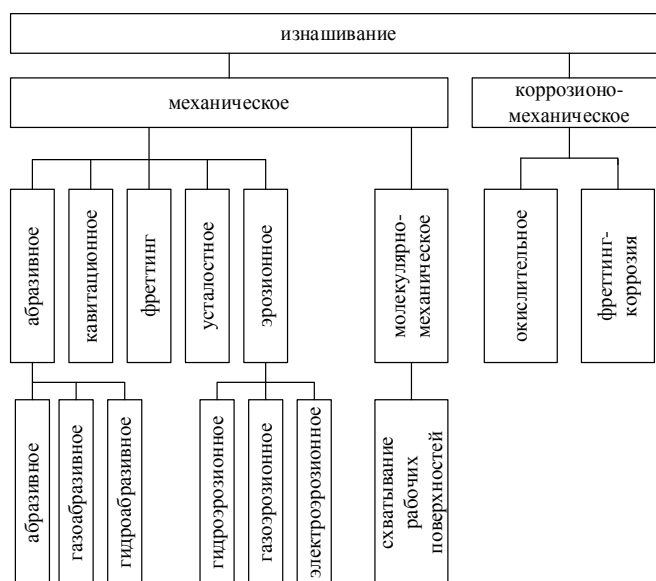


Рисунок 1.6 – Виды изнашивания деталей [1]

Детали ДВС АТ подвержены практически всем видам изнашивания, которые делят на три основные группы: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое [42].

Для оценки качества, надежности и других свойств ДВС АТ могут быть использованы различные параметры (в общем виде они подразделяются на

структурные, конструктивные и диагностические) [1]. При этом под параметром в общем виде понимается качественная мера, характеризующая свойства объекта, определенная конкретным процессом [1]. Конструктивные параметры характеризуют качественную меру проявления технического состояния ДВС АТ и ее составных частей по геометрическим характеристикам изделий (по размерам деталей, их положению относительно друг друга и т.п.), а диагностические – по косвенным признакам [1].

Для каждого из описанных выше параметров можно выделить его номинальную, допустимую, предельную и текущую величину. Номинальная величина параметра характеризует объект как новый. Под допустимой величиной параметра принимается значение, при котором объект (узел, агрегат АТ) годен к дальнейшей эксплуатации. Предельная величина параметра – это значение параметра, при которой дальнейшая эксплуатация прекращается. Текущая величина параметра – это измеренное (установленное) значение в процессе диагностирования, ремонта или ТО [1].

Понятие определяющих параметров ДВС АТ. Анализ и обобщение материалов, имеющихся по данной теме работ, позволяют сделать вывод о том, что среди многих десятков количественных параметров двигателя при эксплуатации в различных условиях можно выделить ряд наиболее важных – так называемых определяющих – параметров (диагностических, структурных, конструктивных), от которых преимущественно и зависит работоспособность ДВС в данных условиях. При этом достижение этим определяющим параметром (ОП) своих предельных значений непосредственно сказывается на надежности двигателя (приводит к возникновению отказа). В настоящее время вопросы о том, какой из множества параметров будет являться определяющим для конкретных условий эксплуатации и для конкретных типов ДВС, несмотря на важность актуальность проблемы, к сожалению, исследованы недостаточно глубоко и требуют дополнительного изучения. Тем не менее, имеющиеся по данной теме работы с достаточной уверенностью позволяют сделать вывод о том, что описанные выше условия эксплуатации характерны для

существенной части автомобильного парка, используемой на большей части территории страны – например, для грузовой и пассажирской АТ, используемой в регионах РФ со сложными природно-климатическими условиями, для военной техники, для которой важность выполнения поставленной задачи зачастую оказывается неизмеримо важнее, чем обеспечение целостности автотранспорта, поскольку поставленные задачи зачастую должны быть выполнены и выполняются любой ценой [2], и т.д.

Использование АТ в рассмотренных выше условиях приводит к ускоренному изменению значений ряда наиболее важных (определяющих) параметров ДВС АТ. При этом скорость такого изменения значений параметров за счет старения материалов, ускоренного износа узлов и деталей повышается, приводя к возникновению преждевременных отказов ДВС. Следовательно, для каждого конкретного условия эксплуатации необходимо изучение закономерностей постепенного изменения значений параметров двигателя и их дальнейший анализ с целью недопущения выхода их значений за установленные пределы (отказа).

Следует заметить, что для успешного решения задач прогнозирования, помимо указанных выше критериев предельного состояния, необходимо знать еще и закономерность изменения параметров во времени. С учетом возможного влияния на техническое состояние ДВС совокупности описанных выше внешних и внутренних случайных факторов (условий эксплуатации АТ) становится очевидным, что применяемые при оценке надежности методы прогнозирования должны учитывать вероятностную природу изменения во времени значения параметров. Это связано с тем, что многообразие влияющих на техническое состояние факторов и их случайный характер также делают зависимость изменения параметров ДВС во времени случайным процессом (СП), а ту или иную конкретную реализацию ее на практике – одной из возможных реализаций этого СП. Вместе с тем, проведенный анализ ряда работ литературы [1, 22, 42] позволяет сделать обоснованный вывод о том, что на практике в подавляющем большинстве случаев могут быть выделены некоторые обобщенные (типовые)

закономерности постепенного изменения параметров ДВС АТ, характерные для тех или иных условий эксплуатации АТ.

Исследователи отмечают, что процесс постепенного изменения параметров двигателя в зависимости от времени или пробега характеризуется плавным и монотонным изменением. При этом характер зависимости может быть различным – как линейным, так и нелинейным. Постепенные отказы на практике достаточно описываются двумя видами аналитических функций: целой рациональной функцией n -го порядка

$$y = a_0 + a_1 \cdot L + a_2 \cdot L^2 + a_3 \cdot L^3 + \dots + a_n \cdot L^n \quad (1.1)$$

и степенной функцией

$$y = a_0 + a_1 \cdot L^b, \quad (1.2)$$

где a_0 – начальное значение параметра; $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, b$ – коэффициенты, определяющие характер и степень зависимости параметра от времени.

Так, например, достаточно часто закономерности изменения параметров АТ (например, зазора между накладками и тормозными барабанами, свободного хода педали сцепления и других параметров, таблица 1) описываются линейными уравнениями вида $y = a_0 + a_1 \cdot L^b$,

где a_1 – коэффициент, характеризующий интенсивность изменения параметра с течением времени и зависящий от конструкции и условий эксплуатации изделий.

Следует отметить, что в общем виде при использовании линейной модели случайными могут быть как один из коэффициентов a_0 и a_1 , так и оба этих коэффициента одновременно.

Так, например, первая модель (т.н. «веерная») имеет достаточно широкое применение при ресурсных испытаниях узлов трения [1]. Эта модель соответствует случаю, когда начальное значение параметра (например, после

проведения ТО) было одинаковым для всей группы АТ, а в дальнейшем под влиянием различных условий эксплуатации скорость изменения этого параметра также была различной (неодинаковой) и случайной. Вторая модель соответствует случаю, когда АТ эксплуатируется в примерно одинаковых условиях и значения параметров изменяются во времени примерно с одинаковой скоростью, но начальное значение этих параметров при начале эксплуатации ДВС было различным (случайным). Наконец, третья модель соответствует случаю, когда оба коэффициента линейной модели (и a_0 , и a_1) – неодинаковы и случайны, т.е. и условия эксплуатации, и начальное значение ее параметров были различными.

Помимо линейных моделей для описания процесса изменения значений параметров на практике могут использоваться и иные модели – например, логарифмическая, экспоненциальная и другие, более сложные, нелинейные (степенные) зависимости изменения параметров ДВС от времени. Так, например, нагрузочный режим работы двигателя характеризуется постоянством частоты вращения коленчатого вала двигателя и изменением нагрузки. При увеличении же нагрузки (повышении подачи топливо-воздушной смеси) интенсивность изнашивания деталей двигателя увеличивается на практике прямо пропорционально, то есть степень возрастания давления и вызванные этим износы поверхностей деталей цилиндра-поршневой группы и всего кривошипно-шатунного механизма прямо пропорциональны [22]. Скоростной режим работы двигателя характеризуется, наоборот, постоянством нагрузки и изменением частоты вращения коленчатого вала двигателя. С увеличением частоты вращения коленчатого вала повышаются износы поверхностей трущихся деталей двигателей, при этом зависимости между износами деталей и частотой вращения имеют степенной (нелинейный) характер [22].

Величина износа деталей ДВС увеличивается в течение всего пробега, но интенсивность такого изнашивания будет различной на разных этапах эксплуатации. Детали после сборки сопрягаются по выступам микронеровностей, образовавшихся при изготовлении. Размеры деталей имеют отклонения в

пределах заданных допусков, поэтому происходит их приработка. На данном этапе закономерность изменения интенсивности изнашивания деталей от времени имеет нелинейный характер.

Таким образом, зная функцию, описывающую закономерность постепенного изменения значений параметров двигателя и предельно допустимое значение такого параметра, в ряде случаев можно аналитически (хотя и в достаточной степени приближенно) определить остаточный ресурс и, следовательно, и периодичность его обслуживания. Так, например, П. П. Ощепковым были предприняты попытки выявить и описать временной дрейф показателей надежности автомобилей КамАЗ в условиях низких температур уравнениями при помощи корреляционно-регрессионного анализа [30]. Однако полученные им уравнения не учитывают влияния на надежность других условий эксплуатации АТ (дорожных и транспортных) и не позволяют получить аналитические зависимости для плотности распределения времени до отказа и вероятности безотказной работы АТ на заданном интервале времени. Схожий подход использовался и при определении оптимальной периодичности проведения ТО АТ при помощи уравнений регрессии в работе А. Н. Макаровой [43], и т.д. Очевидно, что в силу совокупного влияния на техническое состояние АТ множества случайных факторов и, как следствие – случайности коэффициентов указанных моделей, точность такого упрощенного определения остаточного ресурса изделий и оптимальной периодичности проведения ТО АТ будет недостаточной высокой.

Для обеспечения надежности АТ при ее эксплуатации в различных условиях необходимо изучение закономерностей постепенного изменения значений параметров ДВС и разработка на их основе моделей. При этом необходимо учитывать, что такое изменение параметров во времени представляет собой случайный процесс, и исследование присущих ему закономерностей должно опираться на соответствующие методы теории вероятностей и математической статистики. При этом наиболее полными (исчерпывающими) характеристиками времени достижения контролируемыми параметрами своих предельно

допустимых (нормированных) значений будут являться плотность распределения времени до отказа (ПРВ) и вероятность безотказной работы (ВБР) на заданном интервале времени. В свою очередь, полученные аналитические выражения для ПРВ и ВБР позволят в дальнейшем сформировать частный и обобщенный показатели эффективности функционирования ДВС и далее на их основе – определить оптимальный (по тому или иному критерию) период проведения ТО. Разработанный в рамках данного диссертационного исследования подход к решению данной задачи будет изложен в третьей главе работы.

Применение описанного выше подхода к определению научно обоснованных значений периодичности проведения ТО на практике позволит осуществить переход от плановой системы ТО к ее гибкой стратегии.

1.3 Проблемы организации и перспективы развития гибкой системы технического обслуживания автомобильного транспорта

По данным [1], в настоящее время негосударственным собственникам и малым предприятиям в РФ принадлежит 77 % автомобильного парка России, в том числе 73 % – грузового, 98 % – легкового и 55 % – автобусного. В обязанности владельцев входит обеспечить техническое состояние автомобилей в соответствии с действующей нормативно-правовой базой. Однако на практике при организации и проведении ТО данного транспорта часто возникает ряд достаточно актуальных проблем.

У большинства описанных выше собственников АТ отсутствуют условия (оборудование и персонал) для поддержания требуемого технического состояния автомобилей. При этом более 60 % всех автомобилей находятся в эксплуатации более 15 лет. Схожие данные приводятся в отчетах Минтранспорта: средний возраст АТ общего пользования составляет 12,7 лет [6, 8]. Предприятия не имеют четко узаконенных обязательств применять систему ТО и ремонта, а данных, представляемых ими для получения лицензии на проведение ТО и ремонта АТ, недостаточно, чтобы качественно выполнить определенный объем работ. Все это

говорит о неконтролируемой эксплуатации АТ. Ухудшилось техническое состояние автомобильного парка, увеличилось количество ДТП, вызванных неисправностью автомобилей. По данным НИИ АТ при проверке состояния автомобилей в различных регионах свыше 30 % автомобилей из более 105 тыс. проверенных имели неисправности и отказы, которые запрещали дальнейшую эксплуатацию согласно ПДД. По тем же данным вклад системы ТО и ремонта в эффективность технической эксплуатации АТ составляет не менее 25 %. В этой связи для повышения надежности АТ и безопасности ее эксплуатации необходимо использование научно обоснованного подхода к разработке и обоснованию гибкой системы ТО.

Однако, как показывает практика, разработка такой гибкой системы ТО – сложная задача. Эта работа, как правило, является результатом теоретических и экспериментальных исследований, обобщения имеющегося отечественного и зарубежного опыта, а также прогноза развития конструкции и надежности автомобилей[1].

С термином ТО тесно связано также понятие стратегии ТО – системы правил управления техническим состоянием изделия в процессе ТО. Целью стратегии ТО является выбор управления техническим состоянием изделий в течение их срока службы, позволяющего обеспечить заданный уровень готовности изделий к использованию по назначению, их работоспособность в процессе эксплуатации, минимальные затраты времени, труда и средств на выполнение ТО [2].

Разработке стратегий обслуживания технических систем посвящено достаточно большое количество литературы. При этом современные стратегии обслуживания подразделяются на три вида [2]:

1. Обслуживание оборудования после выхода его из строя. Оборудование эксплуатируется до ее выхода из строя. В основном это касается недорогого вспомогательного оборудования.

2. Обслуживание оборудования по регламенту. Этот вид предусматривает два возможных правила: проведение ТО после выработки ресурса по

определенному показателю (ТО по выработке ресурса – например, ТО отдельных узлов и агрегатов АТ через каждые 10 тыс. км пробега) или проведение ТО через фиксированные сроки (календарное обслуживание – например, ежегодное ТО) [70].

3. Обслуживание по состоянию, при котором перечень и периодичность выполнения операций определяется фактическим техническим состоянием объекта в момент начала ТО. Для определения периодичности проведения ТО при обслуживании по состоянию используются сведения о закономерностях процессов изменения параметров их элементов и данные контроля этих параметров. Такой подход позволяет обеспечить требуемое качество функционирования технических объектов при устранении недостатков, присущих ТО по регламенту [48].

Высокая эффективность методов обслуживания по состоянию достигается за счет предупреждения в процессе ТО большего, по сравнению с другими видами ТО, числа отказов ДВС, которое реализуется на практике посредством прогнозирования технического состояния. Прогнозирование позволяет исключить преждевременные вмешательства в его работу и снизить затраты на обслуживание за счет возможности эксплуатировать контролируемый объект до снижения работоспособности. Разработка гибких стратегий ТО применительно к ДВС позволят обеспечить постоянное нахождение значений ОП в пределах нормы, предотвращая тем самым как выход из строя отдельных узлов, так и отказ двигателя в целом. При этом описанный выше подход к определению параметров ТО как этапа эксплуатации АТ может быть реализован совместно со статистическим подходом, например, использоваться для корректирования ТО по регламенту. При этом ТО ДВС, проводимое по гибкой стратегии, в отличие от обслуживания по регламенту, позволит учесть такие факторы, как техническое состояние и условия эксплуатации АТ для каждого конкретного случая [2].

Необходимыми организационными условиями применения ТО по состоянию являются экономическая целесообразность, наличие приборной базы, наличие методики прогнозирования технического состояния, обученный персонал

и контроле пригодность оборудования. Необходимым техническим условием применения ТО по состоянию является наличие контролируемых параметров, которые являются определяющими для обеспечения работоспособности [2, 49].

Описанные в предыдущем подразделе работы условия эксплуатации АТ оказывают существенное влияние на надежность ДВС АТ, приводят ускоренным износам и преждевременным выходам из строя. Очевидно, что такие преждевременные отказы двигателя обусловлены более ранним достижением параметрами своих предельно допустимых (нормированных) значений, и для предотвращения этих отказов необходимо постоянно поддерживать параметры АТ в заданных (установленных нормативно-технической документацией) пределах. Эта задача может быть успешно решена путем организации гибкой стратегии ТО с оптимальной по заданным критериям периодичностью, основанных на использовании методов вероятностного прогнозирования. Рассчитанная же для усредненных (типовых) условий эксплуатации периодичность проведения ТО не полностью учитывает условия эксплуатации АТ, случайность воздействующих на техническое состояние ДВС факторов и часто не позволяет предотвратить его отказ.

Проведенные исследования показывают, что именно ДВС надежность которого существенно зависит от конкретных природно-климатических и (или) дорожно-транспортных условий эксплуатации является основным агрегатом АТ, оказывающий наибольшее влияние на надежность АТ в целом. Для обеспечения заданной надежности двигателей внутреннего сгорания целесообразно организовать своевременное ТО и диагностирование. При этом на практике наибольшую ценность, как правило, представляют те методы, которые достаточно просты при реализации, и при этом позволяют получить полную и качественную оценку состояния ДВС [7].

Таким образом, к наиболее важным факторам условий эксплуатации, изменяющимся в широких пределах, относятся климатические и дорожные условия. При этом условия эксплуатации автомобильной техники неминуемо влияют на режимы работы ДВС, ускоряя или замедляя изменение параметров

технического состояния техники в целом. Ко всем ранее перечисленным факторам, оказывающим влияние на эксплуатацию ДВС и автомобиля в целом, необходимо добавить недостаточно высокий уровень и квалификацию как самих водителей, так и обслуживающего технического персонала.

Все указанные выше обстоятельства приводят к тому, что рассчитанные для типовых (усредненных) условий эксплуатации сроки проведения технического обслуживания (ТО) по пробегу, приведенные в технической документации, зачастую оказываются недостаточно обоснованными. Это приводит к ускоренному износу деталей, досрочному выходу узлов и агрегатов из строя и в конечном итоге – к снижению коэффициента готовности автомобильного парка в целом и к повышению непроизводительных затрат на его эксплуатацию (увеличению затрат на ремонт и восстановление работоспособности автомобилей). В связи с этим для решения основных задач технической эксплуатации автомобильного транспорта необходимо изучение закономерностей изменения технического состояния ДВС под влиянием различных факторов в процессе эксплуатации автотехники [8, 10].

Для реальных условий эксплуатации АТ, как правило, характерно одновременное сочетание сразу нескольких влияющих на надежность ДВС неблагоприятных факторов и условий. При этом вопросы эксплуатационной надежности АТ при функционировании в таких условиях, к сожалению, в имеющейся литературе исследованы недостаточно глубоко.

Действующие в настоящее время подходы предусматривают, что при определении оптимальной периодичности проведения технического обслуживания (ТО) различных узлов и агрегатов АТ для каждой из описанных выше категорий (групп) условий эксплуатации должны быть использованы специальные поправочные коэффициенты. Однако проведенный анализ ряда работ по данной тематике позволяет сделать вывод о том, что действующая (наиболее широко распространенная) в настоящий момент система организации ТО АТ «по пробегу» (т.н. «обслуживание по ресурсу»), как правило, не

учитывает указанных выше условий эксплуатации АТ и ориентирована лишь на измеряемый в километрах пробег автомобиля [2–4].

Пробег автомобиля, бесспорно, является достаточно важным фактором для ТО его ходовой части и подвески, однако необходимость проведения ТО двигателя как правило обуславливается другим критерием, а именно количеством оборотов коленчатого вала двигателя. Только от количества оборотов вала двигателя зависит износ всех трущихся механизмов двигателя, амортизация ремней (генератора, ГРМ, помпы системы охлаждения и др.), загрязнение фильтров (топливного, масляного, воздушного, салонного), загрязнение технических жидкостей, главным из которых является моторное масло. Чем больше оборотов сделает двигатель, тем быстрее изнасятся ремни, больше накопится грязи на фильтрах и тем быстрее «сгорит» моторное масло, и при этом не зависимо от того стоит автомобиль на месте, находится в пробке или движется по автостраде.

Все вышесказанное доказывает, что традиционный способ имеет существенный недостаток - невозможность точного определения проведения ТО ДВС автомобиля. Для повышения точности определения периодичности ТО ДВС предлагается внедрение специально разработанного устройства, учитывающее количество оборотов коленчатого вала, описание которого приведено в 4 главе. При этом данное устройство можно будет устанавливать не только на вновь производимые автомобили, но и на автомобили с пробегом.

1.4 Выводы по первой главе

В настоящее время АТ играет важную роль в транспортном комплексе страны и в народном хозяйстве в целом, при этом достоинства автомобильного транспорта, предопределяющие достаточно высокие темпы его развития, во многом определяются уровнем работоспособности и техническим состоянием автомобильного парка, зависящими, во-первых, от надежности отдельных узлов и агрегатов, во-вторых, от мер по обеспечению их работоспособности в процессе

эксплуатации, а также в существенной степени – от условий их эксплуатации. При использовании АТ в различных условиях ее эксплуатации (дорожных, транспортных, природно-климатических) на ее техническое состояние ДВС оказывает существенное влияние совокупность различного рода (внешних и внутренних) случайных факторов, при этом такое влияние приводит к постепенному изменению с течением времени значений контролируемых параметров. Достижение этими параметрами своих предельно допустимых значений за счет старения материалов, ускоренного износа узлов и деталей и т.п. со временем приводит к отказу ДВС, при этом в ходе эксплуатации АТ в различных условиях интенсивность преждевременных отказов существенно увеличивается. Очевидно, что такие преждевременные отказы ДВС обусловлены более ранним достижением параметрами узлов и деталей своих предельно допустимых (нормированных) значений, и для предотвращения этих отказов необходимо постоянно поддерживать параметры двигателя в заданных (установленных нормативно-технической документацией) пределах. Следовательно, для каждой конкретной условий эксплуатации необходимо изучение закономерностей изменения во времени значений контролируемых параметров ДВС и их дальнейший анализ с целью недопущения выхода этих значений за установленные пределы (отказа). Эта задача может быть успешно решена путем организации гибкой стратегии ТО ДВС АТ с оптимальной по заданным критериям периодичностью, основанной на использовании методов вероятностного прогнозирования.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ПОМОЩИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ

2.1 Классификация и сравнительный анализ основных методов прогнозирования

В предыдущем разделе было показано, что обоснование периодичности проведения ТО ДВС тесно связано с прогнозированием времени достижения контролируемыми параметрами своих предельных значений. При этом смысл прогнозирования заключается в том, что по результатам измерений значений параметров различных узлов и агрегатов АТ делают научно обоснованные выводы об их потенциальной надежности.

Прогнозирование может быть индивидуальным и групповым, при этом оценка надежности производится соответственно либо для каждого конкретного ДВС, либо для всей исследуемой группы ДВС АТ в целом [71]. При этом для каждого из данных видов прогнозирования используется соответствующий математический аппарат [50-52].

В общем случае методы прогнозирования делятся на три класса. Фактографические (формализованные) основаны на уже имеющемся информационном материале об объекте прогнозирования и его прошлом развитии, а экспертные (интуитивные) методы – на информации, которую представляют эксперты. Иногда в отдельный класс дополнительно выделяют еще и комбинированные методы [18, 50].

В свою очередь, фактографические методы подразделяются на три подкласса. Самый распространенный из них - статистический метод, который объединяет совокупность методов обработки количественной информации об объекте прогнозирования по принципу выявления содержащихся в ней закономерностей развития и математических взаимосвязей характеристик с целью получения прогнозных моделей. Данные методы прогнозирования включают методы экстраполяции и методы статистической классификации [50, 53].

Экстраполяция дает возможность перенести на будущее тенденции прошлого. Прогнозирование экстраполяцией предпочтительнее, если имеется достаточная информация о конкретном объекте. В зависимости от используемого математического аппарата существует два вида прогнозирования экстраполяцией [48, 50]:

1. Аналитическое прогнозирование сформировано на применении экстраполяционных полиномов (Лагранжа и Ньютона) или на уравнениях регрессии.

2. Вероятностное прогнозирование, построенное на теории вероятностей.

Определение времени безотказной работы обслуживаемого объекта – это цель аналитического прогнозирования. Однако часто необходимо знать не только время безотказной работы ДВС, но и более полную характеристику – плотность распределения времени достижения контролируруемыми параметрами ДВС своих предельных значений. Данную характеристику можно получить только при помощи вероятностных методов прогнозирования (рисунок 2.1) [53].



Рисунок 2.1 – Классификация методов вероятностного прогнозирования экстраполяцией

При реализации прогнозирования экстраполяцией задачей является

получение количественной оценки значения прогнозируемого параметра. Однако в научно-исследовательских задачах должны использоваться методы прогнозирования, позволяющие получить именно количественную прогнозную оценку параметра (так называемое оценивание) [53]. При таком прогнозировании критерием оптимальности является, как правило, минимум так называемой дисперсии ошибки прогнозирования $D[\tilde{y}(t_{\text{пр}}) - \dot{y}(t_{\text{пр}})]$ – отклонения прогнозируемых значений $\dot{y}(t_{\text{пр}})$ от фактических (измеренных) значений $\tilde{y}(t_{\text{пр}})$, т.е.

$$D[\tilde{y}(t_{\text{пр}}) - \dot{y}(t_{\text{пр}})] \rightarrow \min.$$

На практике задача прогнозирования экстраполяцией может быть решена как параметрическими, так и непараметрическими методами. При этом, недостатками непараметрических методов, ограничивающими их использование, является необходимость обоснования репрезентативности обучающей выборки, а также то обстоятельство, что при любых статистически значимых изменениях (например, технологического процесса, условий эксплуатации изделий) требуется проведение нового обучающего эксперимента и экзамена [53].

На рисунке 2.1 показано, что в том случае, когда искомая многомерная плотность распределения СП заранее неизвестна, для решения задачи прогнозирования путем экстраполяции используется подход, который основан на использовании КД-модели случайного процесса и требует знания вида этой модели и законов распределения входящих в нее коэффициентов. Если же вид модели и плотности распределения входящих в нее коэффициентов заранее неизвестны, то их можно получить обработкой экспериментальных данных.

Невозможность учета всех внешних и внутренних факторов, влияющих на техническое состояние ДВС, приводит к некоторой неопределенности. Проведем анализ существующих моделей случайных процессов (СП) и возможность их применения для прогнозирования экстраполяцией постепенного изменения во

времени контролируемых параметров ДВС. Так, известно несколько способов задания случайных функций времени, из которых наиболее полным является определение случайного процесса с позиций аксиоматического подхода к теории вероятностей, предложенное А.Н. Колмогоровым [18, 54]. Однако теория СП в общем виде отличается значительной сложностью математического аппарата и поэтому мало пригодна для решения инженерных задач. Использование на практике многомерных плотностей приводит к значительным математическим трудностям не только при решении задач прогнозирования, но и при расчетах вероятностных характеристик и изучении закономерностей изменения параметров ДВС во времени [53, 64–69]. В связи с этим принципиально важное значение приобретает нахождение моделей СП, которые будут отражать существенные свойства реальных процессов и в то же время быть простыми и удобными для расчета. Одна из наиболее простых и удобных разновидностей таких моделей – так называемые квазидетерминированные модели, которые подробно будут описаны ниже.

Другой способ математического описания модели СП – представление случайной функции в виде ее ортогонального (канонического) разложения. Каноническим разложением можно представить любую случайную функцию, как стационарную, так и нестационарную, т.е. использование ортогональных представлений СП дает возможность получить описание наиболее широкого класса случайных процессов. Одно из наиболее общих представлений подобного рода предложено и подробно исследовано в работах В.С. Пугачева [55]. Согласно этим работам, любой случайный процесс может быть представлен в виде ряда, состоящего из комбинации неслучайных координатных функций и некоторых некоррелированных случайных величин. Как показывает практика для практической реализации этого метода необходим большой объем статистических данных и знание автокорреляционных функций прогнозируемых случайных процессов.

Еще один способ представления СП основывается на использовании аппарата регрессионного анализа [30, 43, 56, 57], т.е. на представлении

исследуемого процесса в виде суммы детерминированной составляющей, называемой трендом, и стационарного случайного процесса. При практической реализации этих методов считается известным с точностью до значений числовых параметров вид детерминированной составляющей. Регрессионная модель достаточно часто используется для решения задач прогнозирования [58]. Для целей прогнозирования составляют так называемое уравнение регрессии, которое чаще всего выбирают в виде полинома с коэффициентами, определяемыми из условия наилучшего согласования с наблюдениями в смысле метода наименьших квадратов [59, 64–69]. Модели, построенные на основе использования аппарата регрессионного анализа, позволяют осуществлять прогнозирование как стационарных, так нестационарных случайных процессов. Тем не менее, применимость уравнений регрессии для целей прогнозирования нельзя считать полностью обоснованным теоретически, поскольку всегда существует значительная вероятность того, что в это уравнение не будут включены некоторые независимые переменные, неучет которых на этапе синтеза модели приведет к появлению значительных ошибок на этапе прогноза [60, 64–69]. Этот же недостаток присущ и подходу к прогнозированию на основе построения так называемых экстремальных полиномов Карлина [61], так как результатом такого прогнозирования является определение только тех моментов времени в будущем, когда экстремальные реализации случайного процесса достигнут заданной границы. Получение же исчерпывающей характеристики СП (его плотности распределения) с помощью этих способов значительно затруднено [18].

Четвертый способ описания СП изменение значения параметра AT во времени – использование марковских моделей. В этом случае для описания СП достаточно иметь статистические данные лишь о настоящем моменте исследуемого СП. Указанное достоинство основывается на известном свойстве марковского процесса, согласно которому закон распределения ординат этого процесса в любой будущий момент времени зависит только от значений ординат в данный момент времени и не зависит от того, какие значения случайная функция имела в прошлом [58, 61]. Кроме того, имеющийся экспериментальный материал

о закономерностях дрейфа параметров технических систем во время эксплуатации крайне редко удовлетворительно описывается марковскими моделями, что также затрудняет их применение на практике [51, 64].

2.2. Вероятностное прогнозирование технического состояния при помощи квазидетерминированных моделей

Таким образом, проведенный в предыдущем подразделе анализ показал, что имеющиеся ограничения представленных выше моделей значительно затрудняют их использование при практической эксплуатации АТ и делают нерациональным их выбор для прогнозирования экстраполяцией постепенного изменения во времени контролируемых параметров ДВС. Вместе с тем принципиально новые возможности вероятностного описания СП для изучения закономерностей изменения выходных параметров ДВС во времени с целью решения задач прогнозирования появляются при использовании квазидетерминированных моделей (КД)СП. Под КД-моделью случайного процесса понимается неслучайная функция времени, зависящая от нескольких случайных аргументов (случайных величин).

Анализ воздействий, описанных ранее внешних и внутренних факторов, влияющих на техническое состояние ДВС АТ при эксплуатации в различных условиях, позволяет сделать вывод о том, что изменению во времени контролируемых параметров присуща характерная особенность, проявляющаяся в том, что их случайному изменению свойственно медленное либо неубывание, либо невозрастание его значения, сопровождающееся незначительными отклонениями от монотонности. При этом постепенное изменение этих значений не исключает кратковременных сравнительно небольших его возрастаний. Таким образом, значение контролируемых параметров ДВС флуктурует вокруг некоторой монотонно изменяющейся функции. Эта особенность позволяет представить процесс изменения данных параметров в виде суммы двух его составляющих: монотонной и флуктуационной [18, 53], т.е.

$$y(t) = y_{\text{кд}}(t) + \psi(y, t). \quad (2.1)$$

С учетом выражения (2.1) случайный процесс вида $y(t)$ представляется в общем виде процессом, нестационарным как по своему математическому ожиданию, так и по среднему квадратическому отклонению (СКО), на достаточно больших интервалах наблюдения [50, 53]. При контроле параметров ДВС неизбежно возникают ошибки, связанные с недостаточной точностью контрольно-измерительных приборов, ошибок в действиях персонала и т.п. С учетом случайного (как правило, стационарного) процесса указанных выше ошибок измерения СП изменения значений параметров с течением времени представляется в виде

$$y(t) = y_{\text{кд}}(t) + \psi(y, t) + \varepsilon(t), \quad (2.2)$$

где $\varepsilon(t)$ – случайный процесс ошибок измерений ИП АТ.

Однако в реальных условиях эксплуатации АТ процессы $\psi(y, t)$ и $\varepsilon(t)$ далеко не всегда удается разделить, поскольку точность используемых средств измерения ограничена, а методики измерений допускают существенную погрешность при оценке измеряемой величины. Иными словами, достаточно проблематично отделить действительные обратимые изменения значений параметров от их кажущихся изменений, вызванных ошибками измерений. Под процессом $\varepsilon(t)$ будем понимать ошибки измерений и обратимые изменения ИП ДВС. В этом случае выражение (2.2) будет иметь вид

$$y(t) = y_{\text{кд}}(t) + \varepsilon(t). \quad (2.3)$$

Результаты проведенных исследований [50, 53] показывают, что в большинстве случаев доля второго слагаемого выражения (2.3) невелика и ее

влиянием на $y(t)$ можно пренебречь.

Таким образом, при слабых флуктуациях монотонность СП позволяет для описания процесса постепенного изменения во времени значения контролируемых параметров ДВС использовать квазислучайный (квазидетерминированный) процесс, представляющий собой совокупность детерминированной функции, отражающей закономерность дрейфа параметров, и совокупность случайных коэффициентов, конкретизирующих процесс [18]:

$$y_{\text{кд}}(t) = f_{\text{кд}}(t, a_1, \dots, a_n).$$

КД-модели применимы в тех случаях, когда можно пренебречь флуктуационной составляющей случайного процесса $y_{\text{фл}}$. Это возможно, если рассеяние флуктуационной составляющей $D[y_{\text{фл}}(t)]$ много меньше, чем рассеяние монотонной составляющей $D[y_{\text{мон}}(t)]$ случайного процесса $y(t)$ [50, 53], т.е.

$$D[y_{\text{фл}}(t)] \ll D[y_{\text{мон}}(t)]. \quad (2.4)$$

Так как у реальных процессов величина отклонения флуктуационной составляющей относительно сглаженной реализации, как правило, незначительна, то условие (2.4), как правило, всегда выполняется на практике [50, 53, 62].

Кроме того, желательно [53], чтобы интервал корреляции флуктуационной составляющей $\tau_{\text{к фл}}$ был как можно меньше интервала корреляции монотонной составляющей $\tau_{\text{к мон}}$, т.е.

$$\tau_{\text{к фл}} \ll \tau_{\text{к мон}}. \quad (2.5)$$

Поскольку у реальных процессов изменения параметров ДВС во времени

флуктуационная составляющая представляет собой быстротечные отклонения относительно медленно меняющейся монотонной составляющей, т. е. интервал корреляции $\tau_{к\text{фл}}$, как правило, очень мал и не превышает интервала времени между моментами контроля, а $\tau_{к\text{мон}}$ – значителен [28, 40, 42].

Таким образом, для ДВС характерно монотонное изменение ее контролируемых параметров во времени с незначительными флуктуациями. При этом процесс изменения параметров во времени становится таким, в котором случайность в основном проявляется в характере протекания монотонных составляющих, при этом становится возможным успешное использование КД-моделей для решения задач экстраполяции СП изменения ИП ДВС во времени.

В качестве базовых функций для КД-моделей могут использоваться различные детерминированные функции. Областью определения таких функций, отражающих реальные физические процессы, происходящие при эксплуатации АТ, будем считать правую полуплоскость прямоугольной системы координат, где $t > 0$. Различают две разновидности моделей изменения параметра: достаточно общие (универсальные) модели, отражающие в широких пределах различный характер изменения параметра, и элементарные модели, имитирующие, как правило, конкретную закономерность дрейфа [18, 50].

К универсальным следует отнести модель следующего вида:

$$\Pi(t) = \sum_{l=1}^{\mu} A_l F_l(\xi, t), \quad (2.6)$$

где $\Pi(t)$ – контролируемый параметр АТ;

$F_l(\xi, t)$ – базисное выражение, составляющее основу многочлена;

A_l – степенные адаптационные коэффициенты;

$l = 1, 2, \dots, \mu$ – степень базовых выражений.

Считается, что выражение (2.6) достаточно точно описывает монотонные

процессы [50]. Оно представляет собой сумму полиномов различных степеней от 1 до μ , вклад которых в изменения функций различен и характеризуется зависимостью $A = f(l), l = 1, 2, \dots, \mu$.

Значение степенных адаптационных коэффициентов обычно ограничивается одним из следующих равенств:

$$\sum_{l=1}^{\mu} A_l = 1; \quad \prod_{l=1}^{\mu} A_l = 1. \quad (2.7)$$

Наиболее общее выражение, используемое в качестве базисного, представляется в следующем виде:

$$F(\xi, t) = a_0 \vartheta_0(t) + a_1 \vartheta_1(t) + \dots + a_{\mu} \vartheta_{\mu}(t), \quad (2.8)$$

где $a_p = f[\xi(t_i)]$ – неизвестные коэффициенты, $p = 0, 1, \dots, \mu$;

$\vartheta_p(t)$ – временные функции простейшего вида.

В ряде случаев при решении задачи прогнозирования может использоваться обобщенная математическая модель изменения параметра, представленная в виде дифференциального уравнения [18,50]:

$$d\Pi(t)/dt = -kF(\Pi), \quad (2.9)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от скорости изменения;

$F(\Pi)$ – функция, определяемая принятой гипотезой о характере изменения.

Очевидным достоинством моделей вида (2.6), (2.9) является их универсальность. В предыдущем разделе было показано, что для прогнозирования случайных процессов изменения во времени параметров ДВС в зависимости от

условий эксплуатации наиболее подходящими являются следующие виды моделей [1, 18, 22, 42]:

– линейная модель изменения:

$$\Pi(t) = \Pi_0 - a_1 t \quad (2.10)$$

Данного рода модели, как правило, достаточно полно описывают процесс постепенного накопления различного рода необратимых изменений в узлах и деталях ДВС – например, при их постепенном износе трущихся деталей, коррозии и т.п.[42].

– экспоненциальная модель:

$$\Pi(t) = \Pi_0 \cdot e^{\frac{-a_1 t}{\Pi_0}} \quad (2.11)$$

Экспоненциальные модели используются для описания процессов старения материалов, из которых изготовлены различные узлы и детали ДВС, при которых наблюдаются процессы перехода материала из неравновесного (возникшего при изготовлении) состояния, в равновесное, под влиянием дестабилизирующих факторов [53];

– логарифмическая модель:

$$\Pi(t) = \Pi_0 - \Pi_0 \cdot \ln\left(1 + \frac{a_1 t}{\Pi_0}\right) \quad (2.12)$$

Логарифмические модели могут применяться для описания процесса изменения состояния материалов, для которых скорость их старения изменяется обратно пропорционально изменениям, накопившимся в них– например, при изменении свойств масел и топлива при различных условиях эксплуатации ДВС

[42].

– нелинейная (параболическая) модель:

$$\Pi(t) = a_0 - a_1t + a_2t^2 \quad (2.13)$$

$$\Pi(t) = a_0 + a_1t - a_2t^2 \quad (2.14)$$

Данного рода модели используются для решения задач прогнозирования в тех случаях, когда, помимо простого (аддитивного) накопления с течением времени постепенных и необратимых изменений, в наличии имеются какие-либо факторы, замедляющие либо, напротив, ускоряющие процесс старения материалов – например, влияние повышенной влажности, воздействие высоких температур и прочие характерные факторы для особых условий эксплуатации ДВС АТ [18].

Каждая из представленных выше функций вида (2.10) – (2.14), описывающих закономерности постепенного изменения значений контролируемых параметров с течением времени, может иметь один или несколько случайных коэффициентов, распределенных по одному из заранее заданных (известных) законов. Очевидно, что при этом задача прогнозирования сводится к определению плотности распределения времени до выхода значений контролируемых параметров АТ за допустимые пределы, т.е. к определению плотности распределения случайной функции по заранее известному распределению ее аргументов [54].

Общая последовательность решения данной задачи заключается в следующем [18, 53]. Пусть заранее задан (определен) квазислучайный процесс, который зависит от нескольких z случайных коэффициентов $x_1 \dots x_z$, а также известна совместная плотность распределения этих коэффициентов модели $\omega(x_1 \dots x_z)$. Необходимо выделить и рассмотреть несколько (s) сечений данного процесса $Y(t_1) \dots Y(t_s)$, взятых в определенные моменты времени $t_1 \dots t_s$, т.е. выразить (представить) их в виде детерминированных функций, зависящих от случайных

величин – коэффициентов $x_1 \dots x_z$:

$$\begin{cases} Y_1 = f_{\text{кд}}(t_1; x_1 \dots x_z), \\ \dots \\ Y_s = f_{\text{кд}}(t_s; x_1 \dots x_z); \end{cases} \quad (2.15)$$

Чтобы, располагая плотностями распределения случайных величин $\omega_1(x_1) \dots \omega_z(x_z)$, найти совместную плотность распределения $\omega(x_1 \dots x_z)$, необходимо выполнить следующие операции:

1. Решить систему (2.23) относительно переменных $x_1 \dots x_z$, получив при этом систему

$$\begin{cases} x_1 = \psi_1(Y_1 \dots Y_s; t_1 \dots t_s), \\ \dots \\ x_z = \psi_z(Y_1 \dots Y_s; t_1 \dots t_s); \end{cases} \quad (2.16)$$

Данная система уравнений задает обратное преобразование случайной величин $Y(t_1) \dots Y(t_s)$ в величины $x_1 \dots x_z$.

2. В соответствии с правилом нахождения законов распределения функций от случайных величин найти функциональный определитель, составленный из частных производных функций $\psi_1 \dots \psi_z$ по переменным $Y_1 \dots Y_s$:

$$J = \frac{d(\psi_1 \dots \psi_z)}{d(Y_1 \dots Y_s)} = \begin{vmatrix} \frac{d\psi_1}{dY_1} & \dots & \frac{d\psi_1}{dY_s} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{d\psi_z}{dY_1} & \dots & \frac{d\psi_z}{dY_s} \end{vmatrix},$$

где s – число сечений случайного процесса во времени, z – число случайных

коэффициентов.

Этот определитель является якобианом обратного преобразования [53].

3. Воспользовавшись правилом нахождения законов распределения функций от случайных величин, записать совместную плотность распределения сечений $Y(t_1) \dots Y(t_s)$ в виде

$$\omega(Y_1 \dots Y_s; t_1 \dots t_s) = \omega_1(\psi_1(Y_1 \dots Y_s; t_1 \dots t_s)) \cdot \dots \cdot \omega_z(\psi_z(Y_1 \dots Y_s; t_1 \dots t_s)) \cdot |J| \quad (2.17)$$

Применительно к КД-процессу изменения параметров ДВС данную последовательность (процедуру) решения можно представить таким образом [18]:

1) Пусть задан КД-процесс изменения значения ИП ДВС вида $\Pi_{\text{КД}} = \varphi_{\text{КД}}(t; a_1 \dots a_z)$. Рассмотрим s сечений процесса $\Pi(t_1) \dots \Pi(t_s)$, взятых в фиксированные моменты времени $t_1 \dots t_s$, как функции от случайных величин $a_1 \dots a_z$, записав их в виде неслучайных функций $\Pi_1 \dots \Pi_s$, зависящих от случайных аргументов $a_1 \dots a_z$, при этом функциональная связь между $\Pi_{\text{КД}}(t_1) \dots \Pi_{\text{КД}}(t_s)$ и $a_1 \dots a_z$ имеет вид

$$\begin{cases} \Pi_1 = f_1(t_1; a_1 \dots a_z), \\ \dots \\ \Pi_s = f_s(t_s; a_1 \dots a_z); \end{cases}$$

2) Решив полученную систему уравнений относительно аргументов $a_1 \dots a_s$, запишем систему выражений:

$$\begin{cases} a_1 = \varphi_1(\Pi_1 \dots \Pi_s; t_1 \dots t_s), \\ \dots \\ a_z = \varphi_z(\Pi_1 \dots \Pi_s; t_1 \dots t_s); \end{cases}$$

3) Найдем якобиан обратного преобразования:

$$J = \frac{d(a_1 \dots a_z)}{d(\Pi_1 \dots \Pi_s)} = \begin{vmatrix} \frac{da_1}{d\Pi_1} & \dots & \frac{da_1}{d\Pi_s} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{da_z}{d\Pi_1} & \dots & \frac{da_z}{d\Pi_s} \end{vmatrix};$$

4) Совместная плотность распределения для случая независимых коэффициентов $a_1 \dots a_z$ будет иметь вид

$$\omega(\Pi_1 \dots \Pi_s; t_1 \dots t_s) = \omega_1(\varphi_1(\Pi_1 \dots \Pi_s; t_1 \dots t_s)) \cdot \dots \cdot \omega_z(\varphi_z(\Pi_1 \dots \Pi_s; t_1 \dots t_s)) \cdot |J| \quad (2.18)$$

При замене реальных случайных процессов изменения параметров ДВС их КД-моделями знание многомерной плотности распределения вида (2.17) позволяет получить более простые аналитические выражения для одномерной плотности распределения случайной величины $\omega(t)$ – времени достижения контролируемыми параметрами ДВС своих предельно допустимых значений.

Опираясь на полученные данные, рассмотрим решение конкретных примеров определения ПРВ до выхода контролируемых параметров ДВС за допустимые пределы, используя в качестве квазидетерминированных моделей СП изменения параметров аналитические выражения (2.10)–(2.12)[18].

2.3 Прогнозные квазидетерминированные модели изменения значений определяющих параметров двигателей внутреннего сгорания в ходе эксплуатации

Разработка и исследование линейной модели.

Выразив t из выражения (2.10), описывающего линейную модель отклонения контролируемого параметра ДВС, можно записать

$$t = \frac{\Pi_0 - \Pi(t)}{a_1}.$$

С учетом того, что значения контролируемых параметров со временем изменяются, достигая своего предельно допустимого значения $\Pi_{\text{пр}}$ в момент времени $\tau_{\text{пр}}$, т.е. $\Pi(\tau_{\text{пр}}) = \Pi_{\text{пр}}$, выражение (2.10) можно записать в виде

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{\Delta\Pi}{a_1}, \quad (2.19)$$

где

$$\Delta\Pi = \Pi_0 - \Pi_{\text{пр}} \quad (2.20)$$

Введение граничного (предельно допустимого) значения параметра $\Pi_{\text{пр}}$ и связанного с ним случайного времени достижения случайным процессом дрейфа параметра этого предельного значения $\tau_{\text{пр}}$ позволяет перейти к вероятностному описанию показателей надежности ДВС при ее длительном функционировании в простой и наглядной форме в виде одномерной функции распределения вместо многомерной. Так, при линейной модели отклонения возможны три случая (рисунок 2.2): *а* $\Delta\Pi$ – случайная величина; *б* a_1 – случайная величина; *в* a_1 и $\Delta\Pi$ – случайные величины.

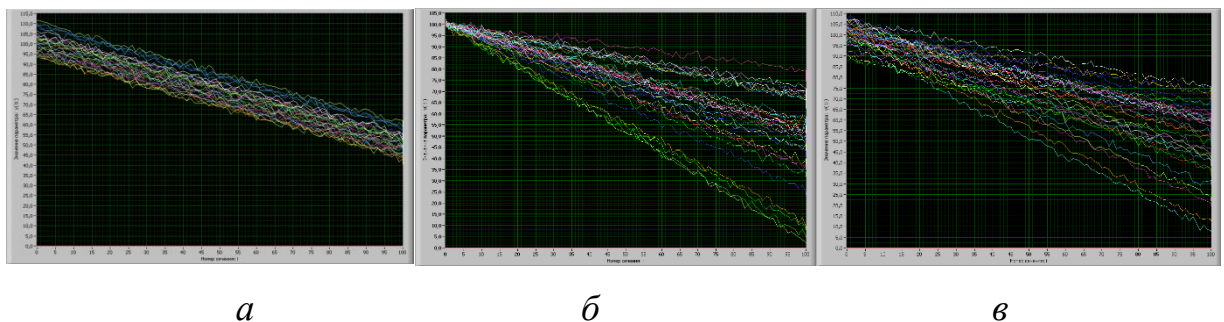


Рисунок 2.2 – Примеры линейных зависимостей постепенного изменения значений параметров для различного числа случайных коэффициентов

С учетом зависимостей рассмотрим несколько случаев. Случай 1. В

выражении (2.19) коэффициент a_1 является случайной величиной, имеющей произвольный закон распределения $\omega(a_1)$, а коэффициент $\Delta\Pi$ – неслучайная величина.

В соответствии с общим подходом к решению задачи выразим из (2.19) случайную величину a_1 , получив обратную функцию Ψ_{a_1} :

$$a_1 = \Psi_{a_1} = \frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}} \quad (2.21)$$

Находя модуль ее производной, получаем якобиан J_{a_1} :

$$J_{a_1} = \frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}^2} \quad (2.22)$$

В соответствии с (2.18) выражение для плотности распределения времени достижения параметром своего предельного значения имеет вид

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \omega(\Psi_{a_1}) \cdot J_{a_1}, \quad (2.23)$$

где $\omega(\Psi_{a_1})$ – плотность распределения обратной функции (2.21).

С учетом зависимостей (2.21) и (2.22) аналитическая зависимость (2.23) для плотности распределения времени достижения контролируемым параметром предельно допустимого значения будет иметь вид

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}^2} \cdot \omega\left(\frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}}\right). \quad (2.24)$$

Случай 2. В выражении (2.19) случайной величиной является коэффициент

$\Delta\Pi$, имеющий произвольный закон распределения $\omega(\Delta\Pi)$, а коэффициент a_1 – константа (постоянная величина). В этом случае в качестве обратной функции будет использоваться случайный коэффициент $\Delta\Pi$, выраженный из (2.19):

$$\Delta\Pi = \psi_{\Delta\Pi} = a_1 \cdot \tau_{\text{пр}} \quad (2.25)$$

Найдя модуль производной этого выражения, получим якобиан $J_{\Delta\Pi}$:

$$J_{\Delta\Pi} = a_1 \quad (2.26)$$

Используя зависимость (2.18) и выражения (2.25) и (2.26), запишем итоговое выражение плотности распределения времени достижения параметром предельного значения

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = J_{\Delta\Pi} \cdot \omega(\psi_{\Delta\Pi}) = a_1 \cdot \omega(a_1 \tau_{\text{пр}}). \quad (2.27)$$

Случай 3. Оба входящих в состав уравнения (2.19) коэффициента являются случайными величинами с соответствующими законами распределения $\omega_1(a_1)$ и $\omega_2(\Delta\Pi)$. В этом случае якобиан обратного преобразования будет иметь вид (2.26). Как и в двух предыдущих случаях, итоговое выражение для ПРВ достижения контролируемыми параметрами своих граничных значений будет иметь вид

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega_1(a_1) \cdot \omega_2(\psi_{\Delta\Pi}) \cdot J \cdot da_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \omega_1(a_1) \cdot \omega_2(a_1 \tau_{\text{пр}}) \cdot a_1 da_1. \quad (2.28)$$

Когда в качестве обратной функции выбирается случайная величина a_1 , выраженная из формулы (2.19), то можно записать выражения для обратной функции и якобиана в виде выражений (2.21) и (2.22) соответственно. В этом

случае выражение имеет вид

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega_2(\Delta\Pi) \cdot \omega_1(\psi_{a_1}) \cdot J \cdot d(\Delta\Pi) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega_2(\Delta\Pi) \omega_1\left(\frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}}\right) \frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}^2} d(\Delta\Pi). \quad (2.29)$$

Полученные зависимости совпали с выражениями, полученными в [63] графическим методом, что доказывает их справедливость.

От формул ПРВ достижения параметрами своего предельного значения в общем виде (2.26), (2.27), (2.28) и (2.29) можно перейти к более частным случаям, при которых коэффициенты моделей будут иметь уже не произвольный, а заранее заданный – например, нормальный закон распределения. При этом указанные выше зависимости будут иметь вид:

– для первого случая, при котором случайным является лишь один из двух коэффициентов модели – в виде выражений (2.30), (2.31)

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{a_1}} \cdot \exp\left[-\frac{\left(\frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}} - M_{a_1}\right)^2}{2\sigma_{a_1}^2}\right] \quad (2.30)$$

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = a_1 \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{\Delta\Pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(a_1\tau_{\text{пр}} - M_{\Delta\Pi})^2}{2\sigma_{\Delta\Pi}^2}\right] \quad (2.31)$$

– для второго случая, при котором случайными будут являться оба входящих в выражение коэффициента – в виде зависимостей (2.32), (2.33)

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_{a_1} \cdot \sigma_{\Delta\Pi}} \exp\left[-\frac{\left(\frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}} - M_{a_1}\right)^2}{2\sigma_{a_1}^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(\Delta\Pi - M_{\Delta\Pi})^2}{2\sigma_{\Delta\Pi}^2}\right] \frac{\Delta\Pi}{\tau_{\text{пр}}^2} d\Delta\Pi \quad (2.32)$$

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_{a_1} \cdot \sigma_{\Delta\Pi}} \exp\left[-\frac{(a_1 - M_{a_1})^2}{2\sigma_{a_1}^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(a_1\tau_{\text{пр}} - M_{\Delta\Pi})^2}{2\sigma_{\Delta\Pi}^2}\right] a_1 da_1 \quad (2.33)$$

При практическом вычислении ПРВ по выражениям (2.30)–(2.34) бесконечные пределы интегрирования в соответствии с известным «правилом трех сигм» можно заменить на величины, равные $M_{a_1} \pm 3\sigma_{a_1}$ и $M_{\Delta\Pi} \pm 3\sigma_{\Delta\Pi}$ соответственно, при этом такая замена с вероятностью 0,9973 не приведет к ошибке вычисления [63].

Выбор в качестве примера нормального закона распределения случайных коэффициентов моделей основывается на более частой встречаемости данного закона на практике (в соответствии с центральной предельной теоремой) [54]. Однако плотность распределения времени до отказа у различных узлов и деталей ДВС может подчиняться и иным законам распределения. Так, например, по данным опытной эксплуатации автомобилей КамАЗ в Магаданской области В. В. Ионовым были получены и проанализированы основные вероятностные характеристики надежности агрегатов трансмиссии. Согласно его данным, ПРВ до первого отказа была распределена по закону Вейбулла, а для второго, третьего и всех последующих отказов имела экспоненциальный закон распределения [28]. Автор делает вывод о том, что данный закон распределения, как правило, свидетельствует о недостаточно высоком качестве изготовления отдельных узлов (деталей) АТ [28]. При этом очевидно, что при использовании иных законов распределения полученные в общем виде формулы (2.26)–(2.29) также не утрачивают своей актуальности.

Для нахождения вероятности невыхода значений параметров $\Pi(t)$ за пределы $\Pi_{\text{пр}}$ в течение заданного времени $t_{\text{зад}}$ необходимо подставить полученные выражения (2.30), (2.31), (2.32) или (2.33) в следующую формулу:

$$P(\Pi(t) \geq \Pi_{\text{пр}} \forall t \leq t_{\text{зад}}) = 1 - \int_0^{t_{\text{зад}}} \omega(\tau_{\text{пр}}) \cdot d\tau_{\text{пр}} \quad (2.34)$$

Примеры расчетов вероятности безотказной работы ДВС АТ на заданном интервале времени (2.34) для линейной модели изменения ее параметров с течением времени (коэффициент a_1 распределен по нормальному закону) и трех различных значений математического ожидания (MO_1, MO_2, MO_3) и среднего квадратического отклонения (CKO_1, CKO_2, CKO_3) случайной скорости изменения параметра приведены на рисунках 2.3, 2.4.

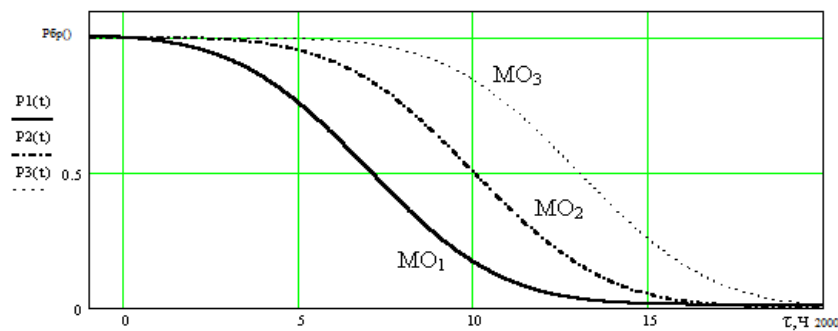


Рисунок 2.3 – Зависимость вероятности безотказной работы ДВС АТ на заданном интервале времени от периодичности ТО, $MO_1 \geq MO_2 \geq MO_3$

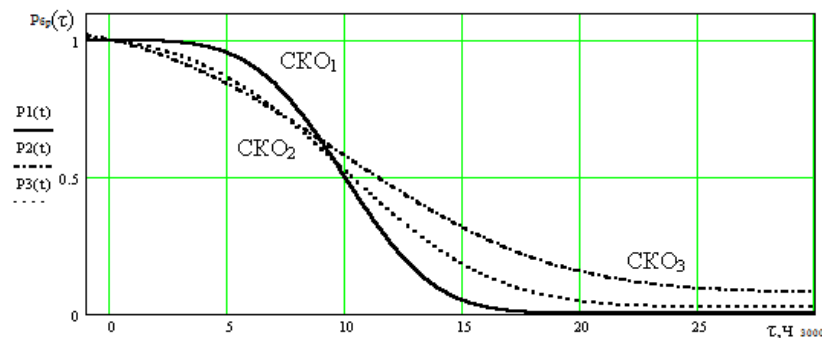


Рисунок 2.4 – Зависимость вероятности безотказной работы ДВС АТ на заданном интервале времени от периодичности ТО, $CKO_1 \geq CKO_2 \geq CKO_3$

Разработка и исследование логарифмической модели.

В соответствии с результатами, полученными в предыдущем разделе, одним

из типовых уравнений является логарифмическая зависимость, записанная в виде (2.12). Рассмотрим нахождение плотности распределения времени достижения контролируемыми параметрами ДВС своих предельных значений $\omega(\tau_{\text{пр}})$ для двух возможных случаев:

- 1) ν – случайная величина;
- 2) Π_0 и ν – случайные величины.

Разберем каждый из случаев в отдельности [18].

Случай 1. В соответствии с общим подходом к решению задачи о нахождении $\omega(\tau)$ выразим t из выражения (2.12)

$$t = -\frac{\Pi_0}{\nu} \cdot \left(1 - \exp^{\frac{\Pi_0 - \Pi(t)}{\Pi_0}}\right).$$

Используя выражения (2.19) и (2.20), можно записать

$$\tau_{\text{пр}} = -\frac{\Pi_0}{\nu} \cdot \left(1 - \exp^{\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}\right). \quad (2.35)$$

Выразив из этого равенства случайную величину ν , получим выражение для обратной функции ψ_ν :

$$\nu = \psi_\nu = -\frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} \cdot \left(1 - \exp^{\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}\right). \quad (2.36)$$

Найдя модуль ее производной, получим якобиан обратного преобразования J_ν :

$$J_{\nu} = \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} \cdot \left(1 - \exp^{-\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}\right). \quad (2.37)$$

В соответствии с выражением (2.26) зависимость $\omega(\tau_{\text{пр}})$ имеет вид

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \omega(\psi_{\nu}) \cdot J_{\nu} = \omega(\psi_{\nu}) \cdot \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} \cdot \left(1 - \exp^{-\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}\right). \quad (2.38)$$

Данная формула является выражением для плотности распределения времени достижения значения контролируемые параметрами ДВС своего предельного значения в случае произвольного распределения случайной величины ν .

Случай 2. При случайных коэффициентах Π_0 и ν по аналогии с предыдущим случаем в качестве обратной функции выберем случайную величину ν , выразив ее из формулы (2.27). В этом случае обратная функция ψ_{ν} будет иметь вид (2.36), а якобиан обратного преобразования – вид (2.37).

С учетом формулы (2.18) выражение для плотности распределения времени достижения параметром предельно допустимого значения будет иметь вид

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega_2(\psi_{\nu}) \cdot \omega_1(\Pi_0) \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} \left(1 - \exp^{-\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}\right) d\Pi_0. \quad (2.39)$$

От случая, когда случайные величины ν и Π_0 имеют произвольное распределение, также можно перейти к частному случаю, когда эти коэффициенты имеют нормальный закон распределения. В этом случае уравнения (2.38) и (2.39) можно записать следующим образом:

– для случайного коэффициента ν – в виде

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} \cdot (1 - \exp^{-\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_v} \cdot \exp\left[-\frac{\left(-\frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}}(1 - e^{-\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}) - M_v\right)^2}{2\sigma_v^2}\right] \quad (2.40)$$

– для двух случайных коэффициентов Π_0 и v – в виде

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} (1 - \exp^{-\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}) \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_v \sigma_{\Pi_0}} \exp\left[-\frac{\Pi_0 - M_{\Pi_0}}{2\sigma_{\Pi_0}^2}\right] \exp\left[-\frac{\left(-\frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}}(1 - e^{-\frac{\Delta\Pi}{\Pi_0}}) - M_v\right)^2}{2\sigma_v^2}\right] d\Pi_0 \quad (2.41)$$

Для нахождения вероятности невыхода случайного параметра $\Pi(t)$ за пределы $\Pi_{\text{пр}}$ в течение заданного времени $t_{\text{зад}}$ необходимо подставить полученные выражения (2.40), (2.41) в формулу (2.34).

Разработка и исследование экспоненциальной модели.

В соответствии с результатами, полученными в предыдущем разделе, одним из типовых уравнений изменения параметров является экспоненциальная зависимость, записанная в виде (2.11). Как и в предыдущем случае, рассмотрим нахождение плотности распределения времени достижения параметрами своих предельных значений $\omega(\tau_{\text{пр}})$ для ранее предложенных вариантов:

Случай 1. В соответствии с общим подходом к решению задачи о нахождении $\omega(\tau)$ выразим t из (2.11):

$$t = \frac{\Pi_0}{v} \cdot \ln\left(\frac{\Pi_0}{\Pi(t)}\right).$$

Используя выражения (2.27) и (2.28), можно записать:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{\Pi_0}{\nu} \cdot \ln\left(\frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}}\right). \quad (2.42)$$

Выразив из этого равенства случайную величину ν , получим выражение для обратной функции ψ_ν

$$\nu = \psi_\nu = \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} \cdot \ln\left(\frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}}\right). \quad (2.43)$$

Найдя модуль ее производной, получим якобиан обратного преобразования J_ν

$$J_\nu = \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}^2} \cdot \ln\left(\frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}}\right). \quad (2.44)$$

Используя выражение (2.18), запишем итоговое выражение для плотности распределения времени достижения параметрами своего предельного значения

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \omega(\psi_\nu) \cdot J_\nu = \omega(\psi_\nu) \cdot \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}^2} \cdot \ln\left(\frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}}\right). \quad (2.45)$$

Случай 2. Π_0 и ν – случайные величины, распределенные по известному закону. Для получения зависимости $\omega(\tau_{\text{пр}})$ – плотности распределения времени достижения ИП АТ своего предельного значения используем формулу (2.18)

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(\psi_\nu) \cdot J_\nu \cdot \omega(\Pi_0) d\Pi_0 \quad (2.46)$$

Подставляя в эту формулу значения J_ν и ψ_ν из соотношений (2.43) и (2.44),

получим итоговое выражение для $\omega(\tau)$

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(\psi_{\nu}) \cdot \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}^2} \cdot \ln \frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}} \cdot \omega(\Pi_0) d\Pi_0 \quad (2.47)$$

От случая, когда случайные величины ν и Π_0 имеют произвольное распределение, перейдем к частному случаю – нормальному закону распределения этих коэффициентов. В этом случае выражения ПРВ достижения параметром предельного значения для экспоненциального закона $\Pi(t)$ вида (2.45) и (2.47) запишутся следующим образом:

– для случайного коэффициента ν в виде

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}^2} \cdot \ln \frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{\nu}} \cdot \exp\left[-\frac{\left(\frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} \ln \frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}} - M_{\nu}\right)^2}{2\sigma_{\nu}^2}\right]. \quad (2.48)$$

– для двух случайных коэффициентов Π_0 и ν в виде

$$\omega(\tau_{\text{пр}}) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}^2} \ln \frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}} \frac{1}{2\pi\sigma_{\nu}\sigma_{\Pi_0}} \exp\left[-\frac{\Pi_0 - M_{\Pi_0}}{2\sigma_{\Pi_0}^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{\left(\frac{\Pi_0}{\tau_{\text{пр}}} \ln \frac{\Pi_0}{\Pi_{\text{пр}}} - M_{\nu}\right)^2}{2\sigma_{\nu}^2}\right] d\Pi_0 \quad (2.49)$$

Для нахождения вероятности невыхода случайного параметра $\Pi(t)$ за пределы $\Pi_{\text{пр}}$ в течение заданного времени $t_{\text{зад}}$ необходимо подставить полученные выражения (2.48), (2.49) в формулу (2.34).

Таким образом, с использованием КД-моделей в работе были получены аналитические выражения для ПРВ достижения контролируруемыми параметрами ДВС АТ своих предельно допустимых значений. При определении конкретного

вида функции, характеризующей отклонение тех или иных контролируемых параметров, необходимо учитывать приведенные в первой главе различные условия эксплуатации АТ, оказывающие влияние на ее техническое состояние. Данные выражения могут быть использованы для нахождения вероятности безотказной работы как ДВС на заданном интервале времени. В дальнейшем на основе данных зависимостей могут быть сформированы показатели эффективности функционирования АТ, зависящие от периодичности проведения ТО, и рассчитаны оптимальные значения периодичности ТО, при которых введенные показатели будут достигать своих экстремальных значений [18].

2.4 Выводы по второй главе

Таким образом, при вероятностном прогнозировании надежности ДВС достаточно перспективным направлением представляется использование КД-моделей, при этом применение данного метода позволяет определять вероятность безотказной работы ДВС на заданном интервале времени (интервале прогнозирования) в тех случаях, когда применение описанных в подразделе 2.1 методов прогнозирования в силу вычислительных сложностей оказывается затруднительным, а также для дополнительной проверки полученных с их помощью результатов. Порядок использования полученных в разделе моделей для разработки алгоритма необходимого для определения оптимальной периодичности контроля параметров ДВС будет показан в третьем разделе.

3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

3.1 Общие подходы к определению оптимальных значений периодичности технического обслуживания агрегатов автомобильной техники

Методы для определения периодичности ТО в общем делятся на простейшие (метод аналогии по прототипу), аналитические и имитационные. На практике удобнее всего пользоваться методом определения по допустимому уровню безотказности, технико-экономическим и экономико-вероятностным методом, а также по закономерности изменения параметра технического состояния. Метод определения периодичности по допустимому уровню безотказности опирается на выборе такого рода рациональной периодичности ТО, при которой вероятность отказа элемента не выходит за границы риска (заранее заданной величины). Технико-экономический метод определения периодичности ТО – это определение суммарных удельных затрат на ТО и ремонт при их минимизации. Оптимальная периодичность ТО будет соответствовать минимальным затратам [1, 22]. К преимуществам метода относятся его простота и универсальность, недостатками являются отсутствие уровня безотказности, отсутствие учета вариаций (случайности) преобразования значений контролируемых параметров ДВС во времени [1, 22].

Определение периодичности ТО по закономерности изменения параметра технического состояния и его допустимому значению.

Изменение параметров технического состояния в процессе эксплуатации (наработки) является случайным процессом и представляется графически в виде сочетания случайных функций – реализаций данного случайного процесса. Как уже отмечалось выше, при использовании данного метода рациональная периодичность ТО ДВС определяется при помощи методов вероятностного прогнозирования, позволяющих получить аналитические выражения для

плотности распределения времени до отказа ДВС и вероятности ее безотказной работы на заданном интервале времени.

К преимуществам данного метода относятся [1, 22]:

- контроль состояния изделия (диагностика);
- гарантия заданного уровня безотказности;
- учет вариации технического состояния ДВС (ее элементов).

Недостаток заключается в необходимости иметь информацию о изменении параметра для определения технического состояния ДВС.

Экономико-вероятностный метод при определении периодичности ТО суммирует предыдущие методы, учитывая при этом как экономические, так и вероятностные факторы [1, 22].

Полученные аналитические зависимости используются для формирования частных показателей эффективности функционирования ДВС таких, как коэффициент готовности к использованию по назначению и средних удельных затрат на эксплуатацию ДВС, зависящих непосредственно от периодичности проведения ТО. При помощи свертки данных частных показателей эффективности может быть сформирован обобщенный показатель эффективности функционирования ДВС, позволяющий найти компромисс между требуемым уровнем надежности ДВС и допустимыми затратами на его реализацию, при различных значениях периодичности ТО.

Проведенный сравнительный анализ различных способов определения оптимальной периодичности ТО ДВС дает возможность сделать вывод, что экономико-вероятностный метод является среди них наиболее полным и универсальным. В рамках данного подхода необходимо сформировать показатели эффективности функционирования ДВС, зависящие от периодичности проведения ТО, и определить оптимальную периодичность ТО, при которой достигается компромисс (баланс) между показателями надежности ДВС и затратами на эксплуатацию. При этом при формировании таких показателей должны быть учтены полученные ранее аналитические выражения для плотности

распределения времени ДВС до отказа и вероятности безотказной работы на заданном интервале времени.

3.2 Порядок расчета удельного показателя готовности автомобильного транспорта к использованию по назначению

Задачу определения оптимальной периодичности ТО целесообразно решать с использованием теории векторного анализа эффективности [72]. В соответствии с данным подходом из общей совокупности свойств ДВС могут быть выделены основные свойства, обуславливающие его пригодность к использованию по назначению и определяющие качество его функционирования: надежность ДВС и экономичность (затраты на эксплуатацию). Выбранную совокупность свойств назовем качеством функционирования ДВС [72].

В соответствии с теорией эффективности целенаправленных процессов стоит задача выбрать показатель качества для оценки эффективности функционирования ДВС, а затем внедрить частные показатели эффективности функционирования (ЧПЭФ), которые в свою очередь будут зависеть от периодичности ТО.

Из совокупности свойств ДВС основным выделим надежность, и как следствие – затраты на эксплуатацию, назовем их качеством функционирования ДВС и обозначим вектором $\vec{x} = \{\vec{x}_{\text{над}}; \vec{x}_{\text{эк}}\}$.

Введем показатели качества функционирования ДВС – меру качества процесса функционирования $Y(\vec{x}(t))$, где t – время функционирования ДВС [72].

Показатель готовности.

Показатели надежности принято разделять на единичные (количественно характеризующие одно свойство надежности) и комплексные (количественно характеризующие несколько таких свойств). Для оценки надежности функционирования восстанавливаемых объектов (к которым относится и ДВС) как правило применяют комплексные показатели надежности, такие как коэффициент готовности или коэффициент технического использования. Данные

коэффициенты учитывают свойства объекта относительно безотказности и ремонтпригодности. Как показывает практика, эти коэффициенты учитывают не все составляющие простоев АТ [1, 22, 42]. Учет же всех составляющих простоев позволяет получить более полную оценку надежности ее функционирования.

При эксплуатации ДВС, как и для АТ в целом, могут быть выделены три основные составляющие простоев [1, 22, 42]: простои АТ при контроле (проверке) ее работоспособности, простои при восстановлении работоспособности и простои с момента отказа до очередной (ближайшей) проверки работоспособности.

Проверка работоспособности ДВС и его восстановление (в случае необходимости) осуществляются при проведении ТО.

Коэффициент готовности учитывает лишь вторую из этих составляющих, а коэффициент технического использования – только первую и вторую. Третью составляющую коэффициент готовности и коэффициент технического использования не учитывают, поэтому использовать эти коэффициенты в работе для оценки надежности функционирования ДВС представляется нецелесообразным. В качестве же критерия оценки надежности функционирования ДВС необходимо принять показатель, который принципиально мог бы учитывать все представляющие интерес (основные) составляющие простоев.

В качестве такого показателя в работе выбрана вероятность нормального функционирования ДВС, определяемая как вероятность того, что в произвольный момент времени ДВС функционирует, сохраняя свою работоспособность. Вероятность такого нормального функционирования дает гарантию готовности к использованию в произвольный момент времени. Под данной вероятностью будем понимать показатель готовности объекта и обозначать $K_{гг}$. Характеризуя готовность ДВС к использованию по назначению в произвольный момент времени эксплуатации, показатель готовности, в отличие от коэффициента готовности и коэффициента технического использования, учитывает все три основные составляющие простоев, которые могут иметь место при

функционировании.

Дадим определение введенному показателю качества функционирования АТ следующим образом [2, 74]:

$$K_{\text{пг}} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{T_{\bar{\text{бп}}}(t)}{t}, \quad (3.1)$$

где $T_{\bar{\text{бп}}}(t)$ – время пребывания ДВС в работоспособном состоянии за период $(0, t)$.

Для дальнейшего рассмотрения введенного показателя готовности используем понятие цикла регенерации (цикла обслуживания) [74, 75].

Очевидно, что во время эксплуатации АТ в целом и ее узлы и агрегаты – в отдельности – могут находиться как в работоспособном состоянии, при котором значения заданных параметров не превышают своего предельного значения, так и в состоянии отказа. В установленные моменты времени, соответствующие моменту начала очередного ТО, АТ снимается с эксплуатации для контроля и, при необходимости, для восстановления работоспособности ДВС. Следовательно, кроме режима эксплуатации (использования по прямому назначению), АТ может находиться и в режиме контроля работоспособности ДВС, а при необходимости и в режиме восстановления работоспособности. Таким образом, так называемый цикл регенерации ДВС состоит из трех основных составляющих: из времени использования по прямому назначению (времени до момента начала очередного ТО), включающего время безотказной работы и время отказа ДВС, а также из времени, затрачиваемого на контроль работоспособности, и из времени восстановления его работоспособности. На рисунке 3.1 представлен регенерационный цикл после восстановления работоспособности ДВС [2, 42].

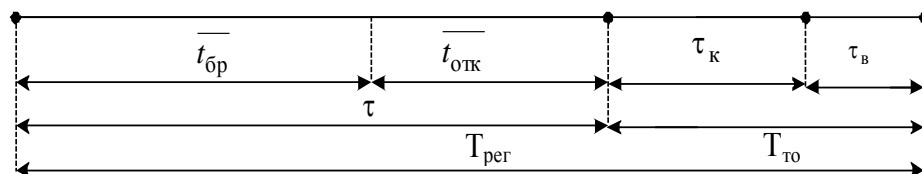


Рисунок 3.1 – Цикл регенерации ДВС

На рисунке 3.1 приняты следующие обозначения: $T_{\text{рег}}$ – период регенерации; $\bar{t}_{\text{бр}}$ – среднее время безотказной работы ДВС на интервале τ ; $\bar{t}_{\text{отк}}$ – среднее время отказа ДВС на интервале τ ; τ – периодичность проведения сеансов ТО (момент начала очередного ТО); $T_{\text{ТО}}$ – средняя длительность проведения ТО; $\tau_{\text{к}}$ – средняя длительность контроля работоспособности ДВС; $\tau_{\text{в}}$ – средняя длительность восстановления работоспособности ДВС.

Для одного периода регенерации (цикла обслуживания) можно записать [2, 74]

$$K_{\text{пг}} = \frac{M[t_{\text{бр}}]}{M[T_{\text{р}}]}, \quad (3.2)$$

где $M[t_{\text{бр}}]$ – математическое ожидание (МО) длительности безотказной работы ДВС за период времени τ ;

$M[T_{\text{р}}]$ – МО периода регенерации $T_{\text{р}}$.

От длины временного интервала τ зависит вероятность безотказной работы ДВС на интервале времени τ (времени до момента проведения очередного ТО), равно как и связанная с ней вероятность отказа ДВС. По этой причине показатель готовности (3.2) представим в виде функции, зависящей от значений периодичности контроля и ТО, в виде

$$K_{\text{пг}}(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} P_0(t) dt}{P_0(\tau) \cdot (\tau + \tau_{\text{к}}) + P_{\text{отк}}(\tau) \cdot (\tau + \tau_{\text{к}} + \tau_{\text{в}})}, \quad (3.3)$$

где $\int_0^{\tau} P(t) dt = \bar{t}_{\text{бр}}$ – среднее время безотказной работы ДВС на интервале τ ;

$P_0(\tau)$ – вероятность безотказной работы ДВС на интервале τ ;

$P_{\text{отк}}(\tau)$ – вероятность отказа ДВС на интервале τ , а остальные обозначения соответствуют ранее введенным.

После преобразования получим

$$K_{\text{пг}}(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} P(t)dt}{\tau + \tau_{\text{к}} + P_{\text{отк}}(\tau) \cdot \tau_{\text{в}}} \quad (3.4)$$

Проведенные расчеты и моделирование функции (3.4) в среде «MathCad» показали, что при фиксируемом значении периодичности проведения сеансов ТО выражение вида (3.4) имеет максимум. Задача его определения относится к классу задач непрерывной нелинейной оптимизации с линейными ограничениями. По типу информации, используемой при поиске экстремума, методы решения таких задач делятся на методы прямого поиска, т.е. методы, в которых при поиске экстремума целевой функции используются только ее значения; и на градиентные методы первого (второго) порядка, в которых при поиске экстремума целевой функции используются значения ее первых (вторых) производных [72]. В работах Томпсона, Розена [77], Зонтендейка [78] и других ученых разработаны градиентные методы решения задач нелинейного программирования, где ни один из них не является универсальным. В каждом конкретном случае необходимо приспособлять применяемый метод к особенностям решаемой задачи. В данном случае из-за сложности вычисления производных и необходимости поиска максимального значения функции на интервале пригодности, определяемом исходя из экономической целесообразности организации ТО, и часто не совпадающего с экстремумом, целесообразным оказывается использование метода прямого перебора возможных значений $K_{\text{пг}}$ при помощи ЭВМ.

Примеры расчета зависимости момента начала очередного ТО ДВС $T_{\text{экстр1}}$, доставляющего максимум показателю готовности $K_{\text{пг}}$, от среднего времени

контроля работоспособности ДВС τ_k , среднего времени восстановления работоспособности ДВС τ_b и от математического ожидания случайных коэффициентов $\Delta\Pi$ и a_1 при линейной модели отклонения параметров ДВС приведены в таблицах 3.1–3.4.

Таблица 3.1 – Зависимость времени достижения экстремума показателем $K_{ПГ}$ от τ_k ($\tau_b = 5$ ч, $M_{a1}=0,0009$, $M_{\Delta\Pi} = 20$, $\sigma_{a1} = 0,2 \cdot M_{a1}$, $\sigma_{\Delta\Pi}=0,025 \cdot M_{\Delta\Pi}$)

τ_k , ч	3	5	10	15	20	30
$T_{экстр1}$, ч	15000	15200	15600	15800	15900	16000

Таблица 3.2 – Зависимость времени достижения экстремума показателем $K_{ПГ}$ от τ_b ($\tau_k = 2$ ч, $M_{a1}=0,0009$, $M_{\Delta\Pi} = 20$, $\sigma_{a1} = 0,2 \cdot M_{a1}$, $\sigma_{\Delta\Pi}=0,025 \cdot M_{\Delta\Pi}$)

τ_b , ч	3	5	10	15	20	30
$T_{экстр1}$, ч	14200	14300	14400	14600	14800	15000

Таблица 3.3 – Зависимость времени достижения экстремума показателем $K_{ПГ}$ от M_{a1} ($\tau_k = 2$ ч, $\tau_b = 5$ ч, $M_{\Delta\Pi} = 20$, $\sigma_{a1} = 0,2 \cdot M_{a1}$, $\sigma_{\Delta\Pi}=0,025 \cdot M_{\Delta\Pi}$)

M_{a1}	0,0011	0,001	0,0009	0,0008	0,0007
$T_{экстр1}$, ч	12000	13500	14800	17000	19000

Таблица 3.4 – Зависимость времени достижения экстремума показателем $K_{ПГ}$ от $M_{\Delta\Pi}$ ($\tau_k = 2$ ч, $\tau_b = 5$ ч, $= 20$, $M_{a1}=0,0009$, $\sigma_{a1} = 0,2 \cdot M_{a1}$, $\sigma_{\Delta\Pi}=0,025 \cdot M_{\Delta\Pi}$)

$M_{\Delta\Pi}$	20	19	18	17	16
$T_{экстр1}$, ч	14800	14000	13400	12600	11800

Анализ зависимости (3.4) и проведенные расчеты еще раз свидетельствуют о том, что существует конечный момент начала очередного ТО ДВС, при котором достигается максимум $K_{ПГ}$, а также позволяют сделать следующие выводы[2]:

1. Значение момента начала очередного ТО ДВС $T_{\text{экстр1}}$, доставляющее максимум $K_{\text{пг}}$, слабо зависит от значений, $\tau_{\text{к}}$, $\tau_{\text{в}}$ и почти нечувствительно к их изменениям (изменение значений $\tau_{\text{к}}$, $\tau_{\text{в}}$ в несколько раз ведет к изменению $T_{\text{экстр1}}$ на несколько процентов), при увеличении $\tau_{\text{к}}$, $\tau_{\text{в}}$ $T_{\text{экстр1}}$ незначительно сдвигается в сторону больших значений.

2. Значение момента начала очередного ТО $T_{\text{экстр1}}$, доставляющее максимум $K_{\text{пг}}$, сильно зависит от параметров распределения случайных коэффициентов – $M_{\text{а1}}$ и $M_{\Delta\text{п}}$. Причем с увеличением $M_{\text{а1}}$ оно уменьшается, а с увеличением $M_{\Delta\text{п}}$ – увеличивается. Таким образом, при увеличении скорости изменения параметров ДВС с течением времени требуется более частое проведение ТО, и наоборот, увеличение параметра $\Delta\text{п}$ (разности между текущим и предельно допустимым значениями параметров) позволяет уменьшить периодичность проведения ТО.

3. Значение $K_{\text{пг}}$ в точке максимума определяется прежде всего длительностью контроля и восстановления работоспособности ДВС. Даже небольшое их увеличение вызывает существенное снижение максимального значения $K_{\text{пг}}$ при неизменных значениях $M_{\text{а1}}$ и $M_{\Delta\text{п}}$ (то есть при квалифицированном и быстром проведении операций контроля и восстановления работоспособности ДВС $K_{\text{пг}}$ повышается). В свою очередь, изменение величин $M_{\text{а1}}$ и $M_{\Delta\text{п}}$ в достаточно широких пределах при неизменных $\tau_{\text{к}}$, $\tau_{\text{в}}$ практически не сказывается на значении максимума $K_{\text{пг}}$.

Средние относительные непроизводительные затраты на эксплуатацию ДВС.

В свою очередь, качество функционирования ДВС целесообразно оценивать с помощью стоимостных показателей, таких как средние относительные непроизводительные затраты, на которые влияют параметры ТО. Их можно представить в виде функции, зависящей от периодичности проведения ТО:

$$C = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^n C_k}{t},$$

где $C_k, k = 1, 2, \dots, n$ – затраты на эксплуатацию элемента ДВС в n -м состоянии.

Для одного участка регенерации (цикла обслуживания) введенный показатель качества функционирования можно представить следующим образом:

$$C = \frac{M(C_{\text{непр}})}{M(C)}, \quad (3.5)$$

где $M[C_{\text{непр}}]$ – МО непроизводительных затрат на эксплуатацию ДВС;

$M[C]$ – МО общих затрат на эксплуатацию ДВС.

Средние относительные непроизводительные затраты на эксплуатацию, зависящие от периодичности ТО, также можно представить в виде функции

$$C(\tau) = \frac{P_0(\tau) \cdot (C_K \cdot \tau_K) + P_{\text{отк}}(\tau) \cdot (\overline{C_{\text{отк}} t_{\text{отк}}} + C_B \cdot \tau_B + C_K \cdot \tau_K)}{P_0(\tau) \cdot (C_{\text{ф}} \cdot \overline{t_{\text{бр}}} + C_K \cdot \tau_K) + P_{\text{отк}}(\tau) \cdot (\overline{C_{\text{отк}} t_{\text{отк}}} + C_B \cdot \tau_B + C_K \tau_K)},$$

где C_K – средние удельные затраты на эксплуатацию ДВС в режиме ТО;

$C_{\text{отк}}$ – средние удельные затраты на эксплуатацию ДВС в режиме отказа;

C_B – средние удельные затраты на эксплуатацию ДВС в режиме восстановления работоспособности;

$C_{\text{ф}}$ – средние удельные затраты на эксплуатацию ДВС при его безотказной работе (нормальном функционировании);

$\overline{t_{\text{отк}}} = \tau - \overline{t_{\text{бр}}}$ – среднее время отказа ДВС на интервале τ .

Остальные обозначения соответствуют ранее введенным.

Выполнив преобразование, получим выражение для средних относительных непроизводительных затрат на эксплуатацию ДВС:

$$C(\tau) = \frac{C_K \cdot \tau_K + P_{\text{ОТК}}(\tau) \cdot (C_{\text{ОТК}} \overline{t_{\text{ОТК}}} + C_B \cdot \tau_B)}{P_0(\tau) \cdot C_{\text{ф}} \cdot t_{\text{бр}} + P_{\text{ОТК}}(\tau) \cdot (C_{\text{ОТК}} \cdot t_{\text{ОТК}} + C_B \cdot \tau_B) + C_K \tau_K} \quad (3.6)$$

Проведенные расчеты и моделирование функции в среде «MathCad» показывают, что при определенном значении периодичности выражение вида (3.6) имеет минимум. Соответствующее значение момента начала очередного ТО по аналогии с предыдущим случаем будем определять методом перебора с использованием ЭВМ.

Примеры расчета зависимости момента начала очередного ТО ДВС $T_{\text{экстр}}$, доставляющего минимум величины C (затрат на эксплуатацию ДВС), от среднего времени контроля работоспособности τ_K , среднего времени восстановления работоспособности τ_B и от математического ожидания случайных коэффициентов $\Delta\Pi$ и a_1 при линейной модели дрейфа параметров приведены в таблицах 3.5-3.8.

Таблица 3.5 – Зависимость времени достижения экстремума величиной C от τ_K ($\tau_B = 5$ ч, $M_{a1} = 0,0009$, $M_{\Delta\Pi} = 20$, $\sigma_{a1} = 0,2 \cdot M_{a1}$, $\sigma_{\Delta\Pi} = 0,025 \cdot M_{\Delta\Pi}$)

τ_K , ч	3	5	10	15	20	30
$T_{\text{экстр}2}$, ч	16400	16600	16800	17000	17200	17400

Таблица 3.6 – Зависимость времени достижения экстремума величиной C от τ_B ($\tau_K = 2$ ч, $M_{a1} = 0,0009$, $M_{\Delta\Pi} = 20$, $\sigma_{a1} = 0,2 \cdot M_{a1}$, $\sigma_{\Delta\Pi} = 0,025 \cdot M_{\Delta\Pi}$)

τ_B , ч	3	5	10	15	20	30
$T_{\text{экстр}2}$, ч	15800	15900	16000	16100	16150	16200

Таблица 3.7 – Зависимость времени достижения экстремума величиной C от M_{a1} ($\tau_K = 2$ ч, $\tau_B = 5$ ч, $M_{\Delta\Pi} = 20$, $\sigma_{a1} = 0,2 \cdot M_{a1}$, $\sigma_{\Delta\Pi} = 0,025 \cdot M_{\Delta\Pi}$)

M_{a1}	0,0011	0,001	0,0009	0,0008	0,0007
$T_{\text{экстр}2}$, ч	16400	16600	16800	17000	17200

$T_{\text{экстр}2}$, ч	12800	14000	15600	17400	19300
-------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Таблица 3.8 – Зависимость времени достижения экстремума величиной C от $M_{\Delta\Pi}(\tau_k=2 \text{ ч}, \tau_b=5 \text{ ч}, =20, M_{a1}=0,0009, \sigma_{a1}=0,2 \cdot M_{a1}, \sigma_{\Delta\Pi}=0,025 \cdot M_{\Delta\Pi})$

$M_{\Delta\Pi}$	20	19	18	17	16
$T_{\text{экстр}2}$, ч	15600	15000	14500	14000	13500

Анализ зависимости (3.6) и проведенные расчеты свидетельствуют том, что существует конечный момент начала очередного ТО, при котором достигается минимум C , а также позволяют сделать следующие выводы [2]:

1. Значение момента начала очередного ТО ДВС $T_{\text{экстр}}$, доставляющее минимум C , слабо зависит от значений τ_k , τ_b и почти нечувствительно к их изменениям (изменение значений τ_k , τ_b в несколько раз ведет к изменению $T_{\text{экстр}}$ на несколько процентов), при увеличении τ_k , τ_b $T_{\text{экстр}}$ незначительно сдвигается в сторону больших значений.

2. Значение момента начала очередного ТО $T_{\text{экстр}}$, доставляющее минимум C , сильно зависит от параметров распределения случайных коэффициентов – M_{a1} и $M_{\Delta\Pi}$. Причем с увеличением M_{a1} оно уменьшается, а с увеличением $M_{\Delta\Pi}$ – увеличивается. Это подтверждает вывод о том, что при увеличении скорости изменения параметров с течением времени требуется более частое проведение ТО, и наоборот, увеличение параметра $\Delta\Pi$ (разности между текущим и предельно допустимым значениями параметра) позволяет уменьшить периодичность проведения ТО.

3. Значение C в точке минимума определяется прежде всего длительностью ТО и восстановления ДВС. Даже небольшое их увеличение вызывает существенное увеличение минимального значения C при неизменных значениях M_{a1} и $M_{\Delta\Pi}$ (т. е. при уменьшении времени на проведение контроля и восстановления работоспособности ДВС C снижается). В свою очередь,

изменение величин M_{a1} и $M_{\Delta\Pi}$ в достаточно широких пределах при неизменных τ_k , τ_b практически не сказывается на значении минимума C .

Полученные соотношения для расчета $K_{\text{ПГ}}$ и C позволяют количественно оценивать качество процесса функционирования ДВС, ТО которых проводится с переменными периодом и объемом.

Анализ зависимости C от момента начала очередного ТО и зависимости оптимального момента начала очередного ТО от значений параметров, входящих в расчетные соотношения, показал, что оптимальные значения момента начала очередного ТО главным образом зависят от значений параметров распределения, а значения C в точках экстремума определяются прежде всего средней длительностью контроля и восстановления работоспособности ДВС.

На основе описанных показателей качества функционирования ДВС ($K_{\text{ПГ}}$ и C) можно сформировать систему показателей качества функционирования (СПК) ДВС – вектор следующего вида [2, 72]:

$$\bar{Y}(\bar{x}(t)) = \{\bar{Y}_{\text{над}}(\bar{x}(t)); \bar{Y}_{\text{эк}}(\bar{x}(t))\}.$$

Как было показано выше, значения всех показателей качества функционирования ДВС зависят от выбранной периодичности ТО. Так, слишком большие интервалы времени между очередными сеансами ТО приводят к снижению степени готовности ДВС к использованию по назначению, и напротив, слишком частое проведение ТО ДВС ведет к увеличению затрат на эксплуатацию.

Эффективность функционирования ДВС в общем виде представляет собой свойство процесса функционирования двигателя, характеризующее его результативность (степень достижения требований пользователей) [72]. Под ней в работе будем понимать степень достижения указанных выше требований к показателю готовности и к затратам на эксплуатацию ДВС. При этом оценка

оптимальности выбранной периодичности ТО ДВС, как правило, производится по изменению эффективности функционирования. С этой целью вводим показатель эффективности функционирования ДВС – скалярную меру удовлетворения показателями качества, заданным к ним требованиям $Y_{\text{тр}}$. В общем виде этот показатель будет иметь вид [2, 72]

$$\Phi(\bar{Y}(\bar{x}(t)), \bar{Y}_{\text{тр}}) = f \left\{ \Phi_v(\bar{Y}_v(\bar{x}(t)), \bar{Y}_{v\text{тр}}) \right\}, v = 1, \dots, V,$$

где V – число выбранных показателей качества.

В качестве частных показателей эффективности функционирования ДВС в работе были выбраны следующие показатели [2]:

1) $K_{\text{пг}}(\tau)$ – показатель готовности ДВС, который должен удовлетворять условию $K_{\text{пг}}(\tau) \geq K_{\text{пгзад}}$;

2) Средние относительные непроизводительные затраты на эксплуатацию ДВС $C(\tau)$.

Очевидно, что первый из введенных показателей необходимо свести к максимуму, а второй – к минимуму. Иными словами, критерии оптимальности для введенных ЧПЭФ могут быть представлены следующим образом [2]:

1. При постановке и решении прямой задачи – в виде системы

$$\begin{cases} K_{\text{пг}}(\tau_{\text{опт}}) = \sup_{\tau_{\text{опт}} \in T_c} K_{\text{пг}}(\tau), \\ C(\tau) \leq C_{\text{доп}} \end{cases}$$

2. При обратной задаче:

$$\left\{ \begin{array}{l} C(\tau_{\text{опт}}) = \inf_{\tau_{\text{опт}} \in [0; T_{\text{пг}}]} C(\tau), \\ K_{\text{пг доп}}(\tau) \geq K_{\text{пг доп}}, \end{array} \right.$$

где $C_{\text{доп}}(\tau)$ – допустимое значение затрат на эксплуатацию ДВС;

T_c – множество возможных значений периодичности проведения ТО, при которых выполняется условие $C(\tau) \leq C_{\text{доп}}$;

$[0; T_{\text{пг}}]$ – интервал возможных значений периодичности ТО (область пригодности), формируемый при выполнении условия

$$K_{\text{пг доп}}(\tau) \geq K_{\text{пг зад}},$$

На практике чаще используется обратная постановка задачи, т.е. необходимо определить оптимальную периодичность ТО ДВС $\tau_{\text{опт}}$, при которой обеспечивается заранее заданное значение показателя готовности ДВС при минимально возможных при этом затратах на ее эксплуатацию. Данная обратная задача может быть представлена в виде [2]

$$C(\tau) \longrightarrow \min_{\tau_{\text{опт}} \in [0; T_{\text{пг}}]} .$$

Все введенные ЧПЭФ безразмерны, нормированы к единице и, следовательно, имеют одинаковый порядок. При этом $K_{\text{пг}}$ формирует так называемую область пригодности, т.е. интервал допустимых значений времени для дальнейшего поиска оптимального периода ТО [2].

На основе введенных частных ПЭФ может быть сформирован обобщенный показатель эффективности функционирования (ОПЭФ) ДВС в виде

$$\text{ОПЭФ}(\tau) = C(\tau) \mid [K_{\text{пг}}(\tau) \geq K_{\text{пг зад}}]. \quad (3.7)$$

И частные, и обобщенный показатели эффективности функционирования зависят от периода проведения ТО. В итоге необходимо определить оптимальную периодичность проведения ТО ДВС $\tau_{\text{опт}}$, при которой обеспечивается заданное значение показателя готовности при минимально возможных затратах на эксплуатацию, т.е.:

$$\text{ОПЭФ}(\tau) \longrightarrow \min_{\tau_{\text{опт}} \in [0; T_{\text{пг}}]}.$$

Критериями оценки эффективности функционирования ДВС, как и для других технических устройств, могут служить понятия пригодности, оптимальности и превосходства [72]. Используя введенный ОПЭФ вида (3.7) и задавая требуемые значения $K_{\text{пг}}$, можно определить интервал времени, на котором будут выполняться заданные требования по надежности, то есть сформировать так называемую область пригодности. В этой области, в свою очередь, могут быть выделены область оптимальности (в которой один из ПЭФ достигает экстремального значения при соблюдении ограничений и условий на другие показатели эффективности), а также область превосходства (в которой достигается минимум отклонения ПЭФ от своих экстремумов, т.е. экстремальное значение ОПЭФ) (рисунок 3.2) [2]: в виде фигуры OEFH – область возможных значений $K_{\text{пг}}$ и С; в виде фигуры OABD – область пригодности; отрезками АВ, ВD – области оптимальности показателей $K_{\text{пг}}$ и С соответственно; точка В – область превосходства [2].

При записи ОПЭФ ДВС в виде (3.7) подразумевается, что требования по надежности (и связанной с ней эксплуатации) для ДВС в большинстве случаев имеют более важное значение, чем требования по минимизации затрат на эксплуатацию.

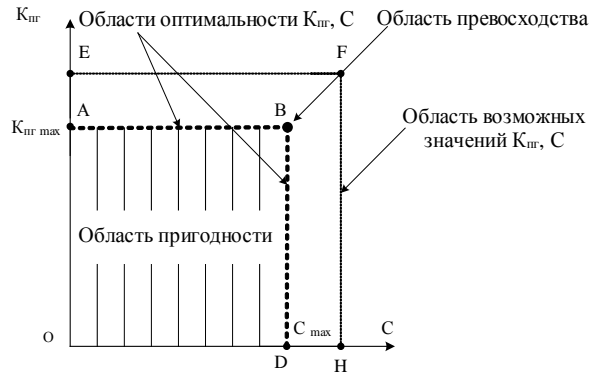


Рисунок 3.2 – Области пригодности, оптимальности и превосходства ЧПЭФ

Однако возможны ситуации, при которых требования по обеспечению надежности и экономичности имеют одинаковый приоритет. В этом случае ОПЭФ может быть сформирован в ином виде. Так, свертка методом идеальной точки [72] первого и второго ПФ – $K_{ПГ}$ и C – в ОПЭФ позволяет получить зависимость вида

$$\text{ОПЭФ}(\tau) = \sqrt{(1 - K_{ПГ}(\tau))^2 + C(\tau)^2}. \quad (3.8)$$

Как и в предыдущем случае, перебор всех возможных значений τ позволяет определить момент начала ТО, доставляющий минимум этому выражению, т.е. приводящий к компромиссу между показателем готовности ДВС и средними непроизводительными затратами на эксплуатацию. В этом случае периодичность проведения ТО ДВС $\tau_{\text{опт}}$, при которой достигается минимум ОПЭФ – минимум отклонения $K_{ПГ}$ и C от своих оптимумов, т.е. обеспечивается компромисс между надежностью ($K_{ПГ}$) и стоимостью эксплуатации ДВС (C), также можно считать оптимальной. Это оптимальное значение периодичности проведения ТО, доставляющее минимум ОПЭФ, также может быть определено методом перебора с использованием ЭВМ (рисунок 3.3) [109].

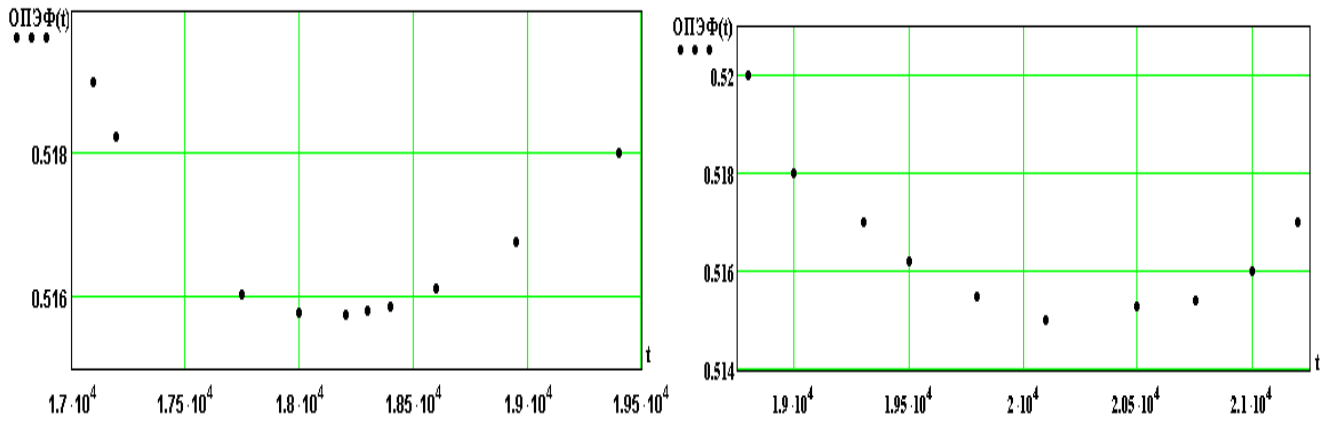


Рисунок 3.3 – Пример расчета зависимости ОПЭФ ДВС от периодичности проведения ТО

Как отмечалось выше, выражения $P_0(\tau)$ и $P_{\text{отк}}(\tau)$ (вероятность безотказной работы и вероятность отказа ДВС на интервале τ) в формулах (3.4), (3.6) и связанные с ними аналитические зависимости для плотности распределения времени до отказа ДВС $\omega(\tau)$ могут быть найдены путем вероятностного прогнозирования момента выхода определяющего параметра ДВС за допустимые пределы [2]. Таким образом, для каждого из определяющих параметров ДВС при помощи прогнозирования могут быть получены вероятностные показатели надежности, и на их основе – сформированы показатели эффективности функционирования, на базе которых возможна дальнейшая организация гибкой стратегии ТО ДВС с оптимальной (с точки зрения введенных показателей) периодичностью. Проведение ТО ДВС с найденной оптимальной периодичностью позволит обеспечить оптимальный по выбранным критериям уровень качества функционирования ДВС на интервале времени до очередного ТО и в целом – повысить эффективность функционирования ДВС при эксплуатации в различных условиях.

3.3 Разработка алгоритма определения оптимальной периодичности технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания

В предыдущем разделе было отмечено, что для повышения эффективности функционирования ДВС в различных условиях эксплуатации могут быть использованы гибкие стратегии ТО, позволяющие проводить соответствующие профилактические работы с найденной оптимальной периодичностью.

Порядок нахождения интервалов времени между очередными сеансами ТО применительно к ДВС будет представлен в виде алгоритма определения оптимальной периодичности ТО ДВС, а последовательность дальнейших действий по организации гибкой стратегии ТО ДВС АТ – в виде алгоритма проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации.

Алгоритм определения оптимальной периодичности ТО ДВС (рисунок 3.4) позволяет находить интервалы времени между очередными ТО, при которых обеспечивается выполнение указанных выше требований к показателю готовности и к затратам на эксплуатацию ДВС. При этом, как было отмечено выше, оценка оптимальности выбранной периодичности ТО должна производиться по изменению эффективности функционирования ДВС.

Исходные данные для работы алгоритма включают:

- предельно допустимые значения контролируемых параметров ДВС, приведенные в технической документации завода-изготовителя;
- имеющиеся (предварительно полученные) статистические данные о предшествующих значениях контролируемых параметров (при их наличии).

Первый этап работы алгоритма включает пять основных операций:

1. Ввод исходных данных, т.е. предельно допустимых значений контролируемых параметров, и имеющихся статистических данных о предшествующих значениях контролируемых параметров (при их наличии). При этом предельные значения параметров, оценивающих техническое состояние, определяются при помощи статистического метода, сущность которого заключается в том, что по результатам обследования представительной партии диагностируемых изделий строится гистограмма распределения оценивающих его значений диагностического параметра, аппроксимирующая ее теоретическая кривая и по заданному уровню вероятности безотказной работы P (например,

0,95) [70].

2. Сбор данных об отклонении значений контролируемых параметров, полученных на основании проведения измерений в M моментов времени для N изделий (ДВС).

3. Обработка полученных данных и получение выражений (аппроксимационных полиномов) для отклонения параметров для каждого из N описанных выше изделий.

Исходные данные для алгоритма включают:

- предельно допустимые значения контролируемых параметров ДВС, приведенные в технической документации;
- имеющиеся (предварительно полученные) статистические данные о предшествующих значениях контролируемых параметров.

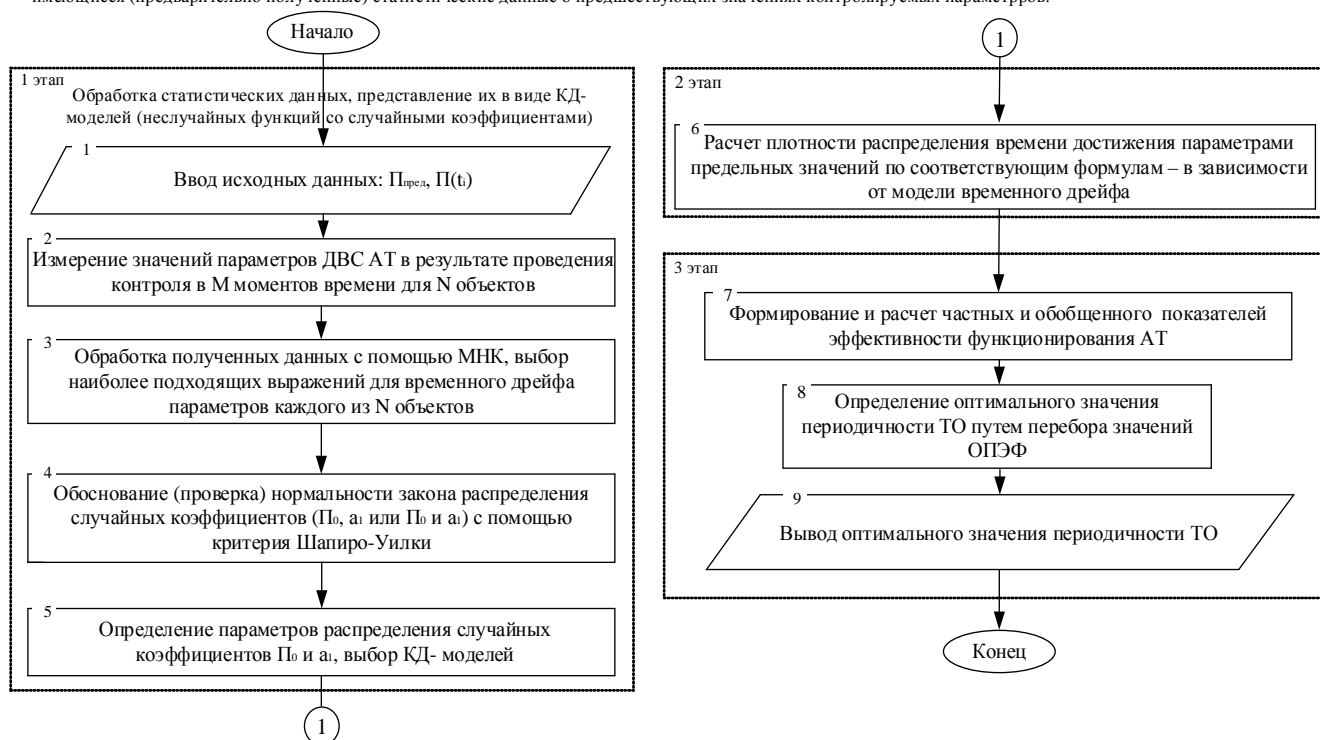


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритма определения оптимальной периодичности ТО ДВС АТ

При решении этой задачи необходимо учесть, что при исследовании отклонения значений параметров неизбежно возникновение ошибок (погрешностей измерений). Так как эти ошибки носят случайный характер и уровень неопределенности исходных данных достаточно высок, неверно

требовать совпадения значений аппроксимирующей функции в точках измерения t_i со значениями функции $\Pi(t)$ в этих точках (использовать интерполяцию) [79, 80]. Таким образом, интерполяция случайной функции отклонения параметров связана с погрешностями, которые существенно влияют не только на качество восстановления функции, но и на саму возможность применять интерполяцию для восстановления исходной функции. Повышение же точности интерполяции благодаря увеличению степени интерполяционного полинома возможно, но связано с существенным повышением сложности вычислений. Согласно теореме о единственности интерполяционного многочлена [79, 80], для h узлов интерполирования (моментов времени, в которых производятся измерения) существует и единственен интерполяционный многочлен только степени h , поэтому для достаточно большого числа измерений (например, для $h = 100$) потребуется многочлен такой же степени. Использование же многочленов высокой степени требует специальных мер предосторожности уже при выборе формы их записи, так как вычисления сопровождаются накоплением ошибок округления [80]. Все вышеизложенные причины делают нерациональным применение известных интерполяционных полиномов (Лагранжа, Ньютона, Стирлинга, Бесселя и др.) для описания отклонения значений параметров ДВС при их прогнозировании. Но, отказываясь от требования выполнения в точках t_i точных равенств значений аппроксимирующей функции со значениями функции $\Pi(t)$ в этих точках, следует все же стремиться к тому, чтобы в этих точках выполнялись соответствующие приближенные равенства:

$$\begin{aligned}
 a_0 + a_1 t_0 + \dots + a_h t_0^h &\approx \Pi(t_0), \\
 a_0 + a_1 t_1 + \dots + a_h t_1^h &\approx \Pi(t_1), \\
 \dots, \\
 a_0 + a_1 t_m + \dots + a_h t_m^h &\approx \Pi(t_m)
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

Запишем систему приближенных равенств (3.9) в матричном виде [80]

$$\begin{bmatrix} 1 & t_0 & \dots & t_0^h \\ 1 & t_1 & \dots & t_1^h \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & t_n & \dots & t_m^h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_h \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} \Pi(t_0) \\ \Pi(t_1) \\ \dots \\ \Pi(t_m) \end{bmatrix}. \quad (3.10)$$

Для выбора таких параметров a_0, a_1, \dots, a_h модели, при которых выполняются приближенные равенства (3.9), будем использовать метод наименьших квадратов (МНК), подробно описанный в работах [79, 80]. К достоинствам данного метода относятся сравнительная простота реализации метода и достаточно высокая точность аппроксимации функции.

Минимизируем среднеквадратичное отклонение δ обобщенного многочлена $y(t)$ от заданных табличных значений $\Pi(t)$:

$$\delta(y(t), \Pi(t)) = \sqrt{\frac{1}{m+1} \cdot \sum_{i=0}^m (y(t_i) - \Pi(t_i))^2}. \quad (3.11)$$

Линейная задача метода наименьших квадратов состоит в нахождении обобщенного многочлена $y^*(t)$, для которого среднеквадратичное отклонение (3.11) принимает минимальное значение, т.е.

$$\delta(y^*(t), \Pi(t)) = \min_{y(t)} \delta(y(t), \Pi(t)).$$

Искомый обобщенный многочлен называют многочленом наилучшего среднеквадратичного приближения. Доказано, что при $h \leq m$ алгебраический многочлен наилучшего среднеквадратичного приближения существует и единственен [80].

Для решения поставленной линейной задачи воспользуемся известным

фактом о том, что минимум среднеквадратичного отклонения совпадает с минимумом функции следующего вида [80]:

$$S(y(t), \Pi(t)) = \sum_{i=0}^m (y(t_i) - \Pi(t_i))^2 = \sum_{i=0}^m \left(\sum_{k=0}^h a_k \cdot t_i^k - \Pi(t_i) \right)^2.$$

В этом случае возможно использовать подход, сформированный на применении необходимого условия экстремума функции S :

$$\frac{dS}{da_k} = 0, \quad k = 0, 1, \dots, h. \quad (3.12)$$

Переходим к системе линейных алгебраических уравнений (так называемой нормальной системе МНК) [79, 80]:

$$\sum_{j=0}^h \left(\sum_{i=0}^m t_i^{j+k} \right) a_j = \sum_{i=0}^m \Pi(t_i) \cdot t_i^k, \quad k = 0, 1, \dots, h. \quad (3.13)$$

Для наиболее распространенного случая $h=1$ получаем систему

$$\begin{aligned} (m+1)a_0 + \left[\sum_{i=0}^m t_i \right] a_1 &= \sum_{i=0}^m \Pi(t_i), \\ \left[\sum_{i=0}^m t_i \right] a_0 + \left[\sum_{i=0}^m t_i^2 \right] a_1 &= \sum_{i=0}^m \Pi(t_i) t_i. \end{aligned}$$

Для более высоких степеней полинома система записывается по аналогичным правилам. При этом существует оптимальное значение степени аппроксимационного полинома, при превышении которого многочлен будет все хуже соответствовать приближаемой функции по критерию минимума среднеквадратичного отклонения δ [80]. Таким образом, за оптимальное значение

степени аппроксимационного полинома дрейфа параметров принимается то значение h , начиная с которого величина среднеквадратичного отклонения (3.12) стабилизируется или начинает возрастать.

4. Обоснование (проверка) нормальности закона распределения случайных коэффициентов (a_0 , a_1 или a_0 и a_1) полученных выражений с помощью критерия Шапиро–Уилки.

Известно, что в тех случаях, когда случайная величина находится в результате совместного воздействия многих малых факторов, в силу действия центральной предельной теоремы теории вероятностей данная величина хорошо приближается (по распределению) нормальной случайной величиной. Исходя из этого можно предположить, что распределение коэффициентов a_0 и a_1 полученных полиномов тоже будет иметь нормальный закон, поэтому выдвинем гипотезу H о том, что случайные коэффициенты a_0 и a_1 имеют нормальный закон распределения. Проверка нормальности распределения коэффициентов a_0 и a_1 может быть выполнена с помощью критериев, принадлежащих к одному из следующих типов [81–86]:

- критерии функций распределения, основанные на непосредственном сравнении эмпирической и теоретической функций эмпирического распределения и различающиеся используемыми метриками (критерии типа Колмогорова Смирнова, Лиллиефорса), критерии типа омега-квадрат (Крамера–Мизеса, Андерсона–Дарлингга), критерии типа Эппса–Палли, критерии типа хи-квадрат и критерий Саркади);

- порядковые критерии, к которым относятся критерии Шапиро–Уилкии Д’Агостино, критерий асимметрии эмпирического распределения Гупта;

- критерии моментов, позволяющие оценить отклонение некоторых параметров эмпирического распределения (чаще всего – коэффициента асимметрии и эксцесса) от параметров нормального распределения (критерии Жарка–Бера, Гири, Мардиа, коэффициента асимметрии и эксцесса).

Для проверки выдвинутой гипотезы H о нормальности распределения

коэффициентов μ_0 и a_1 выберем из вышеприведенных критериев согласия наиболее подходящий, т.е. такой критерий, который при заданном уровне значимости (вероятности ошибки первого рода) имеет максимальную мощность (вероятность недопущения ошибки второго рода), достаточную для обнаружения имеющихся отклонений от выдвинутой гипотезы.

Соответствие асимметрии или эксцесса эмпирического распределения тем же параметрам нормального теоретического распределения не тождественно согласию эмпирической и теоретической функций эмпирического распределения [82, 83]. Поэтому критерии согласия, основанные на оценке отклонения коэффициента асимметрии и эксцесса от параметров нормального распределения, например, критерии Д'Агостино и Гупта, а также критерии коэффициента асимметрии, эксцесса, Жарка–Бера, Гири и Мардиа в данной работе рассматриваться не будут.

В нашем случае по выборке оцениваются среднее значение и дисперсия случайных коэффициентов, т.е. выдвинутая гипотеза о нормальности коэффициентов является сложной [82, 83], поэтому критерий Саркади, предназначенный только для проверки простых гипотез, также отвергается.

Отметим, что критерии минимума хи-квадрат и подобные им не являются состоятельными, так как вероятности попадания в области группирования не задают функцию распределения однозначно [87]. Кроме того, эти критерии требуют значительного объема статистических данных [84], поэтому их использование в работе также нецелесообразно.

Критерии типа Колмогорова, типа омега-квадрат, критерии Шапиро-Уилки и Эппса–Палли являются состоятельными, т.е. любую альтернативную функцию распределения, не входящую в рассматриваемое параметрическое семейство, они отвергают с вероятностью, стремящейся к единице при росте объема выборки. На практике при малых n предпочтение отдают специальным критериям проверки отклонений от нормальности, например, критериям Шапиро-Уилки и Эппса–Палли [81]. Рекомендации по применению критерия Шапиро-

Уилки для малых n приведены и в других источниках, например, в [87]. Кроме этого, действующий ГОСТ [86] также рекомендует применение критерия Шапиро–Уилки при объемах выборок от 8 до 50. Статистика критерия W для вариационного ряда $x_{(1)} < x_{(2)} < \dots < x_{(n)}$, полученного по наблюдаемой выборке x_1, x_2, \dots, x_n , рассчитывается в соответствии со следующим выражением:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (x_{n-i+1} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

где $x_i, i = 1, \dots, n$ – отсортированная в порядке возрастания выборка;

$n = 3, 4, \dots, 50$ – объем выборки;

$k = 1 \dots n/2$, если n – четное;

$k = 1 \dots (n-1)/2$, если n – нечетное;

$a_{n-i+1}, i = 1, 2, \dots, k$ – константы, приведенные в первоисточниках [86, 88, 89].

Для вычисления вероятности отклонения гипотезы о значимости W -статистики P используется выражение

$$P = \gamma_n + \eta_n \cdot \ln \frac{W - \varepsilon_n}{1 - W},$$

где $\gamma_n, \eta_n, \varepsilon_n$ – табулированные константы [86, 88, 89].

Согласно критерию Шапиро–Уилки, гипотеза о нормальности отвергается при малых значениях статистики W , т. е. если рассчитанная по данным наблюдений W -статистика значима, то гипотеза о том, что данные имеют нормальный закон распределения, должна быть отвергнута. Таким образом, если рассчитанная вероятность отклонения гипотезы о значимости имеет значения, большие заданного уровня значимости α , то гипотеза о нормальном законе распределения данных принимается с вероятностью $(1-\alpha)$ [90].

5. Определение параметров распределения случайных коэффициентов a_0 и a_1 .

Очевидно, что любое значение всегда будет содержать элемент случайности. Такое значение называют оценкой параметра. Для вычисления оценок параметров математического ожидания m и дисперсии D в работе были использованы известные формулы [54, 63]:

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}; \quad \tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{m})^2}{n-1}.$$

Полученные оценки являются состоятельными и несмещенными [54, 63].

После выполнения первого этапа алгоритма, появляется возможность представить закон изменения значений параметров ДВС во времени в виде КД-моделей (неслучайных функций со случайными коэффициентами).

После определения соответствующей КД-модели, закона и параметров распределения ее случайных коэффициентов производится переход ко второму этапу работы алгоритма – определению ПРВ до выхода контролируемых параметров ДВС за допустимые пределы в соответствии с изложенной в подразделе 2.2 последовательностью – в зависимости от модели отклонения параметров и от числа случайных коэффициентов. Как было отмечено выше, необходимым условием успешного прогнозирования ПРВ является неизменность (идентичность) условий эксплуатации и режима работы ДВС на интервалах опытной и реальной эксплуатации. При изменении условий эксплуатации и (или) режима работы ДВС по сравнению с условиями интервала опытной эксплуатации необходим возврат на первый этап алгоритма (к сбору и обработке статистических данных), т.е. коррекция алгоритма.

На третьем этапе алгоритма на основе полученной ПРВ осуществляется формирование и расчет показателей эффективности функционирования ДВС. Поиск оптимального периода ТО ДВС АТ производится методом перебора значений $S(\tau)$ на интервале пригодности. При оптимальном значении

периодичности ТО обеспечивается либо максимальное значение показателя готовности ДВС при выполнении установленных экономических ограничений по затратам (при постановке прямой задачи), либо заранее заданное значение показателя готовности ДВС при минимально возможных при этом затратах на ее эксплуатацию (при обратной задаче).

3.4 Разработка методики проведения технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта в различных условиях эксплуатации

Предлагаемая методика проведения ТО ДВС АТ позволяет организовать гибкую стратегию ТО (рисунок 3.5), которая, как отмечалось выше, является одним из возможных путей повышения надежности ДВС при снижении затрат на эксплуатацию в различных условиях.

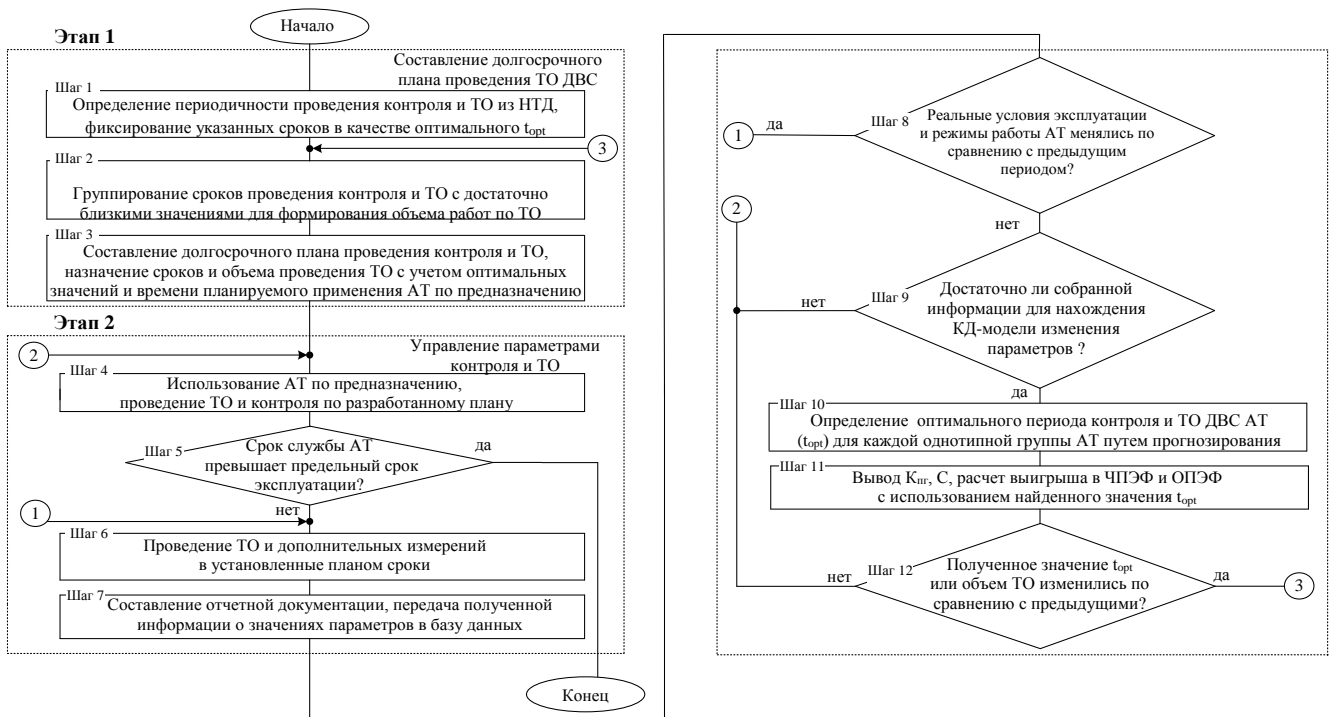


Рисунок 3.5 – Методика проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации

На первом этапе методики проведения ТО ДВС АТ составляется долгосрочный (предварительный) план проведения ТО. Эта процедура включает:

- определение периодичности проведения ТО (из нормативной документации, рекомендаций соответствующих организаций, указаний руководящих органов и т.д.);

- фиксирование указанных сроков в качестве предварительных оценок оптимальных значений ТО АТ τ_{opt} ;

- группирование сроков проведения ТО с достаточно близкими значениями для формирования объема работ по ТО;

- составление долгосрочного плана проведения ТО (назначение сроков и объема ТО с учетом полученных оптимальных значений периодичности ТО и времени планируемого применения АТ по назначению, а при необходимости – составление плана дополнительных измерений значений параметров для сбора статистических данных и коррекция разработанного плана проведения ТО с учетом плана проведения дополнительных измерений).

На втором этапе методики происходит использование АТ по предназначению, при этом в установленные планом сроки осуществляется проведение ТО и дополнительных измерений параметров ДВС. Далее проверяем условия полноты собранной статистической информации для нахождения вида и параметров КД-модели изменения параметров во времени. Достаточной признается статистическая информация, позволяющая обеспечить приемлемую точность прогнозирования (в соответствии с подходом, описанным ранее в подразделе 3.4). При невыполнении условия достаточности собранной статистической информации продолжается эксплуатация АТ по жесткой стратегии ТО, а при его выполнении происходит определение оптимальной периодичности ТО ДВС в соответствии с описанным выше алгоритмом определения оптимального периода ТО, а затем – расчет полученного выигрыша в надежности ДВС или затратах на ее эксплуатацию. В результате определяется

оптимальное значение периода ТО ДВС τ_{opt} и производится его сравнение с предыдущим значением периодичности, полученным на первом этапе. Работа методики заканчивается при достижении ДВС предельно допустимого срока службы.

3.5 Выводы по третьей главе

Таким образом, среди параметров ДВС при эксплуатации АТ в различных условиях можно выделить ряд наиболее важных (так называемых определяющих) параметров, от которых преимущественно и зависит работоспособность ДВС. При этом для каждого из данных параметров могут быть разработаны соответствующие прогнозные модели постепенного изменения значения параметра, рассчитаны плотность распределения времени до достижения параметром своего предельного значения и вероятность его невыхода за установленные пределы на заданном интервале времени, а на их основе – определена оптимальная периодичность проведения ТО и разработана гибкая (упреждающая) стратегия ТО, позволяющая предотвратить выход двигателя из строя и тем самым – повысить коэффициент готовности и снизить затраты на эксплуатацию [18].

4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

4.1 Описание эксперимента «Исследование закономерностей постепенного изменения информативных параметров двигателей внутреннего сгорания автомобилей семейства ЗИЛ, КамАЗ»

Особенности современного авторемонтного производства выдвигают на первый план задачу сокращения сроков ремонта ДВС и повышения качества проектных решений при минимальных затратах. Выполнение этих задач возможно при помощи планирования гибких стратегий ТО ДВС, принятие решений по которым основано на разработке и оценке нормативов диагностических параметров узлов и деталей ДВС.

Изучение организации процесса создания гибких стратегий ТО базируется на исследовании теоретических основ, предполагающих рассмотрение принципов организации и выбор метода исследования. Показателями эффективности, которые не всегда могут совпадать, являются сокращение эксплуатационных затрат, связанных с себестоимостью ремонта и эксплуатацией ДВС, а также повышение коэффициента готовности ДВС. Во-первых, часто процесс ремонта связан с несколькими производственными системами, а во-вторых, в рамках одного цикла производится ремонт и замена деталей различных наименований, и эффективность работ как правило определяется «технологической совместимостью» деталей.

Представим гибкую стратегию ТО ДВС как систему проведения предупредительных ремонтов ДВС, а периодичность ТО – как одну из её подсистем. Созданная технология должна в максимальной степени адаптироваться к ремонтному производству и реализовать в полной мере ресурс ДВС при эксплуатации в различных условиях.

Для успешного внедрения гибкой стратегии ТО ДВС, достаточно важной

задачей является совершенствование структуры эксплуатационно-ремонтного цикла(ЭРЦ) ДВС, Описания ЭРЦ должны быть по сложности согласованы с возможностями восприятия человеком и возможностями оперирования описаниями в процессе их преобразования с помощью имеющихся средств проектирования [69-71].

В условиях большого количества диагностических параметров и номенклатуры заменяемых деталей требуется многоуровневое представление данных, что обуславливает целесообразность в системе планирования ремонтных циклов централизованного анализа с выделением объектов проектной области (нормативов диагностических параметров), информацию о которых необходимо хранить в базе данных, с определением ассоциативных взаимосвязей между объектами. Кроме того, набор диагностических параметров ДВС можно рассматривать как элемент теории множеств. Теория комплектов является естественным расширением теории множеств. Комплект, подобно множеству, есть набор элементов из некоторой области. Однако в отличие от множества комплекты допускают присутствие нескольких экземпляров одного и того же элемента. В теории множеств элемент есть либо элемент множества, либо не элемент множества. В теории комплектов элемент может входить в комплект нуль раз или один, два, три или любое заданное число раз. Основным понятием теории комплектов является функция числа экземпляров. Эта функция определяет число экземпляров элемента в комплекте. Например, кривошипно-шатунный механизм имеет набор своих определенных диагностических параметров, как и цилиндропоршневая группа, система питания и смазки. Для теории комплектов характерны операции объединения, пересечения, сумм, разности. Они обладают свойствами коммутативности, ассоциативности, что позволяет формировать ЭРЦ как совокупность восстановительных работ по различным системам ДВС.

Таким образом, использование информации о техническом состоянии двигателя, позволит моделировать при помощи стандартных компьютерных программ содержание ЭРЦ ДВС индивидуально, а также планировать периодичность ТО и Р с использованием гибких стратегий.

Все описанные выше особенности нашли свое отражение при разработке алгоритма определения оптимальной периодичности ТО ДВС и проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации. Результаты их применения приведены на рисунке 4.1 – 4.2 и в таблице 4.2.

Для апробации разработанных алгоритмов на базе автомобильных парков в/ч 35657, в/ч 69793, в/ч 77071, в/ч 16662, в/ч 28677 в течение 2016 – 2018 гг. проводился эксперимент по исследованию закономерностей постепенного изменения значений параметров ДВС АТ. Для проведения эксперимента была выбрана АТ типа ЗИЛ-131 и КамАЗ-43114, КамАЗ-65115, что объясняется их широкой распространенностью. Целью эксперимента являлся сбор и анализ статистических данных измерений параметров ДВС АТ для разработки научно обоснованных алгоритмов управления параметрами их ТО.

Частные задачи эксперимента включали:

- периодический контроль величины компрессии двигателя АТ;
- исследование и определение закономерностей изменения данных параметров во времени;
- математическое моделирование процессов отклонения параметра;
- прогнозирование отклонения параметра.

В ходе проведения эксперимента были получены:

- результаты измерений, характеризующие изменение величины компрессии двигателя в течение заданного интервала времени;
- КД-модели постепенного изменения значений параметра ДВС АТ, наиболее адекватно описывающие процессы изменения ее технического состояния и пригодные для целей прогнозирования на исследуемом интервале времени.

Используемая аппаратура: компрессометр KHS-22, KOS-19.

В ходе проведения эксперимента производилось периодическое, с интервалом один раз в месяц, измерение значений величины компрессии двигателя АТ в соответствии с методикой проведения ТО. Кроме того, в ряде случаев использовались ранее полученные (уже имеющиеся) статистические

данные (за 2010–2016 г.), после чего производилась статистическая обработка полученных экспериментально данных.

Порядок измерений значений величины компрессии АТ описан в руководствах по эксплуатации на данные марки машин [103,104].

4.2 Построение функции, аппроксимирующей изменение значений информативных параметров ДВС, при помощи метода наименьших квадратов

В результате проведения эксперимента были получены статистические данные о значениях контролируемых параметров в соответствующие моменты измерений, которые дают приближенное представление функции $\Pi(t)$, описывающей характер изменения данных параметров во времени.

С учетом представленных в предыдущих разделах работы типовых закономерностей изменения полученных значений параметров ДВС АТ, для аппроксимации функции их отклонения $\Pi(t)$ была выбрана полиномиальная модель общего вида

$$y(t) = a_0 + a_1t + \dots + a_h t^h .$$

Здесь a_0, a_1, \dots, a_h – параметры выбранной модели;

h – степень полинома.

Такая обобщенная модель достаточно хорошо описывает процесс простого накопления необратимых изменений, возникающих, например, из-за изнашивания узлов и деталей ДВС.

Очевидно, что число проведенных в результате эксперимента измерений n существенно превышает степень аппроксимирующего полинома, т.е. $h \leq m$. В этом случае метод наименьших квадратов обладает сглаживающими свойствами, что ведет к уменьшению влияния возможных ошибок наблюдений.

Метод поиска алгебраического многочлена наилучшего среднеквадратичного приближения для аппроксимации отклонения значения

параметров, основанный на решении нормальной системы метода наименьших квадратов, был реализован при помощи программного обеспечения «MathCad».

В результате для каждого из исследуемых экземпляров ДВС АТ были получены аппроксимационные полиномы различных степеней, после чего вычислялось среднеквадратичное отклонение δ каждого из этих полиномов от заданных табличных значений.

Результаты анализа полученных величин среднеквадратического отклонения полученных многочленов от заданных табличных значений позволяет сделать вывод о том, что для $h=1$ и для $h=2$ это отклонение примерно одинаково, а при $h=3$ начинает возрастать. Учитывая вышеприведенное правило выбора оптимальной степени аппроксимационного полинома [80], а также большую простоту линейных функций, в качестве аппроксимирующего полинома для полученных экспериментально данных целесообразно выбрать многочлены первой степени. В связи с этим для дальнейшего решения задачи прогнозирования по данным эксперимента, проведенного для ДВС АТ типа ЗИЛ и КамАЗ, будем использовать линейные квазидетерминированные модели, описанные в предыдущих разделах.

Анализ полученных при проведении эксперимента данных дает возможность подтвердить вывод о том, что случайный процесс, представляющий изменение параметров ДВС во времени, есть аддитивный нестационарный случайный процесс присущей детерминированной и случайной составляющей, а полученные выражения для аппроксимационных полиномов – реализации этого случайного процесса.

4.3 Проверка нормальности распределения случайных коэффициентов и определение параметров их распределения

В предыдущем подразделе был обоснован вид полиномов, аппроксимирующих функцию постепенного изменения значений параметров ДВС АТ для каждого из исследуемых экземпляров АТ. Однако при применении КД-

моделей для прогнозирования отклонения параметров и определения плотности распределения времени до выхода этих параметров за допустимые пределы необходимо знать теоретические распределения вероятностей случайных коэффициентов a_0 и a_1 этих квазидетерминированных моделей. В связи с этим на дальнейшем этапе необходимо произвести оценку теоретического распределения вероятностей случайных коэффициентов a_0 и a_1 КД-моделей отклонения параметров ДВС по результатам данных эксперимента. При этом в качестве критериев согласия при проверке гипотезы о нормальности распределения коэффициентов a_0 и a_1 КД-моделей выберем критерий Шапиро–Уилки. Однако перед проверкой нормальности закона распределения случайных коэффициентов необходимо устранить определенные затруднения, связанные со сложностью выдвигаемой гипотезы.

При проверке согласия эмпирического и заданного теоретического распределения есть как простые, так и сложные гипотезы [81–83], при этом простая гипотеза рассматривается в случае, если теоретическое распределение задано всеми своими параметрами, а сложная – когда все или некоторые параметры теоретического распределения оцениваются по выборке. Есть три вида нормального распределения сложной гипотезы:

- дисперсия задана, по выборке оценивается среднее значение;
- среднее значение задано, по выборке оценивается дисперсия;
- дисперсия и среднее значение оцениваются по выборке.

Для упрощения вычислений при проверке нормальности закона распределения с помощью критерия Шапиро–Уилки воспользуемся специальными программами. Так, методы проверки согласия распределений реализованы в ряде программ анализа данных (например, STATGRAPHICS, SuperCalc-4, «STATISTICA» и др.). Однако некоторые авторы компьютерных программ допускают ошибку, применяя алгоритмы вычисления простых гипотез критических значений для сложных гипотез. Проверить корректность используемых в этих программах алгоритмов не всегда возможно. Пользователю

предлагается задать параметры выбранного распределения (т.е. проверяется простая гипотеза). Если же вычислить параметры по эмпирической выборке, а затем ввести их в качестве заданных, это будет грубой ошибкой и приведет к существенному снижению качества критерия [54, 92]. Это связано с тем, что критерии типа Колмогорова можно применять лишь в случаях, когда полностью известны вид функции распределения и все входящие в нее параметры [54, 92]. Данная особенность применения критериев согласия при проверке сложных гипотез характерна для поведения распределений статистик и других непараметрических критериев согласия, в том числе типа омега-квадрат Мизеса [93]. Факт опасности некорректного применения непараметрических критериев при сложных гипотезах подтверждается и работами [94–96].

Серьезное внимание проверке сложных гипотез уделяется лишь в некоторых специально разработанных программных продуктах. Поэтому для проверки сложных гипотез должно быть использовано специализированное программное обеспечение, лишенное перечисленных недостатков. В связи с этим для проверки нормальности распределения коэффициентов a_0 и a_1 в работе использовался критерий Шапиро-Уилки, реализованный в специализированном «Программном обеспечении проверки нормальности распределения Normal Distribution Check», разработанным профессором Б.Ю. Лемешко [83].

После проверки нормальности распределения случайных коэффициентов a_0 и a_1 по критерию Шапиро–Уилки были определены основные параметры, от которых зависит полученное распределение – математическое ожидание (МО) и дисперсия. Для вычисления оценок этих параметров в работе был использован пакет статистических прикладных программ «STATISTICA».

4.4 Оценка адекватности прогнозных моделей изменения значений величины компрессии двигателей автомобилей типа ЗИЛ и КамАЗ в ходе эксплуатации

Для проверки качества модели прогнозирования необходимо выполнить следующие процедуры: произвести оценку качества процесса прогнозирования

исследуемых показателей, а затем произвести анализ результатов прогнозирования на наличие различных неучтенных моделью закономерностей. Отрицательный вывод хотя бы по одной из процедур не позволяет применять модель в практических расчетах, и наоборот – положительный вывод по обеим процедурам является подтверждением адекватности разработанных моделей.

Для оценки качества прогнозирования часто используется величина отклонения вычисленного по прогнозной модели значения параметра от его фактического значения [53, 62]. Однако такой подход справедлив лишь в тех случаях, когда результат прогнозирования является точечным и выражается одним числом. В случае, когда результатом вероятностного прогнозирования является выражение для ПРВ достижения параметром своего предельно допустимого значения, для нахождения отклонения спрогнозированного значения параметра от фактического надо получить истинное значение ПРВ, т.е. найти моменты времени, в которые значение параметра достигает своего предела для каждого из испытуемых экземпляров, а затем по полученным результатам получить ПРВ достижения параметров своего предельного значения. Такая задача является непараметрической и ее решение сопряжено со значительными трудностями. Кроме того, реализация такого подхода к оценке точности прогнозирования требует перехода всех эксплуатируемых экземпляров АТ в состояние отказа, что недопустимо. В связи с этим для оценки соответствия математической модели экспериментальным данным (проверки адекватности) выберем критерий, предложенный в работах профессора В.Б. Пестрякова [53, 62]. Согласно этому подходу, оценка пригодности выбранной КД-модели осуществляется путем сравнения получаемой ошибки прогнозирования с допустимой. Как известно [53, 62], точность прогнозирования при таком подходе оценивается величиной дисперсии ошибки, которая вычисляется по формуле

$$D[\tilde{y}(t_{\text{пр}}) - \tilde{y}'(t_{\text{пр}})] = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta^{(j)} - \Delta)^2, \quad (4.1)$$

где n – число реализаций случайного процесса,

$\Delta^{(j)}$ – отклонение вычисленного по КД-модели на момент прогнозирования $t_{\text{пр}}$ значения $y'^{(j)}(t_{\text{пр}})$ от фактического $y^{(j)}(t_{\text{пр}})$,

$$\Delta^{(j)} = y^{(j)}(t_{\text{пр}}) - y'^{(j)}(t_{\text{пр}}),$$

где Δ – средняя ошибка КД-модели:

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta^{(j)}.$$

Очевидно, что КД-модель тем более пригодна, чем меньше дисперсия ошибки прогнозирования. Эта дисперсия зависит от выбранной аппроксимирующей функции и от правильности определения входящих в нее коэффициентов, а также от уровня флуктуаций, времени наблюдения, числа отсчетов k , от интервала времени между ними и от интервала экстраполяции. Рассмотрим влияние каждого из этих факторов на точность прогнозирования более подробно.

Ранее было показано, что СП изменения параметров ДВС во времени можно представить в виде суммы его монотонной и флуктуационной составляющих

$$\tilde{y}(t_{\text{пр}}) = \tilde{y}_{\text{мон}}(t_{\text{пр}}) + \tilde{y}_{\text{фл}}(t_{\text{пр}}),$$

где $\tilde{y}_{\text{мон}}(t_{\text{пр}})$ есть некоторая монотонная функция времени, зависящая, кроме того, от случайных коэффициентов.

Из этого следует, что дисперсия ошибки прогнозирования определяется уровнем флуктуационной составляющей и погрешностью в определении коэффициентов КД-модели. Очевидно, что чем удачнее выбран вид аппроксимирующей функции, тем меньше при прочих равных условиях уровень

флуктуационной составляющей.

Погрешность в определении коэффициентов КД-модели обусловлена как влиянием флуктуаций в точках отсчета в моменты измерений, так и погрешностью измерения параметра в эти моменты времени. В дальнейшем погрешность измерения будем относить к флуктуациям.

Флуктуационная составляющая представляет собой быстротекущие по времени, но незначительные по величине отклонения значений параметров, вызванные действием различных случайных факторов. Интервал корреляции флуктуационной составляющей СП очень мал и всегда значительно меньше интервала экстраполяции. Следовательно, флуктуационная составляющая на интервале наблюдения в выбранных точках отсчета некоррелирована с флуктуационной составляющей в точке экстраполяции [53, 62]. Из этого следует, что дисперсия ошибки прогнозирования (4.1) равна сумме дисперсии флуктуационной составляющей на момент прогнозирования $D[\tilde{y}_{\text{фл}}(t_{\text{пр}})]$ и дисперсии, вызванной неточностью определения коэффициентов КД-модели из-за флуктуаций в точках отсчета на интервале наблюдения $D[\tilde{y}_{\text{мон}}(t_{\text{пр}})]$, т.е.

$$D[\tilde{y}(t_{\text{пр}}) - \tilde{y}'(t_{\text{пр}})] = D[\tilde{y}_{\text{фл}}(t_{\text{пр}})] + D[\tilde{y}_{\text{мон}}(t_{\text{пр}})]. \quad (4.2)$$

Если аппроксимирующая функция выбрана правильно, а ее коэффициенты найдены в точном соответствии с монотонной составляющей, то дисперсия ошибки прогнозирования (4.2) равна наименьшему своему значению, определяемому только рассеянием флуктуационной составляющей относительно монотонной в момент прогнозирования $t_{\text{пр}}$ [53, 62], т. е.

$$D[\tilde{y}(t_{\text{пр}}) - \tilde{y}'(t_{\text{пр}})] = D[\tilde{y}_{\text{фл}}(t_{\text{пр}})]. \quad (4.3)$$

В этом случае прогнозирование осуществляется с максимально возможной

точностью.

Таким образом, чем сильнее проявляется случайность в определении коэффициентов КД-модели, тем больше дисперсия ошибки прогнозирования.

Очевидно, что коэффициенты КД-модели при наличии флуктуаций на интервале наблюдения будут найдены тем точнее, чем больше время наблюдения и чем больше отсчетов взято на этом интервале. В работах [53, 62] показано, что отсчеты следует брать не чаще, чем через интервал корреляции флуктуационной составляющей $\tau_{\text{фл}}$. Отсчеты, взятые через меньшие интервалы времени, сильно коррелированы между собой и, следовательно, мало информативны, поэтому дальнейшее уменьшение интервала между соседними отсчетами не приведет к повышению точности прогнозирования.

В работах [53, 62] показано, что дисперсия ошибки прогнозирования уменьшается как при увеличении времени наблюдения, так и при увеличении числа отсчетов k , если время наблюдения фиксировано. Это означает, что возможны ситуации, когда заранее заданную (требуемую) одинаковую точность прогнозирования с использованием КД-моделей можно обеспечить как увеличением числа отсчетов k при фиксированном времени наблюдения, так и увеличением интервала наблюдения при ограниченном числе отсчетов.

При проведении эксперимента интервал между проведениями измерений значений параметров ДВС был выбран постоянным и равным одному месяцу. При этом сокращение интервала наблюдения осуществляется за счет уменьшения числа отсчетов, а минимальное число отсчетов определяется необходимой точностью прогнозирования.

В работах [53, 62] показано, что если отсчеты берутся через равные интервалы времени, то выражение для дисперсии ошибки прогнозирования (4.2) приводится к более простому виду

$$D[\tilde{y}(t_{\text{пр}}) - \tilde{y}'(t_{\text{пр}})] = D[\tilde{y}_{\text{фл}}(t_{\text{пр}})] \cdot \left(1 + \frac{t_{\text{пр}}^2}{\tau_{\text{фл}}^2} \cdot \frac{6}{k(2k-1)(k-1)}\right), \quad (4.4)$$

где $t_{\text{пр}}$ – интервал прогнозирования (экстраполяции).

Выше было показано, что значение входящего в выражение (4.4) интервала корреляции флуктуационной составляющей $\tau_{\text{фл}}$ очень мало и много меньше интервала времени между отсчетами. Этот интервал влияет на точность прогнозирования, с его ростом точность прогнозирования снижается. При оценке точности прогнозирования будем рассматривать наихудший для точности случай, при котором интервал $\tau_{\text{фл}}$ равен интервалу времени между отсчетами $t_{\text{к}}$. С учетом принятого допущения выражение (4.4) будет иметь вид

$$D[\tilde{y}(t_{\text{пр}}) - \tilde{y}'(t_{\text{пр}})] = D[\tilde{y}_{\text{фл}}(t_{\text{пр}})] \cdot \left(1 + \frac{t_{\text{пр}}^2}{t_{\text{к}}^2} \cdot \frac{6}{k(2k-1)(k-1)}\right). \quad (4.5)$$

Из выражения (4.5) следует вывод о том, что дисперсия ошибки прогнозирования всегда больше (никогда не может быть меньше) дисперсии флуктуационной составляющей и тем больше, чем меньше время наблюдения (и число отсчетов соответственно) и чем больше интервал прогнозирования (экстраполяции) $t_{\text{пр}}$.

Рассмотрим точность прогнозирования, достигаемую при проведении описанного в разделе 4.1 эксперимента. В качестве оптимального числа отсчетов выберем такое значение k , при котором достигается приемлемая, т.е. сравнимая с минимально возможной (4.3), дисперсия ошибки прогнозирования.

Точность прогнозирования будем оценивать по степени приближения достигаемой при различном числе отсчетов дисперсии ошибки прогнозирования к ее минимально возможному значению – дисперсии флуктуационной составляющей.

В работах [53, 67] показано, что точность прогнозирования удобно оценивать величиной отношения безусловной дисперсии прогнозируемого

параметра к дисперсии ошибки прогнозирования, то есть величиной

$$\eta = \sqrt{\frac{D(\tilde{y}(t_{\text{пр}}))}{D[\tilde{y}(t_{\text{пр}}) - \tilde{y}'(t_{\text{пр}})]}}. \quad (4.6)$$

С учетом (4.5) выражение (4.6) будет иметь вид

$$\eta = \sqrt{\frac{D(\tilde{y}(t_{\text{пр}}))}{D(\tilde{y}_{\text{фл}}(t_{\text{пр}}))}} \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{t_{\text{пр}}^2}{t_{\text{к}}^2} \cdot \frac{6}{k(k-1)(2k-1)}}}. \quad (4.7)$$

Отметим, что первое слагаемое выражения (4.7) не зависит от числа отсчетов k , т.е. можно записать:

$$\eta = \text{const} \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{t_{\text{пр}}^2}{t_{\text{к}}^2} \cdot \frac{6}{k(k-1)(2k-1)}}}, \quad (4.8)$$

$$\text{где } \text{const} = \sqrt{\frac{D(\tilde{y}(t_{\text{пр}}))}{D(\tilde{y}_{\text{фл}}(t_{\text{пр}}))}}.$$

Так, например, при интервале между отсчетами, равном одному месяцу, наблюдение в течение одного года потребует 13 отсчетов, в течении двух лет – 26 отсчетов, а в течение трех лет – приблизительно 39 отсчетов. Рассмотрим точность прогнозирования при использовании соответствующего числа отсчетов.

В соответствии с выражениями (4.6) – (4.8) были найдены значения величины η для каждого из указанных случаев. Результаты расчетов, а также оценка повышения точности прогнозирования, сведены в таблицу 4.1 [78].

Полученные результаты показывают, что дисперсия ошибки

прогнозирования снижается с ростом числа проведенных измерений, т. е. точность прогнозирования растет при увеличении интервала наблюдения. Таким образом, с увеличением числа отсчетов (интервала наблюдения) прогнозные квазидетерминированные модели все более точно учитывают различные закономерности изменения параметров ДВС со временем. Однако, начиная с определенного момента, увеличение числа отсчетов не приводит к дальнейшему повышению точности прогнозирования.

Таблица 4.1 – Точность прогнозирования для различных интервалов наблюдения

Интервал наблюдения	Значения η	Повышение точности прогнозирования
Один год (13 отсчетов)	$0,8531 \cdot const$	-----
Два года (26 отсчетов)	$0,977 \cdot const$	На 14 % по сравнению с прогнозированием по 13 отсчетам
Три года (39 отсчетов)	$0,933 \cdot const$	На 1,6 % по сравнению с прогнозированием по 26 отсчетам на 16 % – по сравнению с прогнозированием по 13 отсчетам

Так, увеличение интервала наблюдения с одного до двух лет приводит к значительному повышению точности прогнозирования (на 14 %), при дальнейшем же увеличении интервала наблюдения точность прогнозирования увеличивается незначительно, что свидетельствует о достаточно полном учете моделью закономерностей изменения параметров АТ со временем.

Выражение (4.5) позволяет находить значение дисперсии ошибки прогнозирования для различных интервалов наблюдения (различного числа отсчетов). Так, для приведенных в таблице интервалов наблюдения величина дисперсии ошибки прогнозирования $D[\tilde{y}(t_{пр}) - \tilde{y}'(t_{пр})]$ будет равна соответственно $1,37 \cdot D[\tilde{y}_{фл}(t_{пр})]$, $1,046 \cdot D[\tilde{y}_{фл}(t_{пр})]$, $1,0133 \cdot D[\tilde{y}_{фл}(t_{пр})]$, что считается допустимым для целей исследования.

Таким образом, оценка адекватности выбранной прогнозной модели отклонения определяющего параметра ДВС АТ показала, что достигнутая при проведении эксперимента ошибка прогнозирования сравнима с минимально возможной, что считается достаточным для целей исследования. Кроме того, эта модель достаточно полно учитывает закономерности изменения параметров ДВС

со временем. Эти выводы являются подтверждением адекватности полученной модели и обуславливает ее пригодность для прогнозирования.

4.5 Апробация полученных результатов

Проверка сходимости и корректности разработанных алгоритмов.

Сходимость – понятие математического анализа, означающее, что некоторый математический объект имеет предел [100]. Сходимость характеризует итерационный процесс и подразумевает, что погрешность каждого нового приближения должна быть меньше погрешности предыдущего приближения. Сходимость проверяется известными методами, например, проверкой выполнения условий, предложенных Кифером, Вольфовицем и развитых Дворецким [101]. Так как в разработанных алгоритмах нет итерационных процессов (например, метода условных градиентов, метода наискорейшего спуска и т.п.), а поиск минимума $S(\tau)$ осуществляется методом прямого перебора возможных значений на ограниченном интервале времени, то задача сходимости разработанных алгоритмов становится неактуальной, а на первый план выходит так называемая задача проверки корректности алгоритмов.

Для проверки корректности разработанного алгоритма использован известный метод Адамара [101]. Так как в ряде работ, например, [76-78], было показано существование и единственность введенных показателей эффективности для любых исходных данных, то разработанные алгоритмы являются корректными по Адамару.

Апробация разработанного алгоритма была осуществлена путем проведения эксперимента на базе автомобильных парков. В результате эксперимента были получены статистические данные о значениях параметра ДВС АТ ЗИЛ и КамАЗ в соответствующие моменты измерений.

После определения соответствующей КД-модели, закона и параметров распределения ее случайных коэффициентов в соответствии с указанным алгоритмом было произведено определение плотности распределения времени до

выхода параметра ДВС АТ за допустимые пределы. После этого осуществлялось формирование показателей качества функционирования ДВС, далее – расчет ЧПЭФ и определение методом перебора с использованием ЭВМ оптимального периода ТО ДВС АТ.

Следует отметить, что все описанные выше последовательности действий входят в состав разработанного алгоритма определения оптимального периода ТО ДВС. С учетом найденных оптимальных значений периодичности ТО ДВС был разработан вариант организации гибкой стратегии ТО ДВС АТ типа КамАЗ, ЗИЛ.

Результаты расчетов зависимостей ПРВ, $P_{бр}$, и ОПЭФ от периодичности проведения ТО для ДВС АТ типа КамАЗ-43114, ЗИЛ-131 по данным эксперимента приведены на рисунках 4.1 – 4.4.

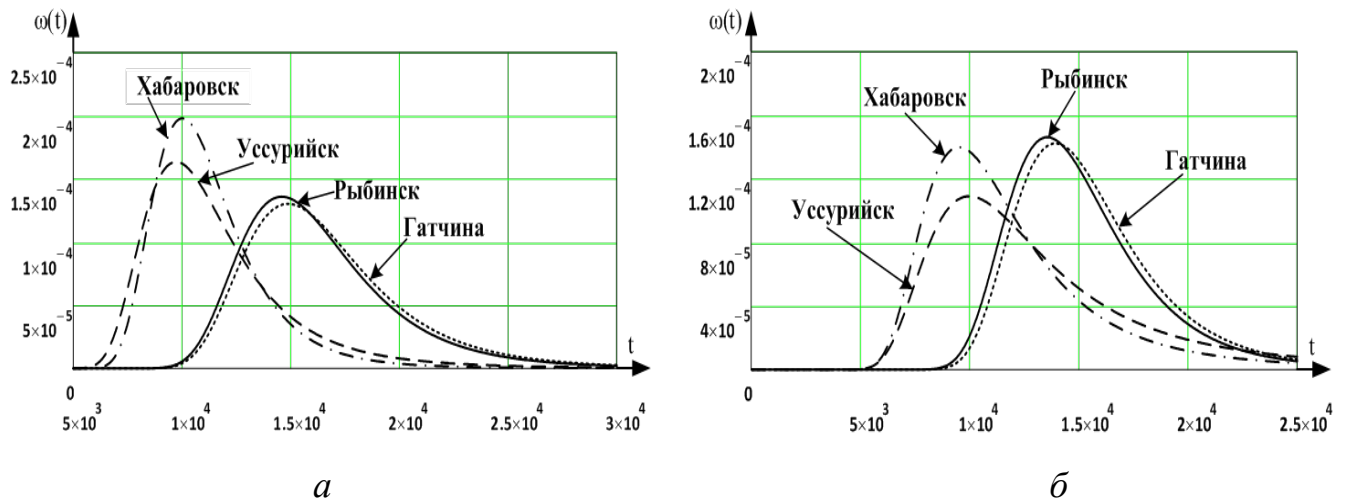


Рисунок 4.1 – Результаты расчета плотности распределения времени до выхода значений величины компрессии ДВС для регионов с различными природно-климатическими условиями (линейная модель): *a* – КамАЗ-43114; *б* – ЗИЛ-131 ($P_0=28$ и $0,834$ МПа; $P_{пр}=20$ и $0,618$ МПа) $M_{a1}= 0,0015\dots0,006$ и $0,015\dots0,02$; $\sigma_{a1}=0,2\dots0,25$ и $0,25\dots0,3M_{a1}$ соответственно)

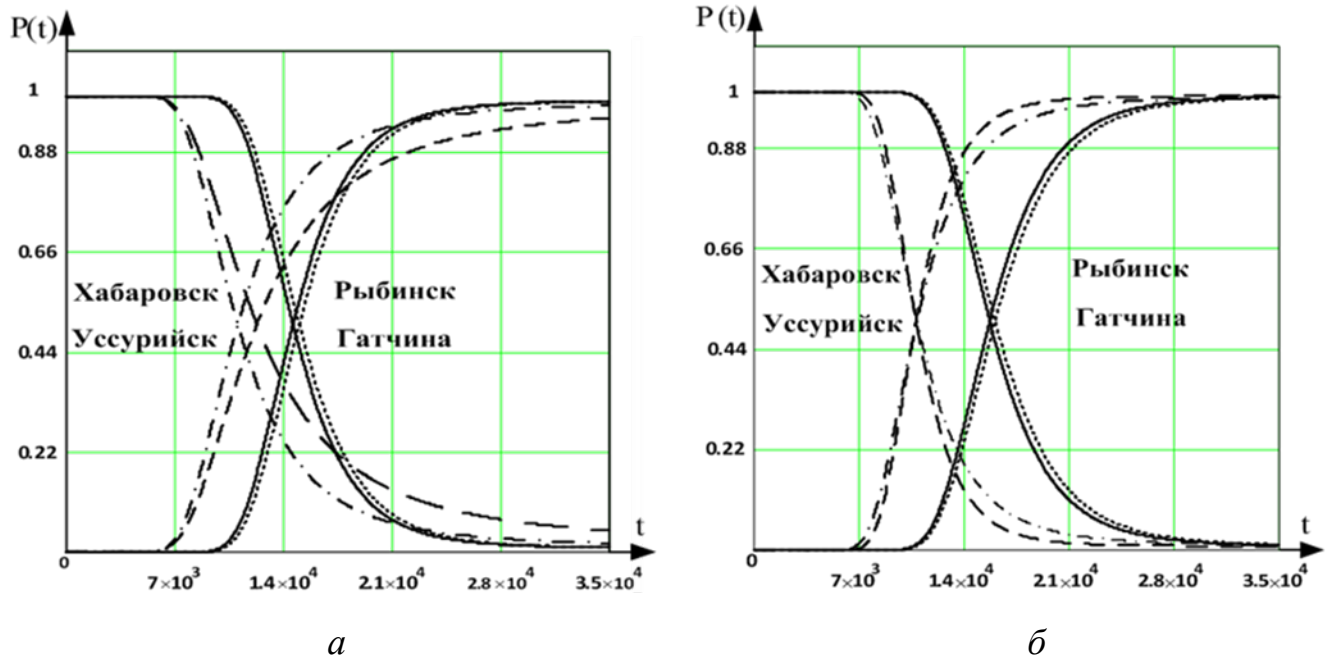


Рисунок 4.2 – Вероятность выхода значений величины компрессии ДВС КамАЗ-43114(*a*) и ЗИЛ-131(*б*) за допустимые пределы при эксплуатации в различных регионах

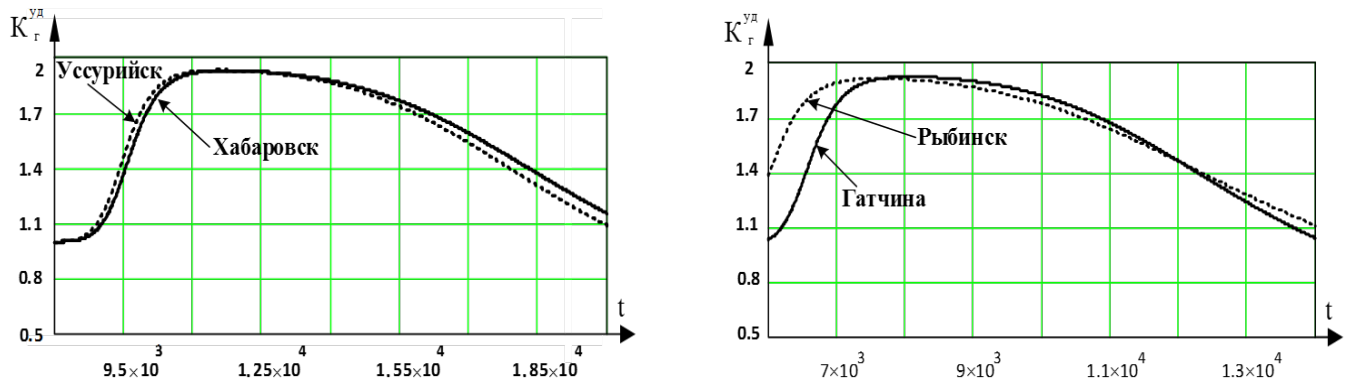


Рисунок 4.3 – Результаты расчета зависимости удельного коэффициента готовности ДВС АТ типа «КамАЗ-43114» от периодичности ТО при эксплуатации АТ в различных условиях

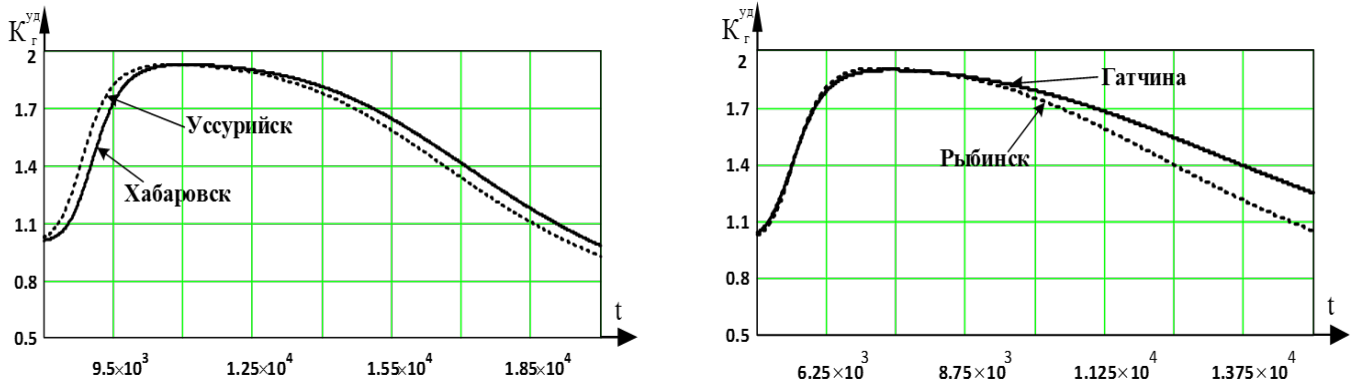


Рисунок 4.4 – Результаты расчета зависимости удельного коэффициента готовности ДВС типа ЗИЛ-131 от периодичности ТО при эксплуатации АТ в различных условиях

Эффект, полученный от применения разработанной гибкой стратегии по сравнению с существующей плановой (жесткой) системой ТО на практике, представлен в таблице 4.2. Из таблицы видно, что при применении разработанного алгоритма и методики достигается повышение удельного показателя готовности от 2,5 до 9,6 % (в среднем 6,5% по данным эксперимента).

Таблица 4.2 – Результаты применения разработанных алгоритмов для ДВС АТ КамАЗ-43114, ЗИЛ-131

Агрегат (параметр) и тип АТ	Планный период ТО	Регион (условия эксплуатации)	Оптимальный период ТО, $\tau_{то}$ ч	Предложение по оптимизации периодичности ТО (организации гибкой стратегии ТО и контроля)	Значения $K_z^{yo}(\tau_{то})$	Значения $K_z^{yo}(\tau_{то})$	$K_z^{yo}, \% ^*$
Величина компрессии ДВС, КамАЗ-43114	1 год (8760 ч)	Гатчина	11 800	1 год 4 месяца (реже на 34 %)	1,870	1,928	3%
		Рыбинск	12 000	1 год 5 месяцев (реже на 36 %)	1,860	1,927	3,60%
		Уссурийск	8 000	11 месяцев (чаще на 8 %)	1,790	1,922	7,40%
		Хабаровск	7 700	10 месяцев (чаще на 12 %)	1,755	1,912	9%
Величина компрессии ДВС, ЗИЛ-131	1 год (8760 ч)	Гатчина	11 000	1 год 3 месяца (реже на 25 %)	1,860	1,927	3,60%
		Рыбинск	11 300	1 год 4 месяца (реже на 28 %)	1,850	1,298	4,20%
		Уссурийск	7 600	10 месяцев (чаще на 13 %)	1,755	1,895	8%
		Хабаровск	7 400	9-10 месяцев (чаще на 15 %)	1,735	1,903	9,60%

* ΔK_z^{yo} – изменение удельного показателя готовности (при разработанной гибкой стратегии ТО по сравнению с плановой)

4.6 Выводы по четвертой главе

Недостатком предлагаемого в работе подхода является необходимость предварительного сбора статистических данных о значениях ИП ДВС АТ в различные моменты времени, т.е. выигрыш по введенному показателю эффективности достигается за счет некоторого снижения оперативности (увеличения числа операций) при проведении ТО. Для устранения указанного недостатка были разработаны схмотехнические решения, позволяющие повысить оперативность и точность контроля значений параметров ДВС АТ, а также получены соответствующие патенты на полезные модели [105,106].

Проведенный анализ имеющихся по данной теме работ, а также сделанные в ходе диссертационного исследования выводы позволяют сформировать ряд научно-технических предложений по совершенствованию структуры ТО ДВС АТ, т.е. перейти к выработке производственных рекомендаций, представленных в пятой главе.

5 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Разработка научно-технических предложений для организации гибкой стратегии технического обслуживания ДВС АТ

Основной целью технологического процесса диагностирования при проведении ТО двигателей является контроль и восстановление работоспособности двигателя путем проведения регулировочных работ и замены вышедших из строя элементов. По результатам проведенных в работе исследований были разработаны научно-технические предложения для организации гибкой стратегии ТО ДВС АТ при ее эксплуатации в различных условиях (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Научно-технические предложения для организации гибкой стратегии ТО ДВС АТ

Разработанные научно-технические предложения включают в себя как аппаратную (устройства), так и программную (разработанное программное обеспечение, установленное на специализированных рабочих местах – ПЭВМ)

части и позволяет определить оптимальную по введенным критериям периодичность проведения ТО ДВС АТ в зависимости от условий эксплуатации, а также реализовать гибкую стратегию ТО на практике (в практических подразделениях).

В рамках достаточно перспективного направления по разработке встроенных контрольно-диагностических средств и систем удаленной диагностики были разработаны способ точного определения сроков ТО двигателей АТ и устройство для его осуществления (рисунок 5.2) [10]. Применение разработанного устройства позволяет существенно повысить точность определения периодичности ТО и контроля узлов и деталей двигателей АТ за счет учета природно-климатических условий эксплуатации.

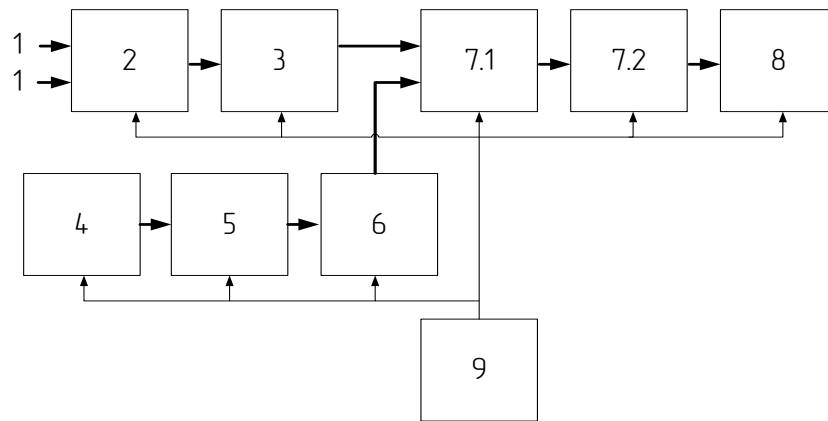


Рисунок 5.2 – Устройство для повышения точности определения остаточного ресурса двигателя внутреннего сгорания:

1 – сигналы с контактов тахометра; 2 – аппаратный удвоитель импульсов; 3 – нереверсивный суммирующий счетчик импульсов с энергонезависимой памятью; 4 – делитель напряжения с термистором; 5 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 6 – арифметико-логическое устройство (АЛУ); 7.1 – первый умножитель; 7.2 – второй умножитель; 8 – цифровой жидкокристаллический индикатор; 9 – схема контроля питания

Аппаратный удвоитель импульсов 2 предназначен для увеличения входного сигнала 1 от контроллера электронной системы автомобиля. Нереверсивный суммирующий счетчик импульсов 3 с энергонезависимой памятью предназначен для подсчета поступающих на его вход импульсов, соответствующих количеству

оборотов коленчатого вала двигателя. Делитель напряжения 4 с термистором выполнен из двух сопротивлений и предназначен для выдачи на выходе в средней точке потенциала, пропорционального температуре окружающего воздуха. Для этого в одно из плеч делителя включен термистор, территориально размещенный за бортом АТ и представляющий собой объемное полупроводниковое нелинейное сопротивление, величина которого в большей степени зависит от температуры. Аналого-цифровой преобразователь 5 предназначен для преобразования подаваемого на его вход аналогового сигнала, пропорционального температуре окружающего воздуха, в цифровую форму. Арифметико-логическое устройство 6 предназначено для формирования в соответствии со значением цифрового сигнала на входе, сигнала на выходе, равного корректирующему коэффициенту, величина которого обратна указанному в таблице 1 поправочному коэффициенту К. Умножители 7 предназначены для выполнения операций умножения чисел, представленных в двоичном коде. В первом умножителе 7.1 производится умножение сигнала с суммирующего счетчика импульсов, соответствующего суммарному значению количества оборотов коленчатого вала ДВС, на корректирующий коэффициент с выхода АЛУ, тем самым обеспечивается учет природно-климатических (температурных) условий эксплуатации АТ. Второй умножитель 7.2 предназначен для перерасчета откорректированного значения количества оборотов коленчатого вала двигателя, поступающего с выхода первого умножителя 7.1, в требуемую и удобную для пользователя форму. Цифровой жидкокристаллический индикатор 8 предназначен для индикации в реальном времени суммарного количества оборотов двигателя с момента установки устройства. Схема контроля питания 9 предназначена для обеспечения элементов устройства необходимым напряжением и его контроля.

Сущность работы предлагаемого устройства заключается в следующем.

С контактов тахометра автомобиля поступающие сигналы 1 от контроллера электронной системы автомобиля параллельно поступают на аппаратный удвоитель импульсов 2, в котором происходит увеличение входного сигнала, что

позволяет при малых оборотах двигателя или при слабых импульсах сократить время подсчета импульсов и уменьшить габариты счетчика.

В суммирующем счетчике импульсов 3 происходит сам процесс подсчета импульсов (количество оборотов коленчатого вала двигателя), поступающих на вход через удвоитель 2. Узел имеет энергонезависимую память и при отсутствии питания может сохранять результаты измерений неограниченный период. При возобновлении питания счет количества оборотов двигателя продолжается, начиная с сохраненного значения. Счетчик не является реверсивным, что обеспечивает сохранность его показаний и является защитой от злоумышленников.

В средней точке делителя напряжения 4 с термистором возникает потенциал, пропорциональный температуре окружающего воздуха, который затем подается на вход АЦП 5. Преобразованное в АЦП 5 в цифровую форму значение потенциала поступает на вход АЛУ, в котором в зависимости от измеренных значений температуры окружающей среды за бортом АТ оно умножается на величину корректирующего коэффициента, обратную указанному в таблице 1 поправочному коэффициенту. Суммарное значение количества оборотов коленчатого вала ДВС с выхода суммирующего счетчика импульсов 3 поступает на первый вход первого умножителя 7.1. Откорректированное с учетом природно-климатических условий эксплуатации АТ значение количества оборотов коленчатого вала ДВС поступает на вход второго умножителя 7.2, где происходит перерасчет значений в требуемую и удобную для пользователя форму. Коэффициент перерасчета при помощи переключателя 1/2 имеет две величины: $K1=0,0001$, если поступающий сигнал от контроллера обрабатывается двоичным делителем импульса; $K2=0,0002$, если сигнал поступает на тахометр и предлагаемое устройство без преобразования. Примечание – в четырехтактных автомобильных двигателях один оборот коленчатого вала имеет два цикла, что соответствует в нашем случае двум импульсам. Цифровой индикатор 8 имеет жидкокристаллические сегменты для индикации в реальном времени суммарного количества оборотов двигателя с момента установки устройства. Схема контроля питания 9 обеспечивает устройство необходимым напряжением и его контроль независимо от скачков

напряжения в электроцепях автомобиля при его работе.

Таблица 5.1 – Зависимости для корректирования сроков проведения ТО ДВС учитывающие условия эксплуатации [109])

Тип АТ	Скорость, км/ч	Обороты, в мин.	Пробег, км	Время, ч	Плановое ТО, через мес.	Значение коэффициента К	Итоговое значение периодичности ТО, мес.	Выигрыш (повышение точности), %
Автомобиль А	100	3 000	20 833	208	5,0	0,7 (– 30 °С)	3,5	30 %
						0,8 (от – 30 до – 20 °С)	4,0	20 %
						0,9 (от – 20 до – 10 или выше + 25 °С)	4,5	10 %
						1 (от – 10 до + 25 °С)	5,0	–
Автомобиль Б	60	2 500	15 000	250	4,0	0,7 (– 30 °С)	2,8	30 %
						0,8 (от – 30 до – 20 °С)	3,2	20 %
						0,9 (от – 20 до – 10 или выше + 25 °С)	3,6	10 %
						1 (от – 10 до + 25 °С)	4,0	–
Автомобиль В	10	1 500	4 167	417	5,0	0,7 (– 30 °С)	3,5	30 %
						0,8 (от – 30 до – 20 °С)	4,0	20 %
						0,9 (от – 20 до – 10 или выше + 25 °С)	4,5	10 %
						1 (от – 10 до + 25 °С)	5,0	–

Выигрыш, достигаемый в повышении точности определения периодичности

ТО при использовании предлагаемого устройства, иллюстрируется данными, приведенными в таблице 5.1 [110].

Таким образом, применение описанного выше устройства (реализуемого при его помощи способа) позволяет повысить точность определения периодичности ТО ДВС за счет учета природно-климатических (температурных) условий эксплуатации.

Помимо этого, одним из возможных направлений обеспечения надежности ДВС АТ является повышение показателя готовности за счет уменьшения времени восстановления путем своевременной замены отказавших узлов и деталей. С этой целью было разработано устройство для решения задач оптимизации (рисунок 5.3), позволяющее рассчитать оптимальное число элементов, которые должны быть на станциях ТО.

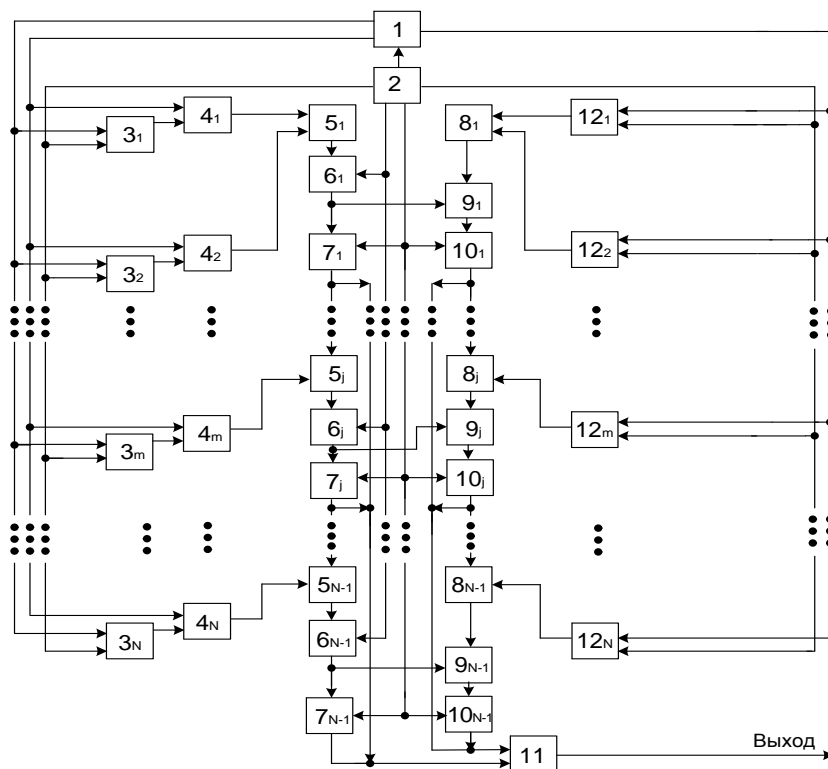


Рисунок 5.3 – Структурная схема устройства для решения задач оптимизации: 1 – входная наборная панель; 2 – управляющее устройство; $3_1, 3_2, \dots, 3_N$ – блоки вычисления вероятности отказа; $4_1, 4_2, \dots, 4_N$ – блоки учета накладных расходов; $5_1, 5_2,$

... , 5_{N-1} – первая группа сумматоров; $6_1, 6_2, \dots, 6_{N-1}$ – компараторы; $7_1, 7_2, \dots, 7_{N-1}$ – первая группа оперативных запоминающих устройств; $8_1, 8_2, \dots, 8_{N-1}$ – вторая группа сумматоров; $9_1, 9_2, \dots, 9_{N-1}$ – элементы «И»; $10_1, 10_2, \dots, 10_{N-1}$ – вторая группа оперативных запоминающих устройств; 11 – блок отображения; $12_1, 12_2, \dots, 12_N$ – блоки вычисления стоимости

Полезная модель может быть использована для решения задач нахождения количества резервируемых элементов и позволяет при ограничении затрат на ее изготовление обеспечить заданный уровень надежности системы.

Для достижения данной цели в устройстве для решения задач оптимизации, содержащем сумматор, блок сравнения (компаратор), блок синхронизации (устройство управления), входную наборную панель, блоки вычисления вероятности отказа, блоки вычисления стоимости, сумматоры, компараторы, первую и вторую группы оперативных запоминающих устройств, элементы И, блок отображения, дополнительно введены блоки учета вероятности отказа коммутационного устройства, состоящие из двух сумматоров, один из которых реализует операцию сложения поступающих сигналов, а второй – вычитание, двух шифраторов и элемента И.

Разработанное устройство для решения задач оптимизации, позволит повысить точность определения количества резервируемых элементов, при ограничении затрат на их приобретение и в конечном итоге обеспечит заданный уровень надежности системы.

Проведенный анализ ряда работ по данной тематике совместно с отечественным и зарубежным опытом эксплуатации АТ показывает, что для сложных восстанавливаемых изделий (двигателей) невозможно обеспечить должный уровень работоспособности, необходимый для надежности транспортного процесса, без использования стратегии ТО по наработке (так называемых гибких стратегий) [3]. Значение гибких стратегий ТО состоит в том, что требуемым уровнем работоспособности можно управлять, зная, какие ресурсы для этого необходимы. Следовательно, допустимо считать целесообразным и перспективным в дальнейшем совершенствование гибких стратегий ТО ДВС АТ,

их структуры, уровней регламентации и др., а также разработку различных вариантов их возможного применения [3].

Для повышения оперативности расчета оптимальных значений периодичности ТО ДВС АТ, а также показателей их надежности были разработаны две специализированные программы для ЭВМ [107,108], реализующие описанный в третьей главе алгоритм.

Таким образом разработка гибких стратегий ТО ДВС АТ и их применение позволят своевременно проводить ТО, т.е. обеспечить постоянное нахождение значений ИП в пределах нормы, предотвращая тем самым как выход из строя ДВС, так и отказ АТ в целом. При этом описанный выше подход к определению оптимальной периодичности ТО может быть реализован совместно со статистическим подходом – например, использоваться для корректирования ТО по регламенту. При этом ТО АТ, проводимое по гибкой стратегии, в отличие от обслуживания по регламенту, позволит учесть такие факторы, как техническое состояние и различные условия эксплуатации АТ для каждого конкретного случая.

5.2 Разработка «Положения по организации гибкой системы технического обслуживания ДВС АТ»

Для качественного диагностирования и распределения обязанностей между подразделениями и исполнителями целесообразно ввести "Положение по организации гибкой стратегии технического обслуживания ДВС АТ". Диагностирование необходимо для своевременного определения значения контролируемых параметров. При этом на предприятии обязаны выполнять следующие основные требования:

1. Провести обучение ответственного персонала.
2. Определить перечень параметров, контролируемых в ходе проведения диагностирования в зависимости от условий эксплуатации и вести журнал с результатами диагностики.
3. Использовать алгоритм определения оптимального периода ТО ДВС,

позволяющий находить интервалы времени между очередными ТО, при которых обеспечивается выполнение требований к показателю готовности и к затратам на эксплуатацию ДВС.

4. Использовать алгоритм проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации, позволяющую составить долгосрочный план проведения ТО (назначение сроков и объема ТО с учетом полученных оптимальных значений периодичности ТО и времени планируемого применения ДВС по назначению, а при необходимости – составление плана дополнительных измерений значений параметров для сбора статистических данных и коррекция разработанного плана проведения ТО с учетом плана проведения дополнительных измерений).

5. Разработать, утвердить на предприятии и выполнять требования "Регламента выполнения работ по техническому обслуживанию двигателей АТ с использованием данных диагностики контролируемых параметров".

6. Откорректировать должностные инструкции ответственных лиц.

7. Выпустить приказ по организации и начале работ с использованием гибкой стратегии ТО ДВС АТ.

5.3 Экономическая эффективность результатов исследования

Результаты проведенного в первой главе работы анализа позволяют выявить основные причины повреждений деталей двигателей, а также сделать вывод о том, что в зависимости от условий эксплуатации отказы чаще всего наступают задолго до выработки ресурса базовых деталей. Например, по данным [104], минимальный ресурс двигателя КамАЗ-740 до шлифовки коленчатого вала, фактически определяющего необходимость выполнения КР, составляет 223 тыс. км. Это значительно выше наработки двигателей, отправляемых в ремонт- 125... 153 тыс. км, из которых до 40% из-за проворачивания вкладышей и т.д. [68].

Относительно низкие наработки ДВС вызваны, в том числе, и отсутствием средств диагностирования технического состояния и системы текущих ремонтов в условиях АТП с заменой деталей, находящихся в предельном состоянии. В силу

этого, при назначенном заводом-изготовителем ресурсе до КР, равном 240 тыс. км для III категории условий эксплуатации, за этот период ДВС проходит два КР, а при использовании АТ в условиях низких температур количество ремонтов может возрастать до трех, что приводит к дополнительным затратам на запасные части, а также к утрате остаточного ресурса базовых деталей. Для части двигателей, которые выходят из строя по причинам износа ЦПГ, можно продлить срок эксплуатации за счёт внедрения контрольно-диагностических средств для определения значений контролируемых параметров и значений оборотов коленчатого вала с учетом природно-климатических условий эксплуатации [106] и проведения по его результатам ПР.

Экономическая эффективность от оптимального проведения ТО при использовании гибкой стратегии с учетом условий эксплуатации будет определяться снижением расходов на проведение ТО двигателей и увеличением затрат на диагностирование и замену деталей (в соответствии с данными приведенными в таблице 4.2).

Таблица 5.2 – Анализ ориентировочной стоимости проведения ТО-2 за гарантийный срок эксплуатации двигателей КамАЗ при использовании гибкой стратегии ТО

Мероприятия при ТО-2	300 000 км пробега				
	ТО-2 при 16 000 км согласно РЭ	ТО-2 21 500 км Гатчина	ТО-2 21 760 км Рыбинск	ТО-2 14 700 км Уссурийск	ТО-2 14 000 км Хабаровск
Замена масла	18 операций 198 т.р.	14 операций 154 т.р.	13 операций 143 т.р.	20 операций 220 т.р.	22 операций 242 т.р.
Регулировка ТНВД	4 операции 52 т.р.	3 операции 39 т.р.	3 операции 39 т.р.	5 операции 65 т.р.	5 операций 65 т.р.
ИТОГО	250 т.р.	193 т.р.	182 т.р.	285 т.р.*	307 т.р.*
*В среднем капитальный ремонт двигателя стоит от 100 т.р. до 130 т.р.					

При указанных значениях периодичности диагностирования эксплуатируя АТ в усредненных условиях эксплуатации (в г. Гатчина и Рыбинск) и

среднегодового пробега в 50 тыс. км наблюдается существенный экономический эффект (около 9 500 рублей в год на каждую единицу автомобильного парка). При эксплуатации АТ в сложных условиях (в городах Уссурийск и Хабаровск) происходит увеличение затрат на проведение ТО, но при этом исключается возможность преждевременного отказа ДВС и расходов на капитальный ремонт. Кроме того, дополнительный экономический эффект при переходе на гибкую стратегию ТО может быть получен от снижения простоев автомобиля из-за отсутствия двигателей, повышения производительности автомобилей, понижения затрат на транспортировку двигателей на ремонтные заводы, уменьшения отказов АТ ввиду неисправности при эксплуатации в различных условиях. Таким образом, поддержание удовлетворительного технического состояния ДВС при использовании гибкой системы ТО по результатам диагностирования с обоснованной в работе периодичностью позволит продлить ресурс и сократить эксплуатационные затраты, получив при этом значительный экономический эффект.

5.4 Выводы по пятой главе

Разработка гибких стратегий ТО ДВС АТ, в особенности их внедрение, является достаточно сложной и трудоемкой задачей, позволяющей достигнуть существенного экономического эффекта. Поэтому на практике целесообразно использовать следующую схему, включающую в себя три основных уровня регламентации системы ТО ДВС АТ:

1. Федеральный, межотраслевой и отраслевой уровни, нормативы которых для всех организаций, независимо от вида собственности и ведомственного подчинения, являются обязательными.
2. Внутриотраслевой уровень, при котором появляется возможность использовать «свои» режимы ТО при сохранении общих принципов проведения ТО крупным транспортным компаниям и иным предприятиям на основании имеющегося опыта и специфики эксплуатации.

3. Профессионально-общественный уровень, при котором общественная организация (ассоциация, объединение) берет на себя разработку системы ТО ДВС. При таком подходе успешно сочетаются методы научных исследований и наблюдений с масштабным обобщением опыта. Использовать эти рекомендации могут большинство предприятий, которые не имеют возможности провести собственные широкомасштабные и дорогостоящие наблюдения и систематизацию полученных данных.

Для реализации указанной выше схемы на практике (в практических подразделениях – например, в автомобильных парках войсковых частей, дислоцированных в различных регионах РФ) целесообразно использовать разработанный научно-методический инструментарий, а также соответствующие программы расчета оптимальной периодичности ТО ДВС АТ. При этом необходимо отметить, что предлагаемый в работе подход в целом не противоречит действующим подходам к организации ТО ДВС, а уточняет и дополняет их, позволяя уточнить периодичность проведения ТО ДВС АТ с учетом различных условий эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная задача по разработке алгоритма определения оптимальной периодичности ТО ДВС АТ при эксплуатации в различных условиях.

В работе были получены следующие основные результаты:

1. Выполненный анализ статистики распределения отказов АТ в зависимости от условий эксплуатации, показал, что совокупность представленных факторов оказывает существенное влияние на надежность одного из важнейших агрегатов – ДВС. Произведен проблемно-классификационный анализ функциональных параметров ДВС, выбор пригодных для дальнейшего прогнозирования надежности информативных параметров, оказывающих наибольшее влияние на работоспособность ДВС АТ в различных условиях эксплуатации.

2. Обоснован выбор обобщенного показателя надежности – удельного показателя готовности, зависящего от периодичности проведения ТО ДВС АТ при эксплуатации, а также определена оптимальная периодичность ТО, позволяющая повысить готовность АТ.

3. Разработаны вероятностные модели постепенного изменения контролируемых параметров ДВС АТ, учитывающие различные условия эксплуатации и позволяющие определить время достижения параметрами своих предельных значений.

4. На базе вероятностных моделей и введенных показателей эффективности разработан алгоритм определения оптимальной периодичности ТО ДВС АТ, позволяющий либо минимизировать удельные непроизводительные затраты на эксплуатацию ДВС при выполнении требований по надежности (прямая задача), либо обеспечить максимально возможное значение показателя готовности ДВС при заданных ограничениях на затраты (обратная задача).

5. В результате использования разработанной методики проведения ТО ДВС АТ в различных условиях эксплуатации, при организации гибкой стратегии

ТО по данным эксперимента в городах Гатчина, Рыбинск, Уссурийск и Хабаровск на примере автомобилей КамАЗ-43114 и ЗИЛ-131 достигается повышение удельного показателя готовности в среднем на 6,5 %.

6. Разработаны научно-технические предложения по применению разработанного методического инструментария при организации ТО, позволяющие повысить точность определения оптимальной периодичности ТО ДВС АТ на 10–12 % с учетом особенностей эксплуатации в конкретных условиях.

Полученные результаты соответствуют пункту 12 – «Закономерности изменения технического состояния автомобилей, их агрегатов и систем, технологического оборудования предприятий, совершенствование на их основе систем технического обслуживания и ремонта, определение нормативов технической эксплуатации», пункту 19 – «Требования и особенности организации технического обслуживания и ремонта автомобилей в особых производственных природно-климатических условиях» паспорта специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта.

В качестве возможных перспективных направлений дальнейших исследований можно отметить разработку более сложных (нелинейных) моделей, описывающих закономерности постепенного изменения значений контролируемых параметров ДВС АТ с течением времени, сопоставление тех или иных аналитических моделей отклонения с конкретными условиями эксплуатации АТ, выявление и описание соответствующих закономерностей, а также расширение перечня контролируемых агрегатов АТ разных типов для различных условий эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хасанов, Р. Х.** Основы технической эксплуатации автомобилей: учебное пособие / Р.Х. Хасанов / – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с. – Текст : непосредственный.

2. **Савин, Л. О.** Анализ определяющих параметров и возможностей использования гибких стратегий технического обслуживания для повышения надежности автомобильной техники при ее эксплуатации в особых условиях/Л.О. Савин, М.В. Королёв, М.В. Носов. – Текст : непосредственный // Научный результат. Информационные технологии. – 2017. – № 2. – С. 9–20.

3. **Агеев, Е. В.** Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей : учебное пособие. – Курск: ЮЗГУ, 2015. – 212 с. – Текст : непосредственный.

4. **Сироткина, А. В.** Роль и перспективы развития коммерческого транспорта в современной экономике России. Пути повышения безопасности его эксплуатации / А.В. Сироткина. – Текст : непосредственный // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – № 1 (66). – С. 6–11.

5. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства РФ № 1734-р от 22.11.2008 г. (с изм. от 11.06.2014 г.) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460>, свободный. Яз.рус. – Загл. с экрана.

6. Государственная программа РФ «Развитие транспортной системы». Утв. постановлением Правительства РФ № 319 от 14.04.2014 г.(с изм. от 31.03.2017) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/9F4AL3ZVAoQSNRCgpmRH5FiiyA0qbmaI.pdf>, свободный. Яз.рус. – Загл. с экрана.

7. Российский парк грузовиков: основные показатели[Электронный ресурс].Режимдоступа: <http://static.government.ru/media/files/>, свободный. Яз.рус. – Загл. с экрана.

8. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень (2018 г). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/>, свободный. Яз.рус.–Загл. с экрана.

9. О федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России» (2010–2020 гг.). Постановление правительства РФ № 848 от 5.12.2001 г. (с изм. от 22.12.2010 г.) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://base.garant.ru/1587083>, свободный. Яз.рус. – Загл. с экрана.

10. Основные показатели транспортной деятельности в России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b10_55/Main.htm, свободный. Яз.рус. – Загл. с экрана.

11. Тенденции развития автомобильной промышленности, результаты 2014–2015 гг. и среднесрочные перспективы развития отрасли [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://economy.gov.ru/wps/wcm/connect/873eb09e-eab9-48dc-81ab-2fb6e0e1f273/mon_avto.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=873eb09e, свободный. Яз.рус. – Загл. с экрана.

12. **Щиголев, А. В.** Автомобильная промышленность России: тенденции и перспективы развития в послекризисный период /А.В. Щиголев. – Текст : непосредственный // Транспортное дело в России.– 2013. – № 2.– С. 83–84.

13. **Савин, Л.О.** Научно-практические предложения по повышению надежности агрегатов (систем) АТ путем резервирования входящих в их состав элементов / Л.О. Савин, М.В. Королёв, Е.И. Ларкин. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин). – 2019. – № 1 (64). – С. 19–29.

14. Стратегия развития российской автомобильной промышленности на период до 2025 года. Правительство РФ, 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/EVXNIplqvhAfF2Ik5t6l6kWrEIH8fc9v.pdf>, свободный. Яз.рус. – Загл. с экрана.

15. Современное состояние и перспективы развития автомобильной промышленности России [Электронный ресурс]/ Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 11. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2015/11/59948>, свободный. Яз.рус.–Загл. с экрана.

16. Российский автопром – история развития, наши дни, перспективы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://promdevelop.ru/rossijskij-avtoprom>, свободный. Яз.рус. – Загл. с экрана.

17. Экономика России, цифры и факты. Ч. 3. Транспорт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://utmagazine.ru/posts/10280-ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-3-transport>, свободный. Яз.рус.–Загл. с экрана.

18. **Савин, Л.О.** Разработка прогнозных моделей временного дрейфа определяющих параметров АТ при ее эксплуатации в особых условиях / Л.О. Савин, М.В. Королёв, М.В. Носов. – Текст : непосредственный // Информационно-управляющие системы. – 2017. – № 3 (88). – С. 58–66.

19. **Гришкевич, А. И.** Автомобили. Теория / А.И. Гришкевич. – Минск: Высшая школа, 1986. – 208 с. – Текст : непосредственный.

20. **ГОСТ 16350–80.** Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. – Москва : Изд-во стандартов СССР, 1981.– 114 с. – Текст : непосредственный.

21. **Агеев, Е. В.** Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей : учебное пособие. – Курск: ЮЗГУ, 2015. – 212 с. – Текст : непосредственный.

22. **Кузьмин, Н. А.** Техническая эксплуатация автомобилей : закономерности изменения работоспособности : учебное пособие / Н. А. Кузьмин. – Москва : ФОРУМ, 2011. –208 с. – Текст : непосредственный.

23. **Кленников, В. М.** Автомобиль категории «В». Учебник водителя / В.М. Кленников, Н.М. Ильин, Ю. В. Буралев. – Москва : Транспорт, 1986. – 320 с. – Текст : непосредственный.

24. **Туленов, А.** Совершенствование методов определения комплекса работ ТО и текущего ремонта агрегата автомобиля: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Туленов Айдарали. – Москва, 1991. – 177 с. – Текст : непосредственный.

25. **Родичев, В. А.** Устройство и техническое обслуживание грузовых автомобилей : учебник водителя автотранспортных средств категории «С» / В.А. Родичев. – Москва : Академия, 2004. – 256 с. – Текст : непосредственный.

26. **Савин, Л. О.** Оптимизация параметров контроля и ТО критичных агрегатов АТ при ее эксплуатации в особых условиях / Л.О. Савин, М.В. Королёв. – Текст : непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 1 (56). – С. 24–35.

27. **Кузнецов, Е. С.** Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов / Е.С. Кузнецов [и др.]. – Москва : Транспорт, 1991. – 413 с. – Текст : непосредственный.

28. **Ионов, В. В.** Исследование эксплуатационной надежности агрегатов трансмиссии автомобилей КамАЗ / В.В. Ионов. – Текст : непосредственный // Вестник СВГУ.– 2013 – Вып. 20. – С. 82–86.

29. **Павлишин, С. Н.** Особенности обеспечения эксплуатационной надежности автотехники КамАЗ в Дальневосточном федеральном округе / С.Н. Павлишин, Р.Р. Зинатуллин. – Текст : непосредственный // Вестник МАДИ. – 2011. – № 1 (24). – С. 29– 34.

30. **Ощепков, П. П.** Оценка влияния надежности автомобиля КамАЗ на безопасность дорожного движения в условиях Севера :дис. ... канд. техн. наук :01.02.06 / Ощепков Петр Платонович.– Якутск, 2000. – 146 с. – Текст : непосредственный.

31. **Ишков, А. М.** Исследование эксплуатационных свойств автомобилей в условиях холодного климата:автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Ишков Александр Михайлович. – Москва, 1982. – 16 с.–Библиогр.: с. 16. – Текст : непосредственный.

32. **Григорьев, Р. С.** Поток отказов деталей и узлов автомобилей при отрицательных температурах / Р.С. Григорьев [и др.] – Текст : непосредственный // Бюллетень научно-технической информации. Физико-технические проблемы Севера. –1975. – С. 6–10.

33. **Кузьмин, В. Р.** Прогнозирование хладостойкости конструкций и работоспособности техники на Севере / В.Р. Кузьмин, А. М. Ишков. – Москва : Машиностроение, 1996. – 304 с. – Текст : непосредственный.

34. **Лосавио, Г. С.** Пусковые износы автомобильных двигателей при низких температурах / Г. С. Лосавио. – Москва : Транспорт, 1967. – 58 с. – Текст : непосредственный.

35. **Яговкин, А. И.** Исследование температурных режимов и интенсивности изнашивания агрегатов трансмиссии автомобилей в зимних условиях: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11 / Яговкин Аркадий Иванович. – Москва : 1973. – 231 с. – Текст : непосредственный.

36. **Ишков, А. М.** Анализ отказов автомобилей МАЗ и КрАЗ, эксплуатируемых при низких температурах / А.М. Ишков, Р.С. Григорьев. – Текст : непосредственный // Работоспособность машин и конструкций.– 1974. – Ч. 1. – С. 60–66.

37. **Ишков, А. М.** Статический анализ разрушения обода колеса автомобиля БелАЗ-75211/212 при эксплуатации при низкой климатической температуре / А.М. Ишков, М.А. Кузьминов. – Текст : непосредственный // Технология и свойства материалов Севера. – 1990. – С. 67–70.

38. **Захаров, Н. С.** Влияние сезонных условий на надежность автомобилей Урал-4320 / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, Ю.М. Першин. – Текст : непосредственный // Повышение эффективности работы колесных и гусеничных машин в суровых условиях эксплуатации. – 1996. – С. 60–66.

39. **Петров, А. И.** Влияние условий эксплуатации на долговечность и безотказность автомобильных шин: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Петров Артур Игоревич. – Тюмень, 1999. – 18 с. – Текст : непосредственный.

40. **Резник, Л. Г.** Научные основы приспособленности автомобилей к условиям эксплуатации: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.22.10 / Резник Леонид Григорьевич. – Москва : 1981. – 33 с. – Текст : непосредственный.

41. **Чуклинов, Н. Н.** Исследование влияния транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог на режимы движения автомобилей / Н.Н. Чуклинов. – Текст : непосредственный // Повышение транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог и безопасности движения. – 1981. – С. 44–50.

42. **Ефремов, Л. В.** Проблемы управления надежностно–ориентированной технической эксплуатацией машин / Л.В. Ефремов. – Санкт-Петербург :Art-Xpress, 2015. – 206 с. – Текст : непосредственный.

43. **Макарова, А. Н.** Методика оперативного корректирования нормативов периодичности технического обслуживания с учетом фактических условий эксплуатации автомобилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11 / Макарова Анна Николаевна. – Оренбург, 2016. – 16 с. – Текст : непосредственный.

44. **Кузнецов, Е. С.** Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов [и др.]. – Москва : Транспорт, 1991. – 413 с. – Текст : непосредственный.

45. **Барзилович, Е. Ю.** Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович. – Москва : Высшая школа, 1982. – 238 с. – Текст : непосредственный.

46. **Смирнов, Н. Н.** Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А. А. Ицкевич. – Москва: Транспорт, 1980. – 232 с. – Текст : непосредственный.

47. **Зеленцов, В. А.** Гибкие стратегии ТО – проблемы внедрения и пути их решения / В.А. Зеленцов. – Текст : непосредственный // Стандарты и качество. – 1991. – № 12. – С.35–38.

48. **Ситчихина, М. В.** Разработка моделей и программных средств прогнозирования остаточного ресурса оборудования :дис.... канд. техн. наук : 05.13.01 /Ситчихина Мария Владимировна. – Иркутск. – 2003. – 130 с. – Текст : непосредственный.

49. **Савин, Л. О.** Разработка алгоритмов управления параметрами технического обслуживания автомобильной техники при ее эксплуатации в особых условиях / Л.О. Савин. – Текст : непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – № 11. – С. 199–208.

50. **Калявин, В. П.** Основы теории надежности и диагностики / В. П. Калявин. – Санкт-Петербург :Элмор, 1998. – 172 с. – Текст : непосредственный.

51. **Волков, Ю. В.** Системы технического диагностирования, автоматического управления и защиты: учебное пособие. Ч. 1 / Ю. В. Волков. – Санкт-Петербург :СПбГУПТД, 2016. – 115 с. – Текст : непосредственный.

52. **Половко, А. М.** Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров. –Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003. – 704 с. – Текст : непосредственный.

53. **Пестряков, В. Б.** Индивидуальное прогнозирование состояния радиоэлектронной аппаратуры методами экстраполяции : учебное пособие / В.Б. Пестряков, В.В. Андреева. – Куйбышев:КуАИ, 1981. – 92 с. – Текст : непосредственный.

54. **Вентцель, Е. В.** Теория вероятностей / Е. В. Вентцель. – Москва : Высшая школа, 1999. – 576 с. – Текст : непосредственный.

55. **Пугачев, В. С.** Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В.С. Пугачев. – Москва :Физматгиз, 1962. – 884 с. – Текст : непосредственный.

56. **Дрейпер, Н.** Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – Москва : Статистика, 1973. – 392 с. – Текст : непосредственный.

57. **Бокс, Дж.** Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс;под ред. В. Ф. Писаренко. – Москва : Мир, 1974. – 406 с. – Текст : непосредственный.

58. **Чуев, Ю. В.** Прогнозирование количественных характеристик процессов / Ю.В. Чуев [и др.]. – Москва : Сов. Радио, 1975. – 400 с. – Текст : непосредственный.

59. **Линник, Ю. В.** Метод наименьших квадратов и основы теории математическо-статистической обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – Москва :Физматгиз, 1958. – 334 с. – Текст : непосредственный.

60. **Свешников, А. А.** Прикладные методы теории случайных функций / А. А. Свешников. – Москва : Наука, 1968. – 464 с. – Текст : непосредственный.

61. **Васильев, Б. В.** Прогнозирование надежности и эффективности радиоэлектронных устройств / Б.В. Васильев. – Москва : Сов. Радио, 1980.

– 336 с. – Текст : непосредственный.

62. **Пестряков, В. Б.** Вероятностно-статистические методы в задачах анализа и синтеза электронной аппаратуры : учебное пособие / В. Б. Пестряков. – Москва : МЭИС, 1979. – 63 с. – Текст : непосредственный.

63. **Вентцель, Е. В.** Задачи и упражнения по теории вероятностей / Е.В. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Высшая школа, 2000. – 368 с. – Текст : непосредственный.

64. **Лукинский, В. С.** Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е. И. Зайцев. – Ленинград : Политехника, 1991. – 224 с. – Текст : непосредственный.

65. **Баженов, Ю. В.** Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов. – Текст : непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 4. – С. 16–21.

66. **Баженов, Ю. В.** Основы теории надежности машин : учебное пособие / Ю.В. Баженов. – Владимир:Издат.ВлГУ, 2006. – 156 с. – Текст : непосредственный.

67. **Колчин, В. С.** Основы диагностики и технической эксплуатации автомобилей : учебное пособие / В.С. Колчин. – Иркутск:Издат.ИрГТУ, 2006.– 156 с. – Текст : непосредственный.

68. **Яхьяев, Н. Я.** Основы теории надёжности автомобилей и техническая диагностика: учебное пособие / Н.Я. Яхьяев, М.М. Магомедов. – Махачкала: МАДИ, 2006. – 134 с. – Текст : непосредственный.

69. **Кузнецов, Е. С.** Техническая эксплуатация автомобилей : учебное пособие / Е.С. Кузнецов [и др.]. – Москва : Наука, 2004. – 535с. – Текст : непосредственный.

70. **Баженов, Ю. В.** Оценка надежности автомобилей по результатам эксплуатационных испытаний / Ю.В. Баженов. – Текст : непосредственный // *Актуальные проблемы эксплуатации автомобильного транспорта: материалы 15-й международной научно-практической конференции*. – Владимир, 2013. – С.

23–26.

71. **Анилович, В. Я.** Надежность машин в задачах и примерах : учебное пособие / В.Я. Анилович, А.С. Григоренко, В.Л. Литвиненко. – Харьков: ОКО, 2001. – 318с. – Текст : непосредственный.

72. **Петухов, Г. Б.** Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1. Методология, методы, модели / Г. Б. Петухов. – Ленинград : МО СССР, 1989. – 660 с. – Текст : непосредственный.

73. **Лабунец, А. М.** Методический аспект оптимальной идентификации технического состояния средств связи / А.М. Лабунец[и др.] – Текст : непосредственный // Телекоммуникации. – 2007. – № 7. – С. 7–13.

74. **Авдеевский, В. С.** Надежность и эффективность в технике : справочник в 10 т./ Ред. совет: В.С. Авдеевский и др. – Москва : Машиностроение, 1986. – 224 с. – Текст : непосредственный

75. **Барзилович, Е. Ю.** Вопросы математической теории надежности / Е.Ю. Барзилович[и др.] ; под ред. Б. В. Гнеденко. – Москва : Радио и связь, 1983. – 376 с. – Текст : непосредственный.

76. Введение в математическое программирование. [Электронный ресурс].Режимдоступа: <https://www.twirpx.com/file/1952833>, свободный. Яз.рус. – Загл. сэкрана.

77. **Rosen, J. B., Thompson, M. E.** Global minimization via Piecewise-Linear Underestimation // Journal of Global Optimisation. – 2005. – V. 32. – P. 1–9. – Текст : непосредственный.

78. **Зонтендейк, Г.** Методы возможных направлений / Г. Зонтендейк. – Москва :Издат. иностранной литературы, 1963. – 176 с. – Текст : непосредственный.

79. **Бахвалов Н. С.** Численные методы / Н.С. Бахвалов [и др.]. – Москва :Физматлит, 2000. – 624 с. – Текст : непосредственный.

80. **Амосов, А. А.** Вычислительные методы для инженеров / А.А. Амосов [и др.]. – Москва : Высшая школа, 1994. – 544 с. – Текст : непосредственный.

81. **Орлов, А. И.** Часто ли распределение результатов наблюдений

является нормальным? / А.И. Орлов. – Текст : непосредственный // Заводская лаборатория. – 1991. – № 7. – С.64–66.

82. **Лемешко, Б. Ю.** Сравнительный анализ критериев проверки отклонения распределения от нормального закона / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко. – Текст : непосредственный // Метрология. – 2005. – № 2. – С. 3–23.

83. **Лемешко, Б. Ю.** О правилах проверки согласия опытного распределения с теоретическим / Б.Ю. Лемешко, С.Н. Постовалов. – Текст : непосредственный // Методы менеджмента качества. Надежность и контроль качества. – 1999. – № 11. – С. 34–43.

84. **Р 50.1.033-2001.** Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Ч. 1. Критерии типа хи-квадрат. – Москва : Изд-во стандартов. – 2002. – 87 с. – Текст : непосредственный.

88. **Р 50.1.037-2002.** Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Ч. 2. Непараметрические критерии. – Москва : Изд-во стандартов. – 2002. – 64 с. – Текст : непосредственный.

86. **ГОСТ Р ИСО 5479-2002.** Статистические методы проверки отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. – Москва : Изд-во стандартов. – 2002. – 27 с. – Текст : непосредственный.

87. **Орлов, А. И.** Прикладная статистика: учебник / А. И. Орлов. – Москва : Экзамен. – 2004. – 656 с. – Текст : непосредственный.

88. **Савин, Л. О.** Прогнозирование технического состояния АТ при ее эксплуатации в различных условиях / Л.О. Савин, М.В. Королёв, П.А. Сысоев. — Текст : непосредственный // Современные автомобильные материалы и технологии: сб. материалов IX Международной научно-технической конференции (26–27 октября 2017 г., Курск). – Курск, 2017. – С. 76–78.

89. **Савин, Л. О.** Организация ТО АТ в различных природно-климатических условиях ее эксплуатации / Л.О. Савин, М.В. Королёв. – Текст : непосредственный // Современные автомобильные материалы и технологии : сборник материалов X

Международной научно-технической конференции (26–27 октября 2018 г., Курск). – Курск, 2018. – С. 215 – 217.

90. **Салин, В. Н.** Практикум по курсу «Статистика» / В.Н. Салин, Э. Ю. Чурилова. – Москва : Перспектива. – 2002. – 188 с. – Текст : непосредственный.

91. **Абрамов, О. В.** Прогнозирование состояние технических систем / О.В. Абрамов, А. Н. Розенбаум. – Москва : Наука, 1990. – 210 с. – Текст : непосредственный.

92. **Гаскаров, Д. В.** Малая выборка / Д.В. Гаскаров, В. И. Шаповалов. – Москва : Статистика, 1978. – 248 с. – Текст : непосредственный.

93. **Лемешко, Б. Ю.** Применение непараметрических критериев согласия при проверке сложных гипотез / Б.Ю. Лемешко, С.Н. Постовалов. – Текст : непосредственный // Автометрия. – 2001. – № 2. – С. 88–102.

94. **Орлов, А. И.** Распространенная ошибка при использовании критериев Колмогорова и омега-квадрат / А.И. Орлов. – Текст : непосредственный // Заводская лаборатория. – 1985. – №1. – С. 60–62.

95. **Лемешко, Б. Ю.** Об ошибках и неверных действиях, совершаемых при использовании критериев согласия типа хи-квадрат / Б.Ю. Лемешко, Е.В. Чимитова. – Текст : непосредственный // Измерительная техника. – 2002. – № 6. – С. 5–11.

96. **Кулинская, Е. В.** О некоторых ошибках в реализации и применении непараметрических методов в пакете для IBM PC / Е.В. Кулинская, Н.Е. Саввушкина. – Текст : непосредственный // Заводская лаборатория. – 1990. – № 5. – С. 96–99.

97. **Тюрин, Ю. Н.** Анализ данных на компьютере / Ю.Н. Тюрин, А. А. Макаров. – Москва : Финансы и статистика, 1995. – 384 с. – Текст : непосредственный.

98. **Тюрин, Ю. Н.** О предельном распределении статистик Колмогорова-Смирнова для сложной гипотезы / Ю.Н. Тюрин. – Текст : непосредственный // Изв. АН СССР. Сер. Матем. – 1984. – № 6. – С. 1314–1343.

99. **Прохоров, Ю. В.** Большой энциклопедический словарь. Математика / Ю. В. Прохоров. – Москва : БРЭ, 1998. – 846 с. – Текст : непосредственный.

100. Плотность числового ряда [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mql5.com/ru/forum/163871/page25>, свободный. Яз. рус. – Загл. с экрана.

101. **Адамар, Ж.** Задача Коши для линейных уравнений с частными производными гиперболического типа / Ж. Адамар ; пер. с французского под ред. О.М. Белоцерковского. – М.: Наука, 1978. – 351 с. – Текст : непосредственный.

102. **Маслов, А. Я.** Электрорадиоизмерения и испытания радиоэлектронной аппаратуры: учеб. для вузов / А. Я. Маслов [и др.]. – М.: МО, 1983. – 339 с. – Текст : непосредственный.

103. **Радовская, Е. В.** Автомобиль ЗИЛ-131Н и его модификации: рук. по эксплуатации / Е.В. Радовская [и др.]. – М.: МО, 1988. – 335 с. – Текст : непосредственный.

104. **Донской, Д. М.** Автомобили КамАЗ 6х6: рук. по эксплуатации / Д.М. Донской [и др.]. – М.: МО, 1987. – 375 с. – Текст : непосредственный.

105. Устройство для обеспечения определения количества резервных элементов системы: пат. 183386 Российская Федерация: МПК G 06 F 15/20 / Савин Л.О. [и др.]. – № 2018106094; заявл. 19.02.18; внесена в Реестр полезных моделей Российской Федерации 19.09.2018 ; опубл. 19.09.18, Бюл. № 26.

106. Устройство для повышения точности определения остаточного ресурса двигателя внутреннего сгорания: пат. 188936 Российская Федерация: МПК G 01 M 15/04 / Савин Л.О. [и др.]. – № 2019101857; заявл. 24.01.19; внесена в Реестр полезных моделей РФ 29.04.19; опубл. 29.04.19, бюл. № 13.

107. Программа для определения оптимальной периодичности технического обслуживания изделий: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615112 Российская Федерация / Савин Л.О. [и др.]. – № 2018612324; заявл. 07.03.2018; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.04.2018.

108. Программа для расчета показателей надежности агрегатов и систем автомобильной техники при ее эксплуатации в различных условиях: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018663681 Российская Федерация / Савин Л.О. [и др.]. – № 2018660724; заявл. 04.10.2018; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 01.10.2018.

109. **Савин, Л. О.** Управление параметрами ТО АТ при различных дорожно-транспортных условиях ее эксплуатации / Л. О. Савин, М. В. Королёв, П.А. Сысоев. – Текст : непосредственный // Сборник материалов XI Всероссийской межведомственной научной конференции (14–16.04.2019). – Орел, 2019. – С. 79–80. – Текст : непосредственный.

110. **Савин, Л. О.** Повышение точности определения периодичности технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания на автомобильной технике при ее эксплуатации в особых условиях / Л. О. Савин // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 2 (73). – С. 23–32. – Текст : непосредственный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патент на полезную модель № 183386

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 183386

**Устройство для обеспечения определения количества
резервных элементов системы**

Патентообладатель: *Федеральное государственное казенное
военное образовательное учреждение высшего образования
Академия Федеральной службы охраны Российской
Федерации (RU)*

Авторы: *Офицеров Александр Иванович (RU), Королев Михаил
Викторович (RU), Савин Леонид Олегович (RU), Золотухин
Николай Андреевич (RU)*

Заявка № 2018106094

Приоритет полезной модели 19 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 19 сентября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 19 февраля 2028 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев

Окончание прил. А

Патент на полезную модель № 188936

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 188936

**Устройство для повышения точности определения
остаточного ресурса двигателя внутреннего сгорания**

Патентообладатель: *Федеральное государственное казенное
военное образовательное учреждение высшего образования
Академия Федеральной службы охраны Российской
Федерации (RU)*

Авторы: *Офицеров Александр Иванович (RU), Королев Михаил
Иванович (RU), Савин Леонид Олегович (RU), Басов Олег
Олегович (RU)*

Заявка № 2019101857

Приоритет полезной модели 24 января 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 29 апреля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 24 января 2029 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2018615112

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018615112

Программа для определения оптимальной периодичности
технического обслуживания изделий

Правообладатель: *Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации» (Академия ФСО России) (RU)*

Авторы: *Таранов Алексей Борисович (RU), Королёв Михаил Викторович (RU), Савин Леонид Олегович (RU)*

Заявка № 2018612324

Дата поступления 07 марта 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 26 апреля 2018 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

Окончание прил. Б

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2018615112

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018663681

**Программа для расчета показателей надежности агрегатов
и систем автомобильной техники при ее эксплуатации в
различных условиях**

Правообладатель: **Федеральное государственное казенное военное
образовательное учреждение высшего образования "Академия
Федеральной службы охраны Российской Федерации" (RU)**

Авторы: **Таранов Алексей Борисович (RU), Королёв Михаил
Викторович (RU), Савин Леонид Олегович (RU)**

Заявка № **2018660724**

Дата поступления **04 октября 2018 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **01 ноября 2018 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акт внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ

Командир в/ч 35657

С.В. Тормышов

2018 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований
Савина Леонида Олеговича

Комиссия в составе: председателя – Котышева А.О. и членов комиссии Шишкина В.П., Иванисова С.В., Швецова В.Б., Семёнова А.С. подтверждает, что результаты диссертационных исследований Савина Л.О., а именно: алгоритм определения оптимальной периодичности контроля значений информативных параметров агрегатов автомобильной техники при её эксплуатации в особых условиях, а также представленные в работе научно-технические предложения по применению полученных результатов имеют практическую значимость и используются в автомобильном парке в/ч 35657 при организации (проведении и планировании) мероприятий по техническому обслуживанию и контролю параметров агрегатов и систем автомобильной техники типа ЗиЛ-131, КамАЗ-4350, КамАЗ-5350, КамАЗ-43101.

Внедрение разработанных в диссертационной работе Савина Л.О. результатов и научно-технических предложений позволяет существенно повысить надежность автомобильной техники, оперативность и точность расчета оптимальных значений периодичности ТО и контроля параметров, а также снизить затраты на организацию и проведение ТО.

Председатель комиссии:

Котышев А.О.

Члены комиссии:

Шишкин В.П.

Иванисов С.В.

Швецов В.Б.

Семёнов А.С.

4 декабря 2018 г.

Продолжение прил. В

Акт внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ
Временно исполняющий обязанности
командира в/ч 28677



А.В. Филимонов

5 декабря 2018 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований
Савина Леонида Олеговича

Комиссия в составе: председателя – Воронкова Э.А. и членов комиссии Горкуше Ю.И., Лядова С.В., Любомского В.М. подтверждает, что результаты диссертационных исследований Савина Л. О., а именно: методика контроля и проведения ТО критичных агрегатов автомобильной техники в особых условиях ее эксплуатации, а также представленные в работе научно-технические предложения по применению полученных результатов имеют практическую значимость и используются в гараже в/ч 28677 при организации гибкой системы ТО автомобильной техники марок КамАЗ-5350, 43114, 4310, ЗиЛ-131.

Применение представленных в диссертационной работе Савина Л.О. результатов и научно-технических предложений позволяет повысить эффективность использования автомобильной техники (повысить ее надежность, а также сократить затраты на организацию и проведение ТО и контроля).

Председатель комиссии:

Воронков Э.А.

Члены комиссии:

Горкуша Ю.И.

Лядов С.В.

Любомский В.М.

5 декабря 2018 г.

Продолжение прил. В

Акт внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ

Командир в/ч 16662



К.В. Шишкин

7 декабря 2018 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований
Савина Леонида Олеговича

Комиссия в составе: председателя – Григорьев А.В. и членов комиссии Вовк А.П., Резанцев С.В., Резников С.В. подтверждает, что результаты диссертационных исследований Савина Л. О. (алгоритм определения оптимальной периодичности контроля значений параметров агрегатов, а также методика контроля и проведения ТО критичных агрегатов автомобильной техники в особых условиях ее эксплуатации) имеют практическую значимость и используются в автомобильном парке в/ч 16662. при эксплуатации автомобильной техники типа КамАЗ-4350, КамАЗ-5350 и ЗиЛ-131.

Внедрение предложенных в диссертационной работе Савина Л.О. научно-технических положений и результатов и их использование в практической деятельности подразделений позволяет оптимизировать процесс проведения ТО и контроля параметров автомобильной техники типа КамАЗ, ЗиЛ и тем самым – существенно повысить ее надежность и снизить затраты на эксплуатацию.

Председатель комиссии:

Григорьев А.В.

Члены комиссии:

Вовк А.П.

Резанцев С.В.

Резников С.В.

7 декабря 2018 г.

Продолжение прил. В

Акт внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ

ВрИО командира войсковой части 77071

полковник

М.П. Хисамиев

2018 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований
Савина Леонида Олеговича

Комиссия в составе: председателя – Чернышева А.А. и членов комиссии Качаковского П.С., Головастика К.В., Полякова С.А. подтверждает, что результаты диссертационных исследований Савина Л. О. (алгоритм определения оптимальной периодичности контроля значений параметров агрегатов, а также методика контроля и проведения ТО критичных агрегатов автомобильной техники в особых условиях ее эксплуатации) имеют практическую значимость и используются в автомобильном парке в/ч 77071 при эксплуатации автомобильной техники типа КамАЗ-43114, КамАЗ-5350 и ЗиЛ-131.

Внедрение предложенных в диссертационной работе Савина Л.О. результатов в целом позволяет повысить эффективность проведения технического обслуживания автомобильной техники КамАЗ, ЗиЛ за счет определения оптимальной периодичности ее ТО и контроля.

Председатель комиссии: подполковник

А.А.Чернышев

Члены комиссии: подполковник

П.С. Качковский

подполковник

К.В. Головастик

капитан

С.А.Поляков

19 12 2018 г.

Продолжение прил. В

Акт внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ



Временно исполняющий обязанности
командира
войсковой части 69793

Подполковник

А. В. Ковалкин

03

2019 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационных исследований
Савина Леонида Олеговича

Комиссия в составе: председателя – Андриющенко Е.В. и членов комиссии Вислова А.И., Мельникова Д.В., Морозовского Е.И. подтверждает, что результаты диссертационных исследований Савина Л. О. (алгоритм определения оптимальной периодичности контроля значений параметров агрегатов автомобильной техники, методика контроля и проведения ТО ее критичных агрегатов в особых условиях эксплуатации), а также представленные в работе научно-технические предложения имеют практическую значимость и используются в автомобильном парке в/ч 69793 при эксплуатации автомобильной техники типа КамАЗ 43114, КамАЗ-65117 и ЗиЛ-131.

Использование в практической деятельности подразделений разработанных в диссертационной работе Савина Л.О. результатов (алгоритма, методики, а также научно-технических предложений) позволит повысить готовность автомобильной техники к использованию по назначению, а также сократить затраты на организацию и проведение ее технического обслуживания.

Председатель комиссии:

Андриющенко Е.В.

Члены комиссии:

Вислов А.И.


Мельников Д.В.

Морозовский Е.И.

4 03 2019 г.

Окончание прил. В

Акт внедрения результатов диссертационной работы


 ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
 УНИВЕРСИТЕТ
 Технический факультет

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего образования
 «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 имени И.С. ТУРГЕНЕВА»
 (ОГУ им. И.С. Тургенева)
 Комсомольская ул., д. 50, г. Орёл 302026
 Тел./факс: +7(4862) 76-13-13
 info@ordlog-orl.ru www.ordlog-orl.ru

ОКПО 02079309 С/ПН- 1025709766462
 ИНН/ОГРН 5752018399/575201031

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно-технологической
 деятельности и аттестации научных
 кадров



Е.Ю. Радченко
 2021 г.

на № _____

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Комиссия в составе Новикова А.Н. – директора политехнического института имени И.Н. Поликарпова, Ломакина Д.О. – доцента кафедры сервиса и ремонта машин, Кулева М.В. – доцента кафедры сервиса и ремонта машин настоящим актом подтверждает внедрение результатов научно-исследовательской работы на тему «Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта при эксплуатации», автор – Сазин Л.О., в учебный процесс кафедры сервиса и ремонта машин.

Материалы исследования используются для преподавания дисциплин «Техническая эксплуатация автомобилей», «Техническое обслуживание и ремонт автотранспорта», «Техника транспорта, обслуживание и ремонт» у студентов направления подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Председатель комиссии:

Новиков А.Н.

Члены комиссии:

Ломакин Д.О.

Кулев М.В.