

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

В.В. Лянденбургский

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ
ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА
АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ
МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

Пенза, 2015

УДК 629.113.003.67

ББК 39.33–08

Л97

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация безопасности движения» И.Е. Ильина (ПГУАС); кандидат технических наук, доцент кафедры «Технический сервис машин» А.С. Иванов (ПГСХА)

Лянденбургский В.В.

Л97 Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта автомобилей на основе инновационных методов диагностирования: моногр. / В.В. Лянденбургский. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 200 с.

ISBN 978-5-9282-1264-3

Приведен подробный анализ методов и средств технического обслуживания и ремонта автомобилей. Предложен новый подход к регистрации неисправностей и проведению технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Монография подготовлена на кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта» и предназначена для широкого круга специалистов, научных работников, преподавателей и аспирантов, студентов.

ISBN 978-5-9282-1264-3

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2015

© Лянденбургский В.В., 2015

ВВЕДЕНИЕ

Среди основных факторов, определяющих эффективность эксплуатации автомобилей, ведущее место принадлежит системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), ее научной обоснованности и совершенству, в настоящее время определяемая, как планово-предупредительная система (ППС) ТО и Р. Огромное значение в развитии системы ТО и Р имеет диагностирование автомобилей.

В настоящее время широкое распространение получили системы диагностирования в виде стационарных приборных комплексов, переносных и встроенных систем диагностирования. Однако применение встроенного диагностирования увеличивает среднюю стоимость автомобилей, использующих компьютерные системы контроля работы двигателя от 2 до 5 процентов.

Существующие методы и построенные на их основе приборные комплексы отличаются значительной трудоемкостью выполнения диагностирования в системе ТО мобильной техники, высокой ценой и сложностью, поэтому не доступны автотранспортным предприятиям (АТП) небольшой мощности, в частности сельскохозяйственным товаропроизводителям.

Сложность поиска неисправностей определяет необходимость применения в практике эксплуатации автомобилей большого набора методов и средств диагностирования. Применение существующих средств встроенного диагностирования автомобилей экономически нецелесообразно в силу высокой стоимости диагностического оборудования. Для комплексного диагностирования автомобилей на малых и средних АТП, а также автоколонн, работающих в отрыве от производственных баз, целесообразна разработка эффективных методов поиска неисправностей, которые являются весьма перспективными в отношении массовой реализации, как в средствах внешнего, так и встроенного диагностирования.

Комплексное решение проблемы возможно если при создании новых методов поиска неисправностей внести изменения в существующую систему ТО и Р автомобилей.

В связи с вышеизложенным, актуальным являются разработка и исследования методов и моделей оценки технического состояния автомобилей и определения на их основе оптимальной периодичности профилактики элементов автомобилей.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1. Роль диагностирования в повышении эффективности технической эксплуатации автомобилей

Проблему повышения эффективности использования подвижного состава автомобильного транспорта можно решить путем совершенствования управления техническим состоянием автомобилей, используя наиболее полно его индивидуальные возможности в процессе эксплуатации.

Анализ публикаций таких авторов, как С.В. Крючков, А.И. Кудрин, А.М. Лукьянов, С.В. Пахомов [16, 17, 53, 78] показывает, что сущность проблемы заключается в том, что из-за высокой разновидности ресурсов агрегатов и механизмов автомобилей (для системы питания дизелей, например, коэффициент вариации ресурса составляет 0,26...0,78) их индивидуальные свойства при планово-предупредительной системе реализуются частично. В результате данного факта имеют место значительные потери трудовых и материальных ресурсов из-за несвоевременного контроля отказов, преждевременной профилактики и низкого уровня организации производства, а также недостаточной индивидуальной информации о состоянии каждого автомобиля. Так, объем текущего ремонта автомобилей, заключающийся в устранении отказов из-за ненадлежащего обнаружения неисправностей, составляет более 48 % от общего объема трудовых затрат на техническое обслуживание автомобилей. Наиболее действенная стратегия по поддержанию автомобиля в исправном состоянии – техническое обслуживание и текущий ремонт по состоянию показателей диагностирования. При поиске дефектов методы диагностирования позволяют выявить вид и причину дефекта. По диагностическим параметрам все методы делят на три группы [59, с. 197-206]:

– по параметрам рабочих процессов, которые позволяют проверить выходные показатели (давление топлива в линии высокого давления, ход иглы распылителя форсунки и т. д.). Точность данных измерений высока, так как осуществляется прямое измерение контролируемой величины;

– по параметрам сопутствующих процессов точность менее достоверна, но все же позволяет нам косвенно определять параметры рабочих процессов (вибрация, нагрев, шум);

– по структурным параметрам, которые опираются на измерение износов деталей (корпуса ГНВД, прецизионных пар, кулачкового вала и т.д.).

Стоит отметить, что каждый метод предназначен для контроля определенного физического процесса. Поэтому техническое обслуживание и ремонт автомобиля в современных условиях нерациональны без контрольно-диагностических работ, доля которых уже превысила 30 % от тру-

доемкости ТО и Р [37, с. 146]. Анализируя сказанное, понимаем, что большое значение имеет проблема уменьшения трудовых затрат при выполнении диагностирования. Решение этой проблемы будем осуществлять в двух направлениях:

- повышение эффективности внешнего стационарного диагностирования путем улучшения его методов и средств в сочетании с внедрением автоматизированных систем управления производством ТО и Р;

- повышение контроля над пригодностью автомобилей и разработкой средств встроенного диагностирования, позволяющих осуществлять и анализировать непрерывный контроль за техническим состоянием автомобиля при минимальных затратах.

Развитие этих направлений должно осуществляться на единой технологической основе, обеспечивающей наибольшую эффективность их применения.

Следует отметить, что правильно проведенное диагностирование способствует снижению затрат на ТО и Р, позволяет существенно улучшить эффективные показатели автомобиля, такие, как мощность, расход топлива, токсичность отработавших газов.

Экономический эффект применения диагностирования в разработках таких ученых, как И.И. Габитов, А.А. Козеев, В.А. Корчагин, А.А. Долгушин, В.И. Парфенов [16, 34, 65, 67, 87] подтверждает опыт ее внедрения. Так, при внедрении диагностирования в процесс поиска неисправностей автомобиля наблюдается снижение затрат на ТР на 9...11 %, сокращение расхода запасных частей на 8...11 % и расхода топлива на 2...4 %.

Таким образом, немаловажные резервы эффективности технической эксплуатации подвижного состава не могут быть реализованы без развития внешнего и встроенного диагностирования, которое является средством персональной оперативной информации о техническом состоянии автомобилей и каждого узла в отдельности, что особенно необходимо для автомобилей, работающих в отрыве от производственных баз.

Вывод по пункту 1.1. Техническое обслуживание и ремонт автомобиля в современных условиях нерациональны без контрольно-диагностических работ. Необходим учет индивидуальных параметров автомобиля с наименьшими затратами по его диагностированию и проведению ремонта. Необходимо уменьшить трудоемкость диагностирования созданием наиболее приемлемой методики технической эксплуатации дизельных двигателей, сочетающего в себе возможность взаимодействия с автоматизированными системами и непрерывностью контроля. Для этого нам нужно проанализировать работы, проведенные по данной проблеме, и найти решения в виде усовершенствованных методов диагностирования, технического обслуживания и ремонта.

1.2. Общие сведения о неисправностях и их влияние на состояние автомобиля

За последние десятилетия эффективность работы автомобилей, выпускаемых промышленностью, их мощностные, экономические и экологические показатели, надежность и долговечность существенно возросли. Несмотря на это, опыт эксплуатации автомобильного парка показывает, что значительная доля автомобилей эксплуатируется с неисправностями, которые ведут к снижению показателей их работы [9, с. 148].

К техническому состоянию дизеля и трансмиссии предъявляются особые требования [3, 4, 5, 26, 110, 112], гарантирующие безотказную и надежную работу автомобиля. Как указывают соискатели на соискание ученой степени кандидата технических наук в своих работах [8, 14, 30, 34, 35], на систему питания дизелей приходится до 10 % всех неисправностей автомобилей, оснащенных дизельными двигателями. Вызвано это тем, что плунжерные пары топливных насосов высокого давления и игла с корпусом распылителя форсунки (попарно) обработаны и притерты с высокой точностью и представляют собой прецизионные пары, в которых замена одной из деталей деталью из другой пары не допускается. Характерной неисправностью для топливных насосов является изнашивание прецизионных деталей и деталей механизма привода плунжера. Также авторы обращают внимание на нарушение герметичности, особенно топливопроводов высокого давления; загрязнение воздушных и топливных фильтров; износ и разрегулировку плунжерных пар насоса высокого давления; потерю герметичности форсунками и снижение давления начала подъема иглы; износ выходных отверстий форсунок, их закоксовывание [11].

На элементы трансмиссии приходится до 17 % неисправностей, Основное количество приходится на подшипники, валы и шестерни.

Возможные неисправности дизельного двигателя и трансмиссии сведены в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1.1

Возможные неисправности при работе двигателя и трансмиссии и способы их устранения

Неисправности элементов топливной системы	Проявление неисправности
1	2
В топливную систему попал воздух. Фильтрующие элементы фильтра тонкой очистки топлива потеряли пропускную способность из-за загрязнения. Закоксовались распылители форсунок. Разрегулировался топливный насос. Нет подачи топлива к фильтру тонкой очистки топлива	Двигатель не запускается или работает с перебоями

Окончание табл. 1.1

1	2
Разрегулировались форсунки. Засорился воздухоочиститель. Неправильно установлен угол начала подачи топлива. Разрегулировался топливный насос. Использование топлива, не соответствующего по качеству рекомендациям завода	Двигатель дымит. Из выхлопной трубы идет черный дым
Не обеспечивается полная подача топлива из-за разрегулировки длины тяги управления топливным насосом. Потеряли пропускную способность фильтрующие элементы топливного фильтра. Разрегулировались форсунки (давление впрыска, качество распыла топлива, закоксовались распылители). Неправильно установлен угол начала подачи топлива. Засорился воздухоочиститель. Разрегулировался топливный насос (уменьшилась подача топлива)	Двигатель не развивает мощность
Слишком ранняя подача топлива (большой угол опережения впрыска)	Двигатель работает «жестко», резкие стуки в верхней части блока цилиндров
Разрегулировался топливный насос. Ухудшился распыл топлива форсунками.	Двигатель перегревается.
увеличение свободного хода педали сцепления и, как следствие, неполное выключение сцепления (сцепление «ведет»); недостаточный свободный ход педали сцепления	Неполное включение сцепления; неполное выключение сцепления; резкое включение сцепления
В коробке передач наблюдается износ подшипников, зубьев шестерен, изгиб валов, нарушение соосности валов, В главной передаче изменяется люфт в зацеплении шестерен, наблюдается износ подшипников, шлицевых соединениях и подшипниках	Нагрев узлов трансмиссии, вибрация, шум и стуки узлов трансмиссии
Износ зубьев шестерен, износ фиксаторов, поломка пружины фиксатора	Самопроизвольное выключение передач
Износ	Затрудненное включение передач

Перечисленные неисправности приводят к изменению угла опережения подачи топлива, отклонениям величин давления, неравномерности работы топливного насоса и количеству подаваемого топлива, отклонению цикловой подачи от нормальных значений, повышению неравномерности регулировочных параметров по цилиндрам двигателя, что вызывает повышение дымности отработавших газов и приводит к незначительному повышению расхода топлива и снижению мощности двигателя на 3–5 % [12, с. 89].

Анализируя признаки неисправностей дизельных двигателей (рис. 1.1) приходим к выводу, что в большей степени встречаются неисправности,

связанные с топливной системой. Ремонт и обслуживание этих систем очень дороги, исходя из критерия нехватки оборудования и квалифицированных специалистов.



Рис.1.1. Признаки неисправностей дизельных двигателей

Слишком ранний впрыск значительно увеличивает период задержки воспламенения из-за низкой температуры заряда в цилиндре двигателя. Одновременно процесс сгорания смещается относительно ВМТ таким образом, что максимальное давление P_z достигается до прихода поршня в ВМТ. Это сопровождается увеличением работы сжатия, уменьшением работы расширения, падением индикаторных показателей и, соответственно, увеличением расхода топлива и дымности отработавших газов [61].

Поздний впрыск, при котором процесс сгорания развивается на такте расширения, приводит к уменьшению полезной работы, увеличению потерь тепла в систему охлаждения и, как следствие, к падению индикаторных показателей и увеличению дымности отработавших газов дизеля [27].

Давление начала подъема иглы распылителя форсунки оказывает существенное влияние на распыление топлива, которое улучшается с повышением силы затяжки пружины форсунки. Снижение давления начала подъема иглы распылителя на 12 % против оптимального увеличивает удельный расход топлива на 2,5 %, а дымность отработавших газов – в 1,5 раза.

С увеличением цикловой подачи топлива продолжительность впрыска по времени увеличивается, и большая часть топлива сгорает на такте расширения, что повышает дымность ОГ и увеличивает расход топлива. Неравномерность подачи топлива по цилиндрам двигателя (δ_n) также оказывает существенное влияние на показатели его работы. Особенно резкое влияние неравномерности подачи топлива начинается при увеличении ее свыше 10 % [22].

Причиной высокой интенсивности отказов распылителей форсунок из-за закоксовывания распылителей является их высокая тепловая напряженность, а также нарушение регулировок топливной аппаратуры. Значительное влияние оказывает на состояние нагнетательных клапанов секций ТНВД регулировка топливной аппаратуры. Отказы топливопроводов высокого давления связаны с повышенной амплитудой давления в них [12, с. 89].

Таким образом, сохранение нормальных показателей работы транспортных дизелей и трансмиссии в эксплуатации в значительной степени определяется своевременным и качественным техническим обслуживанием и ремонтом [12, с. 56–58].

По мнению ряда современных исследователей (Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский, Л.В. Дронов), особое внимание при эксплуатации дизельных двигателей должно уделяться качеству топлива. Топливо должно отвечать требованиям технических условий, быть чистым и предварительно отстоянным. Должна быть обеспечена герметичность всей системы питания, исключая попадание воздуха в систему через зазоры в соединениях, что может быть причиной перебоев в работе двигателя [33, с. 142].

Одним из важнейших мероприятий по экономии топлива является постоянный контроль технического состояния топливной аппаратуры дизельного двигателя, своевременное выполнение технического обслуживания системы питания. При техническом обслуживании системы питания дизельного двигателя особое внимание уделяют чистоте приборов питания, герметичности соединений топливопроводов и приборов системы питания; проверяют состояние и действие приводов подачи топлива; сливают отстой из фильтров грубой и тонкой очистки топлива; заменяют масло в муфте опережения впрыска топлива и в топливном насосе высокого давления [83].

Основными неисправностями механизма сцепления в процессе эксплуатации автомобиля является неполное выключение, неполное включение и резкое включение сцепления. В коробке передач изнашиваются подшипники, зубья шестерен, изгибаются валы, нарушается соосность валов, происходит самовыключение передач и увеличивается шум при движении автомобиля. В карданной передаче зазоры изменяются в шлицевых соединениях, между шипами крестовин и игольчатыми подшипниками, а также нарушаются крепление и геометрическая целостность карданного вала. В главной передаче изменяется люфт, который создается в зацеплении шестерен, шлицевых соединениях и подшипниках.

Уход за трансмиссией заключается в периодической подтяжке креплений, очистке от грязи, смазке подшипников и соединений приводов, удалении воздуха из системы гидропривода, проверке уровня и своевременной замене масла в картерах, смазке шарниров управления коробками, очистке вентиляционных трубок сапунов.

Техническая готовность элементов трансмиссии автомобиля обеспечивается качеством изготовления и сборки их на заводе и в дальнейшем – выполнением необходимых технических воздействий в процессе их эксплуатации.

Операции технического обслуживания агрегатов трансмиссии заключаются:

- в периодической регулировке привода сцепления, подтяжке креплений, очистке от грязи, смазке подшипника муфты выключения сцепления, переднего подшипника первичного вала коробки передач, оси педали сцепления, удалении воздуха из системы гидропривода;

- в проверке и подтяжке элементов крепления коробок и их крышек, проверке уровня масла в картерах и, при необходимости, доливке масла до нормы, смазке шарнирных соединений привода управления коробками, очистке вентиляционных трубок сапунов;

- замене масла в картерах коробок и тщательной их промывке, очистке магнитов пробок спускных отверстий от металлических частиц. Смену масла в картерах передач и других коробках нужно производить сразу же после движения, пока масло горячее.

Перед выездом на линию на ходу автомобиля проверяют работу коробки перемены передач. Передачи должны включаться и выключаться без шума и без стуков. Не должно быть самопроизвольного выключения передач.

При контрольном осмотре в пути проверяют нагрев коробок на ощупь. Нагрев следует считать нормальным, если он не вызывает ощущения ожога ладони руки. Исправность главной передачи и дифференциала проверяют на ходу.

Причины и признаки нарушения работоспособности агрегатов трансмиссии приведены в табл. 1.2, 1.3, 1.4.

Т а б л и ц а 1.2

Признаки нарушения нормальной работы сцепления

Причины нарушения нормальной работы сцепления	Внешние признаки (симптомы) нарушения нормальной работы	Необходимые диагностические, профилактические и ремонтные воздействия
Большой свободный ход педали сцепления	Сцепление выключается не полностью, передачи переключаются с шумом	Проверить и отрегулировать свободный ход педали сцепления
Отсутствие свободного хода педали сцепления	Сцепление пробуксовывает	Проверить и отрегулировать свободный ход педали сцепления
Замасливание или износ накладок ведомого диска. Ослабление нажимных пружин или их поломка	Сцепление пробуксовывает при нормальном свободном ходе педали	Разобрать сцепление, промыть накладки, при необходимости, заменить накладки или пружины
Износ или повреждение выжимного подшипника	Шипящий шум или свист при выключении сцепления	Заменить подшипник
Поломка демпферных пружин или потеря упругости секторов ведомого диска	Резкое включение сцепления	Заменить диск
Коробление поверхностей ведущего диска или маховика	Сцепление «ведет», несмотря на уменьшение свободного хода педали	Заменить покоробленные диски или маховик
Износ шлицев ступицы ведомого диска или ведущего вала коробки передач	Резкое включение сцепления	Заменить изношенные детали

Т а б л и ц а 1.3

Признаки нарушения нормальной работы коробки передач и раздаточной коробки

Причины нарушения нормальной работы коробки передач и раздаточной коробки	Внешние признаки (симптомы) нарушения нормальной работы	Необходимые диагностические, профилактические и ремонтные воздействия
1	2	3
Недостаток масла в коробке	Работа коробки сопровождается шумом и повышенным нагревом	Проверить и долить масло до уровня
Нарушение герметичности сальниковых уплотнений	Подтекание масла из мест выхода валов из коробки передач или раздаточной коробки	Проверить уровень масла, подтянуть болты крепления крышек подшипников, при необходимости, заменить сальники
Нарушение герметичности прокладок крышек картера	Подтекание масла из под крышек картера коробки	Подтянуть болты крепления крышек, при необходимости, заменить прокладки

Окончание табл. 1.3

1	2	3
Ослабление или поломка пружин фиксатора	Самовыключение передач	Сменить пружины фиксатора
Ослабление или поломка пружины фиксатора механизма выключения переднего моста		Заменить негодную пружину
Ослабление крепления крышки подшипников вала привода переднего моста		Затянуть болты крышки подшипников
Износ штока или муфты включения переднего моста		Заменить изношенные детали включения
Ослабление крепления вилки включения	Передний мост включается с заеданием	Подтянуть стопорный болт вилки
Износ вилок переключения	Затрудненное включение или самовыключение передач	Выправить или заменить вилки
Износ зубьев шестерен	Шум при работе, самовыключение передач	Сменить изношенные шестерни
Износ подшипников ведущего и ведомого валов		Заменить негодные подшипники
Неправильное положение регулировочного болта тяги управления включением переднего моста	Самопроизвольное включение или выключение переднего моста	Отрегулировать положение установочного болта на рычаге включения моста
Неправильная регулировка тяги управления включением переднего моста		Изменить длину тяги

Таблица 1.4

Признаки нарушения нормальной работы карданной и главной передач и необходимые технические воздействия

Причины нарушения нормальной работы карданной и главной передач	Внешние признаки (симптомы) нарушения нормальной работы	Необходимые диагностические, профилактические и ремонтные воздействия
1	2	3
Износ подшипников втулок крестовины кардана	Стуки в карданной передаче при резком изменении частоты вращения	Заменить, при необходимости, изношенные элементы
Ослабление крепления или износ подшипников промежуточной опоры	Сильные стуки при движении автомобиля накатом	Подтянуть болты крепления опоры, при необходимости, сменить подшипник
Нарушение балансировки карданных валов	Сильная вибрация валов при движении автомобиля с большой скоростью	Заменить вал в сборе с карданами

Окончание табл. 1.4

1	2	3
Недостаток смазки в картере главной передачи	Работа главной передачи сопровождается шумом и нагревом	Долить масло до уровня контрольного отверстия
Нарушение герметичности сальника	Подтекание масла из сальника ведущей шестерни	Проверить уровень масла, прочистить отверстие сапуна, при необходимости, заменить сальник
Нарушение герметичности прокладок, ослабление крепления фланца полуоси к ступице	Подтекание масла из-под прокладок	Подтянуть болты и гайки шпилек
Износ зубьев шестерни или подшипников главной передачи	Работа главной передачи с шумом без нагрева	Проверить суммарный люфт, отрегулировать зазоры между зубьями шестерен и в подшипниках
Поломка зубьев или подшипников ведущей шестерни	Автомобиль не трогается с места при включенной передаче	Заменить шестерни, подшипники
Поломка полуоси или срыв шпонки полуоси	Карданный вал вращается, автомобиль не движется	Заменить полуось, шпонку

При движении автомобиля со скоростью 30...60 км/ч с включенной передачей прослушивают шум шестерен. Наличие шума свидетельствует о неправильном зацеплении шестерен, когда пятно контакта смещено в сторону широкой части зубьев ведомой шестерни. Если шум шестерен проявляется при торможении двигателем, это говорит о смещении пятна контакта зацепления в сторону узкой части зубьев ведомой шестерни. Работа ведущего моста с непрерывным «воем» шестерен главной передачи может быть при большом износе или повреждении зубьев шестерен, ослаблении крепления, при износе подшипников, недостаточном уровне масла в картере главной передачи или малой вязкости масла. Износы могут быть определены при помощи приборов для измерения углового люфта и осевого перемещения ведущей шестерни. Зацепление шестерен главной передачи регулируют по пятну контакта, изменяя число регулировочных прокладок.

При расположении пятна контакта в широкой части зуба ведомую шестерню приближают к ведущей, а при расположении отпечатка в узкой части зуба – удаляют от нее. При расположении пятна контакта у вершины зуба ведущую шестерню приближают к ведомой, а при расположении у основания зуба ведущую удаляют от ведомой.

Вывод по пункту 1.2. Автомобили с дизельным двигателем все чаще эксплуатируются с неисправностями из-за недостаточного внимания к

топливной системе питания дизелей и трансмиссии. Необходимо корректное диагностирование данных систем для уменьшения объема последующих неисправностей и отказов, что в свою очередь позволит значительно экономить средства, затрачиваемые на восстановление работоспособности системы.

1.3. Сравнительный анализ разработок в области диагностирования

Увеличивающийся с каждым годом выпуск автомобилей с дизельными двигателями, а также значительная зависимость эффективности их использования от технического состояния двигателя привели к появлению большого количества разработок в области диагностирования дизелей.

Работы в этой области ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких как ГОСНИТИ, КГУ, МАДИ, МГУ им. Н.П. Огарева, НИИАТе, СГТУ, ЧГАУ, и других организациях. Этим направлением занимались такие ученые, как В.А. Аллилуев, И.Н. Аринин, Ю.В. Баженов, А.П. Болдин, Я.А. Борщенко, В.А. Васильев, А.С. Гребенников, Л.В. Грехов, В.Т. Данковцев, Е.В. Дмитриевский, И.П. Добролюбов, Н.С. Ждановский, Н.А. Иващенко, А.П. Иншаков, С.В. Камкин, В.Д. Карминский, Г.Д. Кокорев, В.А. М.И. Левин, Л.В. Мирошников, В.М. Михлин, А.В. Неговора, Е.А. Никитин, Ю.Е. Просвиров, О.Ф. Савченко, А.Н. Соболенко, Б.А. Улитовский, И.А. Успенский, Б.Н. Файнлейб и др. ученые.

В результате выполненных работ предложено множество методов и средств, позволяющих оценить техническое состояние двигателей в практике эксплуатации и ремонта автомобилей [86, с. 125].

Рассмотрим пример классификации основных методов диагностирования по табл. 1.5.

Т а б л и ц а 1.5

Классификация методов диагностирования по основным признакам

Классификационные признаки	Методы диагностирования
1	2
Задачи диагностирования	Проверка работоспособности; проверка правильности функционирования; настройка параметров; поиск неисправностей; поиск дефектов
Применение диагностических средств	Органолептические; инструментальные
Характер измерения параметров	Прямой; косвенный
Периодичность диагностирования	Регламентный; заявочный; непрерывный
Условия проведения диагностирования	Полевые, станция технического обслуживания; безмоторные

1	2
По степени разборки объекта диагностирования	Разборная; безразборная
Режим работы объекта	При установленном режиме; при неустановившемся режиме; при статодинамическом режиме
Диагностические параметры	Параметры рабочего процесса; параметры сопутствующих процессов; структурные параметры
Используемый физический процесс	Виброакустический; магнитной; спектрографический; тепловой; гидравлический; газоаналитический; кинематический и др.

На основании таблицы можно сказать следующее: проверка работоспособности использует методы диагностирования, выявляющие (без указания места и причины) определённую совокупность отказов и повреждений. Вместе с тем обработка информации, анализ параметров и дефектов достаточно сложны, недостаточно стабильны, достоверны и информативны.

Ряд других авторов, таких, как А.М. Харазов, А.Н. Илюхин, Д.М. Вохмин, А.В. Пономарев обращают внимание на общее диагностирование дизеля и предлагают следующую его классификацию: по мощностным и экономическим показателям и по параметрам отработавших газов [14, 41, 72, 86].

В диссертации Х.Х. Бацежева и других [7, 74, 85] правомерно, на наш взгляд, уделено немалое внимание мощностным и экономическим показателям дизеля, которые авторы работ находят тормозным, парциальным и дифференциальными методами, а также бестормозными методами при установившихся и неустановившихся режимах.

Тормозной метод обладает значительной точностью, однако требует дорогостоящих стендов тяговых качеств.

Парциальный и дифференциальный методы дают возможность диагностировать дизельные автомобили на стендах небольшой мощности. Парциальный метод состоит в испытании двигателя по частям, при этом двигатель работает с частью выключенных цилиндров.

При дифференциальном методе диагностирования оценивается отклонение мощности от номинальной по отдельным цилиндрам или минимальной группе цилиндров.

Двигатель проверяется под нагрузкой и за счет выключения цилиндров двигателя до такой степени, при которой для вывода его на номинальный скоростной режим необходимо подключение внешнего источника энергии. Для этого использован стенд в режиме двигателя.

Погрешность парциального и дифференциального методов определения мощностных и экономических показателей работы двигателей близится к погрешности тормозного метода. Вместе с тем эти методы увеличи-

вают объем информации по отдельным цилиндрам, что приводит к увеличению трудоемкости диагностирования [40].

Бестормозные методы определения основных показателей работы дизеля при установившихся режимах работы основаны на использовании в качестве нагрузки механических потерь двигателя в сочетании с выключением из работы части цилиндров. Достижимая погрешность составляет 3...4 % [67].

При диагностировании дизеля бестормозными методом, как утверждают такие видные деятели, как Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский, О.Д. Климуш, А.В. Дитятьев, на неустановившихся режимах работы двигатель нагружается до полной цикловой подачи за счет преодоления сил инерции и механических потерь. Эффективная мощность дизеля определяется по изменению углового ускорения при данном значении угловой скорости. Метод отличается оперативностью, но имеет более высокую погрешность по сравнению с описанными методами [33, 54, 30, 63].

Также важное место занимают методы диагностирования дизелей по параметрам отработавших газов, поскольку они связаны с проблемой снижения вредного воздействия транспорта на окружающую среду. Параметрами для исследования отработавших газов являются состав, дымность и температура. Определение непосредственно состава ОГ создает значительные технические и экономические трудности. Поэтому более широкое распространение получил метод оценки технического состояния дизеля по дымности ОГ, но стоит отметить, что он не обладает высокой точностью и достоверностью. Достаточно точные результаты дает метод диагностирования по температуре ОГ [24].

Из рассмотренного выше мы приходим к выводу, что требуется большая обработка статистической информации; ввиду неуправляемости степенью проявления дефектов некоторые области остаются недостаточно изученными, комбинация отклонений ухудшает достоверность диагностической модели и еще более увеличивает затраты на её создание.

Поэтому мы считаем, что математическое моделирование связано с наименьшими затратами и позволяет наиболее точно и достоверно решить задачу диагностирования.

Далее мы рассмотрим многоцилиндровый дизель как совокупность двух структур, построенных по функциональному и объемному признаку. В первом случае двигатель рассматривается, как состоящий из ряда функциональных систем: система питания, ЦПГ, РМ и др., во втором случае – из отдельных цилиндров. Наличие такого подхода предопределило разделение диагностирования двигателя на диагностирование по функциональной и по объемной схемам.

Стоит отметить, что современные системы диагностирования дизелей в основном построены по функциональной схеме. В этом случае неисправность локализуется последовательным перебором, как по системам

двигателя, так и по цилиндрам, что увеличивает трудоемкость диагностирования [5].

Особое значение имеет диагностирование системы питания дизелей в связи с большим количеством отказов и трудовых затрат на их устранение.

Вместе с тем ее техническое состояние во многом определяет мощностные, экономические и экологические показатели дизеля.

Следует отметить, что в последние 10 лет произошли существенные изменения в конструкциях топливной аппаратуры современных дизелей, что во многом было продиктовано более жесткими требованиями экологов к автомобильным дизелям. Эволюция систем шла в двух основных направлениях: повышение давления впрыска до 100...200 МПа, против 15...50 МПа у прежних систем и внедрение электронного управления впрыска, позволяющее иметь гибкую характеристику впрыска, которая наиболее часто реализуется в двухфазном впрыске [90, с. 13–16].

Поэтому ряд авторов [42, 51, 19] классифицирует выпускаемые средства для диагностирования дизелей по следующим показателям (табл. 1.6).

Вместе с тем анализ парка дизелей в нашей стране показывает, что подавляющее большинство оборудованы системами старого образца, более того, новые грузовые автомобили, выпускаемые в нашей стране, оборудуются механическими многоплунжерными ТНВД и позволяют выполнять нормы токсичности Евро I, II. Такие системы питания выпускает Ярославский завод топливной аппаратуры.

Т а б л и ц а 1.6

Классификация выпускаемых средств для диагностирования

Классифицирующие признаки	Средства диагностирования
1	2
Степень автоматизации	Механизированные; автоматизированные; автоматические
Назначение и приспособленность для диагностирования	Устройство и приборы для измерения отдельных параметров или узлов; стенды для испытаний; диагностические системы и мотор-тестеры
Исполнение	Портативные; передвижные; стационарные; бортовые; внедренные в систему управления работой дизеля
Состояние объекта диагностирования	Используемые при: нефункционирующем объекте; функционирующем объекте; тестовых воздействиях на объект; любых состояний объекта
Характеристика информации по объекту	Количественная оценка; качественная оценка; количественная или качественная оценка прогнозированием состояния
Адаптивность	Все операции проводятся с участием оператора (мастера-наладчика), настройка параметров и режимов диагностирования проводятся оператором; самонастраивающиеся
Спектр решаемых задач	Информация о состоянии, прогнозирование и рекомендации; информация о формировании базы данных для автоматической настройки и управления работы ДВС

Дизели для легковых автомобилей выпускают только Барнаульский моторный завод и Заволжский моторный завод (ЗМЗ), которые применяют иностранные системы питания фирмы «Bosh». В основном это системы разделенного типа с многоплунжерным ТНВД. ЗМЗ только планирует выпуск дизелей с системами «Common rail» [78].

Среди стационарных стендов по проверке и регулировке топливной аппаратуры наиболее распространены отечественные модели: КИ-22210, КИ-921 МТ, КИ-15711М-(01,03,05,06) [65, с. 82]. Из импортных стендов сравнительно недорогими являются стенды серии Star венгерского производства и Motorpal NC-133 чешского производства. В техническом отношении лидируют стенды Bosch EPS 575 и Hartridge AVM2-PC – они имеют электронную систему измерения количества подаваемого топлива и отображают информацию на дисплее персонального компьютера. Однако есть у этих стендов серьезный недостаток – их высокая цена [92, с. 107].

Стенды для проверки дизельных форсунок позволяют: контролировать настройку давления начала подъема иглы форсунок; производить испытание работы распылителя, проверять герметичность форсунки и подтекание под седлом иглы распылителя. Из стендов отечественного производства можно отметить стенды М-106, КИ-15706. От зарубежного производителя наиболее доступным по цене является стенд итальянской фирмы Zeca. По конструкции он почти идентичен стенду Bosch, но гораздо дешевле. На заказ стенд Zeca комплектуется удобной камерой для сбора паров топлива с зеркальным отражателем, облегчающим наблюдение за формой факела распыления. Повышение требований к токсичности привело к появлению нового поколения стендов для проверки дизельных форсунок – с микропроцессором и цифровой индикацией давления. Недорогой вариант такого стенда производится чешской фирмой Motorpal, а наиболее совершенным является стенд Testmaster-2 английской фирмы Hartridge. Однако стоимость подобных приборов на порядок выше аналогов, что практически не окупается преимуществом в точности [6].

Процедура контроля на стационарных стендах трудоемка, требует больших затрат времени и подчас не оправдана, так как не всегда необходимо проведение регулировочных работ или замена отдельных элементов. И наоборот, часто требуется вмешаться в работу топливной аппаратуры дизелей с целью регулировки или замены элементов, однако сложность получения информации не позволяет этого сделать [29, с. 13–16].

Для оценки технического состояния и частичной регулировки топливной аппаратуры дизелей непосредственно на автомобиле наибольшее распространение получили дизельные стробоскопы и мотортестеры. Стробоскопы обычно имеют накладной пьезодатчик и определяют напряжение в бортовой сети, частоту вращения коленчатого вала двигателя, момент начала впрыска. Наибольшее распространение получили дизельные

стробоскопы итальянских фирм. Основным недостатком этих приборов – низкая чувствительность пьезодатчика, дающего частые сбои при измерении параметров. Более надежны пьезодатчики австрийской фирмы AVL, специализирующейся на производстве диагностического оборудования для дизельных двигателей. Но стробоскоп этой фирмы DiTime 873 существенно дороже итальянских [33, с. 23–26].

Специализированные дизельные мотортестеры, пожалуй, самые мощные диагностические приборы. Фирмой AVL выпускается один из лучших по своим возможностям дизельный стационарный мотортестер AVL Disystem 845, выполненный на основе персонального компьютера. Помимо оборотов и момента начала впрыска, он позволяет определять относительную компрессию, одновременно наблюдать осциллограммы впрыска по всем цилиндрам, производить замеры мощности и крутящего момента. Использование этого мотортестера существенно сокращает трудозатраты при диагностике двигателя. Недостаток все тот же – очень высокая цена. Лидером среди отечественных мотортестеров для диагностирования дизеля, как по своим возможностям, так и по надежности, является мотортестер М2-2 белорусского производства (г. Минск). Этот прибор позволяет помимо частоты вращения и угла опережения впрыска контролировать еще 9 параметров двигателя, включая мощностные, а также наблюдать осциллограммы впрыска по цилиндрам на встроенном осциллокопе [92].

Для измерения давления здесь используется устанавливаемый в разрыв топливопровода датчик, обладающий высокой точностью и надежностью.

Он универсален и позволяет, в отличие от накладных импортных тензодатчиков, работать с любыми топливопроводами от 4,5 мм (Mercedes) до 10 мм (тяжелая техника). Недостатком этого датчика являются большие габариты и необходимость разъединения топливопровода [56, с. 127].

Диагностирование современных дизелей, многие из которых оснащены электронным управлением ТНВД, требует, естественно, и приборов для проверки электрической и электронной части [9, с. 54]. Тестер-имитатор сигналов датчиков – незаменимый помощник в локализации неисправных датчиков и исполнительных механизмов. Большинство таких приборов формируют значения сопротивлений, постоянного напряжения, частоты и т.п. Выбор приборов данного типа невелик. Большая часть из них – эффективные многоканальные приборы с цифровой индикацией задаваемых параметров, позволяющие моделировать различные режимы работы двигателя. Сканер кодов неисправностей – неременный инструмент диагностирования современного дизеля с электронным управлением ТНВД. Выбор здесь также невелик. Эффективное считывание кодов производит только сканер KTS 300 для систем дизельного впрыска Bosch и сканер Laser 2000 для систем дизельного впрыска разработки фирмы Lucas [28]. Эти приборы с полным комплектом адаптеров и программного обеспече-

ния, естественно, недешевы. Но другого, более простого способа обеспечить качественный информационный обмен с бортовым процессором дизельных машин в настоящее время нет. Анализ разработок в сфере встроенных систем диагностирования дизелей показывает, что такие системы на автомобильных дизелях почти не применяются, лишь некоторые дорогие магистральные грузовики фирмы «Mercedes bens» оснащаются подобными системами. Главным сдерживающим фактором их применения является сложность и высокая цена [63]. Эти системы позволяют контролировать индикаторные, эффективные показатели дизеля, а также производить мониторинг рабочего процесса в каждом цилиндре двигателя и процесс впрыска топлива. Аналогичными системами диагностирования являются ДМ-2000 и ДМ-1000с, [46] предназначенные для дистанционного централизованного контроля нагрузки работающего дизеля и параметрической диагностики рабочего процесса в цилиндрах дизеля и в системе впрыска топлива. Перспективной разработкой также является комплекс для непрерывного контроля и диагностики двигателя «Ритм-дизель М» [91]. Среди систем встроенного диагностирования дизелей можно отметить разработку фирмы Ауэроника (Норвегия) – НК-100, предназначенную для оценки качества процесса сгорания в цилиндрах, контроля процесса впрыска топлива и работы топливной аппаратуры, обслуживающей дизель. Одно из главных преимуществ комплекса НК100 состоит в возможности наиболее полной диагностики состояния топливной аппаратуры [84]. Следует отметить высокую стоимость описанных выше систем встроенного диагностирования, их цена колеблется от 10000 до 35000 \$, что неприемлемо для использования данных систем на автотранспортных дизелях в условиях старого парка автомобилей и небольших АТП [26]. Сложившееся положение в сфере диагностирования дизелей определило наиболее интересные методы диагностирования топливной аппаратуры. К ним относятся методы диагностирования по амплитудно-фазовым колебаниям давления на линии нагнетания и виброакустическим характеристикам [56, с. 127]. Метод диагностирования по амплитудно-фазовым параметрам давления [32] на линии нагнетания позволяет определить регулировочные характеристики ТНВД и состояние отдельных элементов топливной аппаратуры. Методы диагностирования других систем двигателя достаточно известны и подробно описаны в литературе [12, 65, 83, 89], поэтому их подробное описание представляется нецелесообразным. Отметим лишь, что методы, построенные по функциональной схеме, кроме виброакустического, наряду с преимуществами и недостатками, присущими каждому из них, имеют ряд общих недостатков: необходимость частичной разборки двигателя, большую трудоемкость диагностирования, неуниверсальность. К примеру, при диагностировании топливной аппаратуры по амплитудно-фазовым характеристикам на линии нагнетания, для шестицилиндрового

двигателя трудоемкость диагностирования составляет 0,74 чел.-ч [80]. Неуниверсальность методов заключается в том, что большинство из них определяет ограниченное число диагностических параметров в рамках одной или нескольких функциональных систем дизеля. Это вынуждает применять набор нескольких методов и средств диагностирования. Поэтому большой интерес представляют универсальные методы диагностирования, использующие единые принципы, единый приборный комплекс для оценки технического состояния различных функциональных систем. Одним из таких методов является виброакустический [56, с. 127]. Данный метод универсален, не требует разборки двигателя, но имеет высокую трудоемкость (трудоемкость диагностирования ТАД составляет 0,5 чел.-ч), требует дорогостоящего оборудования и высокой квалификации оператора. Поэтому его можно рекомендовать к применению лишь на больших АТП и автоцентрах. В тоже время были разработаны методы диагностирования ДВС, основанные на объемной схеме, когда неисправность локализуется сначала в рамках цилиндра, а затем и системы двигателя. К таким методам следует отнести методы диагностирования двигателей по гармоническому анализу колебаний давления в органах газообмена и по неравномерности вращения коленчатого вала [36]. Алгоритм диагностирования дизеля методами, построенными по объемной схеме, более эффективен, он позволяет избежать последовательного, непроизводительного перебора параметров в рамках цилиндров и функциональных систем. При диагностировании дизеля по гармоническому анализу колебаний давления в органах газообмена оценка технического состояния производится по спектральным характеристикам колебаний давления во впускном и выпускном коллекторах и картере двигателя [26]. Основным недостатком данного метода является необходимость применения стенда тяговых качеств (СТК) для создания диагностических режимов.

Метод диагностирования по неравномерности вращения коленчатого вала, разработанный в Саратовском государственном техническом университете, осуществляется на режимах холостого хода (минимальных оборотах и свободном ускорении, при максимальной подаче топлива), что исключает необходимость применения СТК, а потому является более перспективным для внедрения на предприятиях малой мощности.

Подробно данный метод был разработан для бензиновых двигателей.

Применение его для дизелей проводилось в Московском Техническом Университете (МАДИ) [82].

Однако разработанный метод применительно к автомобильным дизелям обладает рядом существенных недостатков:

– локализация неисправностей по цилиндрам и системам производилась на установившемся режиме работы (минимальные обороты холостого

хода), на котором в силу влияния всережимного регулятора частоты вращения коленчатого вала происходит искажение снимаемых параметров;

- на режиме свободного ускорения производилась только оценка технического состояния дизеля в целом;

- сильная зависимость параметров диагностирования от средней частоты вращения коленчатого вала, что значительно усложняет постановку диагноза;

- низкая достоверность постановки диагноза, около 0,7...0,8 [49].

Поэтому представляется целесообразной значительная переработка метода диагностирования по неравномерности вращения коленчатого вала дизеля. При этом именно этот метод в большей степени подходит для использования его в средствах диагностирования, применение которых было бы экономически оправдано даже в небольших АТП, а особенно в автоколоннах, работающих в отрыве от производственной базы, а также встроенных средствах диагностирования автомобильных дизелей.

Пробуксовка и неполнота выключения сцепления зависят от величины свободного хода педали сцепления, который замеряют специальной линейкой с двумя движками. При несоответствии фактической величины свободного хода педали сцепления допустимой величине отрегулировать свободный ход.

Пробуксовка сцепления может быть определена с помощью стробоскопического прибора на стенде для проверки тягово-экономических качеств автомобилей модели КИ-4856.

Прибор состоит из корпуса с импульсной лампой 3 и подсоединительных проводов 11. Технологическая последовательность проверки пробуксовки сцепления следующая (после проверки и регулировки свободного хода педали сцепления):

- поставить автомобиль на стенд;

- проверить полноту выключения сцепления, для чего: пустить двигатель, затормозить автомобиль стояночным тормозным механизмом, до отказа выжать педаль сцепления и включить первую передачу. Если при включении первой передачи слышен шум шестерен и глохнет двигатель, значит сцепление «ведет», то выключить передачу;

- подключить стробоскоп к системе зажигания двигателя в двух точках: к проводу распределителя и массе с помощью зажимов провода 11 и к свече первого цилиндра двигателя при помощи специального датчика с переходником 13 в разрыв свечного провода,

- включить прямую передачу и плавно полностью открыть дроссель; включить стенд, реостатом загрузить автомобиль до частоты вращения барабанов стенда 900 об/мин (50 км/ч);

– включить лампу прибора, нажав на кнопку 10, установить его напротив крестовины кардана автомобиля у главной передачи, определить состояние сцепления;

– если сцепление не пробуксовывает, то крестовина кардана будет казаться неподвижной; при наличии пробуксовки сцепления крестовина кардана медленно «плывет»;

– выключить стенд кнопкой «стоп» и включить команду на световом табло «холостой ход»;

– выключить передачу и установить минимальную частоту вращения коленчатого вала двигателя.

Если сцепление не пробуксовывает, то крестовина кардана будет казаться неподвижной; при наличии пробуксовки сцепления крестовина кардана медленно «плывет», сцепление требует регулировки при ремонте; выключить стенд кнопкой «Стоп» и включить команду на световом табло «Холостой ход»; выключить передачу и установить минимальную частоту вращения коленчатого вала двигателя.

В элементах коробки передач и раздаточной коробки наибольшему износу подвержены вилки переключения по поверхности щек, что приводит к неполному включению шестерен и муфт синхронизаторов. В этом случае рабочие поверхности зубьев получают повышенные нагрузки, интенсивно изнашиваются на конце.

После длительной работы зубьев в таком режиме шестерни самовыключаются. В качестве диагностических параметров в этом случае могут быть величины угловых люфтов и вибраций.

При увеличении износа пропорционально возрастает угловой люфт и величина вибрации.

Люфт и вибрации при увеличении износа шарнирных и шлицевых соединений возникают и в элементах карданной передачи, где в результате эксцентриситета может наблюдаться биение валов.

В главной передаче конические пары шестерен работают в условиях граничного трения в результате больших удельных нагрузок на зубья. Здесь также наблюдаются значительные люфты и вибрации.

Таким образом, к рассматриваемым элементам трансмиссии могут быть применены идентичные методы и средства диагностирования. Внешние признаки нарушения работоспособности и структурные изменения элементов карданной и главной передач приведены в табл. 1.4.

Для определения суммарного люфта трансмиссии применяются угловые люфтомеры, например модели КИ-4832.

Определение суммарного углового люфта указанным прибором проводится в следующей технологической последовательности:

– поставить автомобиль на стенд;

– установить люфтомер навилку кардана, ближнего к заднему мосту, затянуть стояночным тормозным механизмом до упора и определить суммарный угловой люфт карданной передачи. Допустимый люфт – не более 2° ; предельный – $5-6^{\circ}$;

– отпустить стояночный тормозной механизм, включать и выключать, по требованию оператора, поочередно все передачи в коробке;

– определить люфтомером угловые люфты в зацеплении шестерен всех передач коробки, вычитая из определяемых люфтов суммарный люфт карданной передачи. Допустимые значения люфтов в градусах для всех грузовых автомобилей составляют: на I передаче – $2,5^{\circ}$, на II – $3,5^{\circ}$; на III – 4° ; на IV – 6° ; на V – 6° ; на передаче заднего хода – $2,5^{\circ}$. Предельные значения люфтов на каждой из передач в 2 раза выше допустимых;

– затормозить задний мост автомобиля колесными тормозными механизмами;

– определить люфтомером люфт главной передачи.

Для оценки технического состояния коробки передач и главной передачи по уровню вибрации применяются стетоскопы, которые дают ориентировочные представления о степени изношенности зубчатых зацеплений, близкой к предельной. Стетоскоп своим стержнем 5 упирается в проверяемые элементы, а наушник 6 (телефон) прикладывается к уху.

Стуки и резкий шум при переключении передач и работе агрегатов не допускаются.

Вывод по пункту 1.3. С каждым днем увеличивается количество методов и средств диагностики, что предполагает несовершенство существующих работ в данной области. Основной недостаток заключается в проблеме стабилизации, достоверности и информативности при диагностировании автомобиля, проблему стараются решить либо наращиванием технического оснащения диагностирования, либо увеличением трудоемкости и использованием высококвалифицированного персонала, что в свою очередь приводит к увеличению затрат на диагностирование автотранспорта и выгодно лишь крупным АТП. Нам необходим подбор универсального метода диагностирования на малых АТП путем математического моделирования для диагностирования процессов, происходящих при возникновении неисправностей автомобилей. Для создания новой модели диагностирования нужно провести анализ методов поиска неисправностей.

1.4. Анализ методов поиска неисправностей

Современный уровень развития информационных технологий и компьютерной техники определил возможность объединения испытательных устройств разного класса в единый комплекс. Такие системы могут быть оснащены цифровым осциллографом для непосредственного контроля сигналов в электрических цепях, встроенными экспертными системами контроля отклонения параметров от заданных. К средствам испытания, обладающим более широкими и универсальными возможностями, относятся устройства, основанные на методах измерения мощностных и технико-экономических характеристик. К этим характеристикам можно отнести индикаторные диаграммы и внешние скоростные характеристики [56, с. 127].

Индикаторная диаграмма (ИД) – графическое представление совокупности термодинамических процессов, составляющих рабочий цикл двигателя внутреннего сгорания, в координатах «давление-объем», «давление-температура». Различают теоретическую и действительную индикаторные диаграммы. Теоретическая ИД – математическая модель, полученная по расчетным параметрам рабочего тела в конечных точках процессов. Действительную ИД получают в результате экспериментальных исследований реального двигателя. На основании сравнения теоретической и действительной ИД можно сделать вывод о характере протекания рабочих процессов в цилиндрах двигателя, а следовательно, и вывод о состоянии самого двигателя [93].

Получение действительной ИД связано со снятием двигателя с автомобиля и установкой его в специальный стенд, на котором измеряются основные показатели ДВС. Очевидный недостаток метода – увеличение времени и трудозатрат на проведение испытания. Поэтому такой подход осуществляется в основном на этапах проектирования и доводки двигателя [97].

Также стоит отметить сложность математических моделей ДВС, как и любых теоретических исследований, использующих предварительные допущения.

Внешняя скоростная характеристика (ВСХ) – зависимость основных параметров двигателя (эффективной мощности, мощности потерь, эффективного крутящего момента, расхода топлива и воздуха, угла опережения зажигания) от частоты вращения коленчатого вала при неподвижном положении органа, управляющего подачей топлива, и неизменной нагрузке [41]. При работе автомобиля большинство неисправностей проявляется в виде внешних признаков (симптомов). Часто внешние признаки различных неисправностей носят одинаковый характер. Например, дизель может работать с перебоями и не развивать достаточной мощности в следующих случаях [14]:

- при неудовлетворительной работе форсунок;

- при попадании воды в цилиндры и воздуха в топливо;
- при зависании плунжеров во втулках.

Зная наиболее часто встречающиеся неисправности, а также внешние проявления, обнаруживают возникшую неисправность, не проводя излишних проверок и разборок. Нередко прибегают к методам последовательного исключения. Например, неработающий цилиндр можно обнаружить путём поочерёдного выключения цилиндров (при отключении и включении характер и звук выхлопа не меняются) [67, с. 108].

Чтобы правильно и быстро поставить диагноз при проверке сложного объекта с помощью отдельных средств диагностирования, необходимо располагать большим количеством данных о функциональных связях между возможными неисправностями и их симптомами, а также обладать достаточным опытом [17].

Если по какой-либо составной части известны лишь комбинации симптомов и их связи с соответствующими неисправностями, но неизвестны вероятности наиболее частого возникновения, характерные для данного симптома, то в этом случае поиск конкретной неисправности ведут, исходя из предположения, что при данном симптоме все связанные с ним неисправности равновероятны [6, с. 17].

Для выявления причин таких неисправностей должна быть разработана целая система измерительных преобразователей, которые фиксировали бы как редко, так и часто встречающиеся неисправности. Теоретически такой метод определения неисправностей осуществим, но практически чрезвычайно сложен и дорог [34].

Применение положений теории вероятности, в частности теории информации, позволяет значительно упростить процесс постановки диагноза.

Сущность вероятностного подхода к определению характера неисправности заключается в следующем. На основе статистических данных о закономерностях изменения параметров состояния в зависимости от наработки составной части или машины в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями для каждой неисправности устанавливают вероятность её возникновения и вероятность появления каждого симптома. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома [37].

Например, наиболее часто встречающаяся причина перебоев при работе дизелей – неудовлетворительное состояние форсунок. Следовательно, поиск неисправности в этом случае следует начинать с проверки рабочих форсунок.

В целях ещё большего снижения затрат времени и средств на поиски неисправности при разработке программ-поисков следует принимать во внимание не только вероятность возникновения неисправности, но и

время, затрачиваемое на выявление каждой из них при диагностировании. Поиск неисправностей по таким критериям получил название метода «время-вероятность» [65].

В этом случае последовательность проверки устанавливают, исходя из отношения времени t , необходимого на выявление неисправности, к вероятности P появления этой неисправности.

Поиск неисправности начинают с составных частей, для которых указанное отношение получается минимальным. Например, перегрев двигателя, сопровождаемый кипением воды в радиаторе, возможен в следующих случаях:

- при срезе шпонки крыльчатки водяного насоса;
- при чрезмерном загрязнении сердцевины радиатора;
- при ослаблении ремня вентилятора.

Наиболее часто встречается ослабление ремня вентилятора, а время, требуемое на проверку его натяжения, является минимальным. Отсюда следует, что поиск причины указанной неисправности нужно начинать с проверки натяжения ремня вентилятора.

При одинаковой вероятности возникновения двух или более неисправностей, характерных для какого-либо симптома, поиск осуществляют, исходя из минимального времени, затрачиваемого на проверку. Если отношение одинаково для поиска неисправностей с одинаковыми внешними признаками, то в этом случае поиск по методу «время-вероятность» неэффективен, т.к. он приводит к неопределённости, т.е. к случайному выбору последовательности поиска возникшей неисправности.

Важный критерий при выборе оптимальной последовательности поиска неисправностей – минимальная величина средней стоимости проверки. При использовании этого критерия стремятся к тому, чтобы максимальная стоимость поиска отказавшего элемента была наименьшей по сравнению с затратами, получаемыми при других методах проверки. Такой метод поиска получил название метода минимакса.

Как верно замечает Ш.В. Нигматуллин [67] в своем диссертационном исследовании на тему «Совершенствование методов и средств диагностирования топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей», важнейшая проблема в области технической диагностики автомобилей – установление симптомов в зависимости от наработки составных частей или автомобиля в целом, а также выявление зависимостей между этими симптомами и соответствующими им параметрами технического состояния машин. Знание этих закономерностей и зависимостей при известных предельных значениях параметров технического состояния позволяет своевременно предупреждать неисправности и отказы.

Если имеются неисправности и отказы, сначала устанавливают возможные причины их возникновения по характерным признакам. Затем,

исходя из предполагаемой причины возникновения неисправности, подбирают соответствующие диагностические средства, с помощью которых дают заключение (ставят диагноз) о характере и сущности неисправности.

Метод логического поиска с последовательным исключением не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает высокой зависимостью от человеческого фактора, т.е. диагностирование ведётся на основании показаний водителя (рис. 1.2). Для снижения влияния человеческого фактора нами предлагается вероятно-логический метод поиска неисправностей, который обладает преимуществами всех проанализированных методов.

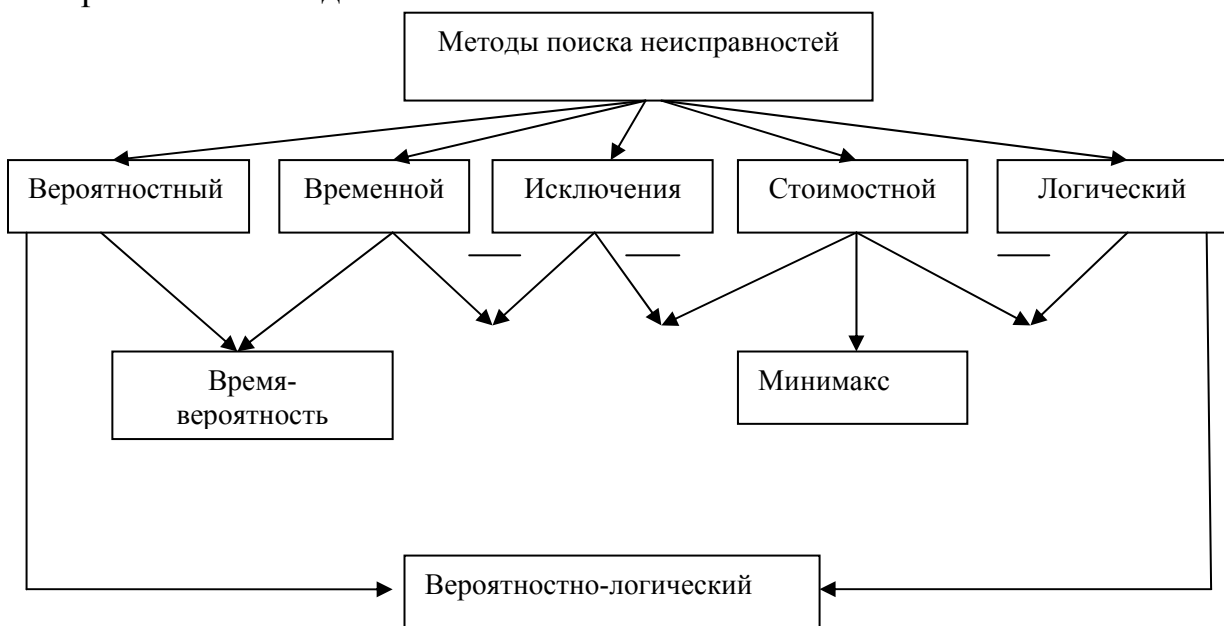


Рис.1.2. Методы поиска неисправностей

Для реализации предлагаемого метода необходимо установить на автомобиль систему встроенного диагностирования для элементов, наиболее часто выходящих из строя. Для дизельного двигателя такой системой является топливная система высокого давления. Это объясняется в основном качеством используемого топлива.

Принципиальная схема топливной системы включает в себя топливный бак, топливопроводы низкого давления, фильтр грубой очистки, топливоподкачивающий насос, фильтры тонкой очистки топлива и топливная система высокого давления [34, с. 34].

К основным элементам топливной системы высокого давления относятся:

- топливный насос высокого давления (ТНВД);
- топливопроводы высокого давления;
- форсунки.

Указанные элементы обеспечивают подачу топлива в цилиндры двигателя; при правильной регулировке возможно подавать топливо в необходимые моменты по времени и продолжительности подачи топлива (а также регулировать количество подаваемого топлива).

Элементы ТНВД включают в себя [1, 4]:

- корпус;
- кулачковый вал;
- прецезионную пару;
- подпружиненный клапан.

Элементы форсунки включают в себя:

- корпус;
- иглу;
- пружину.

Данные устройства обеспечивают работу двигателя на необходимых режимах в процессе работы автомобиля.

С теоретической точки зрения топливная система представляет собой совокупность последовательно соединенных элементов, отказ одного из которых способен привести к неисправности или полному отказу всей системы.

Отказ одного или нескольких элементов приводит к нарушению работы всей системы с заданными характеристиками и параметрами. При этом автомобиль может сохранить способность к движению при нарушенных параметрах топливной экономичности, экологичности, мощности и др., что равносильно отказу всей системы [92].

Из перечисленных элементов наиболее подвержены неисправностям форсунки и ТНВД. Наиболее эффективным на данный момент средством для встроенного диагностирования является накладной датчик, информация от которого обрабатывается и поступает на дисплей прибора. По частоте вращения и ее снижению можно судить о мощности двигателя и общем его состоянии. Обработка информации с датчиков систем смазки, охлаждения и топливной позволит выявить с помощью логического метода предельные состояния двигателя и своевременно провести профилактические работы [4, с. 69].

Состояние автомобилей во многом зависит от организации, технологии и качества выполнения работ при диагностировании, техническом обслуживании и ремонте. В связи с возможностью определения неисправности без разборки, при регулярном диагностировании они выявляются до наступления отказа, что позволяет планировать их устранение, предотвращает прогрессирующее изнашивание деталей и снижает общие расходы на техническое обслуживание (ТО) и ремонт.

Диагностирование автомобилей является одним из важнейших элементов, повышения эффективности функционирования подвижного состава

при проведении ТО и ремонте. Однако диагностирование не гарантирует возможность эксплуатации автомобилей с состоянием, не требующим профилактических и ремонтных воздействий. Это приводит к не полному использованию ресурса или неисправностям у автомобиля отдельных агрегатов, систем и деталей автомобилей, к значительным материальным затратам. В тоже время все больше заявляют о себе системы ускоренного и встроенного диагностирования, в которых вся информация выносится на диагностический разъем или на монитор автомобильного компьютера.

При работе транспортных средств большинство неисправностей проявляется в виде внешних признаков. Часто внешние признаки различных неисправностей носят одинаковый характер. Чтобы правильно и быстро поставить диагноз при проверке сложного объекта с помощью отдельных средств диагностирования, необходимо располагать большим количеством данных о функциональных связях между возможными неисправностями и их симптомами, а также обладать достаточным опытом [5].

Анализ наиболее известных методов поиска неисправностей (табл.1.7) (исключения, временного, вероятностного, логического, стоимостного) показывает, что при объединении методов и последовательном взаимодействии на проверяемый объект происходит увеличение вероятности определения неисправности.

Т а б л и ц а 1.7

Методы поиска неисправностей транспортных средств

Методы	Вероятностный 1	Временной 2	Исключения 3	Стоимостной 4	Логический 5
Вероятностный 1	Вероятностный	Время-вероятность	Вероятность-исключения	Вероятность-стоимость	Вероятностно-логический
Временной 2	Время-вероятность	Временной	Время-исключение	Время-стоимость	Время-логика
Исключения 3	Вероятность-исключения	Время-исключение	Исключения	Стоимость-исключение	Логическое исключение
Стоимостной 4	Вероятность-стоимость	Время-стоимость	Стоимость-исключение	Минимакс	Метод оптимизации
Логический 5	Вероятностно-логический	Время-логика	Логическое исключение	Метод оптимизации	Логический

Сущность вероятностного метода определения характера неисправности заключается в том, что на основе статистических данных о закономерностях изменения параметров состояния в зависимости от наработки составной части или машины в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями для каждой неисправности устанавливают вероятность её возникновения и вероятность появления

каждого симптома. В целях снижения затрат времени и средств на поиски неисправности при разработке программ – поисков следует принимать во внимание время, затрачиваемое на выявление каждой из них при диагностировании [2].

В этом случае последовательность проверки устанавливают, исходя из времени, необходимого на выявление неисправности. Наиболее простым методом поиска неисправностей является метод исключения. Неисправность выявляется последовательным исключением проверенных элементов, что применимо для не сложных механизмов. Важный критерий при выборе оптимальной последовательности поиска неисправностей – минимальная величина средней стоимости проверки. При использовании этого критерия стремятся к тому, чтобы максимальная стоимость поиска отказавшего элемента была наименьшей по сравнению с затратами, получаемыми при других методах проверки. Такой метод поиска получил название метода «минимакса». Метод «минимакса» наиболее эффективен в тех случаях, когда простой автомобилей не отражаются на сроках выполнения работ. Для сложных конструктивных элементов используют логический метод поиска неисправностей, позволяющий определять по внешним признакам предполагаемую неисправность. Такой метод не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает высокой зависимостью от человеческого фактора.

Применение положений теории вероятности, в частности теории информации, позволяет значительно упростить процесс постановки диагноза. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома.

В целях ещё большего снижения затрат времени и средств на поиски неисправности при разработке программ – поисков следует принимать во внимание не только вероятность возникновения неисправности, но и время, затрачиваемое на выявление каждой из них при диагностировании [2]. В этом случае последовательность проверки устанавливают, исходя из отношения времени, необходимого на выявление неисправности, к вероятности появления этой неисправности. Поиск неисправности начинают с составных частей, для которых указанное отношение получается минимальным. При одинаковой вероятности возникновения двух или более неисправностей, характерных для какого-либо симптома, поиск осуществляют, исходя из минимального времени, затрачиваемого на проверку. Если отношение одинаково для поиска неисправностей с одинаковыми внешними признаками, то в этом случае поиск по методу «время-вероятность» неэффективен, т.к. он приводит к неопределённости, т.е. к

случайному выбору последовательности поиска возникшей неисправности. Актуальность этого метода проявляется при эксплуатации машин или механизмов в рамках задач ограниченных во времени. В строительстве – период дефицита машин для выполнения работ, в сельском хозяйстве – период посевных или уборочных работ и т.д.

Так, например рассматривая автотранспортное предприятие как систему, неисправный элемент (автомобиль, автобус) выводят из транспортного процесса, заменяя его резервным. Неисправность автомобиля в данном случае может, обнаруживается либо при экспресс-диагностировании, либо при возникновении отказа при работе на линии, либо по заявке водителя. Данный метод учитывается при планировании транспортного процесса с учетом ненагруженного резервирования.

Важнейшая проблема в области технической диагностики автомобилей – установление симптомов в зависимости от наработки составных частей или автомобиля в целом, а также выявление зависимостей между этими симптомами и соответствующим им параметрам технического состояния машин. Знание этих закономерностей и зависимостей при известных предельных значениях параметров технического состояния позволяет своевременно предупреждать неисправности и отказы.

Если имеются неисправности и отказы, сначала устанавливают возможные причины их возникновения по характерным признакам. Затем, исходя из предполагаемой причины возникновения неисправности, подбирают соответствующие диагностические средства, с помощью которых дают заключение (ставят диагноз) о характере и сущности неисправности.

При логической обработке учитывается, что каждый из структурных параметров, достигнув упреждающей или предельной величины (т.е. превратившись в неисправность), может породить одновременно несколько различных диагностических параметров соответствующей величины. При этом различные неисправности могут частично сопровождаться одинаковыми диагностическими параметрами. При этой неисправности могут быть такими, что механизм не перестаёт функционировать. В этом случае для локализации неисправности сложного устройства необходимо пользоваться целым комплексом диагностических параметров. Для решения подобных задач надо знать количественные характеристики типичных неисправностей (т.е. величины структурных параметров, при достижении которых требуется профилактика или ремонт) и порождаемых ими диагностических параметров, достигших упреждающих или предельных величин, а также связей между теми и другими.

Метод логического поиска с последовательным исключением не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает

высокой зависимостью от человеческого фактора, т.е. диагностирование ведётся на основании показаний водителя.

Для снижения влияния человеческого фактора нами предлагается «вероятностно-логический» метод поиска неисправностей, который обладает преимуществами всех проанализированных методов. Реализация предлагаемого метода предполагает установку на автомобиль системы самодиагностирования для элементов наиболее часто выходящих из строя элементов.

1-1 Вероятностный метод – используя опытно-статистические данные, о функциональной зависимости параметров состояния в зависимости от наработки составной части или машины в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями для каждой неисправности устанавливаются вероятность её возникновения и появления каждого симптома. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома.

2-2 Временной метод – поиск осуществляют, исходя из минимального времени, затрачиваемого на проверку.

3-3 Метод исключения – основан на поочередном отключении рабочих звеньев механизма (например, цилиндров) позволяет, не проводя разборку и предварительную проверку выявить неисправность. Относится к прямому (контактному) методу (непосредственное измерение конструктивных параметров)[1].

4-4 Стоимостной метод – (минимум) при выборе оптимальной последовательности поиска неисправностей важным условием становится – минимальная величина средней стоимости проверки. При использовании этого критерия стремятся к тому, чтобы максимальная стоимость поиска отказавшего элемента была наименьшей по сравнению с затратами, получаемыми при других методах проверки.

5-5 Логический – основан на анкетировании водителя о косвенных признаках возникновения неисправности, событиях предшествовавших возникновению дефекта (прохождении технического обслуживания, перечне операций ТО, применяемых материалах при ремонте и эксплуатации, режиме работы машины и т. д.) и последующем анализе.

1-2, 2-1 Время-вероятность (метод при дефиците времени) – актуальность этого метода проявляется при эксплуатации машин или механизмов в рамках задач ограниченных во времени. При одинаковой вероятности возникновения двух или более неисправностей, характерных для какого-либо симптома, поиск осуществляют, исходя из минимального времени, затрачиваемого на проверку.

1-5, 5-1 Вероятностно-логический (“метод следящего контроля”) – Метод позволяет «видеть» информацию о состоянии большинства элемен-

тов системы одновременно – «онлайн» в виде построения графика не прибегая к перебору проверок диагностических параметров элементов отдельно. Реализация данного метода предполагает установить на автомобиль систему самодиагностики для наиболее часто выходящих из строя элементов. Для дизельного двигателя таким элементом является топливная система высокого давления. Это объясняется в основном качеством используемого топлива.

На примере двигателя это будет выглядеть следующим образом. При обнаружении снижения мощности после проведения экспресс-диагностирования или по заявке водителя автомобиль направляется на диагностику двигателя. Согласно статистических данных максимальную вероятность возникновения отказов имеет топливная система, поэтому системой самодиагностики с помощью накладного тензодатчика производится контроль процесса работы топливной аппаратуры. Это позволяет сравнить течение реального процесса работы топливной системы с эталонным для этой модели. Информация о нарушении протекания процесса в том или ином элементе также может выводиться на дисплей в автоматическом режиме, что позволяет пользоваться прибором работнику не имеющего высокой квалификации в области диагностирования. Данный метод позволяет экономить время на поиск неисправности внутри топливной системы с любой вероятностью их возникновения, что качественно отличает предложенный метод от вероятностного.

2-5, 5-2 Временно-логический метод (“метод следящего контроля”) аналогичен 1-5, 5-1.

4-2, 2-4 Временно-стоимостной минимальное время и минимальная стоимость 1-5, 5-1 возможно при оборудовании внешней системы диагностирования (стационарные, переносные) [1], которая обслуживает несколько автомобилей.

4-5, 5-4 Логически-стоимостной – максимальное удешевление логического метода диагностирования возможно, при оптимизации логического метода то есть выявление определенной периодичности обслуживания, что снизит затраты на ТО и ТР.

1-3, 3-1 Вероятность-исключение на основе статистических данных о закономерностях изменения параметров состояния в зависимости от наработки составной части или машины в целом, устанавливают не только вероятность отказа, но и порядок проверки методом исключения. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома.

2-3, 3-2 Время-исключение – обеспечивается путем минимизации времени проведения поиска неисправности по методу исключения (например, оптимизацией методики или алгоритма поиска).

1-4, 4-1 Вероятностно-стоимостной – поиск неисправности проходит по принципу минимальная стоимость при наибольшей вероятности, метод получается путем удешевления, и унификации метода при дефиците времени.

3-4, 4-3 и 3-5, 5-3 Стоимость-исключение – аналогичен по сути 2-3 3-2. Возможен как дополнительный метод для 1-5, 5-1 и 5-4, 4-5.

Методы 4-5, 5-4 и 1-3, 3-1 при объединении дают модернизированный “метод следящего контроля*”, а метод 3-2 следует считать уже используемым в “Метод следящего контроля*” и “Метод при дефиците времени*”.

Метод следящего контроля обладает преимуществом перед методом при дефиците времени по всем параметрам кроме стоимости. Максимальное удешевление возможно при применении схемы аналогичной системы самодиагностики, но выполненной по внешнему подключаемому принципу (“универсальный вероятностно-логический метод”). Это позволяет применять одну систему диагностирования на несколько автомобилей одного или нескольких классов и типов подвижного состава. Такая схема возможна как в стационарном, так и в мобильном варианте. Диагностирование проводится при определенной выявленной периодичности или поступлении заявки от водителя, механика обслуживающего автомобиль. При этом методе допустимо частичное размещение датчиков на труднодоступные узлы и агрегата каждого периодически диагностируемого автомобиля.

Универсальный вероятностно-логический метод позволяет при использовании его на основе встроенных средств (информационные, сигнализирующие, программируемые, запоминающие) позволяет минимизировать вероятность возникновения неисправности путем своевременного отслеживания изменения контрольного параметра. В перспективе данный метод сможет охватывать все необходимые для контроля узлы и агрегаты автомобиля.

Т а б л и ц а 1.8

Метод поиска неисправностей транспортных средств

Методы	Вероятностный 1	Временной 2	Исключения 3	Стоимостной 4	Логический 5
Вероятностный 1	УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ				
Временной 2					
Исключения 3					
Стоимостной 4					
Логический 5					

Если неисправность двигателя находится вне системы питания, то с помощью логического блока с базой данных и подключенных к нему датчиков температуры охлаждающей жидкости, давления масла система самодиагностирования позволит сократить время поиска неисправности «логическим» методом. Блок логики запрашивает проявившиеся диагностические признаки неисправного состояния машины. После этого система анализирует полученную информацию и подтверждает связи между диагностическими параметрами и возможными нарушениями структурных параметров путем опроса водителя о косвенных признаках возникновения неисправности, событиях предшествовавших возникновению дефекта – прохождении технического обслуживания, перечне операций ТО, применяемых материалах при ремонте и эксплуатации, режиме работы машины и т.д. При этом количество вопросов должно быть не более 12, так как при большем числе вопросов внимание оператора снижается, слишком «любопытная» система вызывает раздражение. Данная методика построения гипотезы позволяет существенно снизить влияние «человеческого фактора» и свести к минимуму возникновение ложных гипотез. После выдвижения гипотезы система самодиагностики предлагает к использованию минимальный набор диагностического инструмента для контроля указанных диагностических параметров. Например: пройдя путь «жесткой» ветви логического дерева, для установления окончательного диагноза система предложит проверить компрессометром давление, создаваемое в цилиндре до и после залива в надпоршневое пространство машинного масла. С развитием технологий перечень средств диагностирования может добавляться в базу данных. Как видно в вероятностно-логическом методе использованы все достоинства «логического» метода: низкие требования к квалификации диагностирующего, низкая стоимость средств диагностирования, а влияние возможных ошибок при построении гипотезы снижается.

Основываясь на вышеуказанных преимуществах метода, возможно, существенно сократить время на поиск неисправностей, возникающих при эксплуатации подвижного состава и повысить оперативность диагностирования. Затраты времени на диагностирование в различных вариациях могут достигать до 50 % и более времени от общего времени на устранение неисправности.

Предлагаемый метод позволит оперативно проводить диагностирование, по результатам которого автомобиль может направляться в ремонт, а неисправности с нетрудоемкими операциями восстановления могут проводиться на линии. Данный метод создает предпосылки к росту коэффициента технической готовности парка автомобилей, снижению элементов резервирования (автомобилей), что позволит оптимизировать транспортный процесс, технико-экономические показатели автомобилей и автотранспортного предприятия.

Выводы по пункту 1.4. Правильность диагноза требует большого количества информации, поэтому методы, используемые в настоящее время, неэффективны. Предложенный нами вероятностно-логический метод основывается на взаимосвязанности неисправностей и позволяет диагностировать систему с помощью минимально необходимого количества датчиков для получения достоверной информации. Данная модель позволяет использовать совокупность недорогих, но эффективных действий для качественного диагностирования при минимальных затратах.

1.5. Анализ методов группировки операций технического обслуживания автомобилей

Основой системы технического обслуживания автомобилей являются ее структура и нормативы. Структура системы определяется видами (ступенями) соответствующих воздействий и их числом. Нормативы включают конкретные значения периодичности воздействий, трудоемкости, перечни операций и др. Перечень выполняемых операций, их периодичность и трудоемкость составляют режимы технического обслуживания.

На структуру системы технического обслуживания (ТО) и ремонта влияют уровни надежности и качества автомобилей; цели, которые поставлены перед автомобильным транспортом и технической эксплуатации автомобилей; условия эксплуатации; имеющиеся ресурсы; организационно-технические ограничения.

Главными факторами, определяющими эффективность системы ТО и ремонта, являются правильно определенные перечни (что делать) и периодичность (когда делать) профилактических операций, а также количество видов ТО и их кратность (как организовать выполнение совокупности профилактических операций).

Сложность при определении структуры системы ТО состоит в том, что ТО включает в себя 8–10 видов работ (смазочные, крепежные, регулировочные, диагностические и др.) и более 200–300 конкретных объектов обслуживания, т.е. агрегатов, механизмов, соединений, деталей, требующих предупредительных воздействий. Каждый узел, механизм, соединение, как отмечалось ранее, может иметь свою оптимальную периодичность ТО [51]. Если следовать этим периодичностям, то автомобиль в целом практически ежедневно необходимо направлять на техническое обслуживание различных соединений, механизмов, агрегатов, что вызовет большие сложности с организацией работ и значительные потери рабочего времени, особенно на подготовительно-заключительных операциях.

Поэтому после выделения из всей совокупности воздействий тех, которые должны выполняться при ТО, и определения оптимальной периодичности каждой операции, производят группировку операций по

видам ТО. Это дает возможность уменьшить число заездов автомобиля на ТО и время простоев на ТО и в ремонте. Однако надо иметь в виду, что группировка операций неизбежно связана с отклонением периодичности ТО данного вида от оптимальных периодичностей ТО отдельных операций. Полученные оптимальные периодичности по каждому элементу конструкции автомобиля имеют различные значения, поэтому для упрощения организации ТО они группируются в отдельные ступени [103, 105]. Существует шесть методов группировки операций:

- по стержневым операциям;
- естественный;
- технико-экономический;
- экономико-вероятностный;
- статистических испытаний;
- динамичный.

Анализ методов группировки операций ТО показывает, что при объединении методов (табл.1.9) и последовательном взаимодействии на объект обслуживания происходит увеличение вероятности проведения операций с более близкими периодичностями к оптимальным.

1-1. Метод группировки по стержневым операциям основан на объединении их вокруг стержневой операции [104].

Признаки стержневых операций:

- влияние на безопасность движения автомобиля невыполнение их снижает безотказность, экономичность и влияет на работоспособность автомобиля;
- большая трудоемкость, необходимость в специальном оборудовании и обустройстве поста;
- регулярное повторение;
- смазка деталей и узлов, регулировка тормозной системы, замена моторного масла и т.п.

Примерами стержневых операций являются регулировка тормозной системы, смена масла в двигателе и т.п.

Периодичность вида ТО принимается равной периодичности стержневой операции.

В данный вид ТО входят операции, которые имеют периодичность больше периодичности стержневой операции, но меньше периодичности следующего вида ТО.

Операции, оптимальная периодичность которых больше периодичности стержневой операции, выполняются с коэффициентом повторяемости

$$K_i = \frac{l_{ст}}{l_{oi}} \quad 0 \leq k \leq 1,$$

где k – коэффициентом повторяемости операций,
 $l_{ст}$, l_{oi} – периодичности стержневой и i -й операции.

Т а б л и ц а 1.9

Методы группировки операций ТО автомобилей

Методы \ Методы	1. По стержневым операциям	2. Естественный	3. Техничко-экономический	4. Экономико-вероятностный	5. Статистических испытаний	6. Динамичный
1. По стержневым операциям	По стержневым операциям	Естественный по стержневым операциям	Минимизация по стержневым операциям	Стержневой экономико-вероятностный	Моделирование по стержневым операциям	Динамичный по стержневым операциям
2. Естественный	Естественный по стержневым операциям	Естественный	Естественно-экономический	Естественный экономико-вероятностный	Естественно-статистический	Естественно-динамичный
3. Техничко-экономический	Минимизация по стержневым операциям	Естественно-экономический	Техничко-экономический	Вероятностно-экономический	Экономико-статистический	Экономико-динамичный
4. Экономико-вероятностный	Стержневой экономико-вероятностный	Естественный экономико-вероятностный	Вероятностно-экономический	Экономико-вероятностный	Статистико-вероятностный	Вероятностно-динамичный
5. Статистических испытаний	Моделирование по стержневым операциям	Естественно-статистический	Экономико-статистический	Статистико-вероятностный	Статистических испытаний	Статистико-динамичный
6. Динамичный	Динамичный по стержневым операциям	Естественно-динамичный	Экономико-динамичный	Вероятностно-динамичный	Статистико-динамичный	Динамичный

Эти операции состоят из двух частей – контрольной и исполнительской, контрольная часть производится каждый раз, исполнительская – по потребности. Таким образом выполняется более 65-70 % всех операций.

2-2. **Естественная группировка** применяется тогда когда объекты обслуживания близкие оптимальные периодичности, например потребность в крепежных работах возникает через 3-5 тыс. км и 10-15 тыс. км, регулировка тормозов через 10-15 тыс. км, и т.п.

3-3. **Технико-экономический метод**

Данный метод предусматривает, что групповая периодичность соответствует минимальным затратам на ТО и ремонт автомобиля.

Если в группу входит операция, периодичность которой ограничена условиями безопасности движения, то групповая периодичность должна быть меньше или равна периодичности этой операции.

$$C_{\Sigma\Sigma} = \sum_{i=1}^S C_{\text{ТО},i} + \sum_{i=1}^S C_{p,i},$$

где s – число операций в группе.

$C_{\text{ТО},i}$ и $C_{p,i}$ – удельные затраты на ТО и ремонт i -й операции.

Периодичность группы операций принимается равной оптимальной периодичности стержневой операции.

4-4. **Экономико-вероятностный метод** позволяет определить целесообразность выполнения рассматриваемой операции с не оптимальной периодичностью, а с заданной периодичностью стержневой операции.

Если затраты на выполнение ТО по предупредительной стратегии ниже затрат на устранение отказов по нулевой стратегии, то применение такой периодичности возможно.

5-5. **Метод статистических испытаний** основан на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания.

Моделирование можно проводить вручную или на ЭВМ. Исходными данными для моделирования служат как фактические данные наблюдений, так и законы распределения случайных величин.

6-6. В **динамичном методе** группировка производится автоматически с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или компьютеризированной системой, снимающей информацию с выходного разъема автомобиля.

1-2, 2-1. Новый метод будет основываться на выполнении операций ТО приуроченной к оптимальной периодичности стержневых операций и естественной группировки объектов обслуживания близких по рациональной периодичности обслуживания. Используя опытно-статистические данные

выполнения стержневых операций, мы выявляем наиболее необходимые операции технического обслуживания, периодичность которых совпадает с периодичностью проведения стержневых операций, группируем их методом естественной группировки и закрепляем каждую группу операций за одной из стержневых операций. Таким образом, мы, например, можем выявить периодичность наиболее близких по обслуживанию операций, затем оценить, к какой из стержневых операций она более близка по времени и объединить их в один комплексный осмотр.

1-3, 3-1. При данном методе мы группируем стержневые операции таким образом, чтобы групповая периодичность соответствовала минимальным суммарным затратам на ТО и ремонт автомобиля по всем рассматриваемым объектам. Таким образом, каждая стержневая операция должна проходить в такой периодичности, в которой затраты на её проведение наиболее минимальны.

1-4, 4-1. В данном методе мы будем основываться на карте профилактических операций, по ней мы выявляем зону наработок, в которой удельные затраты при предупредительной стратегии остаются ниже, чем при устранении возникшего отказа. Таким образом, выявив те операции, которые проще предупредить, а не устранить, мы группируем их со стержневыми и проводим их с периодичностью стержневых операций. Если операция из группы предупредительной стратегии попадает не на каждую стержневую операцию, то допустим пропуск выполнения операции, либо проведения её со следующей стержневой операцией другого признака. Метод позволяет определить целесообразность выполнения рассматриваемой операции с не оптимальной периодичностью, а с заданной периодичностью стержневой операции.

1-5, 5-1. Этот метод основывается на статистических оценках случайных величин и решении прикладных задач с помощью ЭВМ. На ЭВМ с помощью теоретико-числовых алгоритмов получают «псевдослучайные» числа и проверяют их статистическими тестами. В нашем случае из искомых операций выбираются «псевдослучайные» и закрепляются за стержневыми операциями.

1-6, 6-1. При данном методе группировка производится автоматически с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем [3, 4].

2-3, 3-2. Метод предполагает естественную группировку таким образом, чтобы она соответствовала минимальным суммарным затратам. Применяется тогда когда объекты обслуживания близкие оптимальные периодичности и соответствуют минимальным затратам на ТО и ремонт автомобиля.

2-4, 4-2. В данном методе мы сначала выделяем операции, в которых удельные затраты при предупредительной стратегии остаются ниже, чем

при устранении возникшего отказа, а затем группируем близкие по периодичности операции. Создаем одну общую группу с операциями близкими по периодичности и соответствующим минимальным затратам. Целесообразность выполнения рассматриваемой операции с не оптимальной периодичностью, а с заданной периодичностью стержневой операции

2-5, 5-2. Из искомых операций на ЭВМ выбираем случайные и группируем их случайным образом. Метод основан на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания.

2-6, 6-2. Метод применяется, когда объекты обслуживания близкие к оптимальным периодичностям при этом используются элементы прогнозирования в блоке управления автомобилем [103].

3-4, 4-3. Метод предусматривает, что групповая периодичность соответствует минимальным затратам на ТО и ремонт автомобиля с заданной периодичностью стержневой операции. Используем стратегию устранения неисправностей изделия по мере их возникновения, т.е. по потребности и сводим периодичность технического обслуживания к минимальным затратам.

3-5, 5-3. Метод испытаний основан на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания и уменьшить затраты на ТО и ремонт автомобиля. Из искомых операций на ЭВМ выбираем случайные и группируем их в соответствии с минимальными затратами.

3-6, 6-3. Группировка производится автоматически с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или компьютеризированной системой, снимающей информацию с выходного разъема автомобиля и групповая периодичность соответствует минимальным затратам на ТО и ремонт автомобиля.

4-5, 5-4. В данном методе из искомых операций на ЭВМ выбираем случайные и устраняем неисправности по мере их возникновения. Метод основан на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО с заданной периодичностью стержневой операции.

4-6, 6-4. Метод позволяет определить целесообразность выполнения рассматриваемой операции с не оптимальной периодичностью, а с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или компьютеризированной системой, снимающей информацию с выходного разъема автомобиля

5-6, 6-5. Метод с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или компьютеризированной системой основанной на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО.

Исходя из анализа методов группировки операции ТО установлено, что предупреждение отказов более выгодно, чем ожидание отказа и последующий ремонт. Для современного автомобиля наиболее целесообразна система с двумя-тремя видами ТО, так как при такой структуре системы удельные затраты на ТО и ремонт с учетом организационных минимальны. Для предприятий с недостаточно организованным ТО (невыполнение перечня, несоблюдение периодичностей) в качестве первого этапа исправления ситуации может быть рекомендована одноступенчатая система ТО (единое ТО) с последующим переходом к многоступенчатой системе. Применение ПЭВМ при учете и планировании, подготовки производства позволяет по экономическим критериям увеличить число видов ТО автомобиля, т.е. приблизиться к оптимальным периодичностям ТО отдельных операций. В перспективе возможна реализация индивидуальной группировки ТО для конкретных автомобилей или их групп, работающих в сходных условиях эксплуатации.

Основой такого индивидуального варианта системы будет служить: повышение надежности автомобилей и соответствующее увеличение периодичностей ТО; контроль за возрастной структурой парка; совершенствование системы учета и анализа надежности, затрат, доходов и расходов автомобилей; встроенная система учета работы и диагностирования технического состояния автомобиля.

1.6. Анализ методов определения периодичности технического обслуживания автомобилей

Среди разработанных стратегий технического обслуживания (ТО) и ремонта автомобильной техники наибольшее практическое распространение получили стратегия «ожидание ремонта» («восстановление работоспособности») и профилактическая стратегия («поддержание работоспособности»). Последняя имеет два основных метода реализации: по наработке планируется воздействие, либо контроль параметра технического состояния. На практике для каждого элемента автомобиля (или групп элементов) делается выбор одной среди возможных стратегий.

При назначении оптимальной периодичности ТО может использоваться индивидуальный или групповой подход. Индивидуальный подход применяется при определении периодичности обслуживания наиболее ответственных узлов, агрегатов и механизмов автомобиля, а также в тех случаях, когда агрегат, узел или механизм подвержены в основном только одному повреждению.

Полученные оптимальные периодичности по каждому элементу конструкции автомобиля имеют различные значения, поэтому для упрощения

организации ТО они группируются в отдельные ступени. К определению периодичности ТО существует два подхода:

- периодичность проведения ТО считается заданной;
- периодичность проведения ТО заранее не задана.

Первый подход является наиболее приемлемым для практического использования. Периодичность проведения ТО может определяться исходя из ежегодного пробега автомобиля, что принято при обслуживании современных легковых автомобилей; при эксплуатации разномарочного подвижного состава в одном предприятии с организационной точки зрения более удобно установить единую периодичность ТО, и, наконец, периодичность ступеней ТО может нормироваться в нормативно-технической документации.

Известны шесть методов определения периодичности ТО [103-105]:

- по допустимому уровню безотказности;
- по допустимому значению параметра;
- технико-экономический;
- экономико-вероятностный;
- статистических испытаний;
- динамичный.

Анализ методов определения периодичности ТО показывает, что при объединении методов (табл.1.10) и последовательном взаимодействии на объект обслуживания происходит увеличение вероятности проведения видов технического обслуживания с более близкими периодичностями к оптимальным.

1-1. По допустимому уровню безотказности. Метод рассчитан на выборе такой рациональной периодичности, при которой вероятность отказа элемента не превышает заранее заданной величины и называется риском.

2-2. По допустимому значению параметра. Изменение определенного параметра технического состояния для каждой из группы автомобилей происходит по-разному. Однако в среднем для группы автомобилей тенденция изменения каждого параметра характеризуется кривой, по которой, а также по допустимому значению параметра определяют среднюю наработку, тогда в среднем вся совокупность изделий достигает допустимого значения параметра технического состояния.

3-3. Технико-экономический метод связан с определением суммарных удельных затрат на ТО и ремонт с последующей их минимизацией. Минимум затрат соответствует оптимальной периодичности ТО.

4-4. Экономико-вероятностный метод учитывает экономические и вероятностные факторы и позволяет сравнить различные стратегии поддержания и восстановления работоспособности автомобиля.

Таблица 1.10

Методы определения периодичности ТО

Методы Методы	По допустимому уровню безотказности 1	По допустимому значению параметра 2	Технико-экономический 3	Экономико-вероятностный 4	Статистических испытаний 5	Динамичный 6
По допустимому уровню безотказности 1	По допустимому уровню безотказности	Безотказность по допустимому значению параметра	По допустимому уровню затрат	Экономико-вероятностная безотказность	Моделирование по допустимому уровню безотказности	Динамичный по допустимому уровню безотказности
Допустимое значение параметра 2	Безотказность по допустимому значению параметра	По допустимому значению параметра	Минимизации по допустимому значению параметра	Экономико-вероятностный по допустимому значению параметра	Имитация по допустимому значению параметра	Динамичный по допустимому значению параметра
Технико-экономический 3	По допустимому уровню затрат	Минимизация по допустимому значению параметра	Технико-экономический	Вероятностно-экономический	Экономико-статистический	Экономико-динамичный
Экономико-вероятностный 4	Экономико-вероятностная безотказность	Экономико-вероятностный по допустимому значению параметра	Вероятностно-экономический	Экономико-вероятностный	Статистико-вероятностный	Вероятностно-динамичный
Статистических испытаний 5	Моделирование по допустимому уровню безотказности	Имитация по допустимому значению параметра	Экономико-статистический	Статистико-вероятностный	Статистических испытаний	Статистико-динамичный
Динамичный 6	Динамичный по допустимому уровню безотказности	Динамичный по допустимому значению параметра	Экономико-динамичный	Вероятностно-динамичный	Статистико-динамичный	Динамичный

5-5. Метод статистических испытаний основан на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания. Моделирование можно проводить вручную или на ЭВМ. Исходными данными для моделирования служат как фактические данные наблюдений, так и законы распределения случайных величин.

6-6. Динамичный метод. Определение периодичности производится автоматически с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или компьютеризированной системой, снимающей информацию с выходного разъема автомобиля.

1-2, 2-1. Безотказность по допустимому значению параметра. Метод возможен при незначительных экономических и других последствиях отказа.

1-3, 3-1. По допустимому уровню затрат. Учет экономических последствий принимаемых решений; простота, ясность, универсальность. Метод применяется для определения оптимальной периодичности работ, влияющих на безопасность движения, если при назначении уровня риска учитывать потери, связанные с дорожными происшествиями.

1-4, 4-1. Экономико-вероятностная безотказность. Использование этого метода позволяет более полно использовать потенциальный ресурс изделия. Учитывает экономические и вероятностные факторы и позволяет сравнить различные стратегии поддержания и восстановления работоспособности автомобиля при выборе такой рациональной периодичности, при которой вероятность отказа элемента не превышает заранее заданной величины и называется риском. Использование этого метода позволяет более полное использование потенциального ресурса изделия.

1-5, 5-1. Моделирование по допустимому уровню безотказности. Метод основан на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания. Моделирование можно проводить вручную или на ЭВМ. Исходными данными для моделирования служат как фактические данные наблюдений, так и законы распределения случайных величин при определении оптимальной периодичности ТО.

1-6, 6-1. Динамичный по допустимому уровню безотказности. Основан на автоматическом определении реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость проведения операций. Определения периодичности производится автоматически с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем или пульте диспетчера, инженера.

2-3, 3-2. Минимизации по допустимому значению параметра. Метод позволяющий вести учет экономических последствий принимаемых решений. Он связан с определением суммарных удельных затрат на ТО и ремонт с последующей их минимизацией. Минимум затрат соответствует оптимальной периодичности.

2-4, 4-2. Экономико-вероятностный по допустимому значению параметра. Предназначен для группы автомобилей тенденция изменения каждого параметра характеризуется кривой, по которой, а также по допустимому значению параметра определяют среднюю наработку, тогда в среднем вся совокупность изделий достигает допустимого значения параметра технического состояния учитывая экономические и вероятностные факторы и позволяет сравнить различные стратегии поддержания и восстановления работоспособности автомобиля.

2-5, 5-2. Имитация по допустимому значению параметра. Основан на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания. Моделирование можно проводить вручную или на ЭВМ. Исходными данными для моделирования служат как фактические данные наблюдений, так и законы распределения случайных величин. При определении оптимальной периодичности ТО используется допустимое значение параметра.

2-6, 6-2. Динамичный по допустимому значению параметра. Основан на моделировании реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость проведения группы операций. Определения периодичности производится автоматически с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем или пульте диспетчера, инженера. Метод применяется, когда объекты обслуживания близкие к оптимальным периодичностям при этом используются элементы прогнозирования в блоке управления автомобилем

3-4, 4-3. Вероятностно-экономический. Определение суммарных удельных затрат на ТО и ремонт с последующей их минимизацией, учитывая экономические и вероятностные факторы и позволяет сравнить различные стратегии поддержания и восстановления работоспособности автомобиля.

3-5, 5-3. Экономико-статистический. Выявление суммарных удельных затрат на ТО и ремонт с последующей их минимизацией при моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания.

3-6, 6-3. Экономико-динамичный. Определение периодичности ТО производится автоматически с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или компьютеризированной

системой, снимающей информацию с выходного разъема автомобиля и групповая периодичность соответствует минимальным затратам на ТО и ремонт автомобиля.

4-6, 6-4. Вероятностно-динамичный. Метод позволяет определить целесообразность выполнения рассматриваемой операции с не оптимальной периодичностью, а с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или компьютеризированной системой, снимающей информацию с выходного разъема автомобиля

4-5, 5-4. Статистико-вероятностный. Учитывает экономические и вероятностные факторы и позволяет сравнить различные стратегии поддержания и восстановления работоспособности автомобиля на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания.

5-6, 6-5. Статистико-динамичный. Метод с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или компьютеризированной системой основанной на моделировании (имитации) реальных случайных процессов ТО.

Исходя из анализа методов определения периодичности ТО установлено, что предупреждение отказов более выгодно, чем ожидание отказа и последующий ремонт. Для современного автомобиля наиболее целесообразна система с двумя-тремя видами ТО, так как при такой структуре системы удельные затраты на ТО и ремонт с учетом организационных минимальны. Для предприятий с недостаточно организованным ТО (невыполнение перечня, несоблюдение периодичностей) в качестве первого этапа исправления ситуации может быть рекомендована одноступенчатая система ТО (единое ТО) с последующим переходом к многоступенчатой системе. Применение ПЭВМ при учете и планировании, подготовки производства позволяет по экономическим критериям увеличить число видов ТО автомобиля, т.е. приблизиться к оптимальным периодичностям ТО отдельных операций. В перспективе возможна реализация индивидуальной группировки ТО для конкретных автомобилей или их групп, работающих в сходных условиях эксплуатации.

Основой такого индивидуального варианта системы будет служить: повышение надежности автомобилей и соответствующее увеличение периодичностей ТО; контроль за возрастной структурой парка; совершенствование системы учета и анализа надежности, затрат, доходов и расходов автомобилей; встроенная система учета работы и диагностирования технического состояния автомобиля.

Выводы

На основании проведенного анализа состояния вопроса можно сделать следующие основные выводы:

– в условиях роста дизельного парка страны, а также существенной зависимости эффективности его использования от технического состояния не только двигателей, но и трансмиссии возрастает роль качества проведения ТО и ремонта автомобилей;

– эффективным способом повышения качества проведения ТО и Р автомобилей, а также снижения эксплуатационного расхода топлива и токсичности ОГ является качественное и своевременное диагностирование технического состояния;

– сложность диагностирования автомобиля в целом и его элементов, определяет необходимость применения в практике эксплуатации автомобилей большого набора методов и средств диагностирования;

– применение существующих средств, методов и технологий ТО и Р автомобилей экономически нецелесообразно в силу высокой стоимости оборудования и значительных затрат на поддержание технического состояния;

– для поиска неисправностей автомобилей и восстановления их работоспособности, работающих на малых и средних АТП, а также автоколонн, работающих в отрыве от производственных баз, целесообразна разработка эффективной модели диагностирования, ТО и Р перспективной в отношении массовой реализации;

– совершенствование оборудования для диагностирования и применение новых методов ТО и Р позволит уменьшить трудоемкость и затраты на выполнение работ.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНО-ЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

2.1. Описание объекта исследований

В качестве выбранных объектов исследований рассматриваются дизельный двигатель и трансмиссия автомобиля, устанавливаемые на грузовых автомобилях КАМАЗ российского производства.

Указанные элементы обеспечивают передачу крутящего момента от двигателя к колесам автомобиля, что способствует при правильной регулировке оптимальной работе всех элементов автомобиля.

Данные устройства обеспечивают движение на необходимых режимах в процессе работы автомобиля.

С теоретической точки зрения двигатель и трансмиссия представляют собой совокупность последовательно соединенных элементов, отказ одного из которых способен привести к неисправности или полному отказу всего автомобиля.

Исследования убеждают, что отказ одного или нескольких элементов приводит к нарушению работы всей системы управления с заданными характеристиками и параметрами. При этом автомобиль может сохранить способность к движению при нарушенных параметрах топливной экономичности, экологичности, мощности и других, что равносильно отказу всей системы. [53, с. 158] Система работоспособна только тогда, когда, по крайней мере, k из n системы исправны, тогда:

- параллельное соединение элементов более надежно, чем параллельное соединение систем;
- последовательное соединение систем эффективнее последовательного соединения элементов.

Значит, для создания эффективной системы наиболее эффективного метода диагностирования необходимо создание системы, где элементы системы: база, определяющие состояния объекта (датчики), компьютерный блок с подсистемами анализа состояния и собственной работы соединены между собой с минимальным количеством элементов системы. В то же время они должны решать задачи:

- поиск и прогнозирование времени на устранение дефекта;
- количество и степень операции должны выбираться на основе вероятностного метода и исключаться с помощью логической модели, а затем восстановление работоспособного состояния происходит с помощью динамической модели;
- материальные затраты минимизированы путем исключения ненужных элементов системы, например, излишнего количества датчиков систе-

мы и своевременного выполнения операций технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Значит, необходимо создать систему, которая будет по алгоритму решать поставленные задачи.

Вывод по пункту 2.1. Выбор основных характеристик объекта исследования позволяет поэтапно проанализировать степень воздействия на элементы автомобиля и выявить достаточные условия для создания вероятно-логического метода и динамичной модели воздействия на объект с целью поддержания функции работоспособности автомобиля.

2.2. Режимы обеспечения работоспособности автомобиля

По мнению И.И. Габитова, существующая система технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей КАМАЗ в условиях АТП и дилерских станций технического обслуживания и ремонта характеризуется планово-предупредительным характером для всего автомобиля в целом, с учетом особенностей АТП и техническими воздействиями при возникновении отказов элементов автомобиля [16, с. 296].

Отказы и неисправности, связанные с нарушением работы различных систем, выполняются по дополнительной заявке владельца автомобиля. Их проявления, как правило, субъективно выявляются в процессе эксплуатации при появлении задымления, трудном пуске двигателя, неравномерности работы двигателя на различных режимах, снижении мощности, динамических характеристик, увеличенном расходе топлива и др.

Стоит отметить, что все большее распространение получают системы Common Rail. Но из-за повышенной требовательности к чистоте и качеству дизельного топлива процесс охвата российского рынка этими системами невелик, хотя с каждым годом наблюдается положительная динамика. С точки зрения диагностирования из-за чувствительности к топливу страдают управляемые электроникой форсунки с электромагнитными или пьезоэлектрическими клапанами. Попытки использовать низкокачественное топливо или неподходящие топливные фильтры могут привести к преждевременному дорогому ремонту или даже к замене системы. Но не только это является причиной. Другой более существенной особенностью является использование в системе Common Rail большого числа разного рода датчиков, активаторов и иных элементов управления: датчик давления в рампе, датчик потока воздуха, датчики положений распредвала и коленвала, температурные датчики двигателя и входящего воздуха, датчик положения педали акселератора, датчик системы подогрева, соленоиды, клапан регулятор давления в рампе, клапан турбонадува и клапана рециркуляции выхлопных газов [6].

Следовательно, поддержание в автомобиле работоспособных параметров влечет за собой диагностирование наиболее сложных систем (двигателя, трансмиссии) требует специального, сложного и дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала.

С другой стороны, длительная эксплуатация автомобилей без контроля ее работоспособности ведет к накоплению отказов и неисправностей отдельных элементов и к нарушению его работы. В данном случае значительно возрастает стоимость диагностирования и выявления неисправностей, и еще более дорогостоящим становится устранение неисправностей и восстановление работоспособности.

Для обеспечения работоспособности системы необходимо использовать встроенное диагностирование и динамичную систему ТО и ТР с помощью алгоритма, предложенного нами в п. 2.1. Нам понадобится блок для формирования базы данных по результатам диагностирования, к нему будет подключаться расчетно-анализирующий блок, далее блок индикации результатов расчета и анализа, выводящий данные на монитор, обработка данных и принятие решения о необходимости профилактических воздействий. В качестве элемента встроенного диагностирования мы будем использовать накладной или встроенный датчик давления топлива и датчики температуры на трансмиссию. В результате получаем на мониторе данные, которые сигнализируют о решении по проведению профилактических работ в отношении двигателя и трансмиссии.

Вывод по пункту 2.2. Необходимо применение встроенного диагностирования для двигателя и трансмиссии, которое позволит увеличить уровень надежности автомобильного парка и уменьшит потребность в технологическом оборудовании, а также позволит своевременно проводить профилактические операции.

2.3. Вероятностно-логический подход к выявлению неисправностей автомобилей

Теоретическим и практическим вопросам контроля надежности различных механических объектов посвящено обширное количество научно-технических статей, брошюр, книг, монографий, справочных руководств и другой научно-технической литературы. Достаточно подробная информация по самым различным вопросам контроля показателей механической надежности исследуемых объектов содержится в справочниках.

Однако научно-техническая литература, посвященная разработке вероятностно-логических задач контроля показателей элементов автомобилей, практически отсутствует. Решению проблемы вероятностного и логического подхода поиска и определения неисправностей посвящены работы авторов [3].

2.3.1. Вероятностно-логическая модель как способ диагностирования автомобиля

Диагностические параметры связаны определенными зависимостями как со структурными параметрами, так и с эксплуатационными качествами двигателя. Знание зависимостей между структурными и диагностическими параметрами, понимание характера их изменения в процессе эксплуатации позволяет определять действительное состояние агрегатов без их разборки, прогнозировать остаточный ресурс и обоснованно назначать вид ремонта или объем технического обслуживания двигателя. Из анализа [67] отказов, возникающих в топливной системе дизеля: около 40 % отказов приходится на неисправности, связанные с нарушением контактов и соединений; 30 % – выход из строя одного из элементов (например датчика); 20 % – подсистема смесеобразования; 10 % – механические.

Учитывая, что количество отказов возрастает с увеличением пробега автомобиля, то необходимо проведение углубленного анализа отказов системы управления топливной системой. Необходимо также понимать, что своевременная объективная диагностическая информация о достижении автомобилем предельных значений параметров позволяет в сжатые сроки направлять автомобили в ремонт или производить их списание. Применение встроенного диагностирования позволяет оперативно производить корректировку системы ТО и ремонта посредством воздействия управляющей информации по перераспределению потоков автомобилей, что предполагает уменьшение времени простоев автомобилей в ремонте.

Диагностические параметры двигателя позволяют определять техническое состояние отдельных его механизмов, систем и сборочных единиц, но не дают возможности оценить его состояние в целом. Поэтому на практике необходимо использовать одновременно несколько методов и параметров или выбирать подходящие для данного случая. Преимущества встроенного диагностирования очевидны, но требуют высококвалифицированного персонала. Например, анализ шума и вибрации, возникающих при работе механизмов, дает возможность диагностировать все подвижные сопряжения, в которых возникают ударные нагрузки. Этим методом можно диагностировать кривошипно-шатунный и газораспределительный механизмы на начальном этапе поиска неисправностей.

Применительно к автомобилям КАМАЗ с дизелями можно выделить несколько стратегий диагностирования:

1. Диагностирование поточным методом (на постах диагностирования, включая КТП).
2. Диагностирование водителем на линии и по информации со щитка приборов.

3. Диагностирование водителем (оператором) системы управления двигателем с применением самодиагностики и считыванием блинк-кодов, а также с применением компьютерного диагностирования (OBD-2).

4. Диагностирование программно-измерительным комплексом с применением накладных датчиков.

5. Диагностирование с применением программ экспертных систем.

Значит, вероятно-логическая модель позволяет при использовании ее на основе встроенных средств минимизировать вероятность возникновения неисправности путем своевременного отслеживания изменения контрольного параметра. В перспективе данный метод сможет охватывать все необходимые для контроля узлы и агрегаты автомобиля.

Если неисправность находится вне контролируемых датчиками параметров, то с помощью блока с базой данных система встроенного диагностирования позволит сократить время поиска неисправности.

Система анализирует полученную информацию и подтверждает связи между диагностическими параметрами и возможными нарушениями структурных параметров путем опроса водителя о косвенных признаках возникновения неисправности, событиях, предшествовавших возникновению дефекта – прохождении технического обслуживания, перечне операций ТО, применяемых материалах при ремонте и эксплуатации, режиме работы машины, лимите времени на выполнение операции и т.д. Данная методика построения гипотезы позволяет существенно снизить возникновение ложных гипотез. С развитием технологий перечень средств диагностирования может добавляться в базу данных. Как видно, в предлагаемой методике использованы все достоинства «логического» метода: низкие требования к квалификации диагностирующего, низкая стоимость средств диагностирования; влияние возможных ошибок при построении гипотезы снижается.

На основании полученной информации на этом этапе определяются вероятные гипотезы – элементы двигателя и трансмиссии, подозреваемые на отказ.

По завершении этапа выбора качественных признаков в системе происходит просмотр базы данных и формирование рабочего набора предполагаемых неисправностей, обеспечивающих решение задачи поиска неисправностей. После определения качественного признака следует определить причину неисправности.

Применение встроенного диагностирования позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях.

Основываясь на вышеуказанных преимуществах вероятно-логической модели, возможно существенно сократить время на поиск неисправностей, возникающих при эксплуатации подвижного состава, и повысить оперативность диагностирования.

Предлагаемая методика позволит оперативно проводить диагностирование, по результатам которого автомобиль может направляться в ремонт, а нетрудоемкие операции восстановления неисправности могут проводиться на линии. Данная методика создает предпосылки к росту коэффициента технической готовности парка автомобилей, снижению элементов резервирования автомобилей, что позволит оптимизировать транспортный процесс, технико-экономические показатели автомобилей и автотранспортного предприятия.

Процесс изучения параметров и показателей системы при помощи контрольно-измерительного оборудования, приборов и инструментов будем характеризовать параметром P_B (вероятностный), учитывая, что своевременно прекратить эксплуатацию автомобиля и подвергнуть его ремонту можно только в случае применения объективного инструментального диагностирования технического состояния. Определение без контрольно-измерительных приборов и инструментов диагностических параметров, поддающихся оценке с помощью органолептических методов или с применением отдельных средств, будем характеризовать параметром P_L (логический).

В частности, P_B и P_L применяются для:

- оценки (расчета), контроля и обеспечения показателей механической надежности двигателей и трансмиссии при эксплуатации;
- создания различных автоматизированных контролирующих систем и диагностических комплексов.

Качественно оценить методику можно по связи с факторами, характеризующими трудоемкость диагностирования, а количественно – по их влиянию (весомости) на основные показатели процесса диагностирования.

Как мы ранее уже упоминали, в вероятно-логической методике мы используем набор необходимых разработок в области диагностирования. Например, количественное сравнение возможно только в тех случаях, когда данные показатели имеют явно выраженный количественный характер, например число точек контроля, число встроенных датчиков, количество разрывов цепей, число унифицированных контрольных точек.

Реализация возможностей диагностики на автомобильном транспорте является сложной задачей, для решения которой необходимы дальнейшие исследования её управляющих функций и проведение производственного эксперимента.

Параметры выходных рабочих процессов, определяющих основные функциональные свойства объекта (например, тормозной путь, мощность

двигателя, процент буксования сцепления и т.п.), дают обобщенную широкую информацию о состоянии механизмов в целом. Эта информация является основой для дальнейшего поэлементного диагностирования.

Параметры сопутствующих процессов (например нагрев, шумы, вибрации и др.) дают более узкую информацию о техническом состоянии объекта диагностирования. Они достаточно универсальны и широко применимы для поэлементного диагностирования сложных систем. Поэтому наш метод – вероятностно-логический – имеет следующие преимущества: доступность диагностирования; легкость подключения приборов; возможность диагностирования без разрыва цепей; удобство работ; обеспеченность контроля встроенными датчиками; безошибочность подключения; унификацию контрольных точек; число контрольных точек; централизацию контроля; санитарно-гигиенические показатели; возможность обойтись без снятия крупногабаритных элементов автомобиля.

Вывод по пункту 2.3.1. Для определения причины отказа без разборки агрегата необходимо найти диагностические параметры с рациональными затратами на поиск и максимально эффективными для устранения неисправности. Это сочетается при исследовании проблемы с логическими правилами, опирающимися на вероятные гипотезы отказа и включающие анализ на основе встроенного диагностирования.

2.3.2. Система коэффициентов вероятностно-логической модели поиска неисправностей автомобилей

Эффективное применение и развитие диагностирования требуют дальнейшего совершенствования ее режимов, нормативных показателей, методов, средств, технологических процессов и организации, а также повышения контролепригодности автомобилей.

Поэтому для создания работоспособной модели системы коэффициентов нам необходимо достигнуть оптимальности взаимодействия между объективным и субъективным диагностированием по выявлению неисправностей автомобилей.

Критериями оптимальности выявления неисправности могут служить:

- минимальные удельные суммарные затраты системы;
- минимальная удельная трудоёмкость;
- максимальная средняя наработка на отказ системы;
- вероятность отказа системы;
- коэффициент технической готовности.

Необходимо достичь оптимизации периодичности контроля, индивидуальной корректировки ТО и ТР при проведении диагностических мероприятий.

Управляющие функции процессов и средств диагностирования носят производственный и инспекционный характер. Они основаны на оптими-

зации режимов регламентного контроля, регулировании технологических постов обслуживаемых автомобилей путем отсортировки ремонтного фонда, индивидуальном корректировании объемов регламентного обслуживания и ремонта; проверке качества выполненного ТО и ТР автомобилей. Эти функции реализуются в производстве на основе информации о техническом состоянии автомобиля с помощью средств внешнего диагностирования, которое мы будем корректировать с помощью коэффициентов. Необходимость в закономерности изменения параметров технического состояния автомобиля обусловлено получением контролепригодной модели коэффициентов, которая, в свою очередь, опирается на нормативы и оптимальную взаимосвязь между параметрами диагностирования. Поэтому необходимо обобщенное логическое или аналитическое описание наиболее важных свойств объекта диагностирования.

Эффективное применение и развитие диагностирования автомобилей требует дальнейшего совершенствования нормативных показателей, методов, средств, технологических процессов, а также повышения контролепригодности автомобилей. Поэтому для создания работоспособной модели встроенной системы диагностирования необходимо оптимальное взаимодействие между объективным и субъективным методами определения неисправностей; кроме того, необходимо провести оптимизацию периодичности контроля, индивидуального корректирования технического обслуживания и текущего ремонта при проведении диагностических мероприятий. Это приводит к необходимости получения контролепригодной модели коэффициентов, которая, в свою очередь, опирается на нормативы и оптимальную взаимосвязь между параметрами диагностирования. Поэтому необходимо обобщенное логическое или аналитическое описание наиболее важных свойств объекта диагностирования.

Эти функции реализуются в производстве на основе информации о техническом состоянии автомобиля с помощью средств внешнего диагностирования, которую необходимо корректировать с помощью вероятно-логического коэффициента и средств встроенного диагностирования.

Нахождение параметров можно представить в виде диагностической матрицы (табл. 2.1), представляющей собой логическую модель, описывающую связи между диагностическими параметрами $L(P)$ и возможными неисправностями A объекта.

Т а б л и ц а 2.1

Матрица связи диагностических параметров с неисправностями

Диагностические параметры	Возможные неисправности		
	A_1	A_2	A_3
P_1	1	0	0
P_2	0	1	0
P_3	1	0	1
P_4	0	1	1

В данном случае единица означает возможность существования неисправности, а ноль – отсутствие такой возможности. С помощью представленной в таблице диагностической матрицы решается задача локализации одной из трех возможных неисправностей объекта с помощью четырех диагностических параметров. Физический смысл решения задачи заключается в определении соответствия полученной комбинации диагностических параметров, вышедших за нормативное значение, существованию одной из неисправностей. В рассматриваемой матрице имеем: неисправность A_1 возникает в случае одновременного выхода за норматив параметров P_1 и P_3 , неисправность A_2 – параметров P_2 и P_4 , а неисправность A_3 – параметров P_3 и P_4 .

Получается, что весь процесс диагностирования (параметр P) представляет собой зависимость между нахождением вероятных неисправностей и логическим отбором необходимых диагностических параметров, следовательно, полная вероятность события заключается в нахождении неисправности элемента, которую можно описать, как:

$$P_{\text{ВЛ}} = P_{\text{В}} + P_{\text{Л}}, \quad (2.1)$$

где $P_{\text{В}}$ – параметр вероятностного диагностирования;

$P_{\text{Л}}$ – параметр логического диагностирования.

Одним из способов определения необходимых параметров для оценки системы является введение в рассмотрение вероятностных характеристик. Наиболее логическое описание и тем самым инструмент для отслеживания объекта можно провести с помощью вероятностно-логического коэффициента:

$$K_{\text{ВЛ}} = P_{\text{В}} / P_{\text{ВЛ}} = P_{\text{В}} / (P_{\text{В}} + P_{\text{Л}}) = 1 / (1 + P_{\text{Л}} / P_{\text{В}}). \quad (2.2)$$

Чем больше параметров системы будет определено за одну проверку, тем быстрее будут выявлены причины отказа. Однако для постановки диагноза и нахождения причины отказа элемента используются несколько диагностических параметров, что значительно усложняет процесс. Для решения задачи в данном случае необходимо на основе данных о надежности объекта выявить связи между его наиболее вероятными неисправностями и используемыми диагностическими параметрами.

Объект диагностирования будем рассматривать как преобразование вводимых в объект величин Y в величины реакции объекта $Z_{\text{В}}$ вероятностного диагностирования. Работа объекта диагностирования будет выражена формулой:

$$Z_{\text{В}} = A_{\text{В}} \cdot Y_{\text{В}}, \quad (2.3)$$

где $Z_{\text{В}}$ – результат выходных величин вероятностного диагностирования;

$A_{\text{В}}$ – оператор объекта вероятностного диагностирования;

$Y_{\text{В}}$ – входные величины для вероятностного диагностирования.

Объект в данном случае имеет конечное количество состояний:

$$Z_B(i) = A_B(i) \cdot Y_B, \quad (2.4)$$

где $A_B(i)$ – оператор объекта диагностирования в случае i -го отказа.

Исходя из формулы полной вероятности события для нахождения A_B :

$$P(A) = \sum_{i=1}^{\infty} P(B_i) \cdot P(AB_i). \quad (2.5)$$

где B_1, B_2, \dots – количество проверок, необходимое для нахождения параметров, характеризующих отказ системы;

A – оператор объекта диагностирования в случае отказа.

При подходящем выборе гипотез для события A могут быть сравнительно просто вычислены произведением всех вероятностей $P(AB_i)$ и собственно $P(B_i)$. Предположим, что существует некое конечное количество проверок, и параметр вероятностного диагностирования $P_{пв}(x)$ тогда запишется как:

$$P_{пв}(x) = B(x)/B_j \cdot n, \quad (2.6)$$

где $B(x)$ – число проверок изделия за наработку l ;

n – общее число отказов изделия за наработку l ;

B_j – минимально необходимое количество проверок на один отказ.

Значение B_j можно представить как функцию, которая позволяет характеризовать надежность системы уравнений и будет задаваться для всей совокупности проверок конечным числом переменных, которые будут принимать значения от 1 до z , где z – целое число, при котором использование проверок нерационально, так как затраты на диагностирование превышают стоимость замены элемента на новый:

$$B_j(z) = \left\{ \begin{array}{l} B_j \in 1 \dots z \\ z = f(P) \end{array} \right\}, \quad (2.7)$$

где P – параметры системы.

Для каждого элемента параметр P можно записать, как:

$$P_j = \frac{\sum M_j}{\sum n_j}, \quad (2.8)$$

где $\sum M_j$ – совокупность элементов, которая помогает находить параметр P ;

$\sum n_j$ – сумма отказов одного элемента.

Чем большее количество датчиков имеет система, тем меньший логический аппарат необходим для определения параметров технического

состояния, но, с другой стороны, требуется больше затрат на их приобретение, переоборудование автомобиля и закупку необходимых диагностических комплексов считывания информации.

С другой стороны, если для диагностирования мы используем датчики, то нижний доверительный предел \underline{P}_y вероятности безотказной работы датчика с уровнем значимости $1-\gamma$ (где γ – доверительная вероятность) и значение среднеквадратического отклонения σ_P вероятности P определяются по формулам

$$\underline{P}_y = P \left[1 - \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{\underline{P}_y}{P_i} \right)^2} \right], \quad (2.9)$$

где \underline{P}_i – нижний доверительный предел вероятности безотказной работы P_i i -го элемента датчика.

$$\sigma_P = P \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{P_i}^2}{P_i^2}}, \quad (2.10)$$

где σ_{P_i} – среднеквадратическое отклонение вероятности безотказной работы P_i i -го элемента датчика.

В случае характеристики механической надежности элемента или датчика в целом одним определяющим параметром x , являющимся случайной величиной, вероятность их безотказного функционирования определяется по формуле

$$P(x^{\text{KP}} - x^{\text{Д}} = u > 0) = \int_0^h \varphi(u) du, \quad (2.11)$$

где $\varphi(u)$ – композиция плотностей вероятностей случайных величин x^{KP} и $x^{\text{Д}}$;
 h – предел случайных величин x^{KP} и $x^{\text{Д}}$, вычисляемый в зависимости от закона распределения.

Вероятность P нахождения определенного количественного признака (определяющего параметра x) на подконтрольном участке длиной L в требуемых по техническим условиям пределах [93] вычисляется по формуле

$$P = P_1 \cdot P_{2/1}, \quad (2.12)$$

где P_1 – вероятность нахождения определяющего параметра x в допустимых пределах в N^* контрольных точках на подконтрольном участке длиной L ;

$P_{2/1}$ – условная вероятность нахождения этого параметра в допустимых пределах внутри интервалов $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_{N^*-1}$ при усло-

вии, что во всех N^* контрольных точках значение параметра x также находится в допустимых пределах.

Количественный признак x обычно представляет собой определяющий параметр (или совокупность параметров), характеризующих конкретную техническую характеристику датчика конкретного вида (прочность, герметичность, время непрерывной работы и т.д.). В общем случае при произвольном законе распределения параметра x вероятность P_1 вычисляется [93] по формуле

$$P_1 = \int_{x_{H1}}^{x_{B1}} \int_{x_{H2}}^{x_{B2}} \dots \int_{x_{HN^*}}^{x_{BN^*}} \varphi(x_1, \dots, x_N) dx_1 \dots dx_N, \quad (2.13)$$

где $\varphi(x_1, \dots, x_N)$ – совместная плотность распределения параметра x_j во всех N^* контрольных точках; $x_j^H \geq 0$, $x_j^B \geq 0$ ($j = \overline{1, N}$; здесь N – число определяющих параметров) – нижние и верхние допусковые значения параметра x в j^* -х контрольных точках, за пределами которых требования к показателю механической надежности, представляемому данным параметром, следует считать невыполняемыми.

В практических ситуациях в ряде случаев выходы значений параметров x_j ($j = \overline{1, N}$) за пределы, оговоренные техническими условиями, могут не считаться катастрофическими. Применительно к механической надежности датчиковой аппаратуры это означает, что даже при выходе значений параметров x_j за пределы x_j^H , x_j^B может не наступить отказа в работе изделия и оно может выполнять поставленную задачу, но с более низкой эффективностью [93].

В общем случае событие A , состоящее в безотказной работе изделия при его функционировании, может быть осуществлено согласно одной из двух альтернативных гипотез H_0 , \bar{H}_0 , когда определяющие параметры x_j при их оценке оказываются в пределах допуска $x_j^H \leq x_j \leq x_j^B$ или за его пределами.

Гипотеза \bar{H}_0 может осуществляться различными способами, а именно: первый параметр x_1 выходит за пределы допуска, а остальные параметры находятся в его пределах; второй параметр оказывается вне допуска, а остальные в допуске и т.д. до полного возможного перебора возникающих ситуаций; за пределы допуска могут выйти первый и второй параметры одновременно, первый и третий, второй и третий и т.д., т.е. все возможные парные сочетания, а остальные $N-2$ параметров при этом находятся в пределах допусков; возможны тройные сочетания подобных ситуаций и т.д.

С учетом изложенного вероятность невыполнения изделием поставленной задачи \bar{P}_1 (параметрический отказ в работе изделия) может быть вычислена [93] по формуле полной вероятности вида:

$$\begin{aligned} \bar{P}_1 = 1 - P_1 = 1 - [& P(H_0)P(A/H_0) + \\ & + \sum_{j=1}^N P(\bar{H}_0^{(j)})P(A/\bar{H}_0^{(j)}) + \sum_{i < j} P(\bar{H}_0^{(2)})P(A/\bar{H}_0^{(2)}) + \dots], \end{aligned} \quad (2.14)$$

где $P(H_0)$ – вероятность нахождения значений параметров x_j в пределах допуска;

$P(A/H_0)$ – условная вероятность безотказной работы изделия при условии нахождения параметров x_j данного изделия в пределах допуска;

$P(\bar{H}_0^{(1)})$ – вероятность выхода за пределы допуска одного из параметров x_j (первого, или второго и т.д.);

$P(A/\bar{H}_0^{(1)})$ – условная вероятность безотказной работы изделия при выходе за пределы допуска одного из параметров x_j ;

$P(\bar{H}_0^{(2)})$ – вероятность одновременного выхода за пределы поля допуска двух каких либо параметров из возможных их парных сочетаний;

$P(A/\bar{H}_0^{(2)})$ – условная вероятность выполнения задачи изделием при условии одновременного выхода за пределы допуска двух параметров из возможных их парных сочетаний.

Условные вероятности $P(A/H_0)$, $P(A/\bar{H}_0^{(1)})$, $P(A/\bar{H}_0^{(2)})$ в практических ситуациях находятся методом статистического моделирования условий функционирования конкретных видов датчиковой аппаратуры в типичных возмущающих средах.

При небольшой кратности интеграла решение находится с помощью, например, разложений Кендалла [55] или Грама-Шарлье. В практических ситуациях для получения достаточно точных оценок проводится максимальное понижение кратности интеграла путем замены переменных [101] или с помощью соответствующих преобразований [55], позволяющих эффективно использовать численные методы. В ряде случаев осуществляется приведение коррелированного вектора $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ к некоррелированному. Однако в практических ситуациях вычисление вероятности (2.13) точными методами связано с достаточно серьезными вычислительными трудностями.

При нормальном законе распределения случайных величин x_1, x_2, \dots, x_N и сравнительно небольшом их числе N (порядка 10-15) вероятность P_1 находится по следующей приближенной формуле (с ошибкой 2...10 % от величины $1-P_1$) [102]:

$$P_1 = \prod_{j=1}^N F(h_j) + [F(h_j)_{\min} - \prod_{j=1}^N F(h_j)]K_N; \quad (2.15)$$

$$F(h_j) = F\left(\frac{x_j^B - \bar{x}_j}{\sigma_{x_j}}\right) - F\left(\frac{x_j^H - \bar{x}_j}{\sigma_{x_j}}\right) = F\left(\frac{x_j^B - \bar{x}_j}{\sigma_{x_j}}\right) + F\left(\frac{\bar{x}_j - x_j^H}{\sigma_{x_j}}\right) - 1 = \\ = F(h_{1,j}) + F(h_{2,j}) - 1, \quad (2.16)$$

где $F(h_{ij}) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{h_{ij}} -e^{-h^2/2} dh$ – табличная функция нормированного нормального распределения параметра h_{ij} ($i=1,2; j=\overline{1,N}$) [62];

$$h_{1,j} = \left(\frac{x_j^B - \bar{x}_j}{\sigma_{x_j}}\right); \quad h_{2,j} = \frac{\bar{x}_j - x_j^H}{\sigma_{x_j}}; \quad K_N = \frac{2}{\pi C} \sum_{i=1 < j=1}^{2,N} \arcsin r_{ij}.$$

Здесь r_{ij} – коэффициент корреляции i -го и j -го признаков параметра h_{ij} ; индекс « $i < j$ » под знаком суммы означает число всех возможных их парных сочетаний $C = N(N-1)/2$;

$$r_{ij} = \frac{1}{n\sigma_{x_i}\sigma_{x_j}} \sum_{i=1, j=1}^{2,N} (x_i - \bar{x}_i).$$

В [59] показано, что значение коэффициента r_{ij} при вероятностях $P \geq 0,999$ близко к 0,5.

При автоматизированных методах расчета функции $F(h)$ используются аналитические выражения, такие как

$$F(h) = \frac{1}{2} + (2\pi)^{-1/2} \left(h - \frac{h^3}{1! \cdot 2^1 \cdot 3} + \frac{h^5}{1! \cdot 2^2 \cdot 5} - \frac{h^7}{3! \cdot 2^3 \cdot 7} + \dots + \frac{h^{(2n+1)}}{k! \cdot 2^k \cdot (2n+1)} \right). \quad (2.17)$$

Данное выражение получено разложением функции плотности $\varphi(h)$ в ряд по степеням n параметра h и дальнейшим интегрированием. Это разложение справедливо при величине $h \leq 3$ [49].

Одними из предпочтительных с практической точки зрения являются [89, 103] формулы для вычисления одномерной функции нормального распределения с использованием соотношения Милса:

$$R(h) = \frac{1 - F(h)}{\varphi(h)} = \frac{1}{h + \frac{1}{h + \frac{2}{h + \frac{3}{h + \dots}}}}. \quad (2.18)$$

Это разложение справедливо при величине $h \geq 3$.

Для практических целей представляется удобным использование различных аппроксимаций функции $F(h)$. С достаточной точностью интеграл вероятностей в диапазоне $0 \leq h \leq 5,5$ аппроксимирует [70] следующая зависимость:

$$F(h) = 1 - ae^{-b(c+h)}, \quad (2.19)$$

где a ; b ; c – коэффициенты аппроксимирующей функции при ее значениях $10^{-8} \leq 1 - F(h) \leq 0,5$.

Для ответственных случаев, где требуется высокая точность вычислений функции $F(h)$, используются [70, 104] аппроксимации обратной функции $\tilde{F}^{-1}(h)$, имеющие вид:

$$\tilde{F}^{-1}(h) = \frac{2,30753 + 0,27061\xi}{1 + 0,99229\xi + 0,04481\xi^2} + \varepsilon(h)$$

с ошибкой $|\varepsilon(h)| \leq 3,0 \cdot 10^{-3}$

или

$$\tilde{F}^{-1}(h) = \frac{2,515517 + 0,80253\xi + 0,10328 \cdot \xi^2}{1 + 1,432788\xi + 0,189269\xi^2 + 0,001308\xi^3} + \varepsilon(h)$$

с ошибкой $|\varepsilon(h)| \leq 4,5 \cdot 10^{-4}$.

В последних двух формулах $\xi = \sqrt{-\ln h}$; $0,5 < h \leq 1$.

В [70] приведен также целый ряд других соотношений, в основе которых использованы различные приемы аппроксимации, а также методы моделирования одномерных нормально распределенных величин. Эти соотношения приведены в [104-119].

В общем случае параметр h , входящий в расчетное соотношение (2.14) определяется [50, 51] из следующего соотношения:

$$h = \frac{\bar{x}^{\text{KP}} - \bar{x}^{\text{Д}}}{\left(\sigma_{x^{\text{KP}}}^2 + \sigma_{x^{\text{Д}}}^2 - 2\sigma_{x^{\text{KP}}} \sigma_{x^{\text{Д}}} r_{x^{\text{KP}}, x^{\text{Д}}}\right)^{1/2}}. \quad (2.20)$$

Графики плотности распределения определяющих параметров x^{KP} , x^D представлены на рис. 2.1.

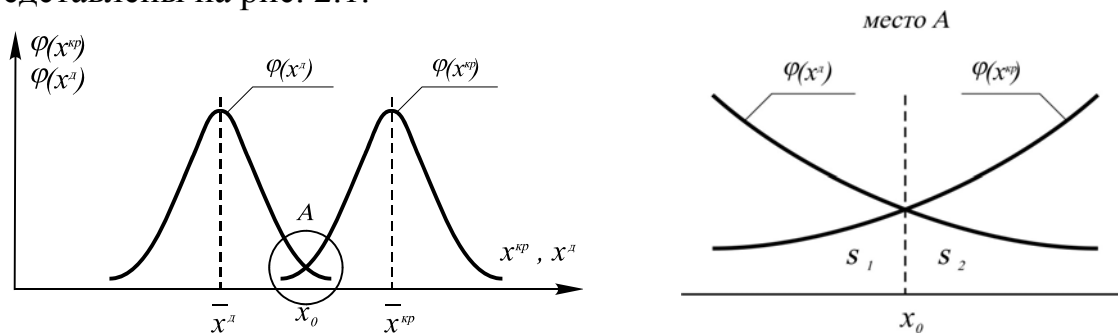


Рис. 2.1 Графики плотности распределения $\varphi(x^D)$ и $\varphi(x^{KP})$.

Данные графики называются расчетными схемами механической надежности изделия типа «нагрузка» – «прочность» [51, 58].

Малые площади s_1 и s_2 , образованные пересечением распределений $\varphi(x^{KP})$ и $\varphi(x^D)$ в некоторой точке $x_0 = x^D = x^{KP}$ (см. рис. 2.1), находятся из выражений:

$$s_1 = \int_0^{x_0=x^{KP}} \varphi(x^{KP}) dx^{KP}; \quad s_2 = \int_{x_0=x^D}^{\infty} \varphi(x^D) dx^D. \quad (2.21)$$

Вероятность наступления отказа изделия в соответствии с графиками удовлетворяет следующему неравенству [120, 121]:

$$1 - P = q > s_1 s_2 \quad (2.22)$$

при любом выборе $x^{KP} = x^D$.

Произведение $s_1 s_2$ является вероятностью того, что одновременно выполняется условие существования неравенств $x^D > x_0$ и $x^{KP} < x_0$. При этом из рассмотрения исключаются события $x^D > x^{KP}$ при $x^{KP} > x_0$ или $x^D < x_0$, которые также соответствуют событию, характеризующему отказ изделия [120]. Для двусторонней оценки вероятности безотказного состояния изделия составляет произведение, соответствующее вероятности возникновения такой ситуации, когда $x^D < x_0$ или $x^{KP} > x_0$.

$$(1 - s_1)(1 - s_2). \quad (2.23)$$

При этом изделие сохраняет работоспособность. Не рассматривая полной возможной группы событий, объединяя оценки (2.22) и (2.23), получим:

$$s_1 s_2 < 1 - P = \bar{P} < s_1 + s_2 - s_1 s_2. \quad (2.24)$$

В [120] величина $1 - s_1 s_2 = \Gamma$ названа гарантированной величиной безотказной ситуации (критического состояния изделия), она представляется весьма удобной для формализации процессов исследования предельных состояний изделий в j^* -х контрольных точках ($j^* = \overline{1, N^*}$; здесь N^* – число контрольных точек на некотором подконтрольном участке длиной L).

В частных случаях, при $N^* = 2$ вероятность P_1 , входящая в расчетную формулу (2.1), вычисляется [93] по формулам:

$$P_1 = F(h_1, h_2) = F(h_1)F(h_2) + \int_0^{r_{1,2}} \psi(h_1, h_2, x) dx; \quad (2.25)$$

$$P_1 = F(h_1) \cdot F(h_2) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F^{(k)}(h_1) \cdot F^{(k)}(h_2)}{k!} r_{1,2}^k; \quad (2.26)$$

$$\psi(h_1, h_2, x) = \frac{\partial^2 F(h_1, h_2)}{dx_1 \cdot dx_2} = \left[2\pi\sqrt{1-r_{1,2}^2} \right]^{-1} \exp \left[- \left(h_1^2 + h_2^2 - \frac{2 \cdot h_1 \cdot h_2 r_{1,2}}{2(1-r_{1,2}^2)} \right) \right]; \quad (2.27)$$

$$F(h_1, h_2) = \left[\frac{F(h_1) + F(h_2)}{2} \right] - T(h_1, c_{h_1}) - T(h_2, c_{h_2}) - b; \quad (2.28)$$

$$c_{h_1} = \frac{(h_2 - h_1 \cdot r_{1,2})}{h_1 (1 - r_{1,2}^2)^{-1/2}}; \quad c_{h_2} = \frac{(h_1 - h_2 \cdot r_{1,2})}{h_2 (1 - r_{1,2}^2)^{-1/2}}; \quad h_1 = \frac{(\bar{x} - x^H)}{\sigma_x};$$

$$h_2 = \frac{(x^B - \bar{x})}{\sigma_x}; \quad r_{1,2} = \frac{1}{n\sigma_{x_1}\sigma_{x_2}} \sum_{i=1}^n (x_i^1 - \bar{x}_1)(x_i^2 - \bar{x}_2),$$

где $T(h_1, c_{h_1})$, $T(h_2, c_{h_2})$ – функции Оуэна [214].

n – число наблюдений определяющего параметра x одновременно в 1-й и во 2-й контрольных точках;

b – поправочный коэффициент;

\bar{x} , σ_x – оценки средних значений и среднеквадратических отклонений определяющего параметра x .

В формуле (2.28) при $h_1 \cdot h_2 > 0$ или $h_1 \cdot h_2 = 0$ и $h_1 + h_2 \geq 0$ принимается $b = 0$, в противном случае $b = 0,5$.

При исследовании тенденций изменения показателей механической надежности датчиков недостаточно обоснованный выбор прогнозируемых величин приводит к недостоверным или просто ошибочным прогнозным оценкам. Это влечет за собой существенное увеличение затрат всех основ-

ных видов ресурсов (денежных, трудовых, материальных, временных), необходимых для создания датчиковой аппаратуры.

Для случая, когда надёжность элемента, узла или датчика в целом характеризуется одновременно несколькими определяющими параметрами (например, для датчика давления это могут быть одновременно и прочность корпуса x_1 , и герметичность корпуса x_2 , и чувствительность мембраны x_3 и др.), используется многомерная модель отказа. Тогда условие безотказности принимает вид:

$$\left. \begin{array}{l} P(x_1^{\text{KP}} - x_1^{\text{Д}} = u_1 > 0) \\ P(x_2^{\text{KP}} - x_2^{\text{Д}} = u_2 > 0) \\ \dots\dots\dots \\ P(x_N^{\text{KP}} - x_N^{\text{Д}} = u_N > 0) \end{array} \right\} = P_j(\Pi_{\text{Д}}), \quad (2.29)$$

где N – число определяющих параметров x_i ($i = 1, N$), которые используются при построении многомерных моделей отказов датчика в целом, его элементов и узлов;

$P_j(\Pi_{\text{Д}})$ – вероятность правильного показания j -го датчика при технически исправном его состоянии.

Параметр $P_{\text{Д}}$ имеет право на существование при выполнении условий, изложенных выше, и когда определяющие параметры x_i датчиковой аппаратуры из условий безотказной работы вычисляются по вероятности безотказной работы датчиков [2]:

$$P_j(\text{Д}) = \prod_{j=1}^n P_j(\Pi_{\text{Д}}), \quad (2.30)$$

где n – число датчиков.

Тогда параметр вероятностный определится по формуле

$$P_{\text{В}} = P_j(\text{Д}) \cdot P_{\text{ПВ}}(x). \quad (2.31)$$

Параметр вероятностной составляющей вероятностно-логической модели запишется:

$$P_{\text{В}} = \prod_{j=1}^n \left. \begin{array}{l} P(x_1^{\text{KP}} - x_1^{\text{Д}} = u_1 > 0) \\ P(x_2^{\text{KP}} - x_2^{\text{Д}} = u_2 > 0) \\ \dots\dots\dots \\ P(x_N^{\text{KP}} - x_N^{\text{Д}} = u_N > 0) \end{array} \right\} B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1 \dots z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\}. \quad (2.32)$$

Если отказы происходят, то для их нахождения нам понадобится за наработку l найти интересующие параметры с помощью наименьшего количества проверок, увеличивая количество датчиков или нахождения логической функции, отвечающей за выбор количества проверок и наиболее рациональный путь для получения функции, что приведет к уменьшению количества датчиков системы и позволит снизить затраты на диагностирование, техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей.

Эффективное применение и развитие диагностирования автомобилей требует дальнейшего совершенствования методов, средств и технологических процессов, а также повышения контролепригодности автомобилей. Поэтому для создания работоспособной модели диагностирования необходимо оптимальное взаимодействие между объективным и субъективным методами определения неисправностей. Это приводит к необходимости получения диагностической информации, которая опирается на взаимосвязь между параметрами диагностирования и обобщенное логическое или аналитическое описание наиболее важных свойств объекта диагностирования.

Такие свойства в производстве реализуются на основе информации о техническом состоянии автомобиля с помощью средств внешнего и встроенного диагностирования. Одним из способов определения необходимых параметров для оценки системы является введение вероятностных характеристик.

Получается, что весь процесс диагностирования представляет собой зависимость между нахождением вероятными неисправностями и логическим отбором необходимых диагностических параметров, следовательно, полная вероятность события заключается в нахождении неисправности элемента, которую можно представить как:

$$P_{\text{вл}} = P_{\text{в}} + P_{\text{л}}. \quad (2.33)$$

Наиболее логическое описание объекта и тем самым инструмент для отслеживания эффективности системы вероятностного и логического диагностирования можно представить с помощью вероятностно-логического коэффициента:

$$K_{\text{вл}} = 1 / (1 + P_{\text{л}} / P_{\text{в}}). \quad (2.34)$$

Объект диагностирования будем рассматривать как преобразование вводимых величин логического диагностирования $Y_{\text{л}}$ в величины реакции объекта логического диагностирования $Z_{\text{л}}$. Работа объекта диагностирования запишется:

$$Z_{\text{л}} = f(Y_{\text{л}}), \quad (2.35)$$

где $Z_{\text{л}}$ – результат выходной величины логического диагностирования;
 $Y_{\text{л}}$ – входная величина для логического диагностирования.

Если объект имеет конечное количество состояний, то:

$$Z_{\text{Л}i} = f(Y_{\text{Л}i}), \quad (2.36)$$

где $Z_{\text{Л}i}$ – результат выходных величин логического диагностирования;
 $Y_{\text{Л}i}$ – входные величины для логического диагностирования.

Чем больше параметров системы будет определено за одну проверку, тем быстрее будут выявлены причины отказа. Однако увеличение числа диагностических параметров значительно усложняет процесс диагностирования. Для решения задачи необходимо на основании данных о надежности объекта выявить связи между его наиболее вероятными неисправностями и числом используемых диагностических параметров.

При исследовании надежности сложных технических систем структура системы обычно представляется как совокупность элементов, имеющих последовательное (рис. 2.2), параллельное (рис. 2.3) или смешанное последовательно-параллельное (рис. 2.4) соединение. Для анализа надежности таких систем разработаны аналитические модели. С точки зрения регламентного обслуживания последовательно-параллельные системы рассматривались в работах [16, 207 и др.]. Основным недостатком описания систем с помощью последовательно-параллельных схем является ограничение по числу элементов. При числе элементов более пяти аналитические зависимости получаются сложными и громоздкими. Поэтому описание структуры сложной системы чаще всего завершается на уровне отдельных агрегатов и узлов без их разложения на отдельные элементы [108, 181, 212, 221]. Такой подход более подходит для анализа высоконадежных систем, таких как радиоэлектронная аппаратура, ракетная техника, атомная энергетика. Для целей проектирования нормативов СТОР такой подход является неприемлемым.

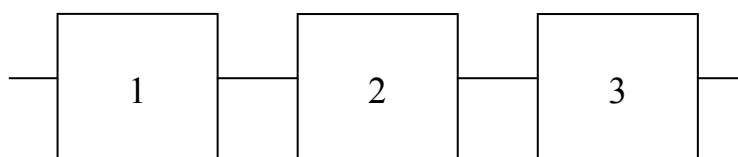


Рис. 2.2. Последовательная структурная модель

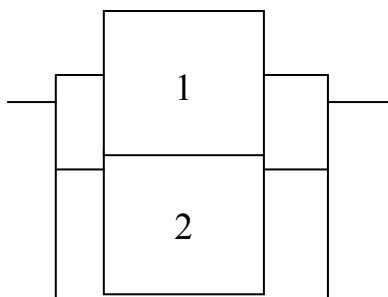


Рис. 2.3. Параллельная структурная модель

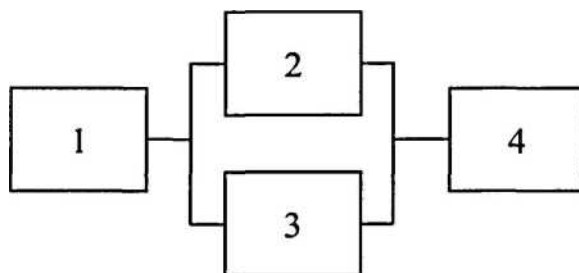


Рис. 2.4. Смешанная последовательно-параллельная структурная модель

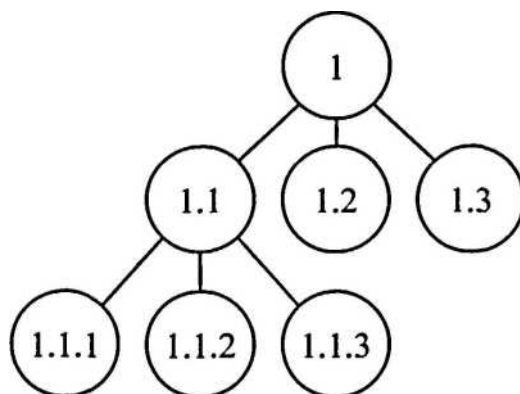


Рис. 2.5. Иерархическая структурная модель

Если для целей анализа конструкции требуется обеспечить полный охват всех элементов, составляющих реальную конструкцию, с учётом их функциональных связей, то единственным способом представления структуры такой конструкции является иерархическое соединение элементов (рис. 2.5). Разработка сложной системы зачастую осуществляется на основе иерархического принципа. Сложные системы состоят из большого числа элементов, которые объединяются в функциональные блоки. Из них, в свою очередь, строятся подсистемы, из которых состоит разрабатываемая система. Нередко отдельные подсистемы, а иногда и блоки сложной системы, проектируются и изготавливаются отдельно. Это предопределяет иерархическую структуру сложных систем и использование иерархических моделей при их исследовании [73, 210, 215].

Иерархическое представление структуры является более универсальным представлением, чем подходы, основанные на последовательно-параллельном соединении элементов. Иерархическое соединение элементов можно рассматривать как последовательное, так как отказ элемента нижнего уровня приводит к отказу элемента верхнего уровня. При желании иерархическое соединение элементов можно рассматривать и как параллельное. В этом случае группу элементов, соединённых параллельно, следует рассматривать как единый элемент. Отказ группы элементов будет определяться в зависимости от различных последствий отказа основного элемента (включение резервного элемента, падение производительности) и типа включаемого резерва.

Исследованию структур сложных технических и организационных систем посвящены работы [146, 151, 184]. Однако пока еще синтез иерархических структурных моделей сложных технических систем осуществляется по эвристическим правилам [87].

Автомобили с точки зрения структурной надежности являются сложной системой. Агрегаты и детали автомобиля имеют значительную вариацию ресурсов, описываемых различными законами распределения – от нормального до экспоненциального законов [112, 115, 181, 221]. Эта особенность автомобильных конструкций предопределяет выбор иерархической структурной модели (ИСМ) автомобиля (агрегата автомобиля) [87].

При синтезе СМ автомобиля необходимо обеспечить выполнение ряда требований: иерархичности, целостности, взаимосвязи, множественности описания, гибкости. СМ позволяет рассматривать сложную техническую систему как систему взаимодействующих элементов [181], технологический процесс и т.д.

При использовании СМ для решения различных задач (например, моделирование производственно-технической базы предприятия, моделирование технологических процессов, синтез СТОР) требуется обеспечить возможность работы на различных уровнях абстракции (детализации). При моделировании производственно-технической базы предприятия достаточным уровнем абстракции будет детализация на уровне агрегатов и механизмов. При синтезе СТОР достаточно детализироваться до уровня деталей. При моделировании технологических процессов капитального ремонта [91] необходимо абстрагироваться до отдельных поверхностей деталей. Абстракция позволяет рассматривать группу элементов (систему или агрегат автомобиля) как отдельный элемент, либо как систему с дифференциацией на составляющие элементы. Из этого вытекает требование *иерархичности*, что выполняется применением для описания структуры автомобиля (агрегата автомобиля) ИСМ.

При построении модели необходимо выполнить требование *целостности*, т. е. охватить все элементы конструкции до заданного уровня абстракции. Исключение какого-либо элемента или группы элементов создает предпосылки появления некорректных результатов при использовании такой модели. Например, при синтезе СТОР только полный охват всех элементов реальной системы обеспечивает обоснованный расчет технико-экономических критериев разграничения перечней [90, 92], а затем полный перебор возможных вариантов перечней на ТО, на основе которого проектируются режимы ТО.

Между элементами исследуемой конструкции существуют различные виды связей, например, функционально-конструктивные связи, логические связи, кинематические связи, динамические связи и другие виды связей. Это свойство модели учитывается требованием *взаимной связи*

элементов. Взаимодействие элементов системы происходит не только между собой, но и с окружающей средой. Учёт тех или иных связей в исследуемой системе диктуется целями исследования и уровнем нашего знания о системе.

При построении модели возникает необходимость рассматривать её с разных точек зрения, рассматривать различные аспекты поведения модели в зависимости от целей исследования. Это требование *-множественность или многоаспектность описания* – связано с требованиями иерархичности и целостности, и его выполнение позволяет добиться адекватности модели при выполнении широкого спектра исследований различной направленности и на её основе получать корректные результаты.

Однако требование множественности описания не предусматривает настройки модели на конкретные задачи исследования. Учёт или, наоборот, игнорирование определенных аспектов поведения модели в зависимости от целей исследования достигается за счет выполнения требования *гибкости* модели.

Синтез ИСМ автомобиля (агрегата или системы) может осуществляться нисходящим, восходящим или двунаправленным методами (рис. 2.6). Синтез нисходящим методом осуществляется сверху вниз, от системы в целом к элементам. При восходящем методе синтез структурной модели происходит, наоборот, снизу вверх, от элементов к системе в целом. С помощью двунаправленного метода структурная модель синтезируется по двум направлениям – от системы в целом к элементам и от элементов к системе в целом.

Сложность синтеза ИСМ заключается в том, что методы синтеза являются «слепыми». Оценка вариантов СМ простейшими качественными методами без глубокого количественного анализа может привести к грубым просчётам. Обоснованный выбор варианта СМ возможно произвести при имитационном моделировании [185].

До настоящего времени еще не разработаны общепризнанные показатели качества СМ [185]. Качество синтезируемой модели и её пригодность для решения задач проектирования нормативов СТОР на этапе синтеза СМ определяется в основном интуицией разработчика. Обычно в качестве критериев качества принимают следующие показатели: число вершин U , число внутренних вершин U_B , число терминальных вершин U_T , число уровней декомпозиции N [146]. Оптимальные значения критериев качества СМ можно получить в результате проведения имитационных экспериментов.

Задача синтеза СМ имеет нетривиальный характер. Одна и та же система может быть представлена разными СМ, отличающимися между собой составом и числом компонент. Поэтому процедура синтеза СМ имеет итерационный характер. Для достижения желаемого вида модели её требуется многократно подвергать анализу и модификации. Использование формальных подходов

при синтезе, анализе и модификации СМ затруднено. Поскольку априорная информация о структуре исследуемой системы трудно поддается формализации, здесь пока господствуют экспертные методы [146]. Синтез, анализ и модификация СМ автомобильных конструкций осуществляется на основе ряда эмпирических правил, отражающих косвенную связь критериев качества СМ с целями исследования. Ряд таких правил был предложен в работе [87]. Перед началом синтеза СМ необходимо изучить функционирование технической системы от начала процесса до его окончания с охватом всех составляющих деталей и определить уровень декомпозиции N .

Эмпирические правила, используемые при синтезе СМ, делятся на три группы: правила декомпозиции, правила усечения, правила останова.

Рассмотрим правило декомпозиции элемента e_i^n n -го уровня:

$$Decomp(e_i^n) = \{e_1^{n+1}, e_2^{n+1}, \dots, e_m^{n+1}\}, \quad (2.37)$$

где m – количество элементов, на которое «расчленяется» элемент e_i^n .

Правило декомпозиции *Decomp* применяется к элементу СМ, который в реальной конструкции представлен сборочной единицей, либо функциональным блоком, которые состоят из совокупности элементов или функциональных подблоков. Правило усечения множества элементов $\{e_1^n, e_2^n, \dots, e_m^n\}$ n -го уровня:

$$Trunc(e_1^{n+1}, e_2^{n+1}, \dots, e_m^{n+1}) = e_i^n, \quad (2.38)$$

где m – количество элементов, подвергаемых усечению.

Усечению могут подвергаться идентичные элементы, работающие в сходных условиях, или элементы, в совокупности составляющие неразборный элемент и непрепятствующий доступу к элементам, замена которых возможна.

Некоторые элементы могут исключаться из СМ, т. е. усекаются до пустого множества $Trunc(e_1^{n+1}, e_2^{n+1}, \dots, e_m^{n+1}) = \emptyset$. Такие ситуации могут возникнуть при уменьшении размерности СМ путем исключения элементов, не представляющих интереса для исследования, например, высоконадежные элементы, возможные отказы которых не ведут к значительным потерям. Отметим, что исключение элементов из СМ может привести к неадекватности модели, и поэтому такое решение должно быть тщательно обосновано.

Правило останова устанавливает невозможность модификации любого множества элементов, в том числе и состоящего из одного элемента:

$$Halt(e_i^n) = 1, npruDecomp(e_i^n) = \emptyset;$$

$$Halt(e_1^n, e_2^n, \dots, e_m^n) = 1, npruTrunc(e_1^n, e_2^n, \dots, e_m^n) = \emptyset.$$

Если операторы *Decomp* и *Trunc* возвращают непустое множество, т.е. $Decomp(e_i^n) \neq \emptyset$ и $Trunc(e_1^n, e_2^n, \dots, e_m^n) \neq \emptyset$, то правило останова формально

не применимо. Однако синтез СМ может прекращаться и в других случаях, например, когда применение правил преобразования СМ возможно, но нецелесообразно. При необходимости такие случаи должны формализоваться правилами останова.

Таким образом, определение состава элементов системы, анализ связей между элементами, определение правил преобразования составляют основу стадии синтеза ИСМ.

ИСМ содержит ряд существенных ограничений.

1) Модель учитывает только один вид отношений – функционально-конструктивные, в то время как в любой структуре их бесконечное множество. Для адекватного описания структуры учет только одного вида отношений может быть недостаточным.

2) Элементами модели являются реальные объекты конструкции автомобиля, имеющие два состояния – работоспособное и неработоспособное. Такое упрощение является существенным и значительно ограничивает применимость и точность модели. Состояние автомобиля определяется не только состоянием составляющих его элементов, но и характером их взаимодействия.

3) Модель трудно модифицируется. Синтез ИСМ является начальным этапом синтеза МЭН и проектирования нормативов СТОР. При внесении изменений в модель требуется заново пересматривать МЭН и производить процедуру проектирования нормативов СТОР.

4) Методы, используемые при синтезе модели, являются эвристическими, поэтому они не гарантируют возникновения ошибок и просчетов. Это ограничение является существенным в условиях сложной модифицируемости модели, т.к. ошибки, возникшие при синтезе ИСМ, переносятся на последующие этапы – синтез МЭН и проектирование нормативов СТОР.

Рассмотрим пути ликвидации отмеченных недостатков ИСМ. Пусть в ИСМ существует некоторое множество отношений $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$. Также введем в ИСМ элементы, которые будем называть фиктивными, потому что они не являются объектами реальной конструкции автомобиля. В качестве фиктивного элемента может выступать фактор, оказывающий существенное влияние на эксплуатационную надёжность исследуемой системы, например, размерная связь, параметр технического состояния, оборудование, персонал. Таким образом, среди фиктивных элементов можно выделить классы. Обозначим множество фиктивных элементов как $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$, тогда классы образуют подмножества в F :

$$F = F_1 \cup F_2 \cup \dots \cup F_n. \quad (2.39)$$

Включение в ИСМ различных классов объектов объясняется необходимостью различного подхода при моделировании их поведения. Так, например, элементы, имеющие только два состояния – работоспособное и неработос-

способное, имеют дискретную модель отказа и для них достаточно моделировать наступление особого состояния, а элементы, состояние которых характеризуется изменением параметра технического состояния, имеют непрерывную модель отказа и для них необходимо моделировать реализации процесса изменения параметра технического состояния.

Таким образом, введение в ИСМ нескольких классов элементов (фиктивных элементов) и использование нескольких типов отношений преобразует её в семантическую сеть [95]. И на самом деле в семантической сети вершины представляют некоторые сущности (объекты, процессы), а дуги – отношения между сущностями, которые они связывают [162, 166, 195]. В связи с тем, что предлагаемая СМ имеет сходство с семантическими сетями (в основе лежат отношения между сущностями), то СМ (2.6) назовем семантической структурной моделью (ССМ). Так на рис. 2.6 показана простая семантическая структурная модель (ССМ). Кружками обозначены элементы, соответствующие объектам реальной конструкции, треугольниками – размерные цепи, прямоугольниками – свойства элементов, характеризующиеся параметрами технического состояния. Дуги помечены отношениями r_1 – «состоит из», r_2 – «имеет размерную цепь» и r_3 – «имеет параметр технического состояния».

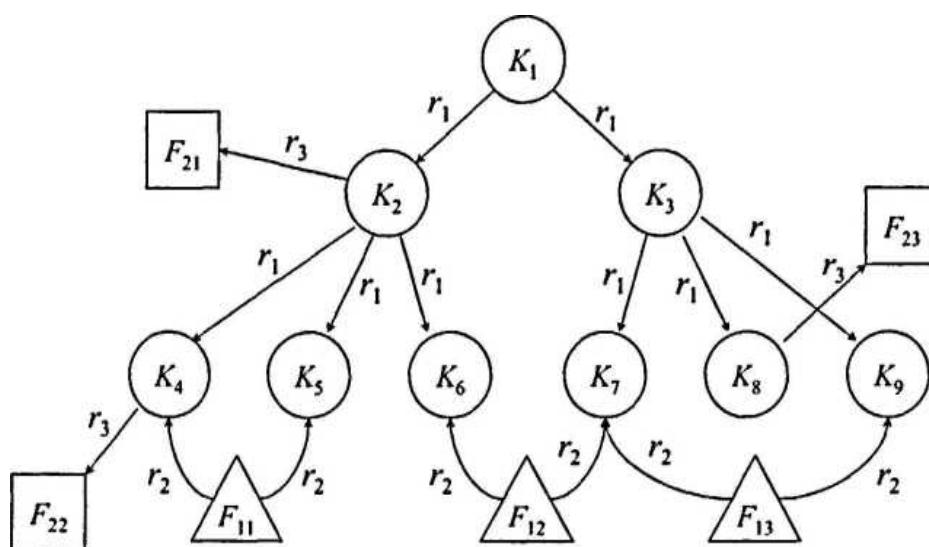


Рис. 2.6. Семантическая структурная модель

Итак, структура задается в виде сети $S(E, R)$, имеющей множество элементов E , связанных отношениями R . Множество элементов E структурной модели S состоит из фиктивных элементов F , которые образуют классы, и нефиктивных элементов K , являющихся объектами реальной конструкции. Между различными классами элементов E структурной модели S возникает некоторое подмножество отношений R_i из R . Например, среди

K -элементов возникает подмножество отношений R_K , среди F -элементов – R_F и т. д. Следовательно, СМ может быть представлена как:

$$S(E, R) = S(K, R_K)US(F_1, R_{F_1})U...US(F_n, R_{F_n}), \quad (2.40)$$

где $S(K, R_K)$ – базовая модель;

$S(F_i, R_{F_i})$ – дополнительная модель.

СМ может упрощаться до базовой модели, которая является необходимым условием её существования. Комбинируя различные дополнительные модели в (2.6), можно «настроить» СМ для решения специфических задач ТЭА [95]. Проблема декомпозиции множества E зависит от специфики решаемой задачи (проектирование нормативов СТОР, технологических процессов, производственно-технической базы и т. д.). С одной стороны декомпозиция E на слишком большое число подмножеств усложняет модель S и увеличивает затраты на её формирование, с другой стороны малое число подмножеств при декомпозиции E может быть недостаточным для гибкости и адекватности синтезируемой модели структуры S . Поэтому можно предположить, что существует оптимальная схема декомпозиции множества E при решении определенного типа задач.

ССМ создает предпосылки для эволюции МЭН. В целом структурный синтез проводится с целью подготовки исходной информации для формализации процесса функционирования системы и выбора необходимой МЭН.

СМ автомобиля (агрегата или системы) представляет основу для синтеза МЭН автомобиля. В свою очередь МЭН является основой для построения системы автоматизированного проектирования нормативов СТОР [115].

Синтез МЭН требует детального изучения особенностей функционирования системы и организации ее эксплуатации. Эта работа трудно поддается формализации, в значительной степени имеет творческий характер, что не позволяет создать единой методики синтеза модели и построения алгоритмов моделирования эксплуатационной надёжности. Имеется ряд приемов и принципов синтеза МЭН эвристического характера [218].

1. Синтезу МЭН должен предшествовать детальный анализ структуры исследуемой системы, процессов её функционирования и обслуживания.

2. СМ устанавливает правила взаимодействия между элементами системы и элементами системы и внешней средой.

3. Процесс функционирования системы делится на ряд основных подпроцессов, взаимодействие которых устанавливается по определённому алгоритму. Дополнительно к основным подпроцессам разрабатываются и включаются в модель дополнительные подпроцессы.

4. Алгоритм моделирования эксплуатационной надёжности носит вероятностный характер. Переходы между состояниями и значения различных параметров технического состояния устанавливаются случайно. При осуществлении одной реализации моделирующего алгоритма обеспечи-

вается уникальный исход одного испытания, т.е. одна реализация равноценна одному испытанию.

5. Алгоритм моделирования эксплуатационной надёжности не должен содержать замкнутых контуров, т.е. в любом случае моделирование должно завершаться за конечное число реализаций с выдачей искомым нормативов.

6. Определяется номенклатура нормативов, для определения которых составляется модель. Разрабатываются блоки обработки результатов и оценки нормативов.

7. Оценка нормативов возможна за счет многократного выполнения моделирования до достижения некоторого необходимого числа реализаций (заданной точности). Поэтому алгоритм должен содержать блоки, устанавливающие критерии окончания реализации и достижения необходимого числа реализации (окончания моделирования).

8. Процесс обслуживания характеризуется режимом и структурой, применяемой СТОР. В модели СТОР формируются основные искомые нормативы.

9. Модель СТОР должна обеспечивать возможность моделирования эксплуатационной надёжности при применении СТОР как с простыми структурами (одно-, двухступенчатыми), так со сложными структурами (многоступенчатыми). Вариативность режимов (периодичностей и перечней ступеней ТО) приводит к значительному увеличению числа возможных вариантов СТОР. Определение оптимальных нормативов возможно перебором различных её вариантов, т.е. задача имеет комбинаторный характер [100]. МЭН включает в себя четыре составные части:

- описание структуры исследуемого объекта в виде ССМ;
 - алгоритмы моделирования надёжности, представляющие собой вероятностную модель процесса функционирования реального объекта;
 - алгоритмы моделирования случайных событий или случайных величин, распределённых по некоторому закону распределения;
 - расчет необходимых нормативов и их статистическое оценивание.
- ССМ, методы её построения применительно к автомобильным конструкциям рассмотрены в предыдущей главе.

Рассмотрим алгоритм моделирования эксплуатационной надёжности без профилактики (см. прил. 1) на примере системы, приведенной на рис. 2.4. Пусть система состоит из семи элементов:

$$E = \langle e_1, e_{11}, e_{12}, e_{13}, e_{111}, e_{112}, e_{113} \rangle. \quad (2.41)$$

Процесс функционирования системы выражается через подпроцессы функционирования её элементов. Моделирование начинается с определения критерия окончания реализации X_R , в качестве которого можно принять наработку окончания эксплуатационных испытаний исследуемого

объекта. Среди элементов множества E определяются элементы, у которых в текущей реализации произойдёт событие отказа, на основе неравенства:

$$R \leq P_e, \quad (2.42)$$

где R – случайное число, равномерно распределенное на интервале $(0,1)$;

P_e – вероятность отказа элемента e .

Пусть множество отказавших элементов будет:

$$E_1 = \langle e_{12}, e_{13}, e_{111}, e_{112}, e_{113} \rangle. \quad (2.43)$$

Для каждого элемента из множества E_1 моделируется наработка на отказ x_i , например, $x_{12}, x_{13}, x_{111}, x_{112}, x_{113}$ (рис. 2.7). Среди наработок всех отказавших элементов множества E_1 находится минимальная наработка на отказ x_{\min} . Для элемента, имеющего минимальную наработку x_{\min} , фиксируется отказ. При выполнении условия $x_{\min} \leq X_R$ рассчитываются основные нормативы – затраты C и трудоёмкость T устранения отказа. Проверяется событие последующего отказа, который произойдет если

$$R \leq P_e'', \quad (2.44)$$

где P_e'' – вероятность последующего отказа элемента e .

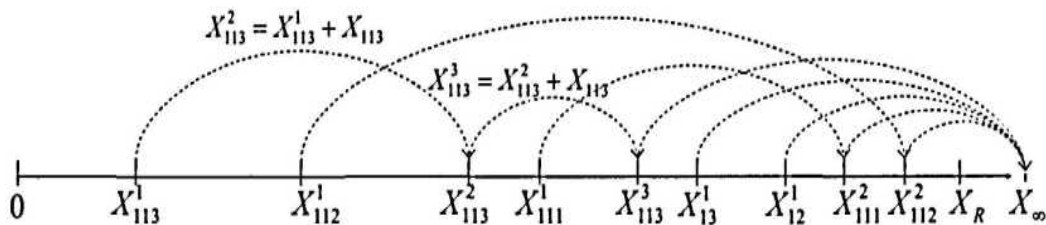


Рис. 2.7. Процесс моделирования эксплуатационной надёжности системы без профилактики

Если отказ произойдет, то в блоке 8 определяется наработка до i -го отказа (рис. 2.8)

$$x_e^i = x_e^{i-1} + x_e, \quad (2.45)$$

где x_e^{i-1} – наработка до $(i-1)$ -го (предыдущего) отказа элемента e ;

x_e – наработка между отказами элемента e ;

x_e^i – наработка до i -го отказа элемента e .

Затем цикл повторяется с поиска минимальной наработки x_{\min} элементов множества E_1 .

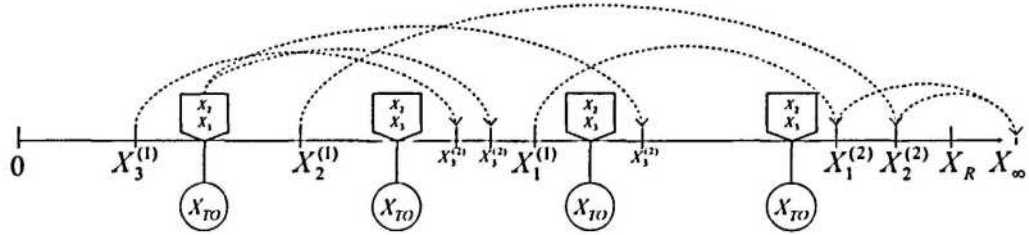


Рис. 2.8. Процесс моделирования эксплуатационной надёжности системы с профилактикой

Реализация заканчивается при выполнении условия $x_{\min} > X_R$. Проверяется условие окончания моделирования, в качестве которого можно задать:

$$\frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1}}{\bar{x}_i} \leq \xi, \quad (2.46)$$

где \bar{x}_i – средняя наработка на отказ за i -е число реализаций;

ξ – погрешность моделирования.

Можно предложить и другие критерии окончания моделирования, например, ресурс автомобиля (агрегата, системы), выраженную через наработку, или превышение удельными затратами некоторого критического значения, либо разовые затраты на одно воздействие.

При выполнении условия (2.46) производится расчёт нормативов – удельных затрат по каждому элементу c_i и по системе в целом c_Σ , удельной трудоёмкости по каждому элементу t_i и по системе в целом t_Σ , средняя наработка на отказ системы \bar{x} и другие – и вывод результатов.

Процедура моделирования эксплуатационной надёжности без профилактики выявляет предельные («наихудшие») значения нормативов. Затем они используются при принятии решений о выборе стратегии обеспечения работоспособности по каждому элементу, для определения структуры СТОР и перечней ступеней ТО, т.е. при формировании модели СТОР. Эффективность принятых решений оценивается с помощью процедуры моделирования эксплуатационной надёжности с профилактикой.

Рассмотрим алгоритм моделирования эксплуатационной надёжности с профилактикой. В начале, как и в алгоритме моделирования эксплуатационной надёжности без профилактики, определяются критерий окончания реализации X_R множество отказавших элементов E_1 , наработки элементов множества E_1 и определяется элемент, имеющий минимальную наработку на отказ x_{\min} . Если минимальная наработка на отказ x_{\min} не превышает ресурс системы X_R , то проверяется, какое особое состояние наступило – отказ элемента или очередное ТО. В том случае, если особое событие – отказ элемента (рис. 2.8), то определяются нормативы, связанные с устранением отказа, проверяется событие последующего отказа, и при

наступлении события отказа определяется наработка до отказа. Если особое событие – очередное ТО, то определяется ступень ТО, рассчитываются нормативы обслуживания элементов, включенных в перечень данной ступени ТО, по каждому элементу перечня q_i определяется наступление события отказа и наработка до отказа:

$$x_e^i = x_{\text{ТО}i} + x_e, \quad (2.47)$$

где $x_{\text{ТО}i}$ – периодичность i -й ступени ТО;

x_e – наработка между отказами элемента e ;

x_e^i – наработка до i -го отказа элемента e .

Затем цикл повторяется с поиска минимальной наработки x_{\min} элементов множества E_1 .

Критерии окончания реализации и моделирования определяются также как в алгоритме моделирования эксплуатационной надёжности без профилактики.

Сравнение результатов при моделировании эксплуатационной надёжности по разным алгоритмам позволяет оценивать эффективность решений в отношении принятых характеристик системы ТО и ремонта. Предпочтительными являются те решения, при которых целевой критерий оценки эксплуатационной надёжности, например, средняя наработка на отказ \bar{x} , коэффициент технической готовности α_T или средние удельные затраты \bar{c} принимают экстремальные значения.

Составной частью алгоритмов моделирования эксплуатационной надёжности является моделирование случайных событий и случайных величин, распределённых по некоторому закону распределения.

Моделирование некоторого случайного события A , имеющего вероятность $P(A)$, осуществляется с использованием неравенства [38, 74]:

$$P(A) < R, \quad (2.48)$$

где R – случайное число, равномерно распределённое на интервале $(0, 1)$.

Неравенство (2.48) может быть легко обобщено для случая нескольких независимых случайных событий A_1, A_2, \dots, A_k , образующие полную группу событий (рис. 2.9). Тогда сумма вероятностей $P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_k)$ будет равна единице [38, 74].

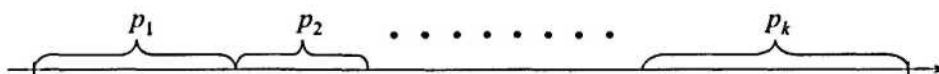


Рис. 2.9. Механизм моделирования события из группы независимых случайных событий

Особый интерес при исследовании надёжности сложных технических систем, а особенно автомобильной техники, представляет возможность моделирования зависимых событий, например, отказов. При этом некоторое случайное событие N является следствием некоторого другого случайного события A . Такую ситуацию можно задать в виде $A \rightarrow N$, где символ \rightarrow означает импликацию. Для моделирования зависимых отказов обычно используется аппарат марковских случайных процессов [67, 68, 85]. Однако такой подход ограничен относительно простыми случаями, поэтому рассмотрим подход с использованием логических моделей [26, 27].

Событие N (из-за чего произошел отказ системы) может произойти из-за неисправности A , а также из-за совокупности независимых неисправностей A_1, A_2, \dots, A_i , объединённых логическими операциями – «и» (\wedge) присутствуют одновременно, «или» (\vee) – присутствует одна из неисправностей обусловленная схожестью диагностических параметров, «не» (\neg) – присутствует неисправность, исключающая возможность существования другой. Вывод события N по схеме «и» запишется следующим образом [44]:

$$A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_i \rightarrow N. \quad (2.49)$$

По схеме «или» запишется, как

$$A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_i \rightarrow N. \quad (2.50)$$

При выводе может использоваться любая совокупность логических операций:

$$A_1 \wedge A_2 \neg A_4 \rightarrow N. \quad (2.51)$$

Это выражение читается следующим образом: если имеем события A_1 и A_2 исключая A_4 , то в результате найдем событие N (из-за чего произошел отказ).

Однако не всегда наличие случайных независимых событий A_1, A_2, \dots, A_i в любом случае приводит к возникновению события N . В некоторых случаях выявить все факторы, влияющие на возникновение события N , невозможно, либо для выявления полной картины возникновения события N потребуются значительные ресурсы, что является неоправданным. Поэтому дополним правила логического вывода условием, при котором оно задействуется, – вероятностью выполнения правила P ($A \rightarrow N$). Тогда вывод события N с вероятностью выполнения правила будем записывать, как

$$A \xrightarrow{P} N, \quad (2.52)$$

где P – вероятность выполнения правила.

Правило будет действовать, если выполнится неравенство $P(A \rightarrow N) \leq P_{\text{пл}}$, где $P_{\text{пл}}$ – параметр логического диагностирования, которое может принимать значения в интервале $(0, 1]$.

Получается:

$$P_{\text{пл}}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in Q \\ 0, & \text{если } x \notin Q \end{cases}, \quad (2.53)$$

где x – параметр неисправности;

Q – некоторое множество параметра неисправности, ограниченное условиями диагностирования.

Из теории надёжности известно, что если отказы элемента имеют случайный характер, т.е. наработка на отказ элемента имеет экспоненциальное распределение ($\nu=1$), то элемент не может быть профилактируемым. Обозначим степень принадлежности элемента x_i к множеству $R(x)$ – чем меньше значение коэффициента вариации ν , тем больше должно быть значение показателя $R(Q)$. Для формулы (2.33) степень принадлежности $P_{\text{пл}}(x)$ запишется, как правило:

$$P_{\text{пл}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } \nu(x) \geq 0,8 \\ 1,6 - 2 \cdot \nu(x), & \text{если } \nu(x) \notin (0,3; 0,8) \\ 1, & \text{если } \nu(x) \leq 0,3 \end{cases}. \quad (2.54)$$

Тогда событие представим с помощью диапазона степеней принадлежности, который разобьем на три интервала, и каждому интервалу поставим в соответствие свою переменную (малое, среднее, большое). Запишем правила следующим образом:

ЕСЛИ $\nu_i(x) = \text{малое}$, ТОГДА $P_{\text{л}}(x) = \text{большое}$ (принимает значения от 0,71 до 1);

ЕСЛИ $\nu_i(x) = \text{среднее}$, ТОГДА $P_{\text{л}}(x) = \text{среднее}$ (принимает значения от 0,5 до 0,71);

ЕСЛИ $\nu_i(x) = \text{большое}$, ТОГДА $P_{\text{л}}(x) = \text{малое}$ (принимает значения от 0 до 0,5).

Здесь $\nu_i(x)$ – коэффициент вариации параметра неисправности; значение $\nu_i(x) = \text{малое}$ – используется не более 2 датчиков включительно; значение $\nu_i(x) = \text{среднее}$ – используется от 3 до 5 датчиков включительно; значение $\nu_i(x) = \text{большое}$ – используется более 5 датчиков.

Тогда получим выражение логического параметра:

$$P_{\text{л}}(x) = P_{\text{пл}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } \nu(x) \geq 0,8 \\ 1,6 - 2 \cdot \nu(x), & \text{если } \nu(x) \notin (0,3; 0,8) \\ 1, & \text{если } \nu(x) \leq 0,3 \end{cases}. \quad (2.55)$$

Если принять во внимание, что вероятностный метод использует опытно-статистические данные о функциональной зависимости параметров состояния в зависимости от наработки составной части или машины в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями, для

каждой неисправности устанавливают вероятность её возникновения и появления каждого симптома. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома. Логический метод основан на косвенных признаках возникновения неисправности, событиях, предшествовавших возникновению дефекта (прохождении технического обслуживания, перечне операций ТО, применяемых материалах при ремонте и эксплуатации, режиме работы машины и т.д.) и последующем анализе. Логический метод поиска неисправностей, позволяющий определять по внешним признакам предполагаемую неисправность, используют для сложных конструктивных элементов. Такой метод не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает высокой зависимостью от человеческого фактора [41, 44, 122]. При создании вероятностно-логического метода мы получим модель, которая позволяет узнавать информацию о состоянии большинства элементов системы одновременно, не прибегая к перебору проверок диагностических параметров элементов отдельно. Коэффициент этой модели:

$$K_{ВЛ} = [B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1...z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\} / [B(x) / \left\{ \begin{array}{l} B_j, \in 1...z \\ z = f(\sum M_j / \sum n_j) \end{array} \right\}] +$$

$$+ \prod_{j=1}^n \left. \begin{array}{l} P(x_1^{KP} - x_1^D = u_1 > 0) \\ P(x_2^{KP} - x_2^D = u_2 > 0) \\ \dots\dots\dots \\ P(x_N^{KP} - x_N^D = u_N > 0) \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ если } v(x) \geq 0,8 \\ 1,6 - 2 \cdot v(x), \text{ если } v(x) \notin (0,3; 0,8) \\ 1, \text{ если } v(x) \leq (0,3) \end{array} \right\}. \quad (2.56)$$

Реализация данной модели предполагает установку на автомобиль системы встроенного диагностирования для наиболее часто выходящих из строя элементов. Для дизельного двигателя таким элементом является топливная система высокого давления.

На примере двигателя это будет выглядеть следующим образом. При обнаружении снижения мощности после проведения экспресс-диагностирования или по заявке водителя автомобиль направляется на диагностирование двигателя. Согласно статистическим данным максимальную вероятность возникновения отказов имеет топливная система, поэтому системой самодиагностики с помощью накладного тензодатчика производится контроль процесса работы топливной аппаратуры. Это позволяет сравнить течение реального процесса работы топливной системы с эталонным. Информация о нарушении протекания процесса в том или ином

элементе также может выводиться на дисплей в автоматическом режиме, что позволяет пользоваться прибором работнику, не имеющему высокой квалификации в области диагностирования. Данная методика позволяет экономить время на поиск неисправностей внутри топливной системы с любой вероятностью их возникновения, что качественно отличает предложенную модель от вероятностного метода, а также снижает влияние человеческого фактора по сравнению с логическим методом. Это позволяет применять предлагаемую вероятностно-логическую модель в системах внешнего и встроенного диагностирования на автомобилях одного или нескольких классов, а также типов подвижного состава.

В нашем случае получим:

$$K_{\text{ВЛ}} = 1 / (1 + 0,95 / 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,25) = 0,19.$$

Аналогично можно произвести расчет для каждого метода (табл. 2.2).

Т а б л и ц а 2.2

Анализ значений коэффициентов моделей диагностирования

Модель	$K_{\text{ВЛ}}$
Без диагностирования	1
Диагностирование с помощью внешних средств	0,78
Диагностирование логическим методом	0,63
Диагностирование с помощью систем встроенных датчиков	0,46
Диагностирование с помощью бортовых систем контроля	0,31
Использование вероятностно-логической модели диагностирования	0,19

На примере двигателя это будет выглядеть следующим образом. При обнаружении снижения мощности системой самодиагностирования с помощью накладного тензодатчика производится контроль процесса работы топливной аппаратуры. Это позволяет сравнить течение реального процесса работы топливной системы с эталонным. Информация о нарушении протекания процесса в том или ином элементе также может выводиться на дисплей в автоматическом режиме, что позволяет пользоваться прибором работнику не имеющего высокой квалификации в области диагностирования.

Если принять во внимание, что:

1) вероятностный метод использует опытно-статистические данные о функциональной зависимости параметров состояния от наработки составной части или машины в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями; для каждой неисправности устанавливают вероятность её возникновения и появления каждого симптома. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома;

2) логический метод основан на анкетировании водителя о косвенных признаках возникновения неисправности, событиях, предшествовавших

возникновению дефекта, и последующем их анализе. Логический метод поиска неисправностей, позволяющий определять по внешним признакам предполагаемую неисправность, используют для сложных конструктивных элементов. Такой метод не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает высокой зависимостью от человеческого фактора, то при создании вероятностно-логической модели получим информацию о состоянии большинства элементов системы одновременно в виде построения графика, не прибегая к перебору проверок отдельных диагностических параметров элементов.

Такая схема возможна как в стационарном, так и в мобильном варианте.

Для определения величины влияния стоимости введем коэффициент издержек вероятностно-логической модели поиска неисправностей.

Выводы

1. При проведении теоретических исследований выдвинуто предположение, что по мере эксплуатации автомобиля и увеличения его пробега с начала эксплуатации, стоимость работ по выявлению отказов и стоимость восстановления работоспособности автомобиля не остаются постоянными, а возрастают. При этом стоимость восстановления работоспособности увеличивается более интенсивно, чем стоимость диагностирования.

2. Диагностирование дизелей должно содержать в себе оптимальное соотношение вероятностной и логической составляющей предложенной модели диагностирования.

3. Разработаны коэффициенты вероятностно-логической модели для изучения рационального диагностирования дизелей разными стратегиями.

4. Разработаны общие принципы поиска неисправностей, отличающиеся от существующих подходов тем, что определение неисправностей осуществляется при помощи внутреннего диагностирования с возможным последующим перебором.

5. Предложена вероятностно-логическая модель поиска неисправностей, преимуществом которой является количественная характеристика перехода от вероятностного к логическому методу поиска неисправностей, а также известен вклад каждого элемента в достижение минимальных удельных затрат группы элементов, что даёт возможность обоснованно принимать решение о неисправности того или иного элемента.

6. Теоретически установлено, что параметры надежности всей системы ниже параметров надежности любого из ее элементов.

7. Анализ коэффициентов позволяет принимать необходимые решения при использовании вероятностно-логической модели на каждом АТП.

3.МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ, ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

3.1. Модель затрат вероятностно-логического диагностирования

В процессе эксплуатации трущиеся сопряжения автомобиля изнашиваются, происходит разрегулировка его систем, узлов и агрегатов, т.е. изменяются значения его структурных параметров, непосредственно характеризующих исправность объекта диагностирования. К ним относят зазоры в сопряжении, величину износа поверхностей детали и другие параметры, измерение которых связано с необходимостью проведения разборочных работ. Это повышает трудоемкость контроля и существенно снижает ресурс контролируемого агрегата. Последнее объясняется появлением дополнительного цикла приработки поверхностей контролируемого сопряжения.

Исходя из исследований А.В. Неговора, изменение структурных параметров сопровождается изменениями параметров рабочих и сопутствующих выходных процессов автомобиля, которые могут наблюдаться и измеряться извне без разборки (или с частичной разборкой) контролируемого агрегата [66].

Возможны четыре метода контроля с последующим восстановлением состояния элементов автомобилей:

- 1) с помощью традиционных внешних средств;
- 2) с помощью систем встроенных датчиков;
- 3) с помощью бортовых систем контроля;
- 4) с помощью саморегулирующих средств.

В связи с этим В.А. Рачкин и И.Н. Хайртдинов [73, 85] отмечают, что для определения эффективности использования первого и второго методов составляют целевые функции, характеризующие зависимость издержек от периодичности диагностирования рассматриваемого элемента автомобиля. Минимум этих функций дает оптимальную периодичность диагностирования, которая определяет минимальные издержки на эксплуатацию и ремонт элемента, включая и затраты на диагностирование.

Целевая функция издержек на диагностирование элемента первым методом, его ремонты и простои в ремонтах в зависимости от периодичности диагностирования на тыс. км пробега имеет вид:

$$И_1(l) = l^{-1} [C_1 + C_1 \cdot A_{инп}(l) + C_{II} \cdot A_{иа}(l) + П \cdot (t_{в1} + t_{п} \cdot A_{инп}(l) + t_a \cdot A_{инп}(l))], \quad (3.1)$$

где C_1 – затраты на одно диагностирование;

C_1 и C_{II} – соответственно затраты на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента;

- Π – удельная чистая прибыль, приносимая автомобилем за 1 час эксплуатации;
 $A_{\text{ип}}(l)$ – автомобили, для которых не будет произведен профилактическое техническое обслуживание на пробеге l ;
 $A_{\text{иа}}(l)$ – автомобили, для которых будет произведен аварийный ремонт на пробеге τ ;
 $t_{\text{в1}}$ – время на одно диагностирование;
 $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{а}}$ – соответственно время, отведенное на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента.

Для второго метода диагностирования целевая функция издержек имеет вид:

$$\begin{aligned}
 I_2(l) = l^1 [C_2 + C_1 \cdot A_{\text{ип}}(l) + C_{\text{п}} \cdot A_{\text{иа}}(l) + \Pi \cdot (t_{\text{в2}} + t_{\text{п}} \cdot A_{\text{ип}}(l) + t_{\text{а}} \cdot A_{\text{иа}}(l))] + \\
 + l \cdot C_{\text{свд}} / T_{\text{свд}}, \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

- где C_2 – затраты на одно диагностирование при использовании систем встроенных датчиков;
 $t_{\text{в2}}$ – время на диагностирование элемента при использовании систем встроенных датчиков;
 $C_{\text{свд}}$ и $T_{\text{свд}}$ – соответственно затраты на систему встроенных датчиков и срок службы систем встроенных датчиков рассматриваемого элемента; остальные обозначения аналогичны обозначениям для первой функции.

По словам А.М. Харазова [83], для первого и второго методов определение технического состояния зависит от периодичности технического обслуживания автомобилей. Поэтому выполнение технического обслуживания, согласно технико-экономическому методу, должно соответствовать минимуму затрат на поддержание и восстановление работоспособности:

$$C_{\Sigma\Sigma} = \sum_{i=1}^k C_{\text{I}i} + \sum_{i=1}^k C_{\text{II}i} \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

- где $C_{\Sigma\Sigma}$ – суммарные удельные затраты на ТО и ремонт k элементов, включенных в перечень ступени ТО;
 $C_{\text{I}i}$ – удельные затраты на ТО i -го элемента;
 $C_{\text{II}i}$ – удельные затраты на ремонт i -го элемента.

Однако, по мнению некоторых ученых, в общем случае оптимальная периодичность обслуживания группы элементов $l_{0\Sigma}$ не будет совпадать с оптимальной периодичностью обслуживания l_{0i} элемента в перечне. Минимальные удельные затраты элемента соответствуют удельным затратам элемента при оптимальной периодичности обслуживания этого элемента, т.е. $C_i(l_{0i}) = C_{i\text{min}}$. Реально элемент будет обслуживаться с групповой перио-

дичностью $l_{0\Sigma}$, а тогда его удельные затраты $C_i(l_{0\Sigma})$ будут больше минимальных затрат $C_{i\min}$ на величину изменения суммарных удельных затрат:

$$\Delta C_i = C_i(l_{0\Sigma}) - C_{i\min}. \quad (3.4)$$

Таким образом, минимальные суммарные издержки при проведении ТО с групповой периодичностью $l_{0\Sigma}$ будут выше тех, которые достижимы в том случае, если профилактические воздействия по каждому элементу будут выполняться с оптимальной для него периодичностью l_{0i} , на величину изменения суммарных удельных затрат по всем элементам перечня, которые определяются из выражения:

$$\Delta C_\Sigma = \sum_{i=1}^k \Delta C_i. \quad (3.5)$$

Величина ΔC_Σ формируется из изменений удельных затрат элементов перечня ΔC_1 . Любое увеличение удельных затрат одного элемента должно компенсироваться уменьшением суммарных удельных затрат другого элемента. Желательно, чтобы эти изменения были минимальны. В качестве периодичности проведения ТО для группы операций выбирается такая периодичность $l_{0\Sigma}$, которая соответствует минимальным изменениям суммарных удельных затрат ΔC_Σ по всем элементам перечня [69], т.е.

$$\sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min. \quad (3.6)$$

Применение встроенного диагностирования позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях.

При применении встроенного диагностирования периодичность технического обслуживания будет величиной динамичной, зависящей от момента достижения агрегатом, системой или деталью допустимого значения параметра состояния.

Ни один из методов группировки операций в перечне не содержит интегрированных оценок обоснованности проведения операций с оптимальной периодичностью l_{0i} , а с периодичностью ступени ТО L_i .

Издержки, соответствующие третьему методу диагностирования, определяют по формуле

$$И_3 = T_{\text{БК}}^{-1} (C_{\text{БК}} + C_{\text{пр}}) + C_{\text{п}} \cdot Q_{\text{в}} + П \cdot t_{\text{п}} \cdot Q_{\text{в}}, \quad (3.7)$$

где $T_{\text{БК}}$ – срок службы системы бортового контроля (СБК);

- $C_{\text{БК}}$ – затраты (стоимость) СБК;
 $C_{\text{пр}}$ – затраты на ремонт и ТО СБК (применительно к рассматриваемому элементу) за срок его службы;
 $Q_{\text{в}}$ – контролируемые части автомобиля, для которых будет произведен профилактический ремонт на каждую тыс. км пробега.

Как известно, при ТЭМ определяется такая периодичность ТО $l_{0\Sigma}$ для перечня операций, которая соответствует минимуму затрат на поддержание и восстановление работоспособности по всем элементам, входящим в этот перечень, с учетом затрат на техническое обслуживание и ремонт БСК:

$$C_{\Sigma\Sigma} = \sum_{i=1}^k C_{\text{Ti}} + \sum_{i=1}^k C_{\text{Pii}} + \sum_{i=1}^k C_{\text{IIIi}} \rightarrow \min, \quad (3.8)$$

- где $C_{\Sigma\Sigma}$ – суммарные удельные затраты на ТО и ремонт k элементов, включенных в перечень ступени ТО;
 C_{Ti} – удельные затраты на ТО i -го элемента;
 C_{Pii} – удельные затраты на ремонт i -го элемента;
 C_{IIIi} – удельные затраты на ТО и ремонт БСК [68].

Однако в общем случае оптимальная периодичность обслуживания группы элементов $l_{0\Sigma}$ не будет совпадать с оптимальной периодичностью обслуживания l_{0i} элемента в перечне. Минимальные удельные затраты элемента соответствуют удельным затратам элемента при оптимальной периодичности обслуживания этого элемента, т.е. $C_i(l_{0i}) = C_{i\text{min}}$. Реально элемент будет обслуживаться с групповой периодичностью $l_{0\Sigma}$, и тогда его удельные затраты $C_i(l_{0\Sigma})$ будут больше минимальных затрат $C_{i\text{min}}$ на величину изменения суммарных удельных затрат:

$$\Delta C_i = C_i(l_{0\Sigma}) - C_{i\text{min}} - C_{\text{III}}. \quad (3.9)$$

Таким образом, минимальные суммарные издержки при проведении ТО с групповой периодичностью $l_{0\Sigma}$ будут выше тех, которые достижимы в том случае, если профилактические воздействия по каждому элементу будут выполняться с оптимальной для него периодичностью l_{0i} , на величину изменения суммарных удельных затрат по всем элементам перечня, которая определяется из выражения:

$$\Delta C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{k-n} \Delta C_i + \sum_{i=1}^n \Delta C_i, \quad (3.10)$$

- где k – общее количество элементов;
 n – количество элементов с периодичностью близкой к оптимальной.

Величина ΔC_{Σ} формируется из изменений удельных затрат элементов перечня ΔC_1 . Ряд авторов отмечают, что любое увеличение удельных затрат одного элемента должно компенсироваться уменьшением суммарных удельных затрат другого элемента [45]. Желательно, чтобы эти изменения были минимальны. В качестве периодичности проведения ТО для группы операций выбирается такая периодичность $l_{0\Sigma}$, которая соответствует минимальным изменениям суммарных удельных затрат ΔC_{Σ} по всем элементам перечня, т.е.

$$\sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min. \quad (3.11)$$

Рассмотрим целевую функцию стандартного ТЭМ:

$$C_{\Sigma \min} = C_1(l_{0\Sigma}) + C_2(l_{0\Sigma}) + \dots + C_k(l_{0\Sigma}) = \sum_{i=1}^k C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min. \quad (3.12)$$

Распишем слагаемые целевой функции:

$$C_i(l_{0\Sigma}) = C_{i \min} + C_{i \text{III}} + C_i(l_{0\Sigma}). \quad (3.13)$$

С учетом (2.12) целевую функцию (2.11) можно переписать:

$$C_{\Sigma \min} = \sum_{i=1}^k (C_{i \min} + C_{i \text{III}} + \Delta C_i(l_{0\Sigma})) = \sum_{i=1}^k C_{i \min} + \sum_{i=1}^k C_{i \text{III}} + \sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma}) \rightarrow \min. \quad (3.14)$$

Первое слагаемое в $\sum_{i=1}^k C_{i \min} + \sum_{i=1}^k C_{i \text{III}} = \text{const}$, поэтому оптимизация целевой функции будет происходить за счёт второго слагаемого $\sum_{i=1}^k \Delta C_i(l_{0\Sigma})$.

Следовательно, результат, получаемый предложенной модификацией ТЭМ, аналогичен результату, получаемому стандартным методом, но создаются предпосылки для оптимизации перечней, т.к. для каждого элемента, возможно, установить диапазон, в котором отклонения периодичности от оптимальной допустимы, а при назначении периодичности ТО вне этого диапазона должно рассматриваться решение об исключении этого элемента из перечня. Если периодичности ступеней кратны друг другу, то определенные таким образом перечни для отдельных ступеней дополнительно необходимо включить в те ступени ТО, периодичности которых кратны [52, с. 131]

Для узлов, подвергающихся саморегулированию, издержки определяются по формуле

$$И_4 = T_{cc}^{-1}(C_{cc} + C_{пр}) + C_{п} \cdot P_{в} + П \cdot t_{п} \cdot P_{в}, \quad (3.15)$$

где T_{cc} – срок службы системы саморегулирования (СС);

C_{cc} – затраты (стоимость) СС;

$C_{пр}$ – затраты на ремонт и ТО СС (применительно к рассматриваемому элементу) за срок его службы.

В данном случае исключаются затраты на техническое обслуживание элементов, подвергающихся саморегулированию.

Минимум из четырех приведенных чисел I_1, I_2, I_3, I_4 указывает на наиболее целесообразный метод диагностирования или саморегулирования.

В настоящее время автомобили оснащаются бортовыми и встроенными системами диагностирования, при этом не теряют актуальности и традиционные системы внешнего диагностирования [44, с. 131]. Кроме того, начинают внедряться в конструкцию автомобилей элементы, регулирующие состояние механизмов без проведения дополнительных работ. В связи с этим при выборе диагностических параметров необходимо определить, какие из них целесообразно контролировать бортовыми системами, какие – с помощью внешних средств технического диагностирования, а какие должны подвергаться саморегулированию.

Повышение эффективности функционирования подвижного состава автотранспортного предприятия обеспечивается своевременным техническим обслуживанием и ремонтом на основе диагностирования автомобилей [86]. Однако не все предприятия обладают современным оборудованием для оценки технического состояния автомобилей, кроме того, периодичность контроля такова, что имеется возможность эксплуатации автомобилей с состоянием, требующим технического обслуживания (ТО) или текущего ремонта.

Выводы по пункту 3.1. Анализ целевой функции показывает, что изменения структурных параметров могут измеряться без разборки контролируемого агрегата. Необходимо только правильно установить диапазон измерения отклонений от нормативных и оптимизировать допустимую функцию периодичности проверки системы с уменьшением затрат на обслуживание элементов системы.

Целевая функция издержек на профилактические воздействия без диагностирования элемента с помощью внешних средств имеет вид:

$$I_{\text{бд}} = l^{-1} [C_I \cdot Q_{\text{ип}}(l) + C_{\text{II}} \cdot Q_{\text{ир}}(l) + \Pi \cdot (t_n \cdot Q_{\text{ип}}(l) + t_p \cdot Q_{\text{ир}}(l))], \quad (3.16)$$

где C_d – затраты на одно диагностирование;

C_I и C_{II} – соответственно затраты на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента;

Π – удельная чистая прибыль, приносимая автомобилем за 1 час эксплуатации;

$Q_{\text{ип}}$ – автомобили, для которых не будет произведен профилактическое техническое обслуживание на пробеге ;

$Q_{\text{ир}}$ – автомобили, для которых будет произведен аварийный ремонт;

t_{B1} – время на одно диагностирование;

t_{II} и t_p – соответственно время, отведенное на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента.

Издержки на диагностирование с помощью встроенных систем диагностирования, основанных на вероятностно-логическом методе, определяют по формуле

$$I_{\text{В-ЛД}} = I^{-1} \left[(C_{\text{всд}} + C_{\text{првсд}}) + C_{\text{II}} \cdot Q_{\text{ир}} + \Pi \cdot t_p \cdot Q_{\text{ир}} \right], \quad (3.17)$$

где $C_{\text{всд}}$ – стоимость встроенной системы диагностирования;

$C_{\text{првсд}}$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание встроенной системы диагностирования за срок ее службы.

Для определения величины влияния стоимости коэффициент издержек вероятностно-логического метода в общем виде можно записать, как

$$K_{\text{И-В-Л}} = \frac{I_{\text{В-ЛД}}}{I_{\text{БД}}}, \quad (3.18)$$

где $I_{\text{В-ЛД}}$ – издержки вероятностно-логического диагностирования;

$I_{\text{БД}}$ – издержки без диагностирования.

Тогда коэффициент издержек для встроенной системы диагностирования определится по формуле:

$$K_{\text{И-В-Л}} = \frac{(C_{\text{всд}} + C_{\text{првсд}}) + C_{\text{II}} \cdot Q_{\text{ир}} + \Pi \cdot t_p \cdot Q_{\text{ир}}}{C_{\text{I}} \cdot Q_{\text{ип}} + C_{\text{II}} \cdot Q_{\text{ир}} + \Pi \cdot (t_n \cdot Q_{\text{ип}} + t_p \cdot Q_{\text{ир}})}. \quad (3.19)$$

Исходя из определенных нами коэффициентов (табл. 3.1) вероятностно-логического метода рассмотрим стратегии диагностирования к автомобилям КАМАЗ с дизельными двигателями и многоплунжерными насосами.

Т а б л и ц а 3.1

Анализ значений коэффициентов моделей диагностирования

Модель	$K_{\text{И}}$
Без диагностирования	1
Диагностирование с помощью внешних средств	0,71
Диагностирование с помощью систем встроенных датчиков	0,62
Диагностирование логическим методом	0,54
Диагностирование с помощью бортовых систем контроля	0,25
Использование вероятностно-логической модели диагностирования	0,11

Анализируя таблицу, видим, что наиболее приемлемым методом в нашем случае является диагностирование с применением вероятностно-логической модели, что позволяет не только существенно снизить затраты, но и отыскать причину неисправности.

Простой подвижного состава из-за технических неисправностей вызывает большие потери в народном хозяйстве, из-за несвоевременного и некачественного технического обслуживания транспорта снижается эксплуатационный ресурс техники, повышается расход горючесмазочных материалов и уровень загрязнения воздушной среды отработанными газами.

3.2. Модель затрат динамической системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей

Экономический анализ опыта развитых стран, где успешно решен производственный вопрос одним из главных условий динамичного развития автотранспортных предприятий является обеспечение пропорциональности и сбалансированности всех его составляющих: сферы производства, средств производства и обслуживания.

Производительность труда на автомобильном транспорте находится в прямой зависимости от технического состояния автомобилей и их готовности надежно, качественно, экономично и безопасно осуществлять транспортный процесс. Состояние автомобилей, в свою очередь, зависит от организации, технологии и качества выполнения работ при диагностировании, техническом обслуживании и ремонте. В связи с возможностью определения неисправности без разборки, они при регулярном диагностировании выявляются до наступления отказа, что позволяет планировать их устранение, предотвращает прогрессирующее изнашивание деталей и снижает общие расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт. Диагностирование способствует также уменьшению расхода топлива и загрязнению окружающей среды, повышению безопасности движения, технической готовности автомобильного парка и других технико-экономических показателей его использования.

Экономическая сторона диагностирования говорит о больших её возможностях. Достаточно сказать, что срок окупаемости затрат в зависимости от степени механизации и мощности предприятия не превышает трех лет. Рост численности парка машин и количества автомобилей приводит к необходимости увеличения производительности технологического оборудования, что вызывает необходимость совершенствования этого оборудования.

Повышение эффективности функционирования подвижного состава автотранспортного предприятия обеспечивается своевременным техническим обслуживанием и ремонтом на основе диагностирования автомобилей. Однако периодичность контроля такова, что имеется возможность эксплуатации автомобилей с состоянием, требующим технического обслуживания, или оно проводится до наступления допустимого состояния элемента автомобиля. Это приводит к неисправностям автомобиля или не полному использованию ресурса отдельных агрегатов, систем и деталей автомобилей, к значительным материальным затратам.

Возможны пять методов формирования системы технического обслуживания и ремонта с последующим восстановлением состояния элементов автомобилей:

- система по потребности;

- планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта без диагностирования;
- планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта с диагностированием;
- динамичная система;
- система саморегулирования.

Для определения эффективности использования методов определяем суммарную функцию, характеризующую зависимость издержек систем технического обслуживания и ремонта автомобиля.

$$\sum I_i = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5, \quad (3.20)$$

где I_i – издержки одного из методов формирования системы ТО и Р

I_1 – издержки системы саморегулирования;

I_2 – издержки системы динамичной;

I_3 – издержки системы планово-предупредительной с диагностированием;

I_4 – издержки системы планово-предупредительной без диагностирования;

I_5 – издержки системы по потребности.

Для систем подвергающихся саморегулированию издержки определяются по формуле

$$I_1 = C_{cc} + C_{прсс}, \quad (3.21)$$

где C_{cc} – затраты (стоимость) саморегулирующей системы;

$C_{прсс}$ – затраты на ремонт саморегулирующей системы (применительно к рассматриваемому элементу).

В данном случае исключаются затраты на техническое обслуживание элементов подвергающихся саморегулированию.

Для динамичной системы техническом обслуживания и ремонта периодичность технического обслуживания будет величиной динамичной, и зависеть от момента достижения агрегатом, системой или деталью допустимого значения параметра состояния.

Ни один из методов группировки операций в перечне не содержит интегрированных оценок обоснованности проведения операций с оптимальной периодичностью l_{0i} , а с периодичностью ступени технического обслуживания L_i .

$$I_2 = (C_I + C_{II}) + П (t_{п} A_{инп} + t_{тр} A_{итр}) + (C_{всд} + C_{првсд}), \quad (3.22)$$

где C_I и C_{II} – соответственно затраты на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт элемента;

$П$ – удельная чистая прибыль, приносимая автомобилем в процессе эксплуатации;

- $A_{ип}$ – автомобили, для которых не будет произведен профилактическое техническое обслуживание;
- $A_{итр}$ – автомобили, для которых будет произведен аварийный ремонт на пробеге τ ;
- $t_{п}$ и $t_{тр}$ – соответственно время, отведенное на профилактическое техническое обслуживание и аварийный ремонт;
- $C_{всд}$ – затраты (стоимость) на встроенную систему диагностирования;
- $C_{првсд}$ – затраты на ремонт и профилактическое техническое обслуживание встроенной системы диагностирования за срок службы автомобиля.

В настоящее время автомобили оснащаются бортовыми и встроенными системами диагностирования, при этом не теряют актуальность и традиционные системы внешнего диагностирования. Кроме того, начинают внедряться в конструкцию автомобилей элементы, регулирующие состояние механизмов без проведения дополнительных работ. В связи с этим при выборе диагностических параметров необходимо определить, какие из них целесообразно контролировать бортовыми системами, какие – с помощью внешних средств технического диагностирования, а которые должны подвергаться саморегулированию.

Планово-предупредительная с диагностированием:

Применение диагностирования позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях:

$$I_3 = (C_I + C_{II}) + \Pi(t_{п} A_{ип} + t_{тр} A_{итр}) + C_d, \quad (3.23)$$

где t_d – время на одно диагностирование;

C_d – затраты на одно диагностирование.

При планово-предупредительной системе без диагностирования:

$$I_4 = (C_I + C_{II}) + \Pi \cdot (t_{п} A_{ип} + t_{тр} A_{итр}). \quad (3.24)$$

При формировании системы технического обслуживания по потребности издержки примут вид:

$$I_5 = C_{II} + \Pi t_{тр} A_{итр}. \quad (3.25)$$

Минимум этих функций дает оптимальную систему технического обслуживания и ремонта, которая определяет минимальные издержки на эксплуатацию и ремонт автомобиля.

Общие суммарные затраты для всех систем технического обслуживания и ремонта определяются по формуле

$$\sum I_i = (C_I + C_{II} + C_d) + \Pi \cdot (t_{п} A_{ип} + t_{тр} A_{итр} + t_d A_{ид}) + (C_{всд} + C_{првсд}) + (C_{сс} + C_{прсс}). \quad (3.26)$$

Чем больше параметров системы технического обслуживания и ремонта мы будем знать, тем быстрее будет проведено профилактическое воздействие. Необходимо определить, какая из систем наиболее эффективна для предприятия. Поэтому для решения данной задачи необходимо на основе данных о издержках выявить связи между его наиболее вероятными затратами и определить наименьшие.

Если принять во внимание, что динамичная система технического обслуживания и ремонта использует опытно-статистические данные, о функциональной зависимости параметров состояния в зависимости от наработки составной части или автомобиля в целом, о возможных комбинациях симптомов и их связях с неисправностями для каждой неисправности устанавливают вероятность её возникновения и появления каждого симптома. По полученным материалам разрабатывают программу поиска данной неисправности, который ведут в порядке убывания вероятности возникновения различных отказов, характерных для данного симптома, а также используют анкетирование водителя о косвенных признаках возникновения неисправности, событиях предшествовавших возникновению дефекта (прохождении технического обслуживания, перечне операций технического обслуживания, применяемых материалах при ремонте и эксплуатации, режиме работы машины и т. д.) и последующем анализе. Логический метод поиска неисправностей используют для сложных конструктивных элементов, позволяющий определять по внешним признакам предполагаемую неисправность. Такой метод не требует применения дополнительного диагностического оборудования, обладает невысокой трудоёмкостью, не требует от проводящего диагностирование высокой квалификации и специальных знаний, но обладает высокой зависимостью от человеческого фактора.

Данная система технического обслуживания и ремонта позволяет экономить время на поиск неисправности внутри системы с любой вероятностью их возникновения и прогнозировать момент выхода из строя элемента автомобиля.

Для определения величины влияния стоимости введем коэффициент издержек системы диагностирования:

$$K_{И_i} = \frac{И_i}{\sum И_i}. \quad (3.27)$$

Для определения величины влияния стоимости коэффициент издержек для динамичной системы можно записать как:

$$K_{И_2} = \frac{И_2}{\sum И_i} \quad (3.28)$$

Тогда коэффициент издержек для динамичной системы ТО и ТР определится по формуле

$$K_{И_2} = \frac{(C_I + C_{II}) + П \cdot (t_{п} A_{ип} + t_{тр} A_{итр}) + (C_{всд} + C_{пр всд})}{\left[(C_I + C_{II} + C_d) + П \cdot (t_{п} A_{ип} + t_{тр} A_{итр} + t_d A_{ид}) + (C_{всд} + C_{пр всд}) + (C_{сс} + C_{пр сс}) \right]}. \quad (3.29)$$

Чем больше издержки диагностирования и меньше коэффициент издержек, тем менее экономичный процесс, применяемый для эксперимента.

Исходя из определенных коэффициентов издержек (табл. 3.2) системы технического обслуживания и ремонта рассмотрим стратегии диагностирования к автомобилям с дизельными двигателями и многоплунжерными насосами.

Т а б л и ц а 3.2

Анализ коэффициентов издержек

Метод	$K_{И}$
По потребности	0,81
Планово-предупредительная без диагностирования	0,72
Планово-предупредительная с диагностированием	0,52
Динамичная	0,39
Саморегулирования	0,27

Исходя из анализа таблицы мы видим, что наиболее приемлемой системой является «Саморегулирование», что позволяет существенно снизить затраты, исключить диагностирование и техническое обслуживание. Но на данном этапе развития автомобильного транспорта такая система не может быть применима ко всем элемента автомобиля, поэтому наибольший эффект от применения за динамичной системой.

Правила определения системы можно модифицировать в коэффициенты, что позволяет оценить различные стратегии технического обслуживания и ремонта и выбрать оптимальную для каждого автотранспортного предприятия. Анализ значений коэффициентов позволяет выбрать исходные данные для эксперимента.

Эти данные позволяют сделать следующие практические выводы.

Предупреждение отказов, как правило, более выгодно, чем ожидание отказа и последующий ремонт.

Для современного автомобиля наиболее целесообразна система с двумя-тремя видами технического обслуживания, так как при такой структуре системы удельные затраты на техническое обслуживание и ремонт с учетом организационных минимальны. Это подтверждается многолетним опытом автомобильного транспорта России и других стран. В России наиболее распространенной в настоящее время является трехступенчатая система технического обслуживания: ежедневное обслуживание (ЕО), технические

обслуживания номер один и два (ТО-1 и ТО-2) (с которым может совмещаться СО – сезонное обслуживание). В США, по данным обследования лучших по организации инженерно-технической службы предприятий, трехступенчатую систему, (А, В, С).

Для предприятий с недостаточно организованным техническим обслуживанием (невыполнение перечня, несоблюдение периодичностей) в качестве первого этапа исправления ситуации может быть рекомендована одноступенчатая система технического обслуживания и ремонта с последующим переходом к двум и трем ступеням.

Сокращение организационно-управленческих затрат на реализацию системы (применение персональных электронно-вычислительных машин при учете и планировании, подготовки производства и др.) позволяет по экономическим критериям увеличить число видов технического обслуживания автомобиля, т.е. приблизиться к оптимальным периодичностям отдельных операций.

В перспективе сначала для грузовых автомобилей большой грузоподъемности и автобусов большой вместимости, а затем и для большинства коммерческих автомобилей возможна реализация индивидуальной системы и нормативов технического обслуживания и ремонта для конкретных автомобилей или их групп, работающих в сходных условиях эксплуатации.

Основой такого индивидуального варианта системы будет служить:

- повышение надежности автомобилей и соответствующее увеличение периодичностей технического обслуживания и ремонта;
- контроль за возрастной структурой парка;
- совершенствование системы учета и анализа надежности, затрат, доходов и расходов;
- бортовая система учета работы и диагностирования технического состояния автомобиля.

Проведение перечисленных и других технических и организационных мероприятий способствует повышению производительности труда при проведении технических обслуживаний и ремонтов подвижного состава, обеспечивает сокращение трудовых и материальных затрат.

Вывод по пункту 3.2. Правила поиска неисправностей и формирования системы технического обслуживания и ремонта можно модифицировать в коэффициенты вероятностно-логической модели встроенного диагностирования и динамичной системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей, что позволяет оценить различные стратегии подходов диагностирования и выбрать оптимальный для каждого АТП. Выведенные коэффициенты позволяют нам описать сложный процесс между параметрами, а также создать комбинированную методику принятия решений с использованием конечных данных в виде решения коэффициентов в вероятностно-логической и динамичной модели. Анализ значений коэффициентов позволяет нам выбрать исходные данные для эксперимента.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Общая методика исследований

Экспериментальные исследования проводились с целью сбора данных для формирования модели эксплуатационной надёжности, а также практической апробации теоретической методики, описанной во второй главе. Для этого эксперимент проводился на двух различных предприятиях автомобильного транспорта: ФГУП «УДС № 5 при Спецстрое России» (г. Рязань) и ООО «Опора +» (г. Пенза), ООО «РБА-Пенза».

Структурная схема методики экспериментальных исследований приведена на рис. 4.1. В соответствии с этой методикой на первом этапе производился выбор и обоснование объектов исследования, выбор плана проведения испытаний и определение объёма статистических наблюдений.



Рис. 4.1. Структурная схема методики экспериментальных исследований

На втором этапе производился анализ организации работы предприятий, на которых проводился эксперимент, их документооборота, систем учёта и информационного обеспечения. Для проведения экспериментальных исследований на предприятии должен быть налаженный документооборот, позволяющий получать достоверную информацию по отказам и неисправностям, выполняемым работам ТО и ремонта, их трудоёмкости. Производственно-техническая база предприятия, на котором проводится эксперимент, оснащение технологическим оборудованием и инструментом, нормативно-технологическое обеспечение должно обеспечивать качественное и своевременное выполнение ТО и ремонта испытуемого объекта.

На третьем этапе на основе теоретических исследований определялся качественный состав необходимой информации, которую нужно получить в ходе пассивного эксперимента. Состав этой информации следующий:

- количественные характеристики безотказности элементов объектов эксплуатационных испытаний;
- количественные характеристики ремонтпригодности элементов объектов эксплуатационных испытаний;
- данные о стоимости элементов структуры объектов эксплуатационных испытаний;
- экспертные знания о формировании отказов и неисправностей, о взаимосвязи элементов структуры и объектов эксплуатационных испытаний.

Система информационного обеспечения методики экспериментальных исследований максимально унифицировалась с системой информационного обеспечения, действующей на предприятиях, на которых проводился эксперимент.

Пассивный эксперимент заключался в получении информации о безотказности и ремонтпригодности автомобилей КАМАЗ.

Затем проводилась подготовка данных для проектирования программного продукта.

Вывод по пункту 5.1. Необходимо создать экспериментальный массив из отказов для элементов автомобилей, использующих планово-предупредительную и вероятностно-логическую стратегию на малых АТП, и следовать пунктам общей методики исследования.

4.2. Обоснование плана и объема исследований

Произведем обоснование плана и объёма испытаний. Сложившаяся на автомобильном транспорте система сбора и обработки информации по эксплуатационной надёжности основана на системе ГОСТов. Существует ряд рекомендательных документов, которые отражают этапы создания подконтрольных выборок автомобилей, их объёмы, требования к ним и т.д.

Эти документы послужили основой для разработки методики эксплуатационного эксперимента.

На автомобильном транспорте часто используют план испытаний NRT по ГОСТ 27.502, где N – число объектов в выборке; R – отказавшие изделия не восстанавливаются, а заменяются; T – наработка на критерий прекращения испытаний. В плане NRT неизвестными являются две величины – число объектов наблюдений и величина критерия прекращения испытаний. Согласно ГОСТ 27.502 объём выборки зависит от вида закона распределения наработки на отказ, доверительной вероятности β и относительной ошибки δ .

Наработки на отказ в гарантийный период по данным обычно подчиняются экспоненциальному закону распределения или близкому к нему. Коэффициент вариации v в этом случае равен 0,8–1,2. Экспоненциальное распределение является частным случаем распределения Вейбулла, поэтому для автомобилей при определении объёма подконтрольной выборки за основное распределение берём распределение Вейбулла.

Тогда N будет определяться по параметрическому методу по формуле:

$$(\delta + 1)^b = \frac{2N}{\chi_{1-\beta; 2N}^2}, \quad (4.1)$$

где δ – относительная ошибка;

b – параметр формы распределения Вейбулла;

$\chi_{1-\beta; 2N}^2$ – квантиль распределения, соответствующей доверительной вероятности β и числу степеней свободы $2N$.

Коэффициент вариации v связан с параметром формы b распределения. По данным коэффициент вариации v распределения Вейбулла находится в интервале 0,33–1,0. Это соответствует параметру формы b в пределах 0,3–0,5–1,0.

Величина доверительной вероятности β выбирается из ряда 0,8, 0,9, 0,95, 0,99. Для нашего случая примем $\beta = 0,9$. Воспользовавшись таблицами, найдем величину N зависимости от относительной ошибки δ .

При $\delta = 0,1$ минимальный объём выборки N для проведения эксплуатационных испытаний равен 46.

На случай непредвиденных ситуаций при подконтрольной эксплуатации и для повышения точности результатов минимальный объём выборки рекомендуется увеличивать на 5 %. Поэтому увеличим исходную расчётную минимальную выборку. Примем окончательный объём выборки не менее 48 для проведения испытаний на безотказность автомобилей.

Выбор топливной системы в качестве предмета исследования объясняется следующими причинами. Топливная система является относительно

сложным агрегатом, однако значительно более простым, чем двигатель, что облегчает анализ её надёжности.

Автомобили, на которых была установлена встроенная система диагностирования, выполняли перевозку строительных материалов и сыпучих грузов в г. Пензе и г. Рязани. В целом эксплуатация автомобилей КАМАЗ поводилась в соответствии с «Руководством по эксплуатации» и «Положением о техническом обслуживании и ремонте автомобилей». Техническое обслуживание выполнялось в полном объёме. Замена масла производилась регулярно.

Вывод по пункту 4.2. Согласно подконтрольной выборке нам необходимо по каждому направлению произвести 48 испытаний на безотказность автомобилей и сделать отбор для дальнейшего анализа с помощью вероятностно-логической модели.

4.3. Общее назначение и цели выполнения экспериментальных исследований

В процессе проведения экспериментальных исследований по сбору статистического материала по отказам элементов автомобилей КАМАЗ, кроме отказов по двигателю, рассматривались отказы по трансмиссии, ходовой части, тормозной системе, рулевому управлению и электрооборудованию.

Среди всех вышедших из строя элементов отказы по двигателю, трансмиссии, ходовой части, тормозной системе, рулевому управлению и электрооборудованию распределились следующим образом: двигатель – 39 %, трансмиссия – 18 %, электрооборудование – 9 %, тормозная система – 16 %, рулевое управление – 3 %, гидравлическая система – 6 %, кузов – 1 %.

Собранные статистические материалы позволили выявить, что значительная часть отказов по своим проявлениям и диагностическим показателям указывает на отказы и неисправности в системе высокого давления подачи топлива. Вместе с тем более детальная обработка материалов и проведенные работы по диагностированию и выявлению причин неисправностей позволила сделать заключение, что 39 % отказов действительно относятся к отказам по двигателю, а 38,5 % из них – отказы и неисправности в системе высокого давления подачи топлива.

Так, например, практика работы с автомобилями КАМАЗ позволила выявить, что частый ремонт ТНВД приводит к выходу из строя трубопровода высокого давления в 7 % случаев. Однако эти неисправности устраняются небольшими разборочно-сборочными работами и не требуют технических воздействий на топливную систему высокого давления.

Отказы по ходовой части в очень большой степени связаны с условиями эксплуатации и пробегом автомобилей. Анализ отказов и их распределение по элементам ходовой части позволили выявить, что около 50 %

отказов приходится на неисправности, связанные с выходом из строя задних рессор и реактивных штанг; по 10 % – выход из строя балки передней оси и амортизаторов передней оси, 20 % – передних рессор.

Учитывая, что количество отказов возрастает с увеличением пробега автомобиля с начала эксплуатации, был проведен специальный анализ имеющихся статистических данных, который позволил установить зависимость нарастания отказов от года эксплуатации автомобиля и пробега. Исходные данные были получены в результате обработки статистической информации, собранной в гг. Пензе и Рязани.

Анализ отказов трансмиссии дал возможность получить их распределение. При этом в процессе эксплуатации автомобилей наиболее часто наблюдаются отказы межосевого карданного вала (36,4 %), синхронизаторов делителя, главной передачи среднего моста (по 18,2 %).

Третья позиция по количеству отказов (9,1 %) приходится на привод спидометра, пневмогидроусилитель, подшипник выжимной. Обычно наибольшее их количество (2/3) вызвано работой в тяжелых условиях эксплуатации.

Тормозная система у большинства грузовых автомобилей пневматическая, тем не менее наибольшее количество отказов (по 23,5 %) приходится на тормозные накладки, 17,6 % приходится на компрессор двухцилиндровый. По 11,8 % выходов из строя приходится на тормозной барабан, разжимные кулаки и энергоаккумулятор. Кронштейн энергоаккумулятора, трубопроводы, главный тормозной кран и опорный диск суппорта дают по 7,1 % отказов.

Отказы и их распределение по элементам электрооборудования позволили выявить, что по 25 % отказов приходится на неисправности, связанные с выходом из строя генераторов, стартера, проводки рамной, электромотора отопления кабины.

Анализ отказов гидравлического привода подъемом кузова показал, что в процессе эксплуатации автомобилей наиболее часто наблюдаются отказы насоса НШ-32 (80 %), и 20 % приходится на выход из строя цилиндра гидроподъемника.

С целью получения дополнительной информации об отказах систем управления работой двигателей и уточнения исходных статистических материалов вторая часть экспериментальных исследований проводилась в фирменных сервисных центрах технического обслуживания автомобилей КАМАЗ.

Эксплуатируемые в гг. Пензе и Рязани грузовые автомобили проходят работы по техническому обслуживанию, диагностированию и ремонту на автотранспортных предприятиях.

Вместе с тем при выполнении исследований необходимо было провести изучение отказов элементов топливной системы и выявить основные

причины их возникновения. В связи с изложенным для выполнения работы потребовалось провести сбор статистических данных по отказам и неисправностям элементов дизельных топливных систем автомобилей КАМАЗ при их эксплуатации в различных условиях.

Цель проведения экспериментальных исследований преследовала выявление наиболее слабых элементов дизельных топливных систем, определение их среднего ресурса в эксплуатации и степени влияния на работоспособность всей системы, разработку мероприятий по выявлению и отказов при эксплуатации.

Дополнительно при выполнении исследований необходимо было провести сравнение статистических материалов при эксплуатации автомобилей в различных условиях.

В ходе эксперимента было важно учесть климатические условия, обеспеченность сервисных предприятий достаточным технологическим оборудованием и квалифицированным ремонтным персоналом. По этим причинам для экспериментальных исследований поставлена задача о проведении эксплуатационных исследований на автотранспортных предприятиях гг. Пензы и Рязани.

Вывод по пункту 4.3. Собранные статистические материалы показывают, что значительная часть отказов по своим проявлениям и диагностическим показателям указывает на отказы и неисправности в системе высокого давления подачи топлива. Необходим дальнейший анализ с обоснованными характеристиками объекта исследования и методики проведения исследований.

4.4. Характеристика объекта исследований и методика проведения исследований

В начальный период при проведении экспериментальных исследований в качестве объекта принята дизельная топливная аппаратура грузовых автомобилей российского и белорусского производств КАМАЗ.

Анализ парка дизелей в нашей стране показывает, что подавляющее большинство их оборудовано системами старого образца, более того, новые грузовые автомобили, выпускаемые в нашей стране, оборудуются механическими многоплунжерными ТНВД и позволяют выполнять нормы токсичности Евро I, II.

По этим причинам в процессе сбора статистических материалов потребовалось анализировать топливную систему и трансмиссию в целом и учитывать конструкционные различия между ними. При этом объект исследований (топливная система) рассматривался как система, состоящая из самого ТНВД и его устройств, представляющих прецизионные пары и

исполнительные устройства и (трансмиссия) включающая КПП и главную передачу.

С целью получения наибольшего объема информации об исследуемых объектах грузовых автомобилей методикой исследований предполагалось провести изучение всех обращений на АТП по грузовым автомобилям российского производства при отказах элементов двигателей и трансмиссии.

Методика исследований предполагала регистрацию моделей автомобилей, моделей (типов) двигателей, года выпуска автомобилей, пробега с начала эксплуатации, характеристик проявления отказов при эксплуатации, определение возможных причин появления отказов, а также дополнительных данных, позволяющих дать углубленную характеристику выявленному отказу элементов дизельной топливной системы.

Методика экспериментальных исследований должна была также выявить особенности в отказах элементов дизельной топливной системы при эксплуатации автомобилей в условиях России.

К рассмотрению принимались только автомобили АТП (без учета восстановления отказов в ремонтных мастерских), поэтому основная выборка автомобилей составлена из подвижного состава, выпущенного в 2003–2005 годах.

Вывод по пункту 4.4. Предложенная методика исследований в полной мере позволит узнать, когда и почему происходит отказ в топливной системе дизеля, трансмиссии и научит правильно применять статистические данные для анализа отказов элементов грузовых автомобилей.

4.5. Анализ статистических данных по отказам элементов двигателя и трансмиссии при эксплуатации автомобилей КАМАЗ в условиях гг. Пензы и Рязани

Экспериментальные исследования по сбору, анализу и обработке данных об отказах и неисправностях системы питания дизельных двигателей и трансмиссий, выполненные в г. Пензе и г. Рязани, позволили сделать ряд выводов, характеризующих особенность эксплуатации автомобилей на территории РФ.

Данные, приведенные в прил. 1, указывают на несущественные различия в появлении отказов в процессе эксплуатации автомобилей в условиях г. Пензы и г. Рязани.

Следовательно, фактическое количество отказов и неисправностей в г. Пензе и г. Рязани примерно одинаковое.

Анализ условий хранения и пуска автомобилей в г. Пензе позволил установить следующие данные:

- 1) на открытых организованных стоянках – 85 %;
- 2) в закрытых неотапливаемых гаражах и боксах – 15 %;

Анализ условий хранения и пуска автомобилей в г. Рязани позволил установить следующие данные:

- 1) на открытых организованных стоянках – 78 %;
- 2) в закрытых неотапливаемых зонах ТО и ТР – 22 %;

В ходе выполненных исследований получены данные о пробегах, на которых происходили отказы элементов в процессе эксплуатации автомобилей КАМАЗ (прил. 1, 2).

Выявленные отказы по автомобилям позволили получить закономерности распределения отказов по пробегам. При этом для элементов, отказы по которым имели небольшое количество, обработка информации велась в условиях ее недостатка. В результате выполненных расчетов для элементов топливной системы получены следующие показатели характеристик надежности (табл. 4.1, 4.2, рис. 4.2, 4.3).

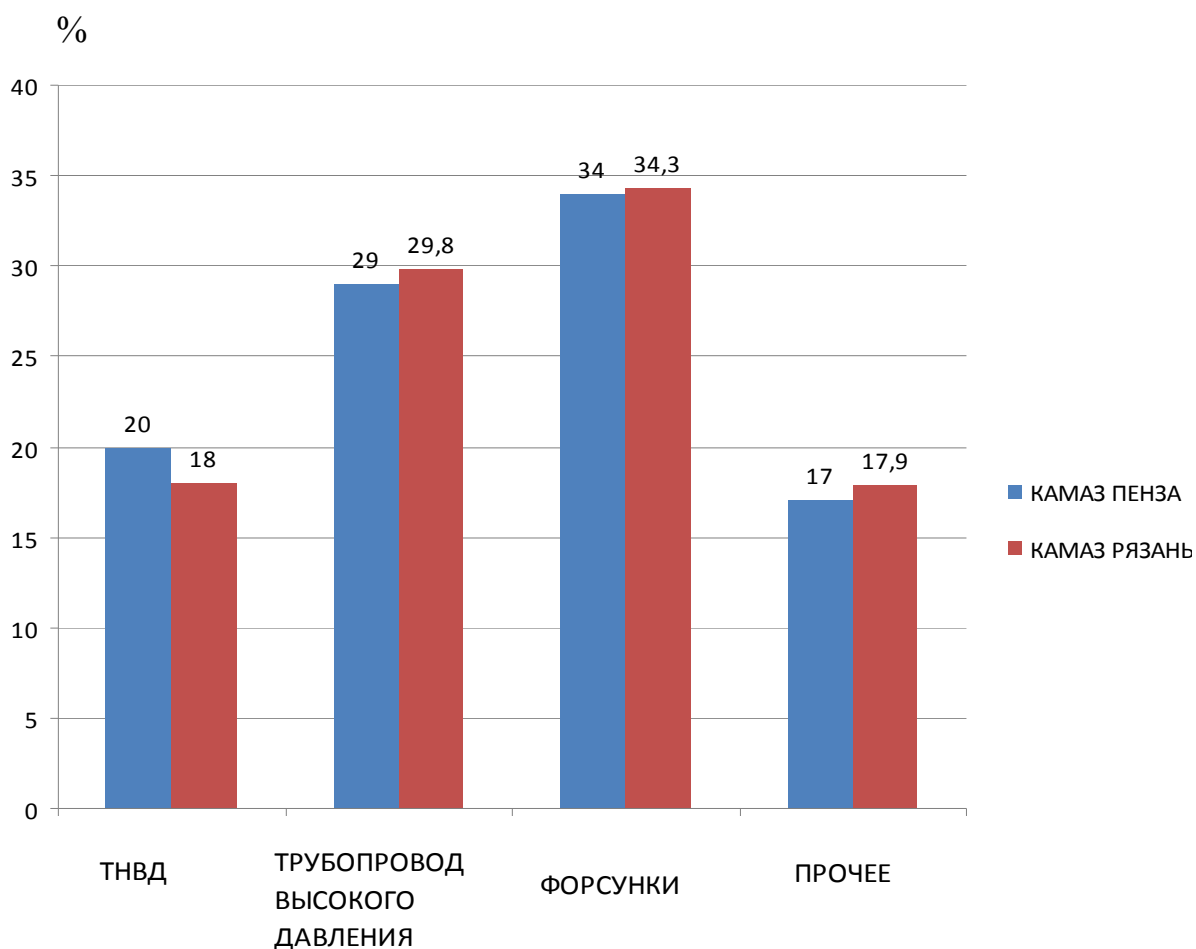


Рис. 4.2. Диаграмма основных неисправностей КАМАЗ для планово-предупредительной системы

Т а б л и ц а 4.1

Отказы дизельной топливной системы
для планово-предупредительной системы

№ п/п	Элементы топливной системы	Процентное содержание отказа	
		г. Пенза	г. Рязань
		КАМАЗ	КАМАЗ
1	2	3	4
1	Топливный насос высокого давления:		
1.1	плунжерная пара	7,1	6,7
1.2	пружина толкателя	2,8	2,3
1.3	пружина нагнетательного клапана	2,6	2,4
2	Нагнетательный трубопровод высокого давления:	7,6	6,7
2.1	крепление трубопроводов	16,2	16,4
2.2	трубки высокого давления	12,8	13,4
3	Форсунки:		
3.1	пружина	11,3	11,2
3.2	игла	12,3	11,9
3.3	крепление форсунки	10,4	11,2
4	Прочее	17	17,9

Т а б л и ц а 4.2

Отказы дизельной топливной системы

№ п/п		Процентное содержание отказа	
		г. Пенза	г. Рязань
		КАМАЗ	КАМАЗ
1	2	3	4
1	Топливный насос высокого давления:		
1.1	плунжерная пара	7,1	6,7
1.2	пружина толкателя	2,8	2,3
1.3	пружина нагнетательного клапана	2,6	2,4
2	Нагнетательный трубопровод высокого давления:	7,6	6,7
2.1	крепление трубопроводов	16,2	16,4
2.2	трубки высокого давления	12,8	13,4
3	Форсунки:		
3.1	пружина	11,3	11,2
3.2	игла	12,3	11,9
3.3	крепление форсунки	10,6	11,2
4	Прочее	17,2	17,9

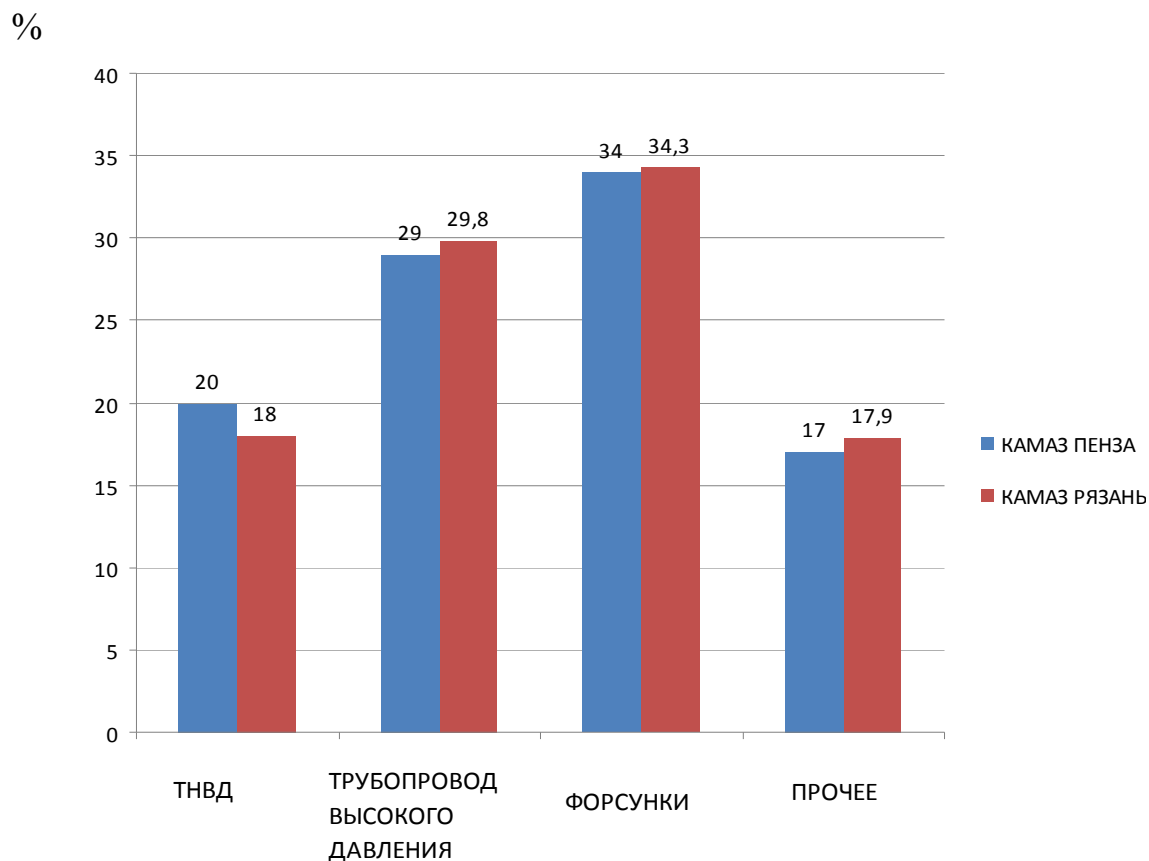


Рис. 4.3. Диаграмма основных неисправностей автомобиля КАМАЗ для вероятностно-логической методики

Средняя наработка на отказ:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (4.2)$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}. \quad (4.3)$$

Коэффициент вариации:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (4.4)$$

На основе указанных формул можно определить среднюю наработку на отказ, а также среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации.

Более подробные данные приведены в прил. 3–8; здесь укажем среднюю наработку на отказ по основным элементам топливной системы.

Статистические и информационные данные, полученные в ходе пассивного эксперимента, позволяют судить об отказах элементов автомобилей (рис. 4.4, 4.5).

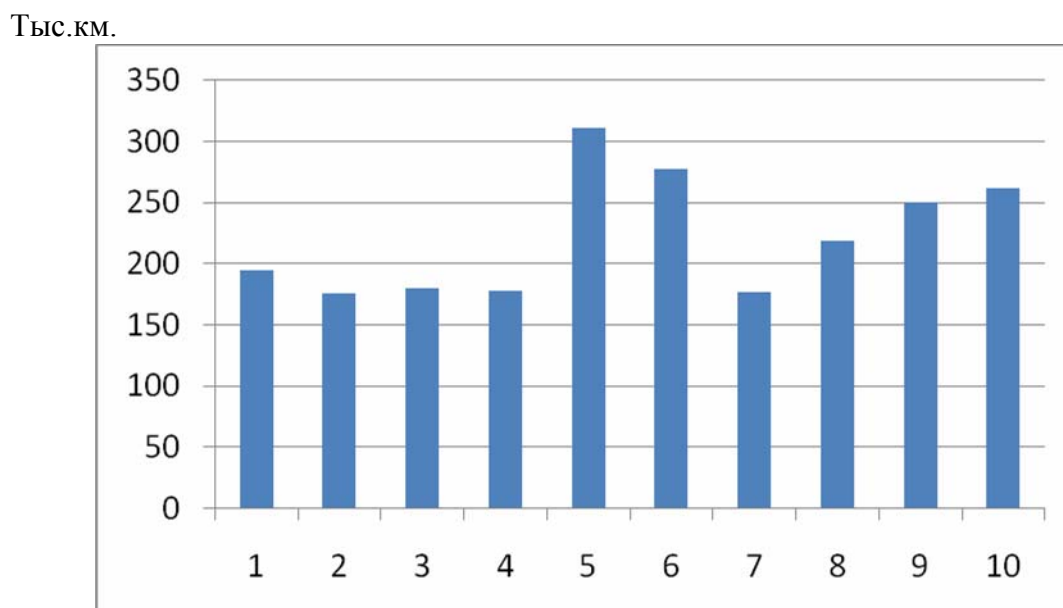


Рис. 4.4. Средняя наработка на отказ топливной системы автомобилей КАМАЗ для планово-предупредительной системы:

- 1 – плунжерная пара; 2 – пружина толкателя; 3 – пружина нагнетательного клапана; 4 – нагнетательный клапан; 5 – крепление топливопроводов; 6 – трубы высокого давления; 7 – пружина форсунки; 8 – игла форсунки; 9 – крепление форсунки; 10 – прочее

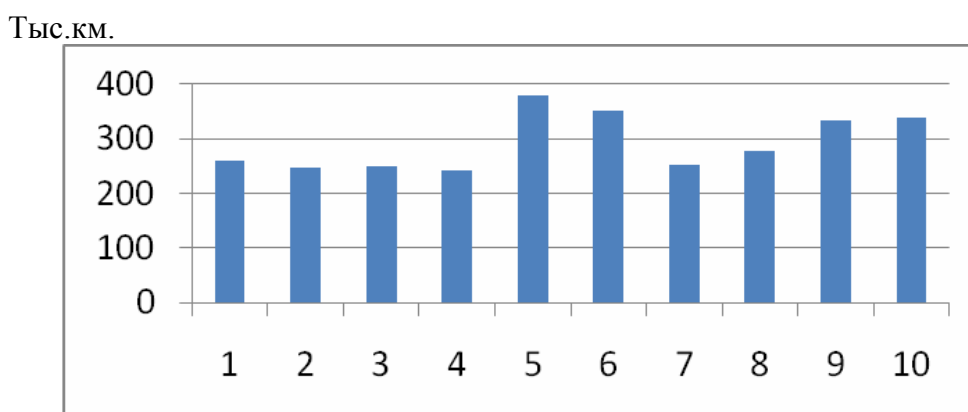


Рис. 4.5. Средняя наработка на отказ топливной системы автомобилей КАМАЗ для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей:

- 1 – плунжерная пара; 2 – пружина толкателя; 3 – пружина нагнетательного клапана; 4 – нагнетательный клапан; 5 – крепление топливопроводов; 6 – трубы высокого давления; 7 – пружина форсунки; 8 – игла форсунки; 9 – крепление форсунки; 10 – прочее

Как видно из приведенных выше данных о надежности работы элементов топливной системы и трансмиссии в г. Пензе и г. Рязани, показатели закономерностей распределения отказов указывают, что они могут быть описаны нормальным законом распределения.

Анализ наработки на отказ ТНВД и КПП в зависимости от выбора стратегии обслуживания показан на рис. 4.6, 4.7.

$f(l)$, %

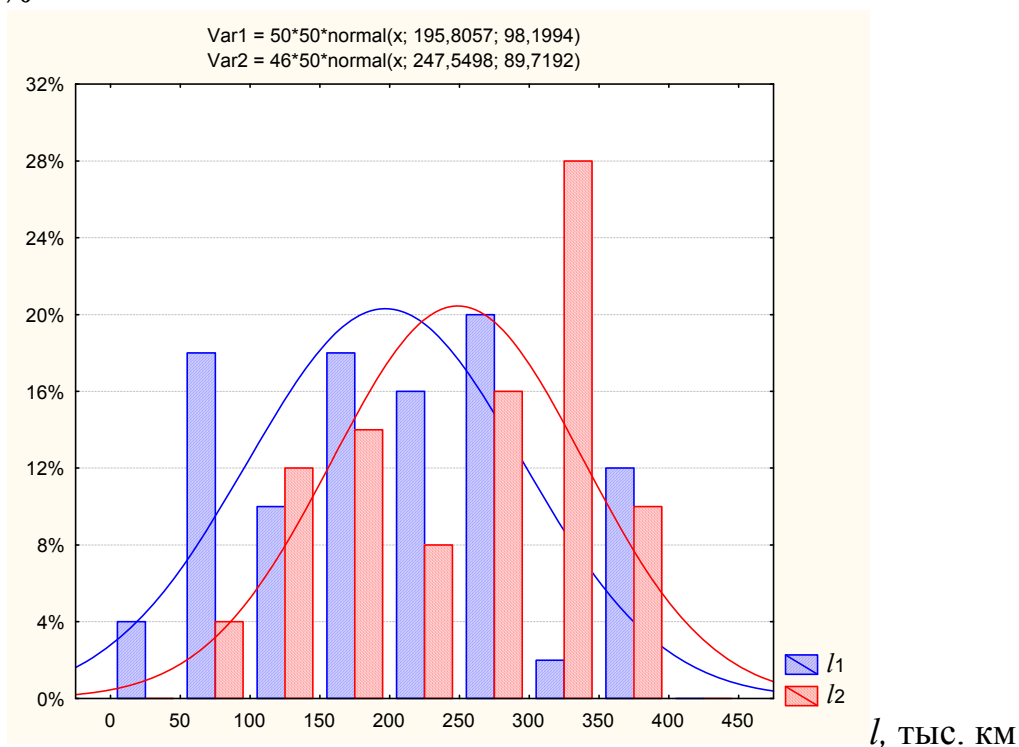


Рис. 4.6. Распределение величины наработки на отказ ТНВД в зависимости от выбора системы диагностирования: 1 – для планово-предупредительной системы; 2 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

В результате проведенных исследований по сбору статистической информации об отказах элементов дизельной топливной системы и трансмиссии грузовых автомобилей КамАЗ получены данные о средней наработке на отказ каждого из элементов; проведено сравнение результатов, собранных в г. Пензе и г. Рязани. Установлена доля отказов каждого из элементов дизельной топливной системы и трансмиссии, что в дальнейшем может быть использовано для нормирования потребности в запасных частях для обеспечения работоспособности систем.

Установлено, что существуют следующие основные отказы: топливный насос высокого давления, трубопровод высокого давления, форсунки, прочее.

С использованием статистических данных определена зависимость ухудшения показателей, работоспособности системы питания дизельного двигателя.

В ходе выполненных исследований получены данные о пробегах, на которых происходили отказы КПП в процессе эксплуатации автомобилей КАМАЗ (табл. 4.3, 4.4).

Т а б л и ц а 4.3

Характеристика отказов КПП автомобиля КАМАЗ, полученных
в гг. Пензе и Рязани

№ п/п	Элементы КПП	Пробеги, на которых произошли отказы, тыс.км	
		Планово-предупредительная система (ППС) технического обслуживания и ремонта	Динамичная система технического обслуживания и ремонта
1	Картер и его детали, подшипники	43,23; 71,71; 99,13; 107,94; 109,87; 114,15; 118,44; 122,55; 139,73; 140,79; 145,48; 146,77; 150,53; 160,05; 160,67; 160,88; 165,56; 171,04; 173,55; 174,73; 179,00; 190,94; 192,01; 198,18; 190,27; 203,26; 220,64; 233,61; 234,67; 241,63; 256,22; 261,76; 272,68; 280,64; 296,67; 314,24; 353,56; 326,22;	66,13; 81,05; 101,95; 131,88; 149,08; 149,33; 162,74; 167,80; 174,44; 182,49; 150,28; 204,32; 225,12; 239,52; 242,13; 251,19; 251,32; 282,31; 297,53; 304,63; 346,68; 144,63; 186,07; 235,75; 243,35; 258,06; 307,32; 324,76; 357,97;
2	Валы, шестерни и синхронизатор	136,23; 147,28; 149,66; 154,36; 56,72; 81,76; 84,25; 87,06; 94,38; 98,78; 102,00; 102,93; 104,43; 111,77; 116,24; 123,10; 141,61; 150,41; 160,30; 162,42; 163,27; 170,36; 183,19; 184,87; 194,55; 202,26; 211,05; 212,39; 233,32; 245,31; 266,95; 272,38; 283,11; 283,45; 312,09	63,98; 96,12; 108,99; 115,76; 142,97; 149,19; 158,88; 171,22; 171,56; 179,85; 186,67; 188,67; 221,04; 221,71; 232,53; 233,52; 239,21; 246,26; 250,58; 251,96; 257,32; 259,48; 299,14; 299,32; 310,80; 337,23; 354,96; 379,87
3	Механизм переключения передач	22,58; 66,31; 74,72; 99,84; 137,55; 185,55; 294,42; 370,84	70,72; 114,95; 122,64; 172,80; 217,93; 282,7; 320,16;
4	Прочее	42,87; 127,42; 166,48; 146,19; 282,66; 346,76	81,69; 115,31; 134,87; 198,61; 320,72

Т а б л и ц а 4.4

Структура отказов коробки передач автомобиля КАМАЗ

Наименование механизма, элемента	Количество отказов, %	
	ППС	ДС
Картер и его детали, подшипники	43,18	42,02
Валы, шестерни и синхронизатор	40,90	40,57
Механизм переключения передач	9	10,01
Прочее	6,8	7,24

Для КПП существуют следующие основные отказы: шестерни, валы, синхронизатор, картер, механизм переключения передач, прочее.

Как видно из приведенных выше данных о надежности работы элементов КПП автомобилей КАМАЗ в г.г. Пензе и Рязани, показатели закономерностей распределения отказов указывает, что не все из них могут быть описаны нормальным законом распределения (рис. 4.7).

Для КПП существуют следующие основные отказы: шестерни, валы, синхронизатор, картер, механизм переключения передач, прочее.

$f(l)$, %

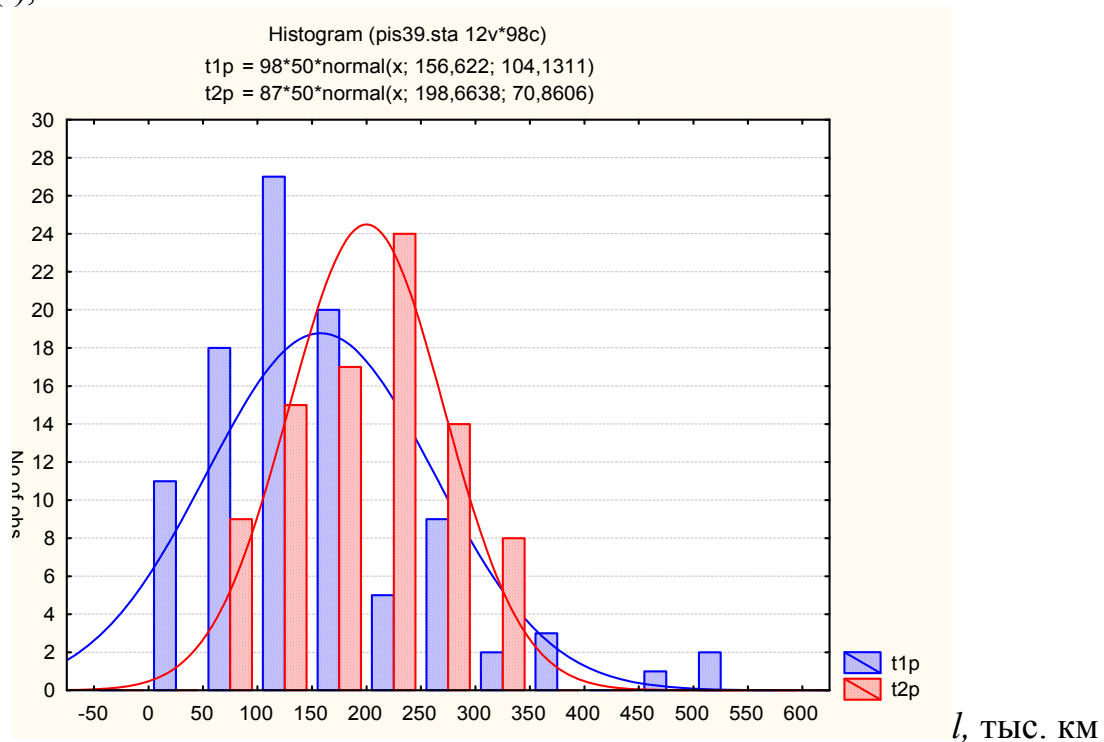


Рис. 4.7. Распределение величины наработки на отказ КПП в зависимости от выбора системы ТО и Р:

1 – для планово-предупредительной системы; 2 – для динамичной системы

Установлена доля отказов каждого из элементов КПП, что в дальнейшем может быть использовано для нормирования потребности в запасных частях для обеспечения работоспособности системы.

Установлено, что существуют основные отказы: картер, валы, шестерни и синхронизатор, механизм переключения передач.

Из перечисленных элементов наиболее подвержены неисправностям подшипники, шестерни и синхронизатор.

Введенная динамичная система на предприятии существенно улучшает показатели по сокращению количества отказов на 17-27 % по КПП в сравнении с действующей на предприятии планово-предупредительной системой обслуживания автомобилей.

В ходе выполненных исследований получены данные о пробегах, на которых происходили отказы ГП в процессе эксплуатации автомобилей КАМАЗ (табл. 4.5, 4.6).

Т а б л и ц а 4.5

Характеристика отказов ГП автомобиля КАМАЗ,
полученных в гг. Пензе и Рязани

№ п/п	Элементы КПП	Пробеги, на которых произошли отказы, тыс.км	
		Планово-предупредительная система (ППС) технического обслуживания и ремонта	Динамичная система технического обслуживания и ремонта
1	Картер и его детали, подшипники	96,66; 101,79; 109,82; 110,03; 110,49; 110,64; 111,05; 111,71; 114,52; 115,46; 118,07; 122,22; 127,96; 129,34; 129,46; 129,99; 130,98; 131,50; 133,22; 136,91; 137,56; 138,03; 139,75; 142,04; 143,64; 148,17; 148,67; 151,68; 152,52; 152,70; 154,17; 155,65; 156,43; 156,45; 158,97; 160,67; 161,26; 162,42; 166,80; 167,73; 168,10; 171,01; 172,40; 173,07; 174,03; 176,08; 177,76; 179,87; 194,46; 194,61; 196,24; 200,88; 202,53; 206,63; 212,65; 215,52; 216,07; 216,76; 217,93; 221,21; 221,81; 224,77; 226,13; 227,89; 232,34; 234,90; 239,76; 240,75; 272,99; 367,78; 373,78; 384,48	80,13; 105,60; 126,54; 130,37; 134,81; 135,29; 137,61; 140,65; 141,49; 142,90; 144,15; 146,19; 147,67; 153,16; 154,17; 163,87; 165,32; 167,67; 169,05; 174,33; 181,82; 182,27; 186,03; 188,48; 191,47; 192,59; 193,10; 200,81; 204,13; 205,97; 210,78; 212,59; 217,38; 222,28; 223,85; 226,76; 226,77; 228,96; 231,52; 233,19; 243,17; 245,62; 251,02; 252,02; 254,87; 259,79; 263,52; 267,94; 276,64; 279,30; 279,99; 281,67; 281,97; 285,31; 294,44; 300,06; 302,15; 308,68; 327,98; 336,30; 352,82
2	Валы, шестерни	55,31; 105,28; 107,08; 111,72; 117,72; 122,92; 128,08; 132,25; 137,49; 140,55; 148,08; 149,33; 152,12; 152,35; 154,60; 154,66; 155,92; 157,42; 159,25; 159,78; 162,37; 164,07; 164,48; 166,34; 169,10; 172,99; 173,26; 176,07; 177,55; 177,60; 185,05; 188,94; 199,17; 204,88; 209,47; 216,47; 219,18; 220,09; 225,17; 226,18; 227,57; 233,41; 236,00; 241,73; 255,08; 296,14; 296,37; 376,98	105,10; 130,82; 137,33; 143,62; 145,35; 148,88; 159,01; 168,58; 177,11; 182,42; 184,22; 191,45; 191,50; 200,04; 212,03; 218,04; 218,13; 225,22; 226,06; 236,49; 244,51; 248,52; 252,97; 260,01; 265,04; 267,18; 267,23; 268,20; 271,24; 277,18; 280,35; 283,92; 284,16; 306,19; 320,45; 332,87; 371,94
4	Прочее	33,49; 91,47; 108,92; 114,27; 130,26; 135,14; 150,67; 164,47; 173,91; 200,26; 224,24; 324,76; 349,11	41,67; 112,47; 130,82; 142,90; 150,65; 151,59; 188,79; 229,66; 289,21; 305,54; 312,03; 351,94; 253,08; 274,21; 217,48

Таблица 4.6

Структура отказов коробки передач автомобиля КАМАЗ

Наименование механизма, элемента	Количество отказов, %	
	ППС	ДС
Картер, подшипники	54,13	53,87
Валы, шестерни	36,09	32,76
Прочее	9,78	13,37

Для ГП существуют следующие основные отказы: шестерни, валы, картер, механизм переключения передач, прочее.

Как видно из приведенных выше данных о надежности работы элементов ГП автомобилей КАМАЗ в г.г. Пензе и Рязани, показатели закономерностей распределения отказов указывает, что не все из них могут быть описаны нормальным законом распределения (рис. 4.8).

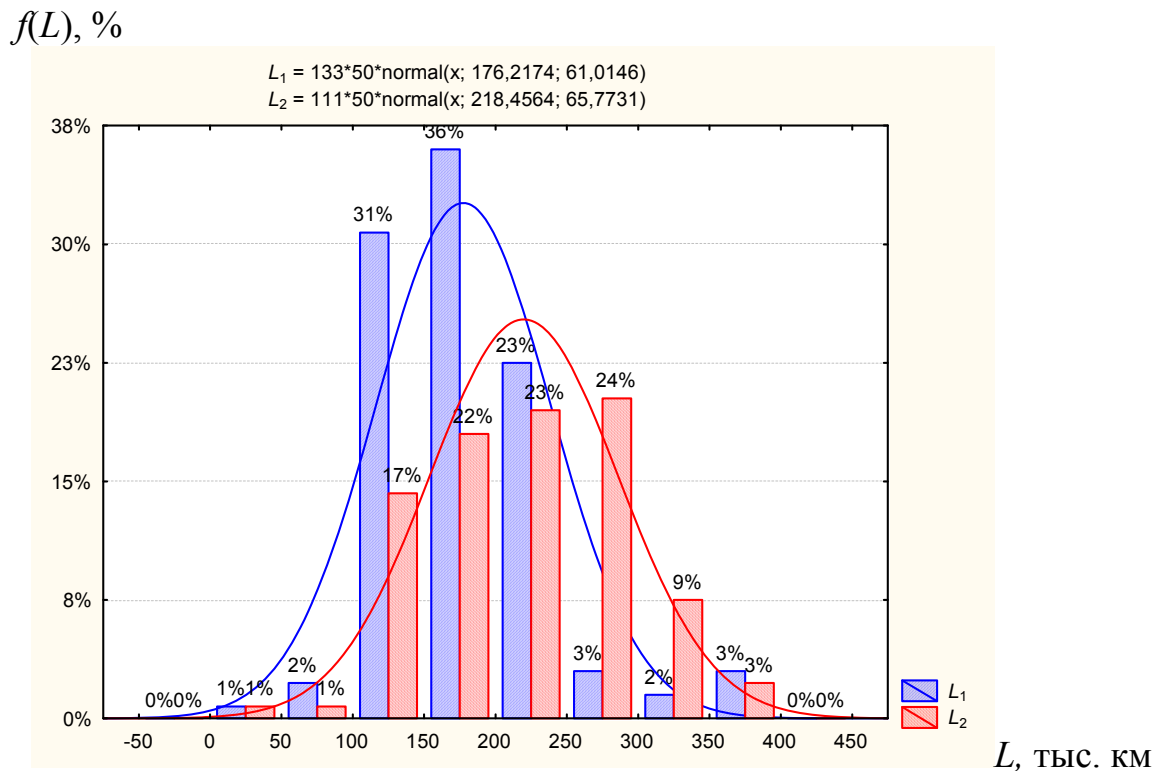


Рис. 4.8. Распределение величины наработки на отказ ГП в зависимости от выбора системы ТО и Р:

1 – для плано-предупредительной системы; 2 – для динамической системы

В результате проведенных исследований по сбору статистической информации об отказах элементов ГП грузовых автомобилей КАМАЗ, получены данные о средней наработке на отказ каждого из элементов; проведено сравнение результатов, собранных для плано-предупредительной и динамической системы технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Установлена доля отказов каждого из элементов ГП, что в дальнейшем может быть использовано для нормирования потребности в запасных частях для обеспечения работоспособности системы.

Установлено, что существуют основные отказы: картер, подшипники, валы, шестерни.

Из перечисленных элементов наиболее подвержены неисправностям подшипники, шестерни.

Введенная динамичная система на предприятии существенно улучшает показатели по сокращению количества отказов на 16-21 % по ГП в сравнении с действующей на предприятии.

Стоимость выполнения контрольно-диагностических работ с ростом пробега автомобиля также как и стоимость устранения отказа, возрастает.

Вывод по пункту 4.5. Необходим сравнительный анализ результатов и обработка информационного материала со статистическими данными в области отказов дизелей и трансмиссии.

4.6. Сравнительный анализ результатов исследования поиска неисправностей

4.6.1. Определение времени простоя автомобилей

Для построения зависимостей необходимо провести моделирование случайной величины. Определение зависимости эксплуатационной надежности от функции наработки на отказ необходимо составить исходя из определенных нами наиболее значимых элементов топливной аппаратуры на отказ, а именно: плунжерной пары; подпружиненного нагнетального клапана; иглы; пружины.

Представим функции распределения от датчика $F(l)$, где l будем представлять как наработку от шести до десяти точек, так, чтобы первая из них была равна нулю и являлась началом отсчета. Для построения данной функции требуется определить максимально до девяти значений на оси значений аргумента. Первое l_0 и последнее l_{10} значение, при котором $F(l)$ равна 0. Этим достигается повышение быстродействия вычисления значения элементов топливной системы на отказ.

Значение величины l вычисляем, используя принцип подобия, по формуле

$$l = \frac{(R - l_{I-1})(l_i - l_{i-1})}{F - F_{I-i}} + l_{i-1}, \quad (4.5)$$

где R – значение величины l , спроецированной по принципу подобия на интервале $[0, 1)$ (рис. 4.9);

F_i и F_{i-1} – значения функции распределения, в интервал которых попало число R ;

l_i и l_{i-1} – значения наработки, на которой происходит фиксация показаний датчика, соответствующих значениям F_i и F_{i-1} ;

l – значение определяемой наработки автомобиля.

Метод нахождения значений функции можно определять вычислением или задавать экспертно, чтобы получить более широкие возможности для определения наработки на отказ.

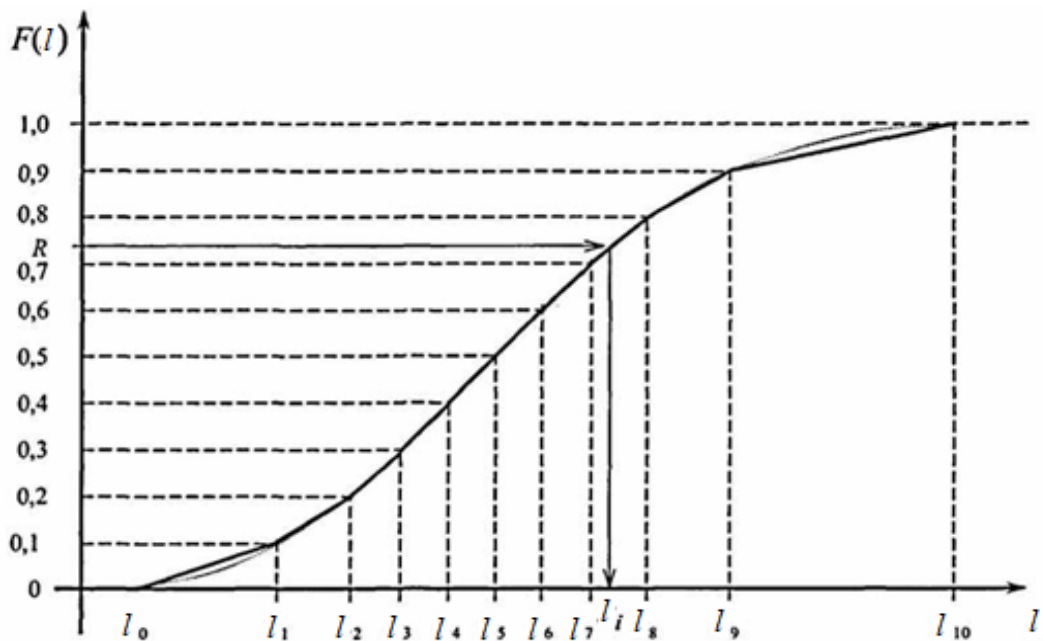


Рис. 4.9. Схема построения функции от значений датчика

Данная функция позволит нам смоделировать наработку на отказ и узнать наработку l и время простоя t .

По предложенным элементам топливной системы сформируем графики на один автомобиль.

В первую очередь нас интересует, насколько перспективна вероятно-стно-логическая модель со встроенным датчиком для диагностирования в сравнении с существующей на предприятии системой обслуживания.

Также необходимо проанализировать простой автомобиля от используемого способа диагностирования; для этого опираясь на теоретическую функцию и принцип подобия, по формуле (4.5) формируем график (рис. 4.10, прил. 7) величины простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль, используя показатель времени.

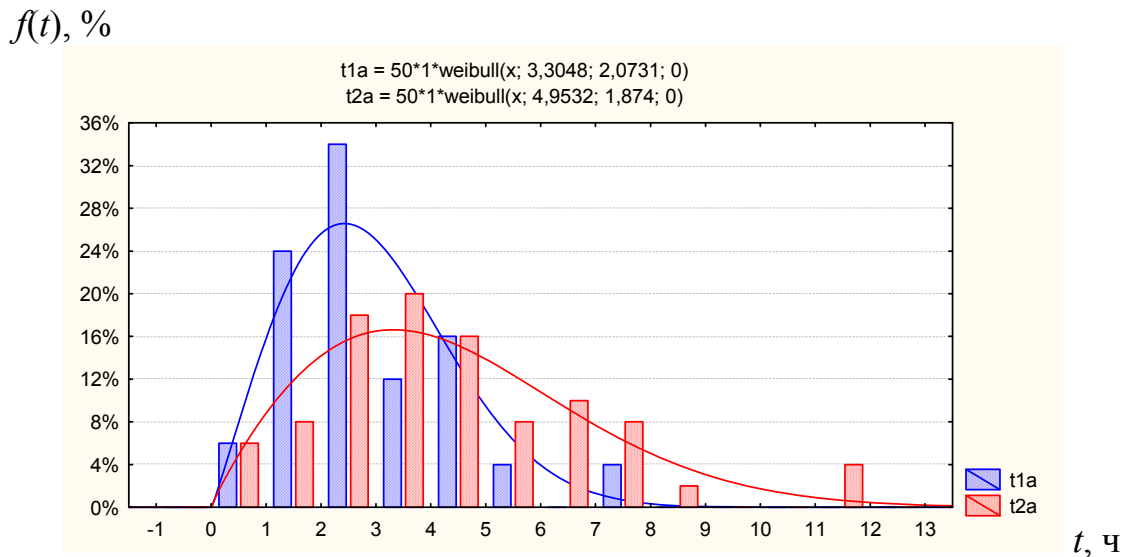


Рис. 4.10. Распределение времени простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль:
 1 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей; 2 – для планово-предупредительной системы

По парку автомобилей, для которых эксперимент проводился, суммарное время простоя составило следующие зависимости (рис. 4.11, 4.12).

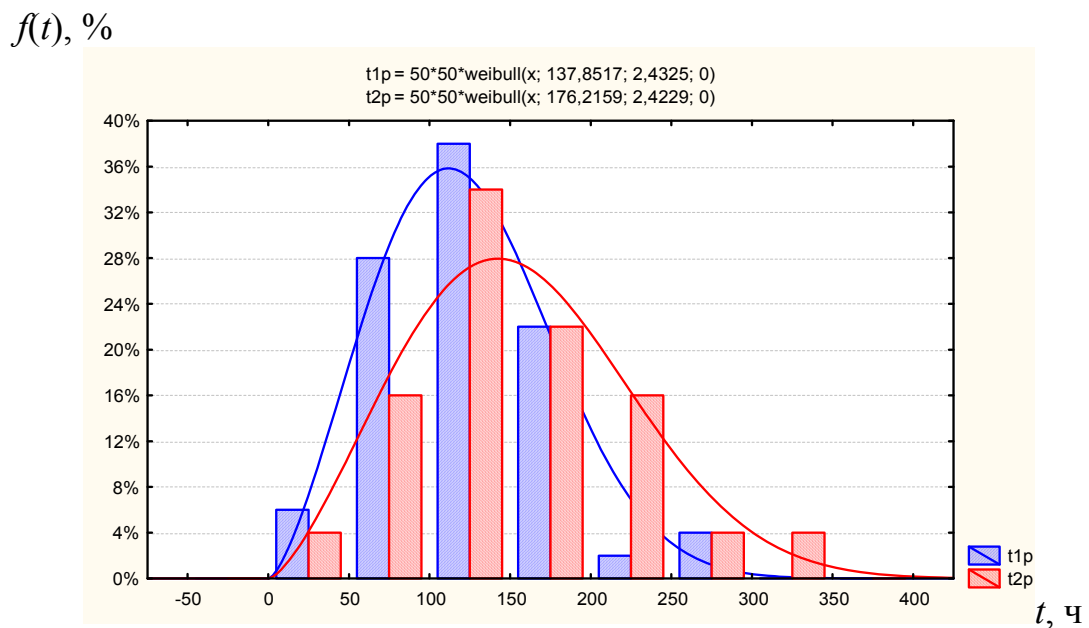


Рис. 4.11. Распределение времени простоя по ТНВД до отказа элемента на весь парк испытуемых:
 1 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей; 2 – для планово-предупредительной системы

$f(t), \%$

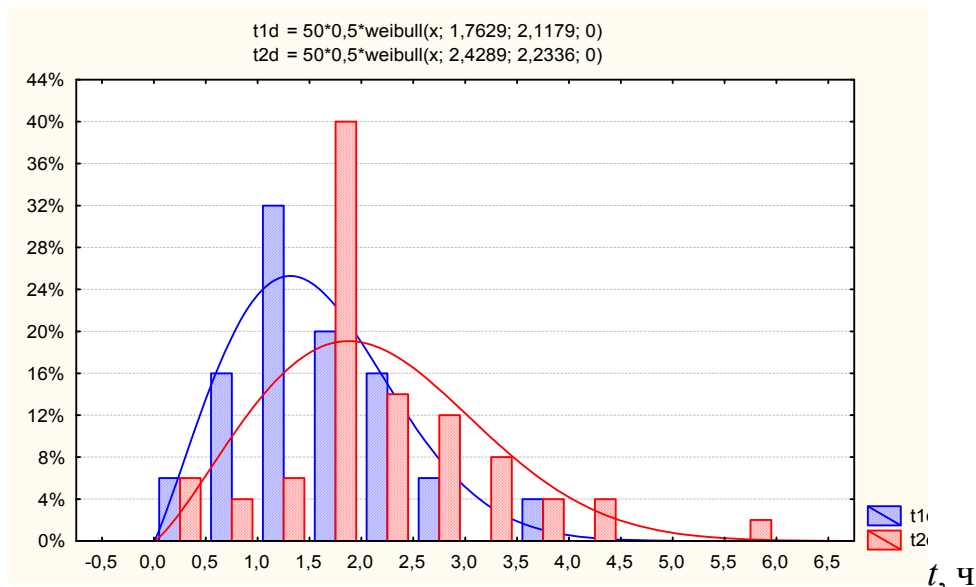


Рис. 4.12. Распределение времени простоя по ТНВД до отказа элемента на один день эксплуатации по парку испытуемых :
1 – для планово-предупредительной системы; 2 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

Величины простоя по форсунке от отказа элемента на один автомобиль, используя показатель времени, приведены в прил. 8.

Кроме того необходимо проанализировать простой автомобиля от используемой системы ТО и Р; для этого опираясь на теоретическую функцию и принцип подобия, по формуле (4.5) формируем график (рис. 4.13, прил. 9) величины простоя по КПП от отказа элемента на один автомобиль, используя показатель времени.

$f(t), \%$

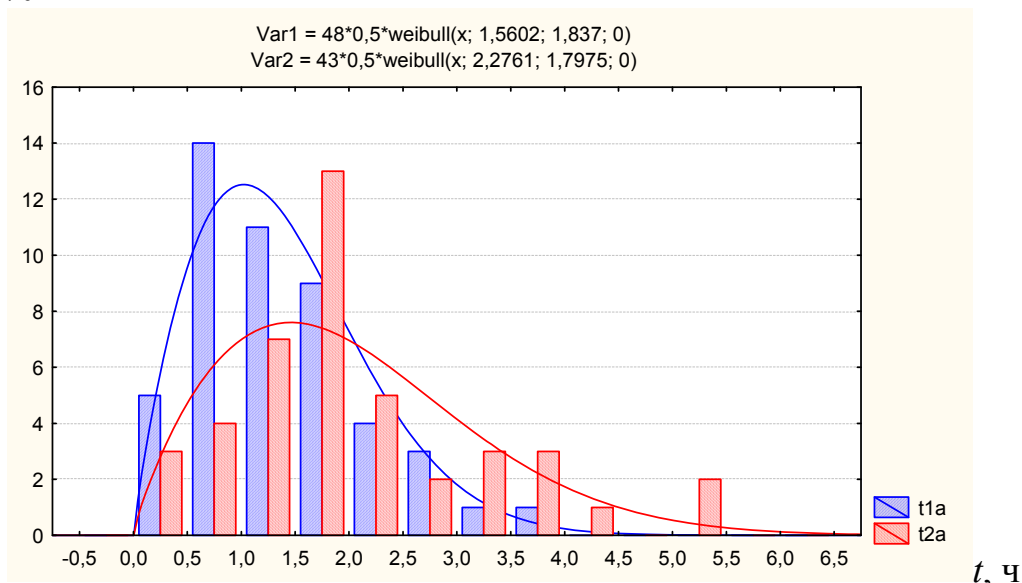


Рис. 4.13. Распределение времени простоя по КПП от отказа элемента на один автомобиль:
1 – для динамичной системы; 2 – для планово-предупредительной системы

По парку автомобилей, для которых эксперимент проводился, суммарное время простоя составило следующие зависимости (рис. 4.14, 4.15).

$f(t)$, %

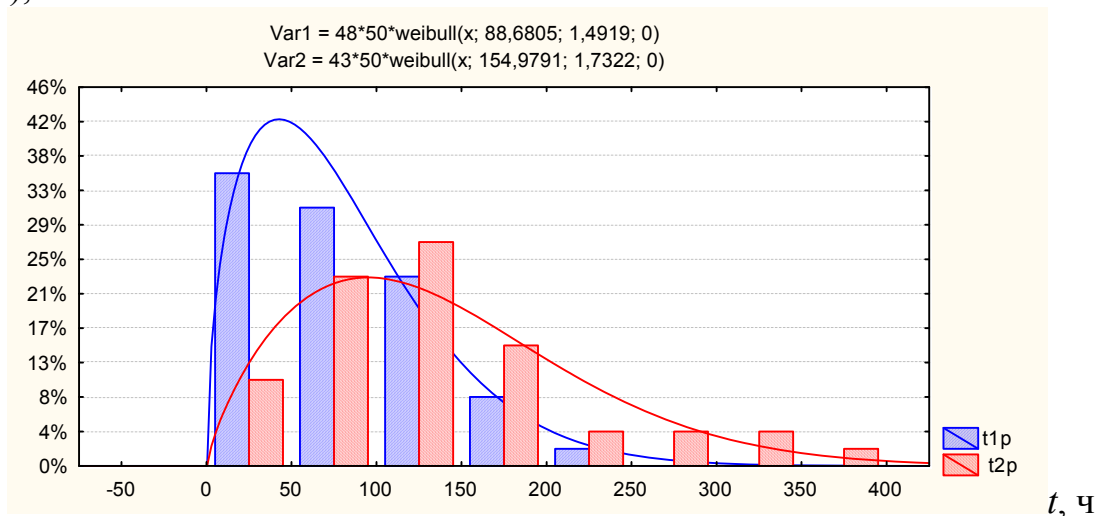


Рис. 4.14. Распределение времени простоя по КПП до отказа элемента на весь парк испытуемых:
 1 – для динамической системы; 2 – для планово-предупредительной системы

$f(t)$, %

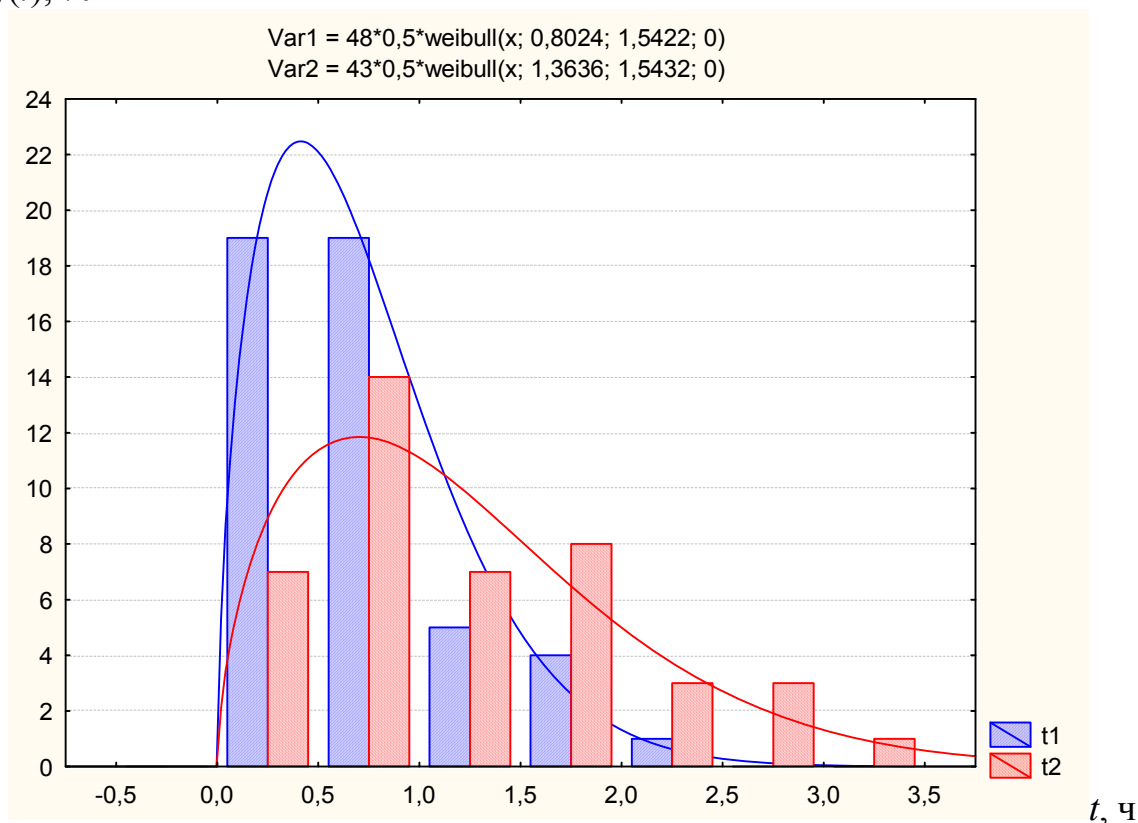


Рис.4.15. Распределение времени простоя по КПП до отказа элемента на один день эксплуатации по парку испытуемых:
 1 – для планово-предупредительной системы; 2 – для динамической системы

Величины простоя по форсунке от отказа элемента на один автомобиль, используя показатель времени, приведены в прил. 8.

На данный момент предприятия используют планово-предупредительную стратегию обслуживания по данным, предложенным заводом-изготовителем. Нормативы корректируются согласно «Положению о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта».

Для оценки вероятностно-логического метода сравним данные с предприятия до внедрения встроенного диагностирования и после (рис. 4.16).

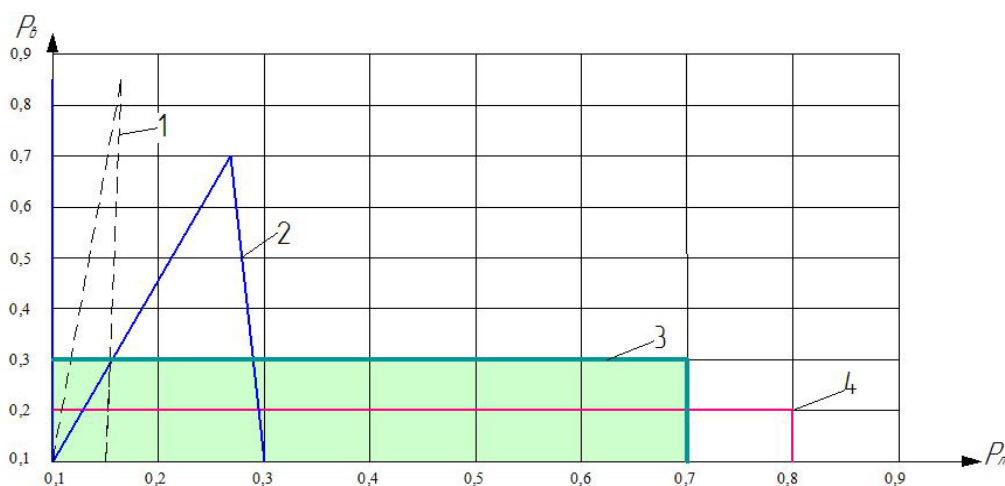


Рис. 4.16. Распределение коэффициентов по исследуемым методам диагностирования:

- 1 – без диагностирования; 2 – для планово-предупредительной системы;
- 3 – наиболее полезная область сочетания вероятностного P_v и логического P_l параметра; 4 – для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

Вывод по пункту 5.6.1. Введенная система вероятностно-логической модели с встроенным диагностированием на предприятии существенно улучшает показатели по сокращению времени простоя на 15–18 % по сравнению с действующей на предприятии планово-предупредительной системой обслуживания автомобилей.

4.6.2. Анализ удельных затрат на поиск неисправностей автомобилей КАМАЗ

Современные ТС можно рассматривать как сложные системы, и причины возникновения отказов носят различный характер. Для большинства технических систем грузовых автомобилей характерны три вида зависимостей интенсивности отказов от временного промежутка, которые соответствуют трем состоянием этих систем (рис. 4.17).

Первый вид характеристики (участок «1») отмечен монотонным уменьшением интенсивности отказов. В этом периоде проявляются дефекты технологии и изготовления, которые не свойственны конструкции.

Второй вид характеристики (участок «2») обусловлен константной интенсивностью отказов. В этот период, как правило, возникают внезапные отказы конструкции. Количество, а также частота их возникновения зависят от наработки.

Третий вид характеристики (участок «3») отражает постоянное возрастание интенсивности отказов. Это соответствует периоду износа, вызванного процессами старения. В этот период возникают, главным образом, постепенные отказы.

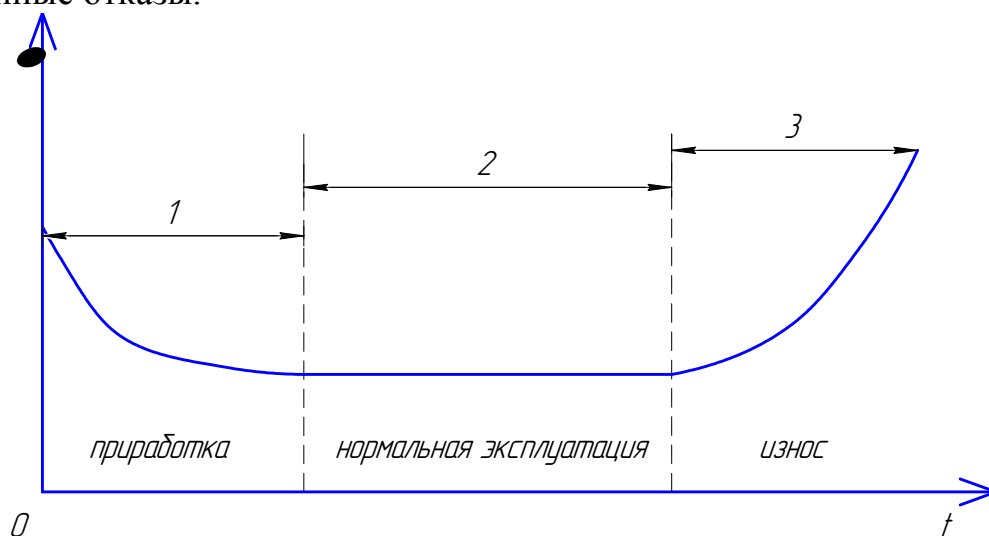


Рис. 4.17. Зависимость интенсивности отказов от времени

Рассматривая ТС с точки зрения системы, предложенной на рисунке 3.6, можно отметить тот факт, что на всем его протяжении заметно изменение качества объекта (уменьшение/увеличение), происходящее по причине отказов. Поэтому можно предложить модель, которая бы описывала, что влияет на надежность и достижение автомобилем заявленного заводом-изготовителем ресурса (рис. 4.18).

Проанализируем удельные затраты на ремонт C_p , руб./1000 км, и удельные затраты на оплату услуг C_y , руб./1000 км. По предприятию их средняя цена примерно составляет 55 рублей 80 копеек. Далее, исходя из указанных в п. 4.5 настоящей диссертации средних наработок на отказ и информационных данных прил. 1–6, можно посчитать средние показатели по удельным затратам: на ремонт до введения вероятностно-логической модели $C_p=52,30$ руб., после введения вероятностно-логической модели $C_p=35,80$ руб. (рис. 4.19).

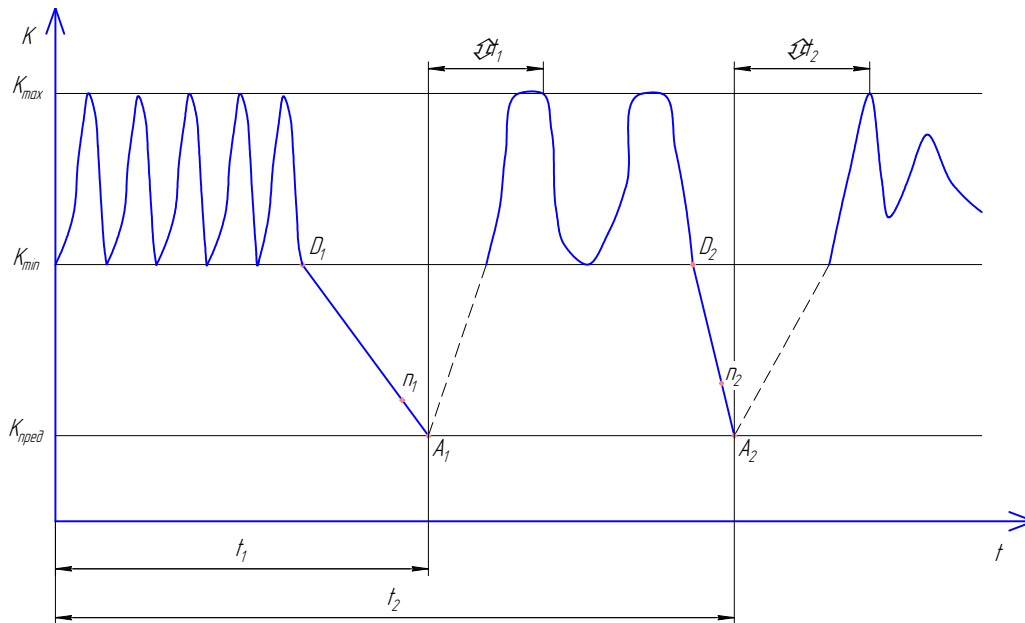


Рис. 4.18. Графическая модель работы автомобиля до отказа и после:
 K_{\max} , K_{\min} , $K_{\text{пред}}$ – соответственно максимальное, минимальное и предельно допустимое качество грузового автомобиля; D_1 , D_2 – начала формирования отказа; A_1 , A_2 – точки отказа; Δt_1 , Δt_2 – периоды восстановления; n_1 , n_2 – соответственно точка, предшествующая началу отказа, и точка после того, как последствия отказа неизбежно приводят к износу

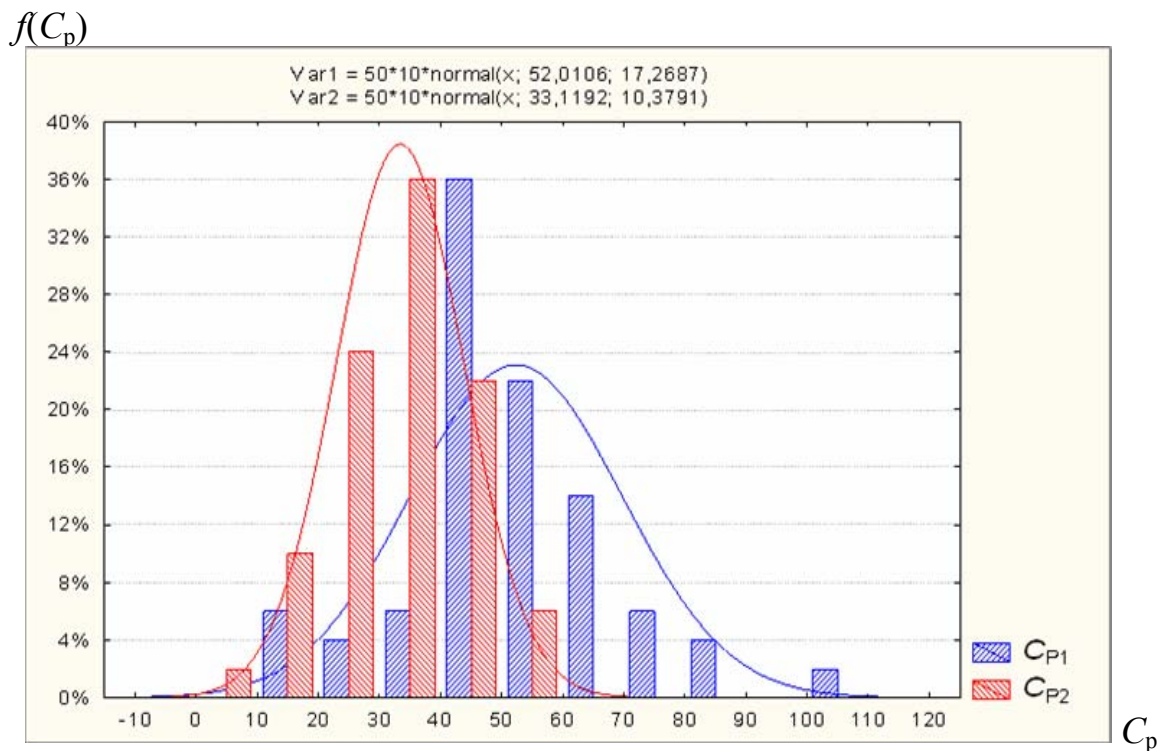


Рис. 4.19. Распределение удельных затрат C_p на ремонт автомобилей на предприятии:

C_{p1} – до введения динамичной стратегии,
 C_{p2} – после введения динамичной стратегии

Для анализа полученных результатов была оценена оптимальная сходимость результатов при определении удельных затрат на ремонт C_p автомобилей КамАЗ (рис. 4.19). При исследуемом числе входящих данных и распределении его по нормальному закону погрешность определения удельных затрат на ремонт C_p не превышает 3 %.

Полученные значения можно применять для планирования затрат на ремонт, при анализе деятельности малых АТП с преимущественным преобладанием автомобилей КамАЗ. Так, например, на один автомобиль КАМАЗ для проведения ремонта топливной аппаратуры и трансмиссии в среднем затрачивается 859,80 руб., в 80 % случаев затраты на ремонт составят не более 906,64 руб.

При помощи разработанного вероятностно-логического метода из теории можно исследовать изменение показателей при изменении различных входных характеристиках. Для решения данной задачи проведем вычислительный эксперимент. В эксперименте оценивалось изменение удельных затрат на ремонт C_p в зависимости от коэффициента $K_{и}$, который определяется по формуле (2.29). Можно найти общие затраты на диагностирование; они составят:

$$C_{\text{общ}} = (1 + K_{и})C_p. \quad (4.5)$$

Также необходимо оценить убытки, связанные с отказом и простоем автомобиля. Эти убытки связаны с потерями от ненадёжности автомобиля (рис. 4.20).

Сформировав модель для оценки эксперимента, можно теперь определить убытки от простоя из-за отказа.

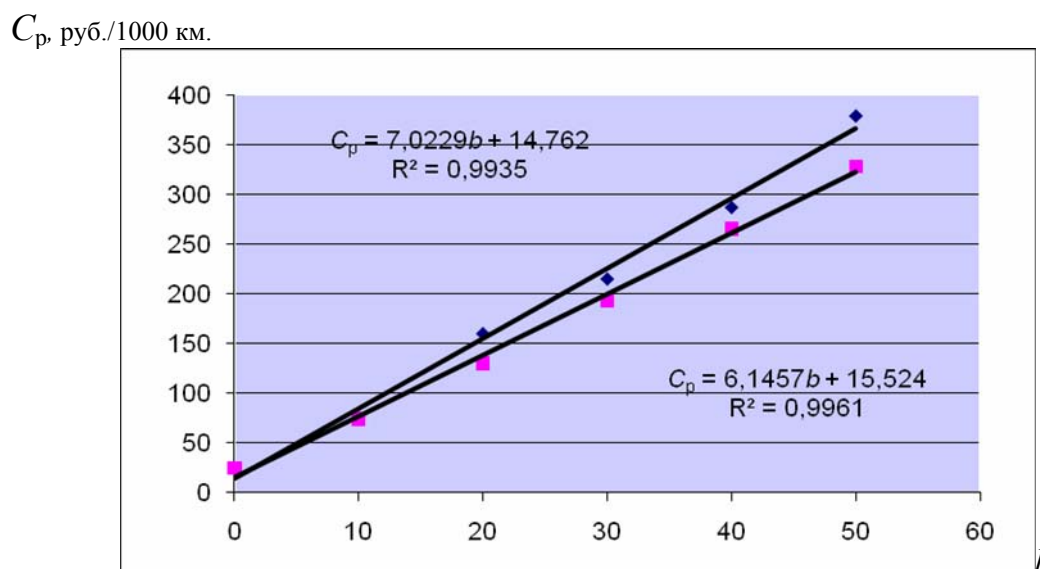


Рис. 4.20. Изменение удельных затрат на ремонт в зависимости от убытков, связанных с отказом и простоем автомобиля:
1 – введения динамической стратегии; 2 – после введения динамической стратегии на предприятии

На рис. 4.20 коэффициент b определяется по формуле

$$b = C_{\text{пр}} / C_y, \quad (4.6)$$

где $C_{\text{пр}}$ – убытки, связанные с отказом и простоем автомобиля;

C_y – удельные затраты на услуги.

Вывод по пункту 4.6.2. Моделирование основных данных проведенных в ходе эксперимента позволяют нам в дальнейшем сделать анализ по убыткам и сравнить значения изменения стоимости нормо-часа до и после внедрения динамичной стратегии.

4.6.3. Анализ удельных затрат и эффективности применения динамичной стратегии автомобилей КАМАЗ

Для анализа убытков автомобилей КАМАЗ были проведены экспериментальные исследования, результатом которых стали статистические данные, включающие наработки на отказ, стоимость и трудоёмкости замены элементов топливной системы дизельного автомобиля. Совместив полученные данные по предприятию с экспериментом, получили следующие показатели по изменению удельных затрат:

При выборе исходных данных задавались стоимостью одного часа простоя $C_{\text{пр}} = 1400$ руб. и стоимостью одного нормо-часа $S_{\text{н-ч}} = 800$ руб. В результате расчета по формулам (4.5)–(4.7) были получены следующие нормативы для этой стратегии:

- удельные суммарные затраты на поддержание работоспособности топливной системы – 252,8 руб./ 1000 км;
- средняя наработка на отказ (на примере плунжерной пары) – 198,8 тыс. км;
- удельная трудоёмкость текущего ремонта – 0,03 чел. ч / 1000 км.

Рассчитанные показатели позволяют планировать затраты на эксплуатацию автомобилей.

Исходя из данных, выявленных в процессе эксперимента, определили группу элементов топливной системы, лимитирующих её надежность:

- 1) плунжерная пара ТНВД;
- 2) нагнетательный клапан ТНВД;
- 3) игла форсунки;
- 4) пружина форсунки.

Для каждого элемента определим удельные суммарные затраты C_p (рис. 4.21), а также изменения удельных суммарных затрат ΔC , соответствующие периодичностям проверки 70, 80, 90 тыс. км (табл. 4.3):

- удельные суммарные затраты при встроенном диагностировании – 5,3 руб./1000 км;

- удельные суммарные затраты на эксплуатацию системы с профилактикой – 61, 6 руб./1000 км;
- трудоёмкость ТО – 1,8 чел-ч./1000 км;
- удельная трудоёмкость текущего ремонта – 0,23 чел-ч./1000 км.

C , руб./1000 км

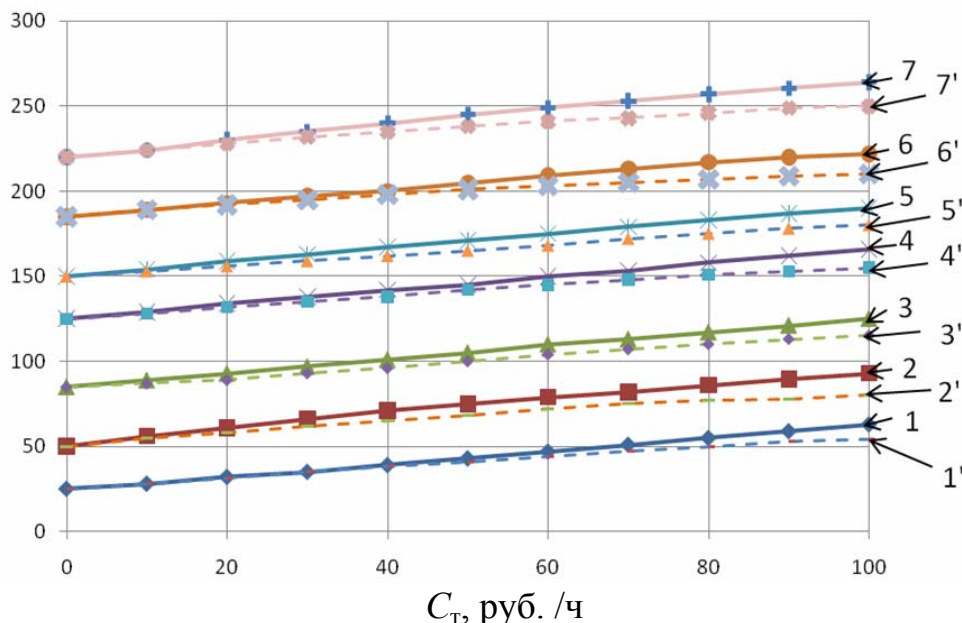


Рис. 4.21. Графики изменения удельных суммарных затрат для планово-предупредительной системы и вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей в зависимости от часовой тарифной ставки C_T и стоимости одного часа простоя $C_{пр}$:

1, 1' – 0; 2, 2' – 200; 3, 3' – 400; 4, 4' – 600; 5, 5' – 800; 6, 6' – 1000; 7, 7' – 1200;
 — — — — для планово-предупредительной системы; - - - - для вероятностно-логической методики определения технического состояния дизелей

Как мы видим, при эксплуатации автомобилей с системой встроенного диагностирования средняя наработка на отказ увеличилась на 18,9 %, при этом удельные затраты снизились на 26,8 %, что является подходящим значением и находится в пределах точности моделирования. Однако это можно объяснить тем, что элементы, которые выбирали, обладают низкой вероятностью на отказ, которая для большинства элементов находится в пределах 0,5–0,7.

Таблица 4.7

Определение оптимальной периодичности контроля по изменению
удельных суммарных затрат (руб./1000 км)

Для топливной системы					
Наименование элемента	l_0	C_p (l_0)	ΔC при 70 тыс.	ΔC при 80 тыс.	ΔC при 90 тыс.
плунжерная пара	208234	1,2	0,08	0,003	0,098
подпружиненный нагнетальный клапан	142034	2,1	0,02	0,028	0,14
иглу	203233	1,1	0,3	0,11	0,027
пружину	179432	1,4	0,07	0,001	0,063
Сумма ΔC			0,47	0,142	0,328
Для трансмиссии					
Наименование элемента	l_0	C_p (l_0)	ΔC при 100 тыс.	ΔC при 110 тыс.	ΔC при 120 тыс.
подшипники	221113	1,3	0,09	0,006	0,098
валы	266217	1,8	0,2	0,18	0,14
шестерни	217876	1,2	0,6	0,023	0,038
синхронизаторы	179432	2,3	0,09	0,016	0,072
Сумма ΔC			0,98	0,225	0,676

Эффективность (Ξ) встроенного диагностирования возрастет с увеличением стоимости одного часа простоя и уменьшается с увеличением тарифной ставки диагностирования автомобиля (рис. 4.22). Если на первый параметр мы воздействовать не можем, потому что на каждом АТП стоимость простоя зависит от множества величин, то на второй можно повлиять, используя вероятностно-логический метод нахождения неисправности, а именно снизить время нахождения неисправности, что приведет к уменьшению количества затрачиваемых часов независимо от стоимости нормо-часа. Отметим, что диагностирование требует более квалифицированного персонала; на это повлиять мы не можем, и данный факт приводит к уменьшению эффективности нашей стратегии.

Полученные нами зависимости показывают, что удельные суммарные затраты, формирующиеся при эксплуатации автомобилей КАМАЗ по динамичной стратегии с применением вероятностно-логического метода, увеличиваются при увеличении стоимости одного часа простоя и часовой тарифной ставки. Эффективность нашей стратегии выше, чем при профилактической стратегии. Зависимость эффективности при одном значении стоимости одного часа простоя изменяется незначительно, но при увеличении часовой тарифной ставки существенно возрастают убытки предприятия, которые находятся в пределах 30,0–35 руб./1000 км. Таким образом, эффективность профилактической стратегии при увеличении часовой

тарифной ставки уменьшается, а эффективность выбранной нами стратегии, наоборот, увеличивается.

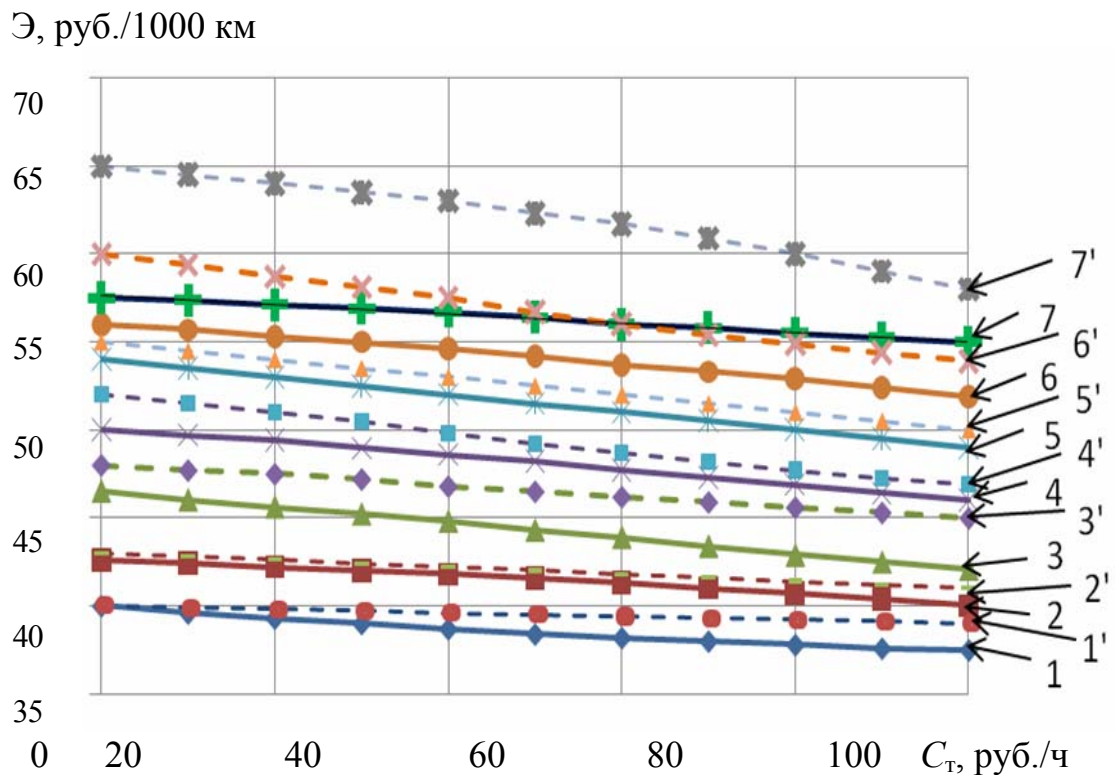


Рис. 4.22. Графики изменения эффективности, в зависимости от стратегии и от часовой тарифной ставки C_T , а также стоимости одного часа простоя $C_{пр}$:
 $C_{пр}$: 1, 1' – 0; 2, 2' – 200; 3, 3' – 400; 4, 4' – 600; 5, 5' – 800; 6, 6' – 1000; 7, 7' – 1200;
 — — — для ППС; - - - - для динамической системы

При увеличении часовой тарифной ставки происходит увеличение удельных суммарных затрат на эксплуатацию системы без профилактики C_p .

Экономия достигается тем, что разница между затратами на ремонт элементов и при групповом ремонте существенна; чем выше часовая тарифная ставка, тем больше экономия и, соответственно, эффективность стратегии.

Вывод по пункту 4.6.3. Динамическая стратегия с встроенным диагностированием позволяет снизить затраты незначительно при замене одного элемента в результате диагностирования и значительно при замене групп элементов.

Выводы

1. В целях практической апробации предложенной динамичной стратегии были проведены экспериментальные исследования на основании статистической информации об эксплуатационной надёжности автомобилей КАМАЗ.

2. В результате проведения эксперимента установлены наиболее значимые элементы по топливной системе и трансмиссии, по которым происходит отказ.

Для топливной системы КАМАЗ в результате проведения эксперимента установлен перечень элементов, в который включены: плунжерная пара; нагнетательный клапан ТНВД; игла и пружина форсунки.

Для КПП и главной передачи этот перечень следующий: подшипники, шестерни, валы.

1. В результате проведения анализа экспериментальных данных, полученных по автомобилям КАМАЗ, выявлено, что в исследуемый период основная доля отказов:

– в топливной системе приходится на плунжерную пару ТНВД (6,7 %); иглу форсунки (11,9 %), пружину форсунки (11,2 %), пружину нагнетательного клапана ТНВД (2,4 %);

– в КПП приходится на картер и его детали, подшипники (43,18 %), валы, шестерни и синхронизатор (40,90 %);

– в ГП приходится на картер и его детали, подшипники (54,13 %), валы, шестерни (36,09 %);

– крепления элементов в процессе диагностирования не рассматривались, потому что они являются непрогнозируемыми отказами.

4. В результате проведения эксперимента были установлены нормативы, включающие удельные затраты на ремонт (35,8 руб./1000 км), удельные затраты на эксплуатацию системы с профилактикой (52,6 руб./1000 км), удельные затраты на услуги (6,3 руб./1000 км).

5. Для топливной системы КАМАЗ в результате проведения эксперимента установлен перечень элементов, в который включены: плунжерная пара и нагнетательный клапан ТНВД; игла и пружина форсунки; была определена оптимальная периодичность контроля этого перечня – 80 тыс. км.

Для трансмиссии КАМАЗ в результате проведения эксперимента установлен перечень элементов, в который включены: плунжерная пара, подшипники, шестерни, валы была определена оптимальная периодичность контроля этого перечня – 110 тыс. км.

5. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Структура и описание работы программы по диагностированию технического состояния автомобиля

Для оперативного ежедневного контроля над состоянием подвижного состава автотранспортного предприятия предлагается внедрить диагностический прибор, работа которого основана на фиксации и анализе показателей автомобиля при использовании диагностирования.

Программа прибора включает блоки формирования баз данных по результатам диагностирования (рис. 5.1) и сведениям по работе двигателя со слов водителя.



Рис. 5.1. Логическая схема программы

Подготовленные данные обрабатываются с помощью расчётно-анализирующего блока. С помощью блока индикации результаты расчета и анализа выводятся на экран прибора, расположенного в кабине автомобиля. Данная информация является основанием для своевременного принятия решений по проведению технического обслуживания двигателя автомобиля. Первая часть программы – аналитическая, определяет наличие и вид неисправностей в топливной системе дизеля (ТНВД и форсунки), вторая часть – опросная, рассчитана на остальные системы двигателя.

Алгоритм программы выглядит следующим образом (рис. 5.2).

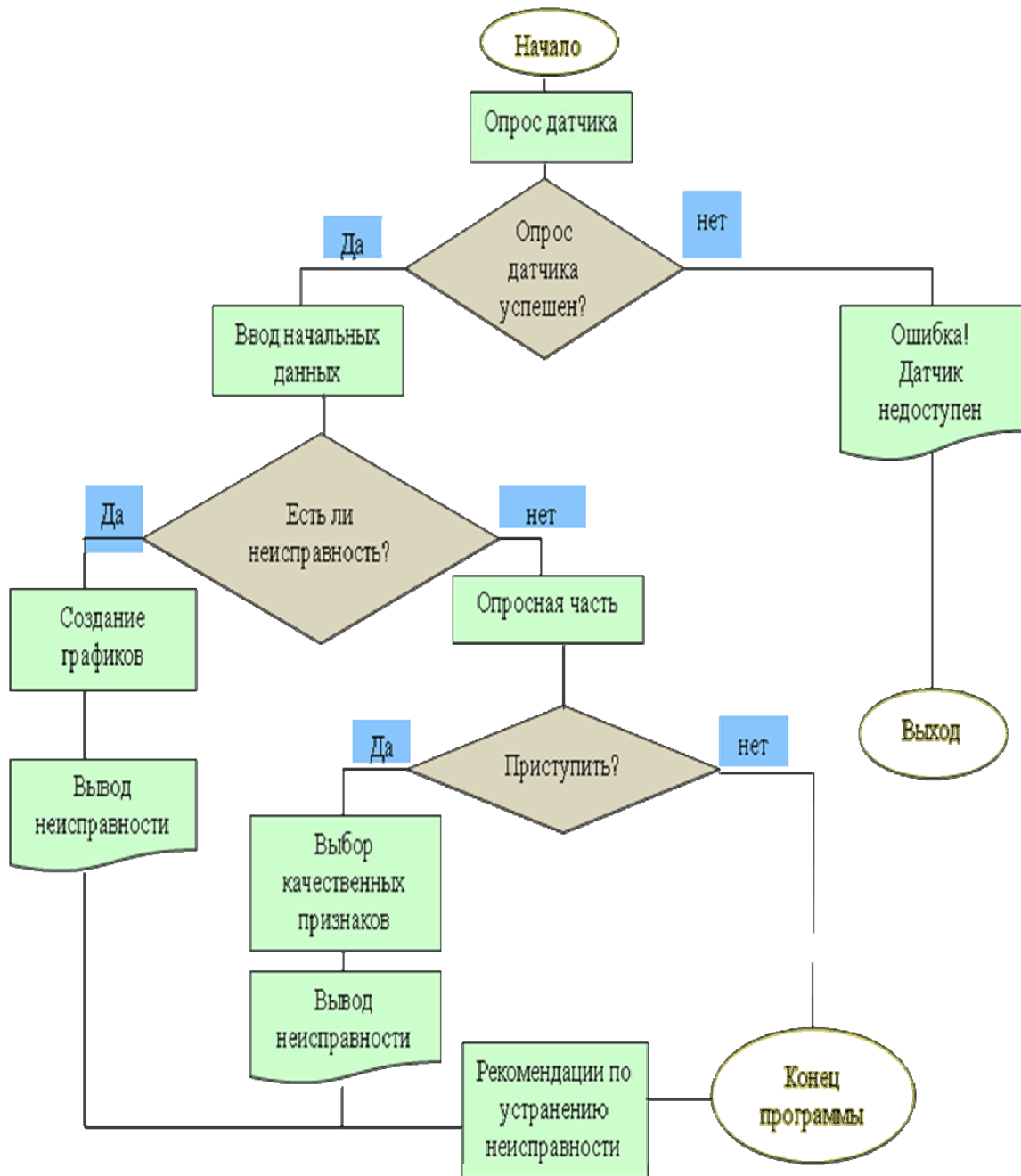


Рис. 5.2. Алгоритм работы системы диагностирования

При запуске программа начинает работу с проверки наличия контакта с датчиком давления. Если контакт не установлен, то на экран прибора в кабине водителя выводится надпись «Ошибка! Датчик недоступен». В этом случае программа прекращает свою работу.

Если контакт с датчиком установлен, то в программу водителем вводятся начальные данные. Затем программа по показаниям датчика строит график и при наличии неисправностей выводит их на экран в текстовом режиме. Далее система переходит к опросной части. Водителю предлагается выбор – закончить программу сейчас или продолжить поиск неисправностей в других системах двигателя. При продолжении программа использует метод «логический поиск с последовательным исключением». Водителю надлежит выбрать качественные признаки неправильной работы двигателя. Затем в конце процесса на экран выводится неисправность.

Программа считывает значения с накладного датчика давления топлива, установленного на топливопровод высокого давления.

Считанные значения автоматически записываются в базу данных программы, затем на основании этих данных строятся графики давления топлива. По давлению топлива в контрольных точках определяется наличие неисправности и её вид.

Изменение давления анализируется следующим образом (рис. 5.3).

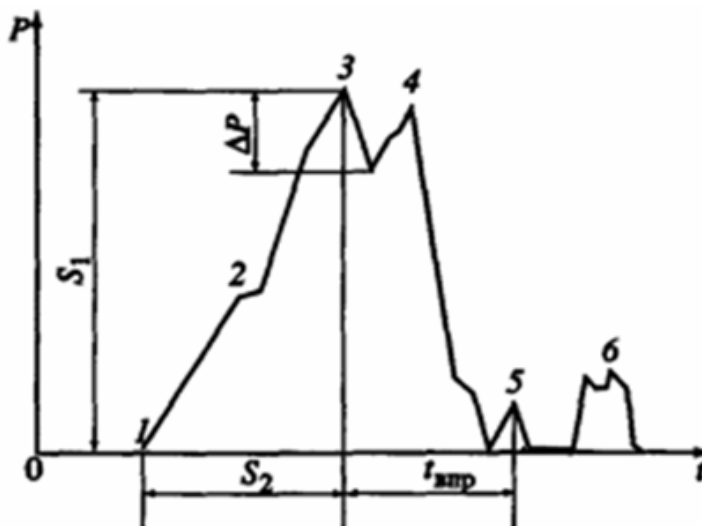


Рис. 5.3. Характерные точки на графике давления топлива

Здесь в точке 1 начинается повышение давления в результате движения плунжера насоса, в точке 2 срабатывает нагнетательный клапан, и при малой скорости движения плунжера рост давления на некоторое время замедляется. В точке 3 поднимается игла форсунки. При этом давление падает, поскольку высвободившийся объем не успевает заполниться топливом, а затем снова повышается до определённой величины.

Точка 4 на большой частоте вращения коленчатого вала двигателя может характеризовать максимальное давление процесса впрыска. Однако для нормального процесса в режиме холостого хода это давление обычно фиксируется по характерному пику точки 3. В точке 5 происходит «посадка» иглы форсунки и впрыскивание заканчивается, после чего происходит «посадка» в седло нагнетательного клапана плунжера. Импульсы остаточного давления (5) появляются в результате недостаточной герметичности нагнетательного клапана. Величина сигнала S_1 определяет затяжку пружины форсунки и статическое давление начала впрыска. Перепад давления ΔP характеризует подвижность иглы форсунки. Путем интегрирования на периоде впрыска $t_{впр}$ можно оценить цикловую подачу топлива. Время задержки впрыска S_2 характеризует зазор в плунжерной паре, вызывающий утечку топлива между гильзой и плунжером.

При разработке программы учитывались данные по давлению топлива в дизельных двигателях (КАМАЗ). Показания давления снимались с двигателей на двух режимах работы – холостой ход и нагрузочный режим.

Необходима предварительная подготовка, которая должна проходить в условиях, приближенных к производственным, т.е. на экране компьютера должно воспроизводиться возможное изменение давления в топливной системе, соответствующее заданной неисправности, а диагност должен правильно его идентифицировать.

С этой целью предлагается ввести модуль, воспроизводящий осциллограммы давления при различных неисправностях элементов системы питания, на основе чего создается база данных с осциллограммами давления при различных неисправностях топливной системы.

Так как описать осциллограммы аналитическими зависимостями не предоставляется возможным, то при создании базы осциллограмм использован метод оцифровки уже существующих осциллограмм, которая производилась с помощью программы Graph2Digit2. Оцифровка выполнялась по цвету линии графика (цвет линии – синий), который был предварительно подготовлен (рис. 5.4). Далее были заданы пределы и шаги оцифровки по координатным осям. Поскольку весь процесс изменения давления при впрыске топлива проходил за 20 мс, предел по абсциссе был принят равным 200. Шаг в нашем случае равен 1, что в переводе в мс составило 0,1 мс. Такие параметры позволили наиболее точно оцифровать исходный график и получить базу данных по данной зависимости, которая была трансформирована в файл системы управления базами данных Paradox.

Для выхода в режим диагностирования системы питания предлагается запустить двигатель и нажать кнопку F4 «Осциллограмма».

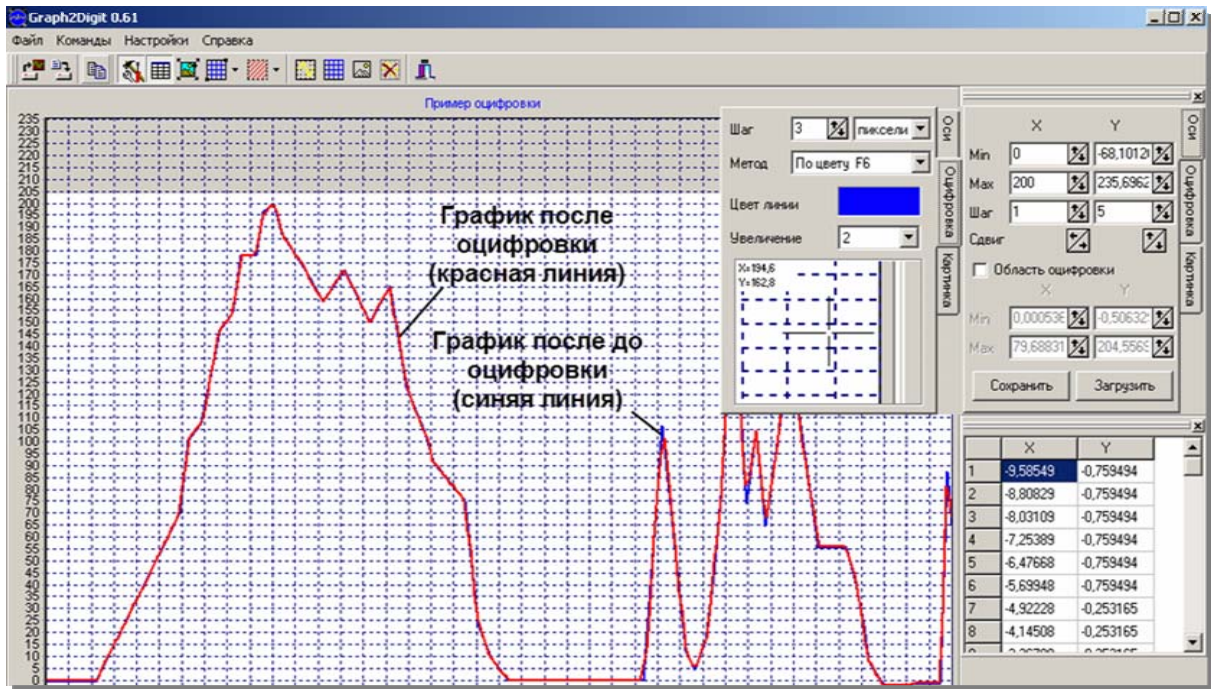


Рис.5.4. Оцифровка графика давления топлива

На экране появится осциллограмма синего цвета 1 (рис. 5.5), характеризующая пульсацию давления в топливной системе диагностируемого двигателя, и осциллограмма зеленого цвета 2, характеризующая изменение давления топлива при отсутствии неисправностей (контрольная осциллограмма). Сопоставляя эти осциллограммы, программа по допустимому значению может найти совпадающие осциллограммы синего цвета 1 (осциллограмма диагностируемого двигателя) и красного цвета 3 (осциллограмма из базы данных соответствующая известной неисправности), т.е. определить неисправность топливной системы дизеля.



Рис. 5.5. Окно с осциллограммами

Добавив функцию вызова осциллограмм давления топлива с возможными неисправностями во время диагностирования двигателя, можно обеспечить сравнение реальной и базовой осциллограмм. Это позволит упростить процесс выявления отказов.

При запуске программы оператор выбирает дату проведения диагностирования, наработку дизеля, категорию условий эксплуатации и климатические условия эксплуатации автомобиля.

Затем осуществляется переход непосредственно к диагностированию топливной системы двигателя на холостых оборотах. Для наглядности наличия неисправности на графиках изначально присутствуют графики нормальной работы элементов топливной системы дизеля.

Затем осуществляется переход к диагностированию топливной системы двигателя на холостых оборотах. Для наглядности наличия неисправности на диаграммах введены графики нормальной работы элементов топливной системы дизельного двигателя (рис. 5.6).

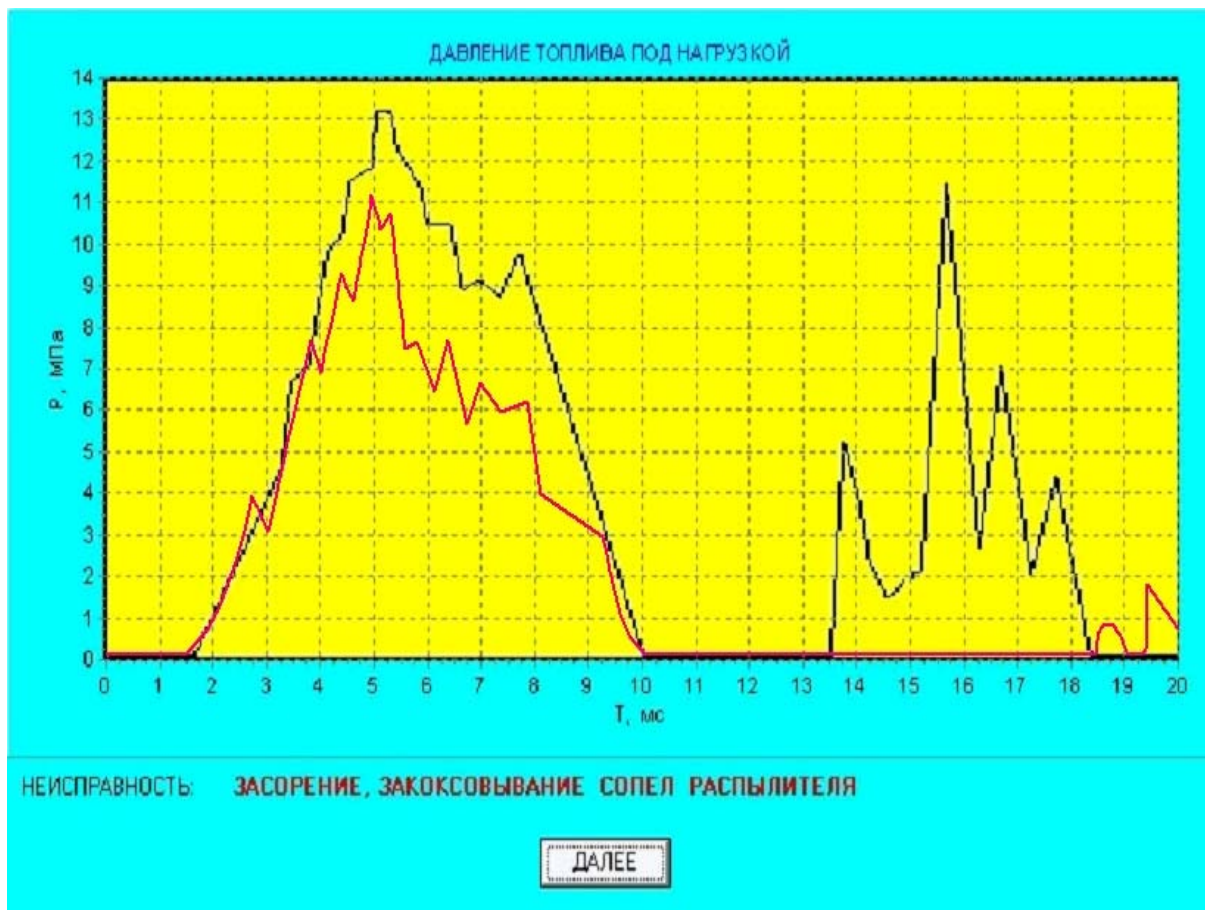


Рис. 5.6. Засорение, закоксовывание сопел распылителя форсунки

Следующий этап – диагностирование дизельного двигателя под нагрузкой. Здесь также для наглядности наличия неисправности на графиках присутствуют кривые нормальной работы элементов топливной системы дизельного двигателя под нагрузкой.

Под графиками в случае выявления неисправности появляется надпись, характеризующая эту неисправность, например, «нарушение подвижности иглы распылителя». Если неисправностей не выявлено, появится надпись «неисправностей не обнаружено».

Если неисправностей в топливной системе не выявлено, то система переходит к поиску неисправностей путём опроса водителя автомобиля, который выбирает из предложенных вариантов неправильной работы двигателя наиболее характерные признаки, которые он заметил на своём автомобиле. Опросная система имеет древовидную структуру.

Последовательность опроса по этим вопросам зависит от частоты появления признаков и составляется на основании статистических данных, собранных в условиях эксплуатации. На основании полученной информации на этом этапе определяются вероятные гипотезы – элементы двигателя, подозреваемые на отказ.

По завершении этапа выбора качественных признаков в системе происходит просмотр базы данных и формирование рабочего набора предполагаемых неисправностей, обеспечивающих решение задачи поиска неисправностей.

Для уточнения процесса поиска неисправностей система в диалоговом режиме проводит опрос пользователя о том, какая наработка двигателя, какие ремонтно-обслуживающие работы проводились в последнее время, как были замечены проявления качественного признака, какие работы выполнялись, какие ещё сопутствующие качественные признаки проявляются при этом. Определяющим при последовательности задания вопросов является логическая целесообразность того или иного вопроса. Взаимодействие с системой происходит посредством последовательного предъявления пользователю вопросов (рис. 5.7, 5.8) системы и выбором им вариантов ответа в меню различных типов.

Для перемещения по меню используются «стрелки», выбор позиций осуществляется нажатием клавиши «Space». Переход к следующему меню в древовидной структуре осуществляется нажатием клавиши «ДАЛЕЕ».

По результатам опроса уточняются вероятности рассматриваемых гипотез. В ряде случаев, основываясь только на результатах ответов на опросные вопросы, можно принять диагностическое решение. Диагностическая система обладает знаниями о типичных ситуациях, соответствующих наличию наиболее часто встречающихся неисправностей. В ходе опроса система анализирует полученную информацию и формирует гипотезы о неисправностях и предлагает в оптимальной последовательности провести диагностические проверки по качественным признакам с использованием инструментальных средств диагностирования. Номенклатура диагностических средств, применяемых при поиске, легко изменяется в соответствии с имеющимися у пользователя.

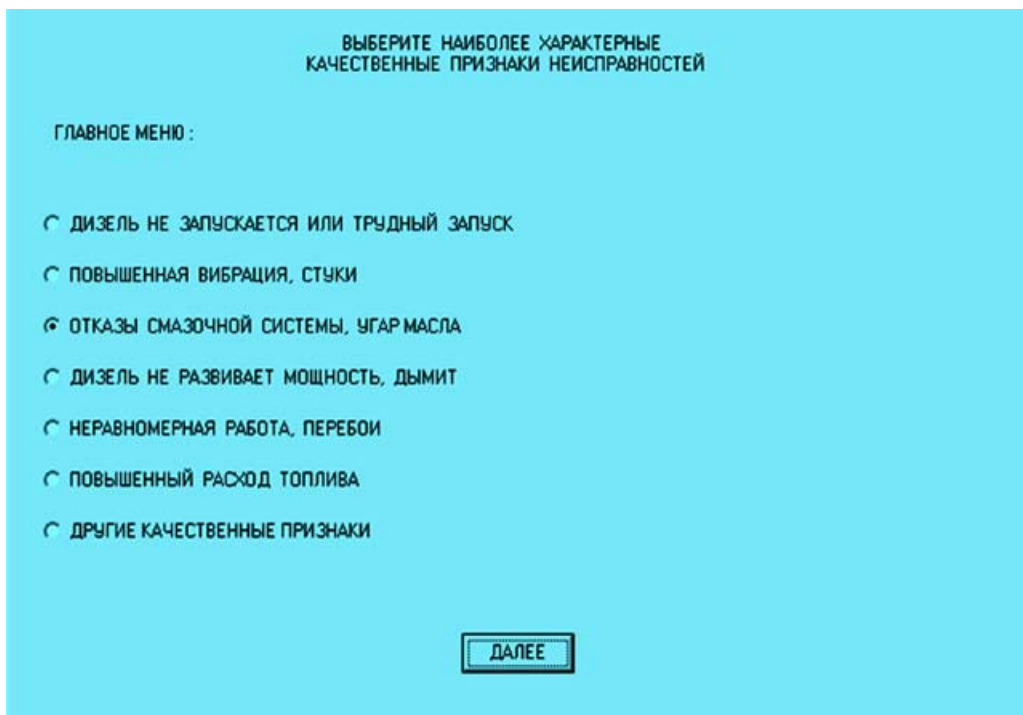


Рис. 5.7. Главное меню

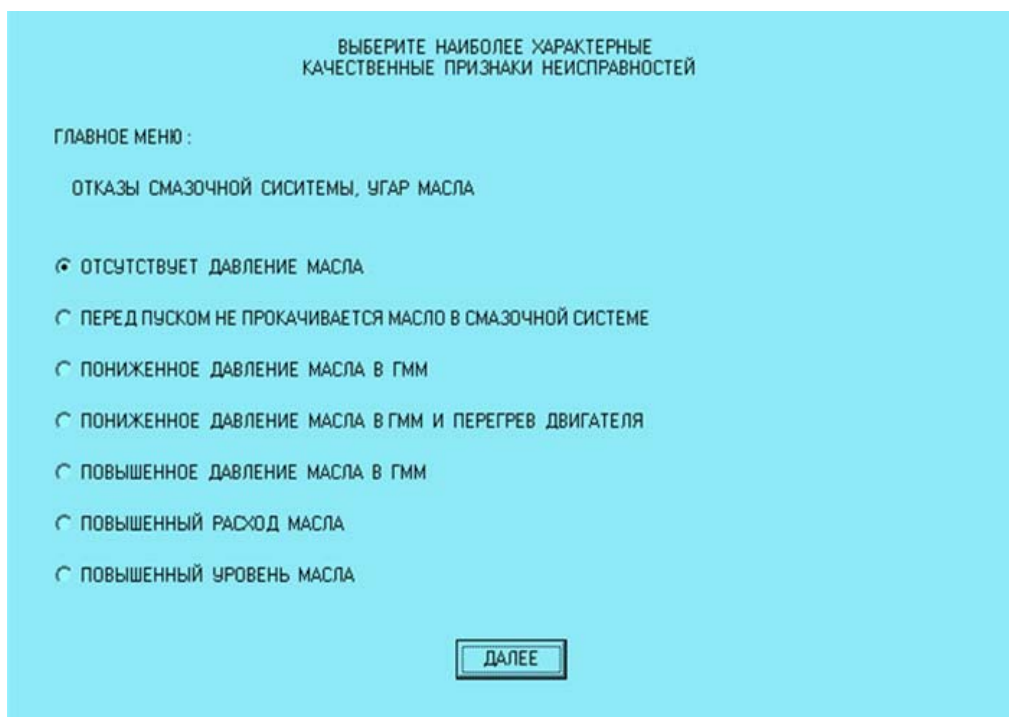


Рис. 5.8. Выбор нужного признака

Взаимодействие с системой происходит посредством последовательного предъявления заданий на проведение диагностических проверок. При этом доступна инструкция о технологии проведения проверки. Работа системы заканчивается определением наиболее вероятной неисправности двигателя.

Вывод по пункту 5.1. Разработан алгоритм программы встроенного диагностирования на основе вероятностно-логической методики поиска неисправности, который позволит выполнить Макетный образец встроенной системы диагностирования автомобильных дизелей.

5.2. Макетные образцы встроенной системы диагностирования автомобилей

Разработанное оборудование, программное обеспечение и алгоритмы диагностирования дизеля – составные части системы встроенного диагностирования двигателя, именно системы, поскольку она включает в себя целый комплекс модулей и блоков и производит диагностирование не отдельного узла или системы, а всех основных систем дизеля.

Разработанный макетный образец состоит из трех основных блоков: датчиков; интерфейса; программного обеспечения. Структурная схема такого прибора представлена на рис. 5.9. В таком же исполнении прибор может устанавливаться на автомобиль и являться системой бортовой диагностики транспортного дизеля.

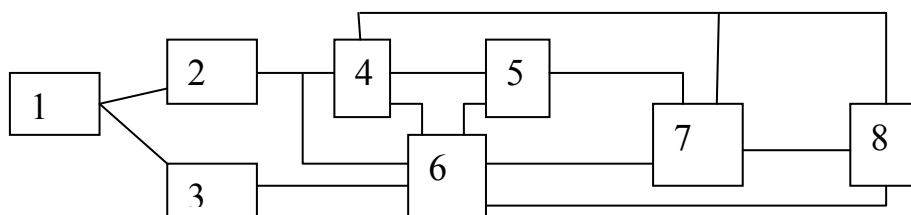


Рис. 5.9. Устройство для диагностирования дизеля:

1 – датчик давления топлива; 2 – формирователь сигнала частоты вращения коленчатого вала; 3 – формирователь сигнала датчика момента впрыска топлива; 4 – блок вычисления угловой скорости; 5 – блок вычисления углового ускорения; 6 – блок управления; 7 – арифметическое логическое устройство; 8 – блок индикации.

Устройство работает следующим образом. Импульсы от датчика 1 с периодичностью, соответствующей углу поворота коленчатого вала, пройдя формирователь 2, поступают в блоки 4 и 5. Блок 4 измеряет период следования данных импульсов, и измеренным периодом вычисляет угловую скорость на данном угле поворота вала, значение которой поступают на входы блоков 5, 7 и 8. Блок 5, учитывая период следования импульсов, измеренную угловую скорость, а также значение угловой скорости, вычисляет угловое ускорение, значения которой поступают на вход арифметического логического устройства 7.

Сигнал от датчика 1 момента впрыска топлива определенного цилиндра, как правило, первого, через формирователь 3 поступает на вход блока 5 управления. Блок 5 с приходом импульса от датчика 1 подсчи-

тывает импульсы и рассчитывает угол поворота коленчатого вала. При повороте коленчатого вала на угол, соответствующий моменту впрыска топлива в первом цилиндре двигателя, блок 5 подает первый управляющий сигнал на вход блока 7. По этому сигналу блок 7 начинает выбор минимального значения угловой скорости, приходящегося на начало рабочего хода в первом цилиндре. Одновременно блок 7 осуществляет выбор максимального значения углового ускорения, приходящегося на первую половину рабочего хода в первом цилиндре.

При повороте коленчатого вала на угол, равный $720/(3*i)$ (где i – число цилиндров двигателя) от верхней мертвой точки конца сжатия, в первом цилиндре блок 7 подает второй управляющий сигнал, с приходом которого блок 8 прекращает выбор минимального значения угловой скорости и максимального значения углового ускорения, заносит эти значения в память и переходит в режим поиска максимального значения угловой скорости, приходящегося на среднюю часть такта расширения. Одновременно блок 7 осуществляет выбор минимального значения углового ускорения, приходящегося на вторую половину такта расширения в первом цилиндре.

При повороте коленчатого вала на угол, равный $720/i$, блок 5 подает третий управляющий сигнал, по которому блок 7 прекращает выбор максимального значения угловой скорости и минимального значения углового ускорения, заносит эти значения в память. Одновременно блок 7 начинает поиск минимального значения угловой скорости и максимального значения углового ускорения в следующем по порядку работы цилиндре.

По окончании цикла измерения, который для достижения необходимой точности должен длиться не менее 10 циклов, блок 5 подает очередной управляющий сигнал в блоки 7 и 8. По этому сигналу блок 7 вычисляет среднее значение приращений угловой скорости от минимального значения) до максимального, приходящегося на такт расширения каждого цилиндра, и уменьшение угловой скорости от максимального его значения для i -го цилиндра до минимального его значения, приходящегося на такт расширения в следующем по порядку работы цилиндре, т.е. для $(i+1)$ -го цилиндра, аналогичные показатели определяются и по угловому ускорению. Блок 7 определяет диагностические параметры, сопоставляет их с нормативными значениями и ставится диагноз. Результаты индицируются блоком 8 индикации.

Особенности реализации отдельных блоков системы диагностирования дизелей рассматриваются ниже более подробно.

Для диагностирования топливной системы использовался датчик давления (рис. 5.10), обработка и вывод сигнала выполнялся с помощью встроенной системы диагностирования (рис. 5.11).

Изготовление встроенной системы диагностирования (ВСД) с точки зрения мощности и выбора комплектующих элементов не имеет особых

трудностей, так как программа обработки и алгоритма постановки диагноза не большая (1000 Кбайт) и не содержит больших циклических расчетов.



Рис. 5.10. Датчики давления топлива с пружинным и эксцентриковым зажимом



Рис. 5.11. Внутренний и внешний вид встроенных систем диагностирования

Программное обеспечение состоит из двух программ, первая из которых защита в микроконтроллер интерфейса и обеспечивает прием – передачу информации от датчиков на ВСД. Вторая ведет запись данных в файл и их обработку, включая постановку диагноза.

Одним из важнейших показателей работы с системой диагностирования является трудоемкость операций подготовки системы к работе и сам процесс диагностирования дизеля. Трудоемкость установки датчика составляет 0,03 чел.-ч. Трудоемкость непосредственного диагностирования, как показали хронометражные измерения, составляет 0,18 чел.-ч. Такая схема не требует особой квалификации от оператора, что делает диагностирование более эффективным. Таким образом, общая трудоемкость диагностирования составляет 0,21 чел.-ч.

Увеличение в последние годы количества транспортных средств, оборудованных системами встроенного диагностирования и применение беспроводных технологий, вызвано преимуществами, которые дает использование этих приборов на автотранспортных предприятиях.

Наиболее оптимальным решением является проведение работ по диагностическому обеспечению автомобилей на всех стадиях, начиная от их разработки до полного списания, т.е. на стадиях разработки, производства, эксплуатации, капитального ремонта и хранения, а также при обосновании акта о списании конкретных автомобилей.

Вывод по пункту 5.1: приведено описание и принцип работы макетных образцов встроенных систем диагностирования автомобилей.

5.2. Образцы программ определения технического состояния и постановки автомобилей на техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей

Повышение эффективности функционирования подвижного состава автотранспортного предприятия (АТП) обеспечивается своевременным техническим обслуживанием и ремонтом на основе диагностирования автомобилей. Однако не все предприятия обладают современным оборудованием для оценки технического состояния автомобилей, кроме того, периодичность контроля такова, что имеется возможность эксплуатации автомобилей с состоянием, требующим технического обслуживания (ТО) или текущего ремонта.

При этом используемая в настоящее время планово-предупредительная система ТО теряет свою актуальность. Наиболее применима система, при которой будут стремиться к минимуму затраты на техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Такая система ТО будет более динамичной.

Основной проблемой применения таких систем является повышение стоимости транспортных средств за счет установки на основных элементах

автомобиля датчиков, информация от которых поступает в блок управления.

В тоже время возникает проблема в планировании технического обслуживания на автотранспортных предприятиях для группы автомобилей.

Для выполнения такой задачи необходимо информацию по самодиагностике автомобилей объединить, систематизировать и анализировать, что возможно выполнить с использованием компьютерных систем.

Преимуществом таких систем является снижение материальных и временных затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобилей, а также увеличение ресурса автомобиля.

Основными проблемами системы ТО на основе самодиагностики являются:

- неопределенность прогнозируемого времени постановки автомобиля на участок обслуживания, что затрудняет планирование и организацию ТО и ремонта;
- сложность объединения операций в группы и виды ТО;
- сложность определения трудоемкости ТО;
- сложность оценки материальных затрат на каждый вид ТО автомобилей.

Для решения этих проблем необходимо разработать программу, которая будет выполнять вышеперечисленные функции.

На первом этапе для ежедневного контроля над состоянием подвижного состава автотранспортного предприятия предлагается внедрить компьютерную программу, основанную на фиксации и анализе показателей автомобиля при использовании диагностирования.

Программа включает блоки формирования баз данных по результатам диагностирования (рис. 5.12), наличному подвижному составу АТП, справочным сведениям об автомобилях. Подготовленные данные обрабатываются с помощью расчётно-анализирующего блока. С помощью блока индикации результаты расчета и анализа выводятся на монитор компьютера руководящих работников автотранспортного предприятия. Данная информация является основанием для своевременного принятия решений по проведению технического обслуживания автомобилей.

Программа устанавливается на компьютере диспетчера АТП. Базы данных с характеристиками различных марок автомобилей прилагаются к программе.

Программа считывает значения с диагностических устройств, установленных на автомобиле. Если же такие устройства не установлены, они устанавливаются дополнительно.

Считанные значения автоматически записываются в базу данных программы, это делается для того, чтобы впоследствии можно было проследить историю технического состояния автомобиля.

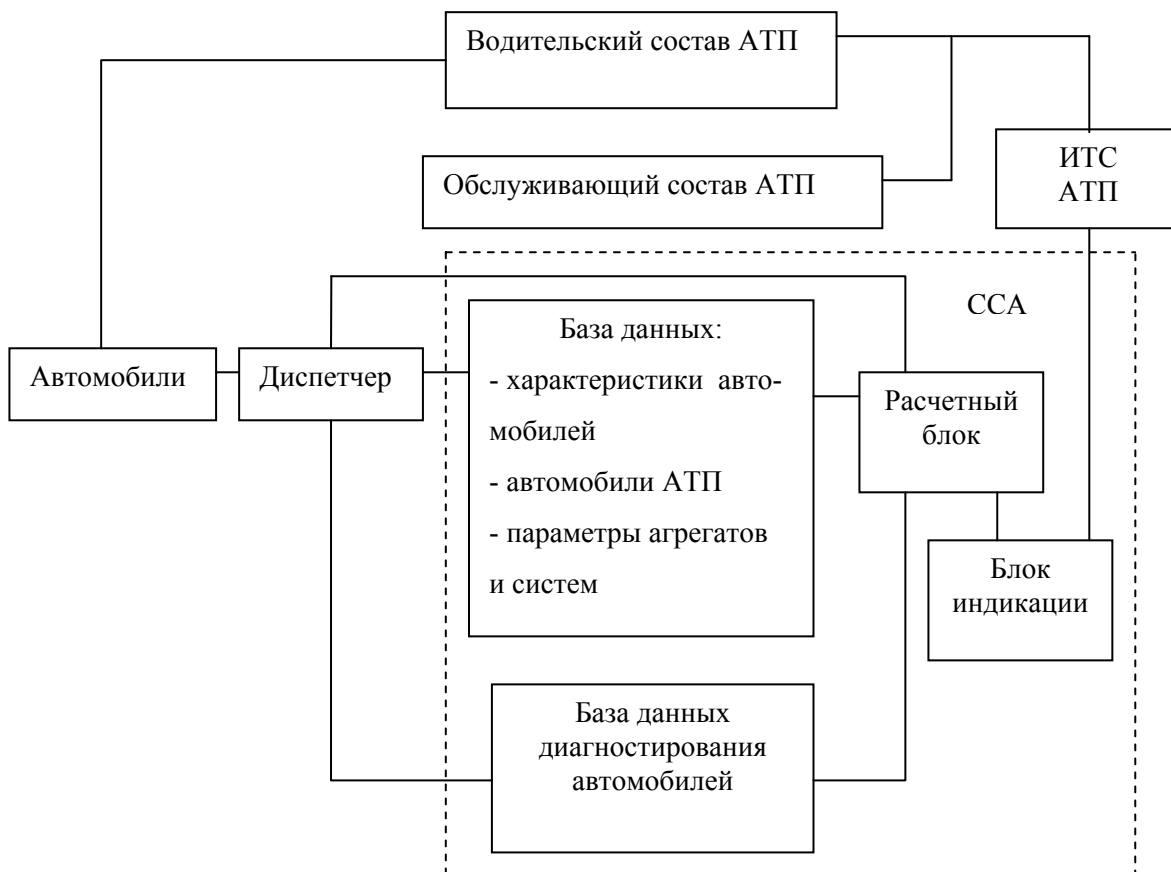


Рис. 5.12. Структурно-логическая схема сигнализатора технического состояния автомобиля

При запуске программы, оператор выбирает интересующий его автомобиль при помощи вкладки «Выбор автомобиля» (рис. 5.13).

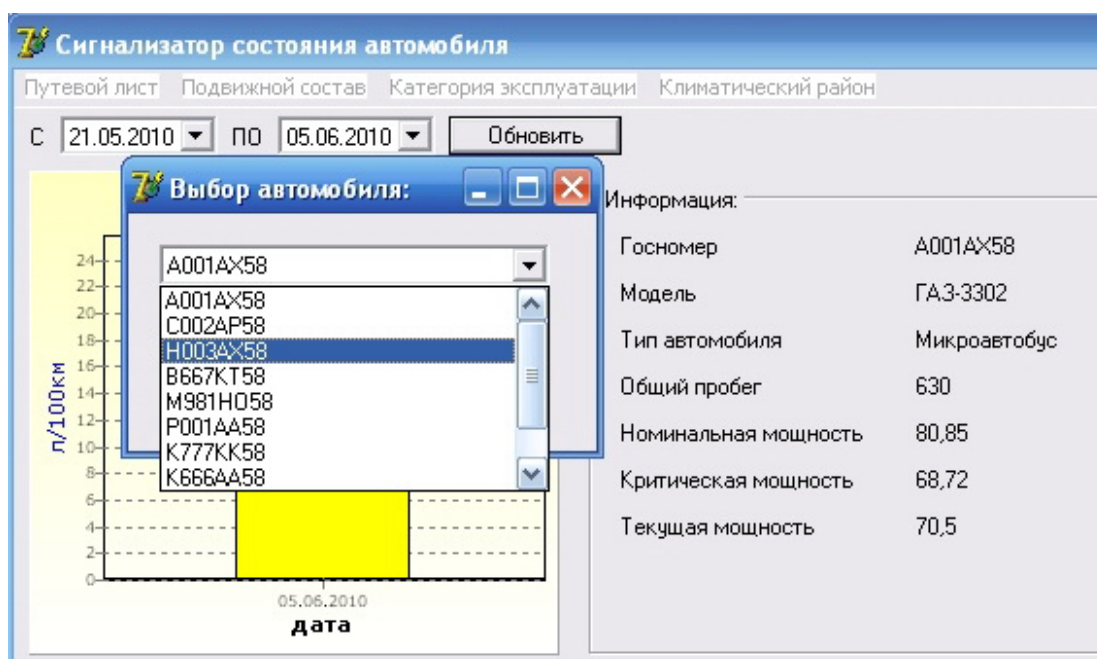


Рис. 5.13. Выбор автомобиля

Затем выбирается категория эксплуатации автотранспортного средства, с помощью вкладки «Категория эксплуатации» (рис. 5.14).

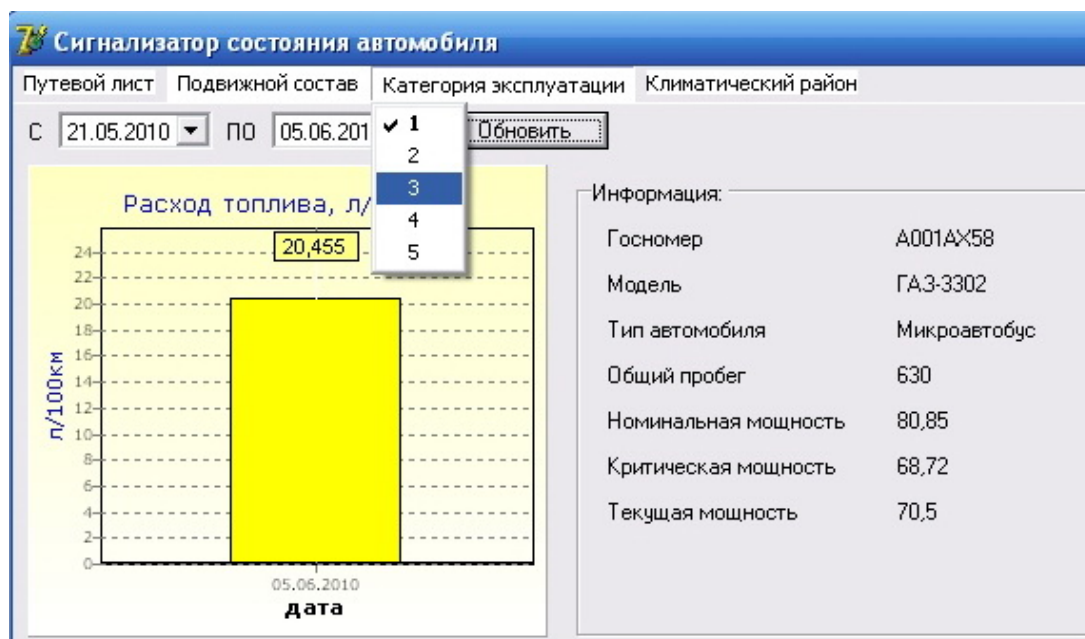


Рис. 5.14. Выбор категории эксплуатации автомобиля

Чтобы программа могла точнее скорректировать наработку до ТО, выбираем климатический район, в котором эксплуатируется автомобиль, с помощью вкладки «Климатический район» (рис. 5.15).

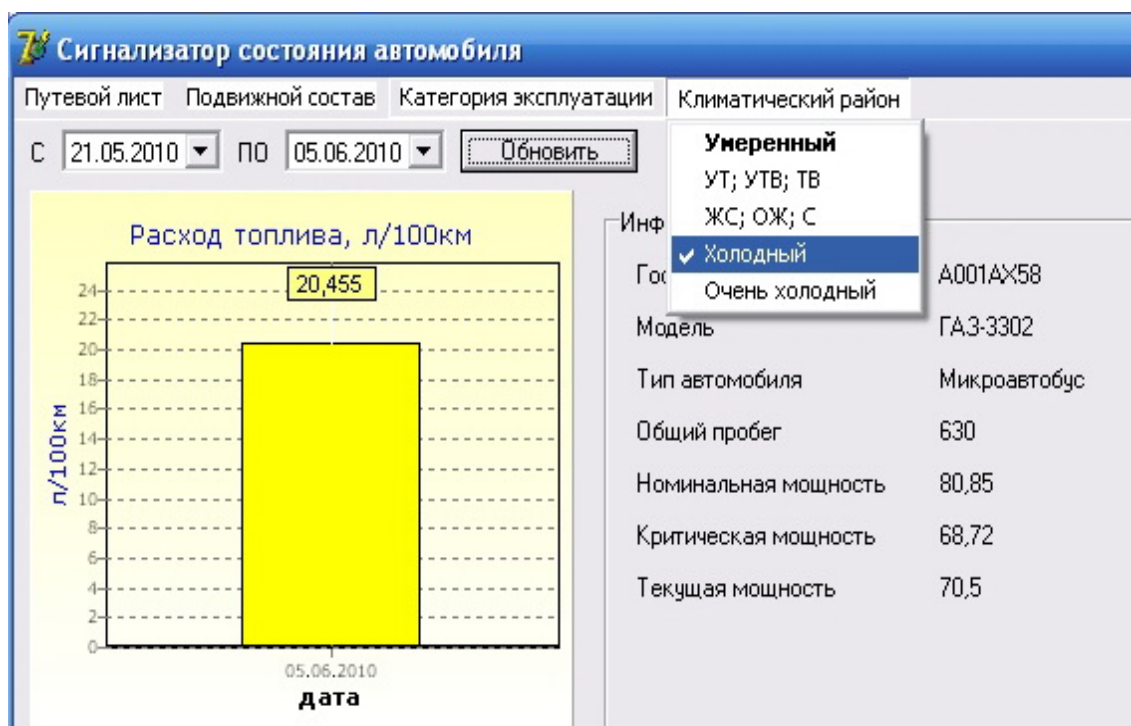


Рис. 5.15. Выбор климатического района

По умолчанию в программе установлены настройки: категория эксплуатации – 1; климатический район – умеренный.

Для обновления графиков и расчета оставшейся наработки до ТО, оператор нажимает клавишу «Обновить», после этого, параметры технического состояния автомобиля выводятся на экран монитора (рис. 5.16) за период в целом и в динамике: по дням, декадам, месяцам.

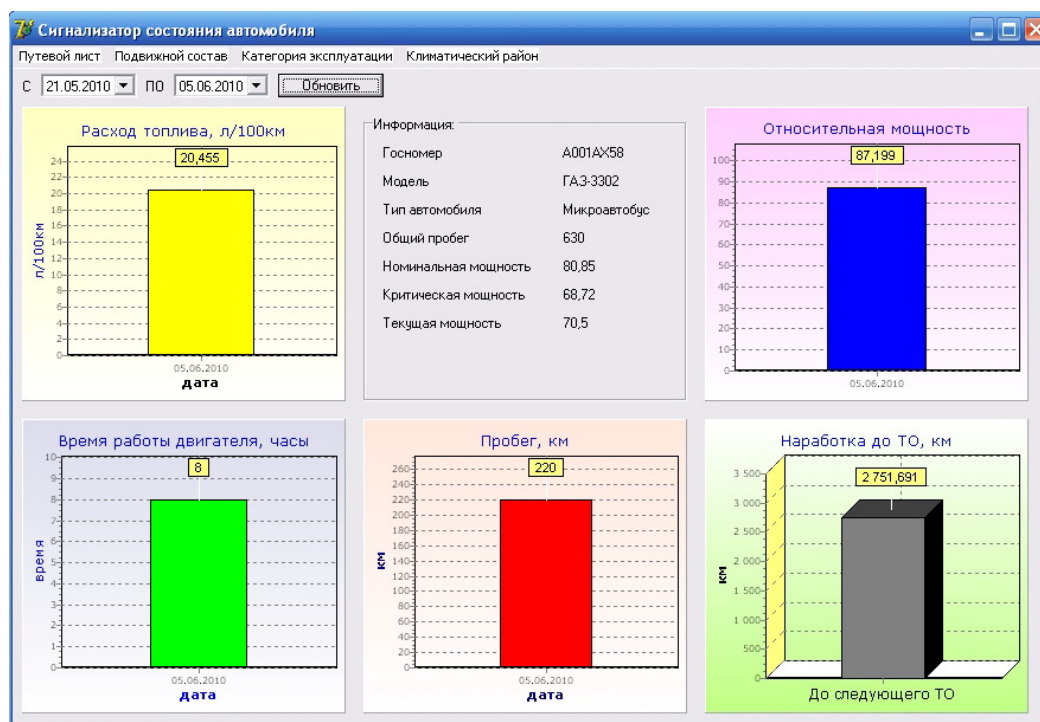


Рис. 5.16. Сигнализатор состояния автомобиля

Сигнализатор состояния автомобиля включает в себя 5 полей диаграмм: «Расход топлива»; «Время работы двигателя»; «Пробег»; «Относительная мощность»; «Наработка до ТО».

На диаграмме «Расход топлива» выводится расход топлива автомобилем на 100 км. Так как с уменьшением относительной мощности автомобиля и износом его агрегатов увеличивается расход топлива, этот параметр поможет нам оценить динамику изменения технического состояния автомобиля. При значительном увеличении среднего расхода топлива, автомобиль направляется на проведение ТО.

На диаграмме «Относительная мощность» выводится относительная мощность диагностируемого автомобиля, которая считается по следующей формуле:

$$N_{\text{отн.}} = N_{\text{изм.}}/N_{\text{ном.}} \cdot 100 \%,$$

где $N_{\text{отн}}$ – относительная мощность автомобиля, %;

$N_{\text{изм.}}$ – измеренная мощность автомобиля (с датчиков при диагностировании);

$N_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность автомобиля (из базы данных программы).

При уменьшении относительной мощности до 85,0 %, автомобиль направляется на ТО.

По диаграмме «Наработка до ТО», оператор может судить о пробеге автомобиля до следующего ТО, значение указывается в километрах.

В базу программы заложены номинальные и критические мощности для каждой модели автомобиля.

Наработка до ТО определяется программой по формуле:

$$t = (N_{\text{изм.}} - N_{\text{кр.}}) / (N_{\text{ном.}} - N_{\text{кр.}}) \cdot L_{\text{ТО}} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

где t – наработка до следующего ТО, км;

$N_{\text{изм.}}$ – измеренная мощность автомобиля (с датчиков при диагностике);

$N_{\text{кр.}}$ – критическая мощность автомобиля (из базы данных программы);

$N_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность автомобиля (из базы данных программы);

L – нормативный пробег до ТО;

K_1 – коэффициент, учитывающий категорию эксплуатации автотранспортного средства;

K_2 – коэффициент, учитывающий климатические условия эксплуатации автомобиля.

Таким образом, сигнализатор состояния автомобиля способен с относительно высокой точностью определить наработку до проведения следующего ТО, что значительно снижает затраты АТП на содержание автотранспортного парка, а именно на проверку технического состояния автомобилей.

Применение самодиагностики, динамичной системы ТО и регулируемых систем позволит увеличить уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизить материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей, уменьшить потребность в технологическом оборудовании и производственно-складских помещениях.

Повышение эффективности функционирования подвижного состава автотранспортного предприятия (АТП), обеспечивается своевременным техническим обслуживанием и ремонтом, на основе диагностирования автомобилей, периодичность которого такова, что имеется возможность эксплуатации автомобилей с состоянием, требующим текущего ремонта, или ТО проводится до наступления допустимого технического состояния элемента автомобиля. Это приводит к выпуску на линию неисправных автомобилей или не полному использованию ресурса отдельных узлов и агрегатов автомобилей и, как следствие, к значительным материальным затратам. В тоже время все большее применение находят системы ускоренного и встроенного диагностирования, в которых вся информация концентрируется в системном блоке автомобильного компьютера [6].

При этом принципы, заложенные в существующую планово-предупредительную систему ТО и ремонта автомобилей, теряют свою актуальность.

При обслуживании автомобилей, как и многих других изделий, применяются две тактики проведения профилактических работ, т.е. доведения автомобиля, агрегата, системы до нормативного технического состояния, по наработке и по техническому состоянию [2].

При обслуживании по наработке всем изделиям через фиксированную периодичность выполняется установленный (регламентный) объем профилактических работ (смена масла, регулирование механизмов и др.), а параметры технического состояния доводятся до номинального или близкого к нему значения. Эта тактика проста в применении и гарантирует работоспособность изделия с вероятностью. Ее недостаток состоит в том, что в условиях неизбежной вариации показателей технического состояния значительная часть изделий имеет потенциальную наработку до отказа, существенно превосходящую установленную периодичность и для этих изделий (или случаев) техническое обслуживание с периодичностью является как бы преждевременным и вызывает дополнительные затраты. Данные изделия по экономическим соображениям было бы целесообразно обслуживать реже, например через одно ТО. Этот недостаток устраняется при использовании тактики технического обслуживания по состоянию, предполагающей выполнение диагностирования при каждом ТО, по результатам которого назначаются конкретные операции ТО (регулирующие, смазочные, крепежные и другие).

Преимуществом этой диагностической тактики технического обслуживания по состоянию является более полное использование потенциального ресурса конкретных изделий с учетом вариации изменения их фактического технического состояния.

Однако и последняя тактика не лишена недостатков. Периодическое диагностирование не позволяет минимизировать затраты на техническое обслуживание, так как для сокращения потерь ресурса изделий следует уменьшать упреждающий допуск на диагностический параметр, что взаимосвязано с увеличением частоты диагностирования и возрастанием затрат на него.

Наиболее эффективной становится динамичная система ТО и ТР, основанная на встроенном диагностировании и обеспечивающая оперативное выполнение операции по поддержанию работоспособности автомобиля. В связи с чем появляется новая тактика ТО и ТР на основе встроенного диагностирования.

При использовании предлагаемой тактики ТО и ТР с помощью встроенных средств диагностирования определяется техническое состояние элементов автомобиля, на основании чего оценивается необходимость проведения конкретных работ по техническому обслуживанию или теку-

щему ремонту, с учетом предельных значений диагностических параметров.

Основной проблемой применения динамичной тактики ТО и ремонта является усложнение конструкции и увеличение стоимости автомобиля за счет повышения контролепригодности его элементов.

Это, во-первых, механизмы, обеспечивающие безопасность движения автомобиля (тормозные системы, механизмы управления, установки углов передних колес, приборы освещения), влияющие на уровень токсичности отработавших газов и топливную экономичность [4-7].

Во-вторых, механизмы, на которые приходится до половины общей стоимости потребляемых запасных частей, составляющих 2-3 % от общей номенклатуры деталей у современных автомобилей (элементы двигателя, трансмиссии).

Также возникает необходимость обоснования количества параметров автомобиля, подвергающихся проверке в процессе эксплуатации и датчиков, с помощью которых проверка будет производиться.

Основными задачами являются: прогнозирование времени постановки автомобиля на посты зоны обслуживания, объединения операций в группы ТО и ТР для автомобилей с различным техническим состоянием; определение трудоемкости ТО, ТР и оценка материальных затрат на ТО и ТР автомобилей.

Использование встроенного диагностирования, приводящего к вариации периодичности обслуживания, позволяет перегруппировывать операции ТО и ТР элементов автомобиля и составлять уточненные перечни операций каждого обслуживания [2, 8-12].

Автоматизированное определение перечней и периодичностей ступеней ТО основано на обработке текущих значений параметров технического состояния элементов автомобиля, сопоставления их с допустимыми значениями параметров и получения на этой основе общей информации о техническом состоянии автомобиля.

Рациональные периодичности выбираются с учетом зависимости вероятности безотказной работы автомобилей от периодичности ТО, при этом следует исходить из условия, что вероятность безотказной работы будет близка к единице для элементов автомобилей, подвергающихся встроенному диагностированию. Соответственно периодичность обслуживания при встроенном диагностировании автомобилей будет величиной переменной [13-15].

При достижении предельного состояния элементами, обеспечивающими дорожную, экологическую безопасность или экономичность автомобиля, автомобиль следует направлять на ТО или ТР (операции O_1, O_2, O_3, \dots (рис. 5.17)) в моменты наработки l_1, l_2, l_3, \dots . Одновременно с этим нужно произвести определение операций ТО и ТР элементов, у

которых прогнозируемый период достижения предельного состояния не превышает заданного допуска (операции O_{11}, O_{12}, \dots) и сгруппировать с операциями O_1, O_2, O_3, \dots

Группировка производится с использованием элементов прогнозирования в блоке управления автомобилем, или через адаптер с помощью компьютера, снимающего информацию с выходного разъема этого блока.

Преимуществом предлагаемой тактики ТО и ремонта является снижение материальных и временных затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобилей, а также увеличение ресурса автомобиля.

Одновременно с этим на автотранспортном предприятии возникает необходимость в планировании технического обслуживания группам автомобилей с различным техническим состоянием.

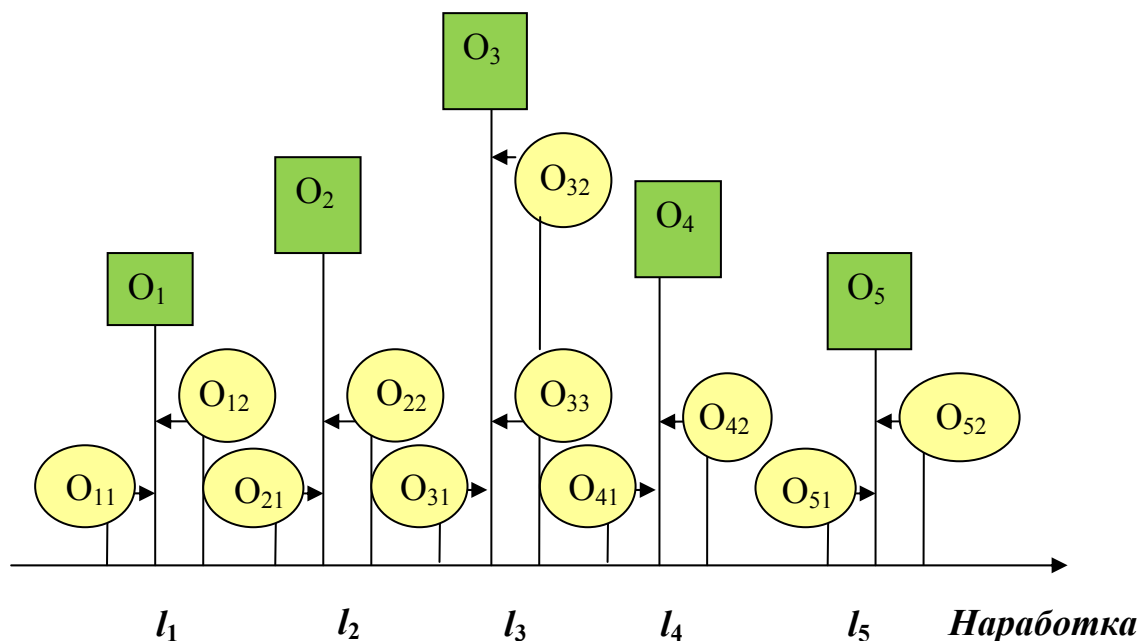


Рис. 5.17. Схема формирования ступеней ТО:

O_1, O_2, \dots – операции, отвечающие за безопасность движения, наиболее трудоемкие или имеющие значительную стоимость, определенные встроенным диагностированием; O_{11}, O_{12}, \dots – операции определенные встроенным диагностированием, имеющие прогнозируемый период достижения предельного состояния не превышающий заданного допуска O_1, O_2, \dots ;

l_1, l_2, \dots – периодичность перечней операций определенных встроенным диагностированием

Информацию, полученную с помощью встроенного диагностирования автомобилей, при выполнении процесса планирования обслуживания необходимо объединить, систематизировать и анализировать с помощью специализированного программного обеспечения.

Для решения выше поставленных задач предлагается программно-информационный комплекс (рис. 5.18), в виде автоматизированного рабочего места диспетчера АТП. Он включает блоки формирования базы данных по результатам диагностирования, баз данных о наличном подвижном составе АТП, справочных сведений по автомобилям, трудоемкостях всех операций ТО и ТР, предельно-допустимых значениях параметров технического состояния и средних наработках на отказ узлов, агрегатов, систем автомобиля, а также рекомендации по устранению отказов и неисправностей.

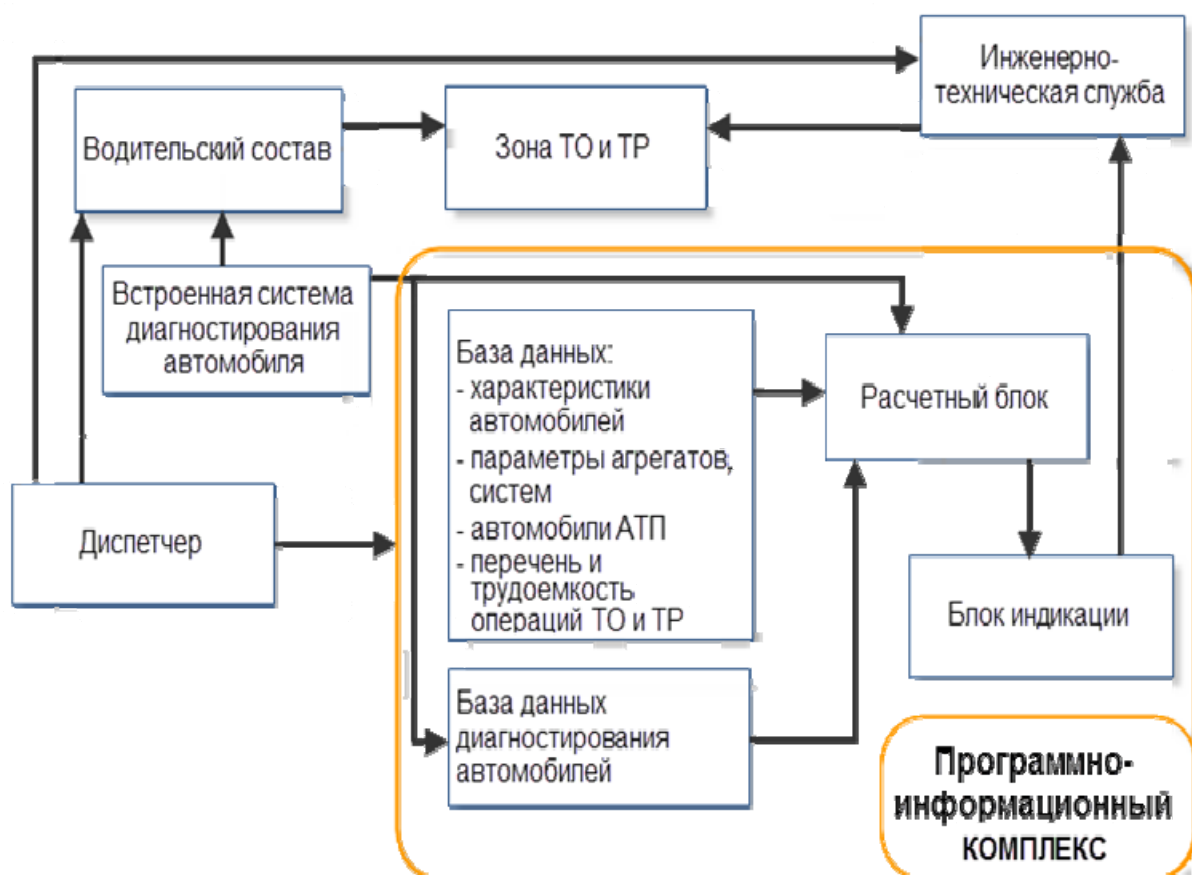


Рис. 5.18. Взаимосвязь программно-информационного комплекса с инженерно-технической службой предприятия

Информация, полученная от встроенной системы диагностирования, обрабатывается с помощью расчётно-аналитического блока, состоящего из сигнализатора состояния автомобиля и программы оптимизации периода направления автомобиля на ТО и ТР. Эти сведения являются основанием для своевременного принятия решений о проведении технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей.

Программа считывает значения с первичных преобразователей встроенной системы диагностирования, установленных на автомобиле. Эти значения автоматически записываются в базу данных для получения информации о динамике технического состояния автомобиля.

После автоматизированного прогнозирования наработки до возникновения отказа, согласно алгоритму, анализируется вся информация о предотказных состояниях элементов автомобилей предприятия. Автомобили в зависимости от вида выполняемых операций группируются по постам зон ТО и ТР. Программа подсчитывает количество автомобилей на один пост зоны ТО или ТР и определяет трудоемкость каждой операции по каждому автомобилю.

Затем составляется порядок прохождения ТО и ТР, начиная с автомобиля, у которого выявлено предотказное состояние узла, агрегата или системы, влияющего на дорожную или экологическую безопасность, либо у которого прогнозируемая наработка до отказа минимальна. Диспетчером проверяется информация о занятости постов и участков ТО и ТР. Если необходимый пост или участок свободен, то первый из списка автомобиль назначается на прохождение ТО. Данная информация доводится до инженерно-технической службы (ИТС), которая информирует обслуживающий персонал зон ТО и ТР о выполнении необходимых работ.

Процессы ТО и ТР включают в себя достаточно большое количество различных операций. Так в процесс ЕО входит более 10 операций, в ТО-1 – более 20, в ТО-2 – более 70, в СО – более 25, в ТР – более 100. Несвоевременное их выполнение увеличивает долю ремонтных работ, а соответственно повышает затраты на поддержание и восстановление работоспособности автомобилей. Применение встроенных средств диагностирования снизит вероятность возникновения отказа и суммарную трудоемкость обслуживания и ремонта автомобиля.

Выводы по пункту 5.2. Предложенная тактика технического обслуживания и текущего ремонта на основе встроенного диагностирования с использованием программно-информационного комплекса позволяет определить оптимальное время постановки автомобиля на обслуживание или текущий ремонт, объединить операции ТО и ТР в группы; определить трудоемкости ремонтно-обслуживающих работ, что облегчит оперативное планирование и управление ТО и ТР автомобилей, увеличит уровень эксплуатационной надежности автомобильного парка, снизит материальные и трудовые затраты на проведение технического обслуживания и ремонта автомобилей

5.3. Оценка экономической эффективности внедрения системы диагностирования автомобильных дизелей

Обоснованием целесообразности внедрения различных технических систем, в том числе и систем диагностирования, является экономическая оценка суммарного эффекта, определяемого снижением затрат на эксплуа-

тацию и дополнительными затратами на систему объективной инструментальной оценки состояния в любой момент эксплуатации.

Расчет экономической эффективности производился для случая внедрения встроенной системы диагностирования в АПТ малой мощности (50 автомобилей).

Ожидаемый годовой эффект от внедрения диагностирования дизелей можно определить по формуле [85]

$$\mathcal{E}_T = (C_1 - C_2) - E_H \cdot K, \quad (5.1)$$

где C_1 и C_2 – затраты на содержание автомобилей соответственно до и после внедрения диагностирования;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_H = 0,15$);

K – капитальные затраты на приобретение диагностического оборудования.

Снижение затрат на эксплуатацию автомобилей при внедрении встроенной системы диагностирования дизелей достигается за счет снижения эксплуатационного расхода топлива, трудоемкости ТО и ТР двигателя, сокращения затрат на запасные части и материалы и сокращения потерь транспортной работы из-за раннего возврата с линии и опоздания с выездом на линию. Исходные данные для расчета экономической эффективности представлены в табл. 5.1.

Т а б л и ц а 5.1

Исходные данные расчета экономической эффективности внедрения встроенной системы ТО и Р

№ п/п	Наименование показателя	Значения показателей	
		До внедрения	После внедрения
1	2	3	4
1	Списочное количество автомобилей, шт.	50	50
2	Годовой пробег автомобилей, тыс. км	50	50
3	Годовые затраты на топливо, руб.	15713520	15728120
4	Трудовые затраты на ТО и Р двигателей, чел.-ч/(авт. год.)	80,3	73
5	Трудоемкость диагностирования, чел.-ч/(авт. год.)	-	2,72
5	Затраты на запасные части и материалы, руб./авт. год.)	8231	5322
7	Вероятность раннего возврата с линии	0,12	0,05
8	Вероятность опоздания с выездом на линию	0,11	0,05
9	Время возврата с линии, ч	1	1
10	Время опоздания с выездом на линию, ч	1	1
11	Средняя прибыль за один час работы автомобиля, руб./авт. час.)	500	500
12	Стоимость программного обеспечения, руб.	-	15185
13	Стоимость оборудования, руб.	-	37822

Расчеты производились из расчета работы предприятия в условиях умеренной климатической зоны и использования автомобилей модели КамАЗ.

Годовые затраты на топливо рассчитывались исходя из годового пробега, линейных норм расхода топлива на единицу пробега, транспортной работы и стоимости дизельного топлива.

Снижение среднего эксплуатационного расхода топлива за счет улучшения технического состояния двигателя в результате внедрения диагностирования принимается в размере 1 %.

Трудовые затраты на ТО и Р двигателей принимались исходя из пооперационных нормативов трудоемкости на техническое обслуживание. Снижение трудоемкости ТО и Р достигается за счет исключения напрасных трудовых затрат на демонтно-монтажные операции исправных узлов и агрегатов, имеющие место при планово-предупредительной системе ТО и Р ПС автомобильного транспорта.

Годовая экономия от снижения затрат на ТО и Р определялась по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{ТО}} = (T_{\text{ТО}} - T'_{\text{ТО}} - T_{\text{Д}}) \cdot q_{\text{р}}, \quad (5.2)$$

где $T_{\text{ТО}}$ и $T'_{\text{ТО}}$ – годовая трудоемкость ТО и Р соответственно до и после внедрения диагностирования, чел.-ч;

$T_{\text{Д}}$ – годовая трудоемкость диагностирования внедряемым оборудованием, чел.-ч;

$q_{\text{р}}$ – тарифная ставка ремонтного рабочего, руб./чел.-ч.

Экономия за счет сокращения потерь транспортной работы из-за раннего возврата с линии и опоздания с выездом на линию определялась как

$$\mathcal{E}_{\text{в}} = q \cdot (P_{\text{возвр}} \cdot t_{\text{возвр}} + P_{\text{опозд}} \cdot t_{\text{опозд}}), \quad (5.3)$$

где $P_{\text{возвр}}$ и $P_{\text{опозд}}$ – соответственно вероятности раннего возврата и опоздания с выездом на линию;

$t_{\text{возвр}}$ и $t_{\text{опозд}}$ – соответственно время раннего возврата и опоздания с выездом на линию, ч;

q – средняя прибыль за один час работы автомобиля, руб.

Эксплуатационные расходы, связанные с содержанием внедряемого оборудования, можно определить:

$$\mathcal{Z}_{\text{экс}} = C_{\text{об}} \cdot K_{\text{а}} + \mathcal{Z}_{\text{э}}, \quad (5.4)$$

где $C_{\text{об}} \cdot K_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления, определяемые как произведение стоимости оборудования $C_{\text{об}}$ на коэффициент амортизационных отчислений, $K_{\text{а}}=0,15$;

Z_3 – эксплуатационные затраты: электроэнергия, ТО и ремонт оборудования (принимаем десять процентов от стоимости оборудования $0,1 C_{об}$).

Результаты расчета экономической эффективности внедрения встроенной системы диагностирования сведены в табл. 5.2.

Т а б л и ц а 5.2

Результаты расчета экономической эффективности внедрения системы ТО и Р

№ п/п	Наименование показателей	Величина показателя
1	2	3
1	Капитальные затраты на оборудование, руб.	30255
2	Затраты на эксплуатацию оборудования, руб./год.	7555
	Всего:	37822
3	Годовая экономия затрат на топливо, руб./год.	39420
4	Годовая экономия затрат от сокращения трудоемкости ТО и Р, руб./год.	4380
5	Годовая экономия затрат на запасные части и материалы, руб./год.	3818
5	Годовая экономия затрат от сокращения потерь транспортной работы, руб./год.	17520
7	Всего:	55138
8	Экономический эффект от внедрения системы ТО и Р, руб./год.	27438
9	Срок окупаемости, лет.	1,35

Вывод по пункту 5.3. Анализ результатов расчета показывает высокую экономическую эффективность внедрения динамичной системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей даже на небольших предприятиях, что подтверждается небольшим сроком окупаемости проекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разработанных теоретико-методологических положений, математических и имитационных моделей, технических, технологических и организационно-управленческих предложений решена важная научная проблема, имеющая важное хозяйственное и социальное значение, впервые предложены новые прогрессивные научно-практические направления повышения социально-экономической эффективности создания новых методов оценки технического состояния, технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей.

Основные результаты и выводы

1. Предложена общая методологическая концепция оценки технического состояния автомобилей на основе вероятностно-логического метода установленного в результате анализа методов поиска неисправностей.

2. Предложена общая методологическая концепция технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей на основе вероятностно-логической модели поиска неисправностей и анализа методов группировки операций и определения периодичности ТО автомобилей.

3. Предложен и апробирован вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей, обеспечивающая выбор и использование наиболее приемлемой системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей для автотранспортного предприятия.

4. Разработан методологический подход, использующий предложенные методы группировки операций и определения периодичности ТО в процессе эксплуатации автомобилей на основе информационной энтропии, позволяющий более полно использовать ресурс автомобилей.

5. Разработан методологический подход, использующий предложенный вероятностно-логический метод поиска неисправностей и динамичную систему технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей.

6. Разработаны теоретические положения и комплекс усовершенствованного научно-методического обеспечения планирования, организации и управления системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей, что повысит эффективность эксплуатации автомобилей и обеспечит экономический эффект 27438 рублей в год на один автомобиль.

7. Предложенные теоретико-методологические положения и научно-методическое обеспечение способствуют повышению эксплуатационной надежности, формируют научные основы повышения эффективности эксплуатации автомобилей за счет предупреждения и снижения количества отказов и совершенствования процессов технического обслуживания и ремонта. Для динамичной системы ТО и Р по сравнению с ППС средняя наработка на отказ увеличилась на 21,7 %,

8. Значимым полученным научным результатом является разработка теории предложенного вероятностно-логического метода поиска неисправностей и динамичной системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей на его основе, что обеспечивает повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей, при этом удельные суммарные затраты снижаются на 32,1 %.

9. Разработанные программы и программные модули для встроенных систем диагностирования и автотранспортных предприятий позволят улучшить управляемость технологическими процессами, обеспечить возможность своевременного проведения технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей, сократить простои на 19,7 % по системе питания двигателя, и на 25,7 % по коробке передач.

10. Обоснованность теоретических положений и полученных результатов работы, их научная и практическая значимость подтверждаются использованием или принятием к использованию на предприятиях автомобильного транспорта и использованием в учебном процессе вузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксельрод, Д.И. Поэлементное диагностирование топливной аппаратуры высокого давления дизельных двигателей [Текст] / Д.И. Аксельрод // Тр. МАДИ. 1980. – С. 25.
2. Алиев, А.М. Оценка характеристик топливоподачи высокого давления [Текст] / А. М. Алиев // Вестник МГАУ. – 2009. – № 4. – С. 36.
3. Алиев, А.М. Анализ средств и технологий диагностирования топливных систем дизеля [Текст] / А. М. Алиев // Вестник МГАУ. – 2009. – № 4. – С. 98.
4. Алиев, А.М. Совершенствование метода и разработка средств диагностирования плунжерных пар при техническом сервисе топливной аппаратуры дизелей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А. М. Алиев. – М., 2011. – 167 с.
5. Андреев, Ю.В. Быстроходные дизели производства зарубежных стран [Текст]: учеб. пособие / Ю.В. Андреев, А.Е. Свистула. – Барнаул. Алтайский государственный технический университет им. Ползунова, 2002. – 169 с.
6. Аринин, И.Н. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учеб. пособие. / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В.Баженов. – 2-е изд. – Ростов н/Д., 2007. – 314 с.
7. Бацежев, Х.Х. Улучшение показателей работы тракторных дизелей путем оптимизации параметров топливоподачи при выполнении ремонтно-обслуживающих работ [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Х.Х. Бацежев. – Краснодар, 2001. – 167 с.
8. Бацежев, Х.Х. Улучшение показателей работы тракторных дизелей путем оптимизации параметров топливоподачи при выполнении ремонтно-обслуживающих работ [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Х.Х. Бацежев. – Краснодар, 2001. – 21 с.
9. Баширов, Р.М. Топливные системы автотракторных и комбайновых дизелей, конструкционные особенности и показатели работы [Текст] / Р.М. Баширов. – Уфа: БГАУ, 2000. – 156 с.
10. Белявцев, А.В. Причины изменения производительности топливных насосов [Текст] / А.В. Белявцев // Техника в сельском хозяйстве. – 1975. – № 10. – С. 19.
11. Биргер, И.А. Техническая диагностика [Текст] / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение. – 1978. – 240 с.
12. Борщенко, Я.А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Я.А. Борщенко. – Тюмень, 2003. – 175 с.
13. Власов, П.А. Особенности эксплуатации дизельной топливной аппаратуры [Текст] / П.А. Власов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 367 с.

14. Вохмин, Д.М. Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Д.М. Вохмин. – Тюмень, 2005. – 212 с.
15. Высоцкий, В.И. Использование уточненных методов расчета и сравнительных оценок топливных систем для улучшения показателей автотракторных дизелей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.И. Высоцкий. – Нальчик, 1998. – 202 с.
16. Габитов, И.И. Улучшение эксплуатационных показателей топливной аппаратуры сельскохозяйственных дизелей путем научного обоснования и реализации в ремонтном производстве технологических процессов, методов и средств диагностирования [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / И.И. Габитов; [С.-Петерб. гос. аграр. ун-т]. – СПб.: 2001. – 319 с.
17. Габитов, И.И. Информационно-измерительный комплекс для исследований топливоподающих систем автотракторных дизелей. Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей [Текст] / И.И. Габитов, А.В. Неговора, М.Д. Гафуров // Сб. научн. тр. пост, действ, семинара стран СНГ. – СПб.: СПбГАУ, 2000. – 118 с.
18. Головин, С.И. Мониторинг изнашивания деталей дизеля как средство оптимизации системы технического обслуживания [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.И. Головин. – М., 2007. – 201 с.
19. Горбаневский, В.Е. Оборудование для испытания топливной аппаратуры дизелей [Текст] / В.Е. Горбаневский, Р.Н. Горбач. – М.: Машиностроение, 1981. – 213 с.
20. Горбаневский, В.Е. Оборудование для испытания топливной аппаратуры дизелей [Текст] / В.Е. Горбаневский, Р.Н. Горбач. – М.: Машиностроение, 1987. – 209 с.
21. ГОСТ 10579–88. Форсунки дизелей. Общие технические условия [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 15 с.
22. ГОСТ 17510–79. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 23 с.
23. ГОСТ 20760–75. Техническая диагностика. Общие положения о порядке разработки систем диагностирования [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 4 с.
24. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 13 с.
25. ГОСТ 8.009-84 Нормируемые метрологические характеристики средств измерений [Текст]. – М., 1984. – 16 с.
26. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей [Текст] / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М., 2005. – 348 с.
27. Грехов, Л.В. Автоматизированный комплекс для исследований и диагностирования топливных систем дизельных двигателей. Рабочие

процессы дизелей [Текст]: учеб. пособие / Л.В. Грехов, В.А. Светлов, А.В. Сячинов. – Барнаул: АлтГУ, 1995. – 160 с.

28. Бельских, В.И. Справочник по техническому обслуживанию и диагностированию тракторов [Текст] / В.И. Бельских. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 413 с.

29. Григорьев, М.А. Обеспечение надежности двигателей [Текст] / М.А. Григорьев, В.А. Долецкий. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 322 с.

30. Данилов, С.В. Метод и цифровой прибор для автоматизированного определения цикловой подачи топлива при регулировании топливной аппаратуры дизелей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.В. Данилов. – М., 2010. – 125 с.

31. Джексон, Р.Г. Новейшие датчики [Текст] / Р.Г. Джексон. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.

32. Диагностики топливной аппаратуры дизельных двигателей [Текст] // Труды Седьмой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием. КИИ-2000 (24-27 октября, г. Переславль-Залесский). – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2000 – Т. 2. – С. 89.

33. Никитин, Е.А. Диагностирование дизелей [Текст] / Е. А. Никитин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.

34. Долгушин, А.А. Оперативный контроль технического состояния топливной аппаратуры дизельных двигателей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.А. Долгушин. – Новосибирск, 2004. – 121 с.

35. Дролов, Л.В. Исследование способа оценки технического состояния дизельных двигателей по характеристикам переходного процесса в эксплуатационных условиях [Текст]: дис. ... канд. техн. наук 05.20.03 / Л.В. Дролов. – Новосибирск, 1982. – 147 с.

36. Друзьякин, И.Г. Технические измерения и приборы [Текст]: учеб. пособие / И.Г. Друзьякин, А.Н. Лыков. – Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2008. – 412 с.

37. Дыдыкин, А.М. Повышение технико-экономических показателей быстроходного дизеля путем совершенствования процесса впуска [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.М. Дыдыкин; [Место защиты: Нижегород. гос. техн. ун-т]. – Н. Новгород, 2010. – 146 с.

38. Еремеев, А.Н. Повышение надежности дизельных двигателей путем оптимизации регулировочных параметров топливной аппаратуры [Текст]: дис.... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Еремеев. – Ульяновск, 2007. – 152 с.

39. Желтухин, Ю.П. Разработка автоматизированных средств для исследований и испытаний топливной аппаратуры как основы для создания САИ и АСЧТП [Текст] / Ю.П. Желтухин, А.В. Пресняков // Труды ЦНИТА, 1985, вып. 86. – 154 с.

40. Ильин, В.А. Повышение эффективности технического сервиса топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.А. Ильин. – Уфа, 2006. – 148 с.
41. Илюхин, А.Н. Применение нечеткой логики в автоматизированной системе испытаний дизельных двигателей с использованием метода Саати [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / А.Н. Илюхин. – Набережные Челны, 2009 – 122.
42. Инсафуддинов, С.З. Совершенствование методики оценки неравномерности подачи топливных систем тракторных дизелей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / С. З. Инсафуддинов. – Уфа, 2004. – 152 с.
43. Климпущ, О.Д. Исследование и выбор диагностических параметров автомобильных дизелей семейства ЯМЗ [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / О.Д. Климпущ. – Уфа, 1973. – 168 с.
44. Князьков, А.Н. Разработка методики автоматизированного проектирования нормативов системы ТО и ремонта автомобилей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.Н. Князьков – Красноярск, 2004. – 235 с.
45. Коньков, А.Ю. Диагностические технического состояния дизеля в эксплуатации на основе идентификации быстропротекающих рабочих процессов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 / А.Ю. Коньков. – Хабаровск, 2010.- 414 с.
46. Корнев, В.А. Способ обеспечения оптимальной достоверности диагностирования топливной аппаратуры дизелей переносными приборами [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / В.А. Корнев. – М., 1983. – 183 с.
47. Коровин, А.И. Диагностирование автомобильных дизельных двигателей по амплитудным параметрам колебаний давления отработавших газов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.И. Коровин. – Харьков, 1983. – 178 с.
48. Коровин, А.И. Прибор для общего диагностирования топливной аппаратуры дизельных двигателей [Текст] / А.И. Коровин // Сборник научных трудов ЧПИ. – 1979. – № 233. – 67 с.
49. Коффон, Дж. Расширение микропроцессорных систем [Текст] / Дж. Коффон, В. Лонг. – М.: Машиностроение, 1987. – 318 с.
50. Кривенко П.М., Федосов И.М. Дизельная топливная аппаратура [Текст] / П.М. Кривенко. – М.: Колос, 1970. – 536 с.
51. Крутов, В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания [Текст] / В.И. Крутов. – М.: Машиностроение, 1989. – 416 с.
52. Крючков, С.В. Совершенствование методов и средств контроля показателей топливоподачи при испытаниях топливных насосов тракторных двигателей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.В. Крючков. – Саранск, 2006. – 179 с.

53. Кудрин, А.И. К вопросу о диагностировании топливной аппаратуры дизелей [Текст] / А.И. Кудрин. – Челябинск: ЧПИ, 1974. – 106 с.
54. Кузнецов, Е.В. Математическая модель рабочего процесса дизеля [Текст] / Е.В. Кузнецов // Автомобильная промышленность. – 2000. – № 6. – С. 17.
55. Кулешов, А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания [Текст] / А.С. Кулешов, Л.В. Греков. – М.: МГТУ, 2000. – 64 с.
56. Левин, М.И. Микропроцессорная система управления углом опережения впрыскивания топлива [Текст] / М.И. Левин, Э.С. Островский, Е.Ю. Леснер // Двигателестроение. – 1988. – № 6. – С. 47.
57. Левин, М.И. Современное состояние. Проблемы дизельной автоматики в зарубежной практике и отечественный опыт [Текст] / М.И. Левин // Двигателестроение. – 1999. – № 4. – с.28-31; 2000. – № 1. – С. 19.
58. Ложкин, В.Н. Оптимизация регулировочных параметров топливной аппаратуры дизеля КАМАЗ-740 по экологическим показателям применительно к условиям эксплуатации [Текст] / В.Н. Ложкин, А.В. Николаенко, В.М. Занько // Сборник научных трудов ЦНИТА. – Л., 1990. – С. 107.
59. Маркелов, А.А. Диагностирование дизеля по результатам расчетно-экспериментального исследования индикаторной диаграммы в условиях рядовой эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.А. Маркелов. – Хабаровск, 2007. – 175 с.
60. Марков, В.А. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях [Текст] / В. А. Марков, С.Н. Девянин, В.И. Мальчук. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2007. – 360 с.
61. Матвеевский, В.Р. Надежность технических систем [Текст] / В.Р. Матвеевский. – М.: МГИЭМ, 2002. – 113 с.
62. Методические указания по метрологической аттестации стендов КИ-921М (КИ-921), КИ-22205 для испытания и регулировки дизельной топливной аппаратуры [Текст]. – М.: ГОСНИТИ, 1983. – 58 с.
63. Щендригин, А.С. Методы и технические средства испытаний двигателей внутреннего сгорания [Текст] / А.С. Щендригин, Б.С. Наumenко // Материалы X региональной научно-технической конференции «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону». – СевКавГТУ, 2006. – 95 с.
64. Неговора, А.В. Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных дизелей совершенствованием конструкции и технологии диагностирования топливоподающей системы [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 / А.В. Неговора. – СПб., 2004. – 343 с.
65. Неговора, А.В. Диагностирование топливной аппаратуры автотракторных дизелей [Текст] / А.В. Неговора., Л.В. Греков, И.И. Габитов // Актуальные проблемы теории и практики современного двигателе-

строения: сб. науч. тр. м/н. н-т конф. 100-лет Вибс. – Челябинск: ЮУрГУ, 2003. – 85 с.

66. Немков, М. В. Корректирование нормативов ресурса двигателей специальных автомобилей в зависимости от режимов эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / М.В. Немков: Тюмень, 2005. – 136 с.

67. Нигматуллин, Ш.Ф. Совершенствование методов и средств диагностирования топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Ш.Ф. Нигматуллин. – Уфа, 2002. – 157 с.

68. Ольховский, С.Н. Комплексный контроль технического состояния ДВС по параметрам переходных режимов [Текст]: дис.... канд. техн. наук. 05.20.03 / С. Н. Ольховский. – Новосибирск, 2005. – 158 с.

69. Панферов, В.И. Обеспечение работоспособности нагнетательных клапанов топливной аппаратуры дизелей при эксплуатации лесных машин [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / В.И. Панферов. – М., 2008. – 175 с.

70. Половинкин, В. HART – протокол [Текст] / В. Половинкин // СТА. – 2002. – № 01. – с.6-14.

71. Пономарев, А.В. Прогнозирование ресурса цилиндропоршневой группы дизелей с учетом контактной гидродинамики [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.В. Пономарев. – Самара, 2006. – 125 с.

72. Пупков, К.А. Современные методы, модели и алгоритмы интеллектуальных систем [Текст]: учеб. пособие / К. А. Пупков. – М.: РУДН, 2008. – 154 с.

73. Рачкин В.А. Улучшение технико-эксплуатационных показателей тракторных дизелей применением комбинированной системы топливоподачи [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.А. Рачкин. – Пенза, 2005. – 190 с.

74. Савченко, О.Ф. Контроль и экспертиза технического состояния тракторных дизелей в условиях эксплуатации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / О.Ф. Савченков. Новосибирск, 1997. – 143 с.

75. Савченко, О.Ф. Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей [Текст] / О.Ф. Савченко, И.П. Добролюбов, В.В. Альт, С.Н. Ольшевский. – Новосибирск: СО РАСХН, 2006. – 272 с.

76. Сафарбаков, А.М. Основы технической диагностики [Текст]: учеб. пособие / А.М. Сафарбаков, А.В. Лукьянов, С.В. Пахомов – Иркутск: ИрГУПС, 2006. – 216 с.

77. Сачков, М. Будущее под капотом: выбираем конструкцию двигателей [Текст] / М. Сачков // За рулем. – 2002. – № 4. – С. 28.

78. Смирнов, В.Н. Способы анализа стабильности показателей изделий и погрешности средств их контроля [Текст]/ В.Н. Смирнов, А.М. До-

ценко, Г.Н. Фомичев // Информационный центр научно-технической информации и пропаганды, 1979. – 208 с.

79. Соловьев Д.Е. Разработка метода диагностирования дизеля в условиях эксплуатации с использованием неустановившихся режимов работы [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Д.Е. Соловьев. – М., 2004. – 152 с.

80. Стабилизация параметров топливной аппаратуры как фактор экономии эксплуатационных затрат [Текст] / Лавреньтьев Д.А. // Двигателестроение. – 1987. – №3. – С. 24.

81. Темукуев, Б.Б. Оптимизация точности измерения регулировочных параметров топливоподачи топливных насосов высокого давления дизелей при выполнении ремонтно-обслуживающих работ [Текст]: дис.... канд. техн. наук: Спец. 05.20.03 / Б.Б. Темукуев; [Кабардино-Балкарская с.-х. акад. (КБГСХА)]. – Нальчик, 2002. – С. 27.

82. Третьяков, А.А. Автоматизированная оценка адаптивной системы управления транспортным дизелем и повышение её точности и быстродействия [Текст]/ А.А. Третьяков. – Ярославль, 2011. – 157 с.

83. Фомин, Ю.Я. Топливная аппаратура дизелей [Текст]: справочник / Ю.Я. Фомин, Г.В. Никонов, В.Г. Ивановский. – М.: Машиностроение, 1982. – 168 с.

84. Хадлстон, К. Проектирование интеллектуальных датчиков с помощью Microchip dsPIC [Текст]/ К. Хадлстон, К.: «МК-Пресс», 2008. – 320 с.

85. Хайртдинов, И.Н. Разработка методов и динамической математической модели для исследования дизелей при неустановившихся нагрузках [Текст]: дис.... канд. техн. наук: 05.04.02 / И.Н. Хайртдинов. – Казань, 2003. – 158 с.

86. Харазов, А.М. Диагностирование и эффективность эксплуатации автомобилей [Текст]: учебное пособие для сред. ПТУ / А.М. Харазов. – М.: Высш. шк., 1986. – 63 с.;

87. Хасанов, Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей [Текст]: учеб. пособие / Р. Х. Хасанов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с.

88. Хоменко, Т.В. Математическая модель и алгоритмы выбора лучших технических решений чувствительных элементов систем управления с учетом взаимозависимости эксплуатационных характеристик [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Т.В. Хоменко. – Астрахань, 2003. – 126 с.

89. Хрулев, А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей [Текст]: производственно-практическое издание / А. Э. Хрулев. – М.: Изд-во «За рулем», 1999. – 440 с.

90. Хрящев, Ю. Е. Дизельный автомобиль как регулируемый объект [Текст]/ Ю.Е. Хрящев // Контроль. Диагностика. – 1999. – № 7. – С. 40.

91. Чечет В.А. Руководство по оценке состояния топливной аппаратуры высокого давления дизелей сельскохозяйственных машин с помощью

механотестера КИ-5918 в эксплуатационных условиях [Текст] / В.А.Чечет, Н.Т. Иванов, Е.А. Пучин. – М.: ГОСНИТИ, 1993. – С. 36.

92. Шапран, В.Н. Оценка технического состояния дизелей по критериям топливоподачи [Текст]/ В.Н. Шапран – Рязань: РВАИ, 2006. – 188 с.

93. Шарифуллин, С.Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / С.Н. Шарифуллин. – Б.м., 2009. – 368 с.

94. A.D. Edgar and S.C. Lee, «FOCUS Microcomputer Number System» Commun. ACM, vol. 22, p. 166, 1979. – 354 s.

95. Adorno T.W. Erziehung zur Miindigkeit- 13.Aufl. –Frankfurt [Main] : Suhrkamp, 1991. – 147 p.

96. Brase K. Philosophie und Erziehung. – Frankfurt am Main : Peter Lang, 1976. – Bern : Herbert Lang. – 1976. –P. 93.

97. C.W. Clenshaw and F.W.J. Olver, «Beyond Floating Point, J. ACM, vol. 31, p. 319, April, 1984. – 189 p.

98. Erziehungswissenschaft und Erziehungsforschung//Schaller K. (Hg.). Hamburg, 1968. – S.204Portner D., Schulz G., Driftmann H., Wullich P. Grundlagen der Allgemeinen Wehrpädagogik. – Regensburg, Wallhalla u. Praetoria, 1977. – 442 p.

99. H. Henkel, «Improved Accuracy for the Logarithmic Number System,» IEEE Trans, on Acoust., Speech, and Signal Proc., vol. ASSP-37, p. 301, 1989. – 412 p.

100. Lindgren M. Multiplexed vehicle electronics tutorial / M. Lindgren. – Mecel. – 1995. – 123 pp.

101. Lang J. On the design of a special-purpose digital control processor / J. Lang // IEEE Transactions on automatic of control. – 1987. – №3. – p. 195 – 201.

102. Leland W. E. On the self-similar nature of Internet traffic (Extended Versuon) / W. E. Leland, M.S. Taggu // IEEE/ACM Transations on Networking. – №2. – 1994. – p 45 – 48.

103. M.L. Frey and F.J. Taylor, «A Table Reduction Technique for Logarithmically Architected Digital Filters,» IEEE Trans, on Acoust., Speech, and Signal Proc., vol. ASSP-33, 1985, p. 718.

104. Ryn B. Point process models for self-similar Network Traffic, with applications / B. Ryn and S. Lowen // Stochastic Models. – № 14. – 1998. – p. 142 – 196.

105. T. Chen, «Maximal Redundancy Signed Digit Systems» Proceedings of the 7th Symposium on Computer Arithmetic, p. 296-300, 1985. – 450 s.

106. Relex Visual Reliability Software. Reference Manual. Relex Software Corporation, USA, 1999,470 p.

107. Relex Visual Reliability Software. Tutorial Manual. Relex Software Corporation, USA, 2001, 66 p.
108. Romeu J. L. Statistical Analysis of Reliability Data, Part 3: On Statistical Modeling of Reliability Data. Journal of the RAC, Fourth Quarter, 2001, pp.1-5.
109. Russel S. J., Norvig P. Artificial Intelligence. A Modern Approach. Prentice-Hall International, Inc., 1995, 932 p.
110. Tang D., Hecht M., Rosin A., Handal J. Experience in Using MEADEP. Proceedings of the 1999 Annual Reliability and Maintainability Symposium, Washington DC, January 18-21, 1999.
111. Qiong L. On the long-range dependence of packet round-trip delays in Internet / L. Qiong, David L., Mills. // Processings of IEEE ICC 98. – №2. – 1998. – 232 pp.
112. Ronald K. Jurgen Automotive electronics handbook / K. Jurgen Ronald. – In: McGraw-Hill. – 1999. – 364 pp.
113. Ryn B. Point process models for self-similar Network Traffic, with applications / B. Ryn and S. Lowen // Stochastic Models. – № 14. – 1998. – p. 142 – 146.
114. The component object model specification. – Draft version 0.9 Microsoft. – 1995.
115. Лянденбургский, В.В. Сигнализатор технического состояния автомобилей на автотранспортном предприятии [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, А.С. Иванов, Д.А. Симанчев // Мир транспорта и технологических машин. – 2010. – № 4. – С. 20-25.
116. Лянденбургский, В.В. Эффективность применения систем диагностирования и саморегулирования при эксплуатации автомобилей [Текст]/ В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 1. – С. 51-55.
117. Лянденбургский, В.В. Анализ неисправностей топливных систем дизельных автомобилей [Текст] / С.А. Кривобок, В.В. Лянденбургский, А.А. Тарасов, А.В. Федосков // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 3. – С. 3-11.
118. Лянденбургский, В.В. Вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей [Текст]/ В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, С.А. Кривобок // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 4. – С. 3-9.
119. Лянденбургский, В.В. Сигнализатор уровня энергосбережения на автотранспортном предприятии [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, А.С. Иванов, А.И. Тарасов // Автотранспортное предприятие. – 2011. – № 7. – С. 28-32.

120. Лянденбургский, В.В. Система контроля перемещения автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, Е.В. Кравченко // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 2. – С. 24-28.

121. Лянденбургский, В.В. Виртуальный комплекс автодиагностики [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, А.С. Иванов, Е.В. Кравченко // Мир транспорта и технологических машин. – Орел, 2012. – № 1. – С. 19-25.

122. Лянденбургский, В.В. Встроенная система диагностирования автомобилей с дизельным двигателем [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, С.А. Кривобок // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 11. – С. 45-48.

123. Лянденбургский, В.В. Динамичная система технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.В. Федосков, П.А. Мнекин // Грузовик. – 2012. – № 8. – С. 15-19.

124. Лянденбургский, В.В. Совершенствование встроенной системы диагностирования автомобилей камаз-4308 с двигателем CUMMINS [Текст] / В.В. Лянденбургский, С.А. Кривобок, Л.А. Рыбакова // Грузовик. – 2013. – № 7. – С. 25-27.

125. Лянденбургский, В.В. Встроенная система диагностирования автомобиля [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, М.В. Нефедов // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 10. – С. 43-47.

126. Лянденбургский, В.В. Встроенная система диагностирования автомобилей с инжекторными двигателями [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, Д.В. Коротков // Вестник Таджикского технического университета. – 2012. – № 2 (18). – С. 51-55.

127. Лянденбургский, В.В. Моделирование процессов изменения напряжения в системе зажигания автомобиля [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, Ю.В. Родионов, Е.В. Кравченко // Вестник Таджикского технического университета. – 2012. – № 2 (18). – С. 55-51.

128. Лянденбургский, В.В. Совершенствование процесса диагностирования топливной системы дизельного двигателя [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, Е.В. Кравченко // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 3. – С. 57-51.

129. Лянденбургский, В.В. Виртуальное диагностирование топливной системы дизельного двигателя [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, Ю.В. Родионов, Е.В. Кравченко // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 4 (39). – С. 3-8.

130. Лянденбургский, В.В. Морфологический анализ методов поиска неисправностей транспортных средств [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, С.А. Кривобок, П.А. Мнекин // Интернет-журнал Науковедение. – 2012. – № 4 (13). – С. 84.

131. Лянденбургский, В.В. Программа поиска неисправностей дизельных двигателей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, С.А. Кривобок // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 8. – С. 28-33.

132. Лянденбургский, В.В. Совершенствование датчиков давления топлива дизельных двигателей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Д.А. Коломеец // Наукоедение. Интернет-журнал. – М., 2013. – № 1. – С. 28-39.

133. Лянденбургский, В.В. Вероятностный подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, А.И. Тарасов, И.Е. Долганов // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – № 1 (21). – С. 57-50.

134. Лянденбургский, В.В. Вероятностный подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, А.И. Тарасов, И.Е. Долганов // Вестник Таджикского технического университета. – 2013. – № 1. – С. 25-33.

135. Лянденбургский, В.В. Логический подход к определению вероятностно-логического коэффициента поиска неисправностей автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Р.Р. Сейфетдинов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 5. – С. 194-198.

136. Лянденбургский, В.В. Анализ удельных затрат и эффективности применения вероятностно-логического метода поиска неисправностей для автомобилей КАМАЗ [Текст] / В.В. Лянденбургский, Л.А. Долганов // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – №3.– С. 3-8.

137. Лянденбургский, В.В. Анализ первичных неисправностей топливной аппаратуры дизелей [Текст]/ Лянденбургский В.В., С.А. Кривобок, И.В. Кучин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – №4. – С. 21-27.

138. Лянденбургский, В.В. Коэффициент издержек вероятностно-логического метода поиска неисправностей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Проскурин, Л.А. Рыбакова // Наукоедение. – 2013. – №3.– С. 1-7.

139. Лянденбургский, В.В. Морфологический анализ методов определения периодичности технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.В. Грачев, Л.А. Рыбакова // Наукоедение. – 2014. – №3. – С. 1-11.

140. Лянденбургский, В.В. Встроенная система диагностирования бензиновых автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, М.В. Нефедов, Р.Р. Сейфетдинов // Наукоедение. – 2013. – №3.– С. 1-10.

141. Лянденбургский, В.В. Транзисторные и тиристорные модули зажигания со встроенными средствами диагностирования [Текст] / Г.И. Ша-

ронов, В.В. Лянденбургский, И.В. Нефедов, В.К. Шилин // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 2. – С. 23-28.

142. Лянденбургский, В.В. Морфологический анализ методов группировки операций технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, Л.А. Рыбакова // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 5. – С. 28-32.

143. Лянденбургский, В.В. Конденсаторно-теристорный модуль зажигания со встроенным блоком контроля функционирования [Текст] / Г.И. Шаронов, В.В. Лянденбургский, В.К. Шилин // Науковедение. – 2014. – № 2. – С. 1-13.

144. Лянденбургский, В.В. Тактика технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей на основе встроенного диагностирования [Текст] / А.С. Иванов, В.В. Лянденбургский, Л.А. Рыбакова // Нива Поволжья. – 2014. – № 8. – С. 55-52.

145. Лянденбургский, В.В. Морфологический анализ методов определения периодичности технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.В. Грачев, Л.А. Рыбакова // Науковедение. – 2014. – № 3. – С.1-11.

146. Лянденбургский, В.В. Встроенная система диагностирования бензиновых двигателей [Текст] / В.В. Лянденбургский, М.В. Нефедов, Р.Р. Сейфетдинов // Науковедение. – 2014. – № 3. – С. 1-11.

147. Лянденбургский, В.В. Встроенная система диагностирования коробки передач автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, В.Н. Боровков // Науковедение. – 2014. № 5. С. 1-11.

148. Лянденбургский, В.В. Алгоритм программы поиска неисправностей автомобилей с инжекторными двигателями [Текст] / В.В. Лянденбургский, М.В. Нефедов, Р.Р. Сейфетдинов // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 4. – С. 31-37.

149. Лянденбургский, В.В. Коэффициент издержек динамичной системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 1. – С. 33-38.

150. Лянденбургский, В.В. Встроенные средства для контроля работоспособности и перемещения автомобилей [Текст]: монография / В.В. Лянденбургский – Пенза: ПГУАС, 2010. – 110 с.

151. Лянденбургский, В.В. Средства для диагностирования топливной аппаратуры автомобилей с дизельными двигателями [Текст]: монография / В.В. Лянденбургский – Пенза: ПГУАС, 2012. – 298 с.

152. Лянденбургский, В.В. Совершенствование комплекса КАД-300 для диагностирования двигателей автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский – Пенза: ПГУАС, 2012. – 195 с.

153. Лянденбургский, В.В. Совершенствование компьютерного обеспечения технической эксплуатации автомобилей [Текст]: монография / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 398 с.
154. Лянденбургский, В.В. Вероятностно-логический метод поиска неисправностей автомобилей [Текст]: монография / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 220 с.
155. Лянденбургский, В.В. Применение электро- и гидроприводов на автомобильном транспорте [Текст]: монография / В.В. Лянденбургский – Пенза: ПГУАС, 2013. – 288 с.
156. Лянденбургский, В.В. Анализ и перспективы встроенных средств диагностирования автомобилей [Текст]: монография / В.В. Лянденбургский, Г.И. Шаронов, М.В. Нефедов. – М.: lap-lambert-academic-publishing, 2014. – 308 с.
157. Лянденбургский, В.В. Перспективные трансмиссии автомобилей [Текст]: монография / В.В. Лянденбургский, Г.И. Шаронов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 232 с.
158. Лянденбургский, В.В. Совершенствование и исследования средств контроля работоспособности автомобилей [Текст]: монография / В.В. Лянденбургский – Пенза: ПГУАС 2014. 210 с.
159. Лянденбургский, В.В. Техническое обслуживание автомобилей и текущий ремонт автомобилей [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, А.В. Рыбачков. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 134 с.
160. Лянденбургский В.В. Техническая эксплуатация автомобилей. «Диагностирование автомобилей» [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, А.А. Карташов. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 288 с.
161. Лянденбургский, В.В. Техническая диагностика на транспорте [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, П.И. Аношкин, А.С. Иванов, А.М. Белоковыльский. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 252 с.
162. Лянденбургский, В.В. Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования: курсовое проектирование [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, А.В. Рыбачков, А.С. Иванов. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 252 с.
163. Лянденбургский, В.В. Топливные системы современных и перспективных двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 323 с.
164. Лянденбургский, В.В. Основы научных исследований [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, А.В. Баженов, В.В. Коновалов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 395 с.
165. Лянденбургский, В.В. Дипломное проектирование [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский. Пенза: ПГУАС, 2013. – 332 с.
166. Лянденбургский, В.В. Информационно-интеллектуальные системы контроля и управления транспортными средствами [Текст]: учебное

пособие / В.В. Лянденбургский, Г.И. Шаронов, А.В. Баженов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 335 с.

167. Лянденбургский, В.В. Техническая эксплуатация автомобилей. Лабораторный практикум для лабораторных и практических работ [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов. Пенза: ПГУАС, 2014. – 212 с.

168. Лянденбургский, В.В. Электронные системы автомобилей [Текст]: учебное пособие / А.С. Ширшиков, В.В. Лянденбургский, Г.И. Шаронов, А.М. Белоковыльский. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 232 с.

169. Лянденбургский, В.В. Бортовые компьютеры автомобилей [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, Г.И. Шаронов, А.С. Ширшиков. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 222 с.

170. Лянденбургский, В.В. Основы конструкции автомобилей: Шасси. Трансмиссия [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, Р.Ф. Шаихов, В.М. Пономарев, Г.И. Шаронов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 237 с.

171. Лянденбургский, В.В. Основы ресурсосбережения на автомобильном транспорте [Текст]: учебное пособие / В.В. Лянденбургский, А.В. Рыбачков. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 227 с.

172. Лянденбургский, В.В. Сигнализатор уровня энергосбережения на АТП Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, А.В. Левин, Н.Б. Ковлягин // Материалы I международной научно-технической конференции. – Пенза, 2000. Часть II. – С. 51-55.

173. Лянденбургский, В.В. Совершенствование методики проведения лабораторных работ по дисциплине «Техническая эксплуатация автомобилей» [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов // Инновационные технологии обучения инженеров-строителей: материалы XXXII научно-методической конференции. – Пенза, 2002. – С. 28-33.

174. Лянденбургский, В.В. Динамичная система технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, А.А. Грабовский, Р.Х. Халитов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Материалы II международной научно-технической конференции. – Пенза, 2002. Ч. II. – С. 12-14.

175. Лянденбургский, В.В. Виртуальный комплекс автодиагностики [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, А.И. Проскурин, Н.А. Проскурина // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы II международной научно-технической конференции. – Пенза, 2002. Ч. II. – С. 14-17.

176. Лянденбургский, В.В. Моделирование процессов изменения напряжения в системе зажигания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, А.И. Проскурин, Н.А. Проскурина // Проблемы качества и

эксплуатации автотранспортных средств: материалы II международной научно-технической конференции. – Пенза, 2002. Ч. II. – С. 17-23.

177. Лянденбургский, В.В. Эффективность применения систем диагностики и саморегулирования в современных автомобилях [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Иванов, А.В. Рыбачков // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы III международной научно-технической конференции. – Пенза, 2004. Ч. II. – С. 45-47.

178. Лянденбургский, В.В. Комбинированная система технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, В.И. Назаров // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы III международной научно-технической конференции. – Пенза, 2004. Ч. II. – С. 47-49.

179. Лянденбургский, В.В. Самодиагностика топливных систем дизельных двигателей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Ивлев, В.Ф. Китанин // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы IV международной научно-технической конференции. – Пенза, 2005. Ч. II. – С. 110-113.

180. Лянденбургский, В.В. Эндоскоп перспективное средство диагностирования неисправностей автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.С. Ивлев, С.А. Степанов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы IV международной научно-технической конференции. – Пенза, 2005. Ч. II. – С. 133-135.

181. Лянденбургский, В.В. Компьютерные тесты по дисциплинам «Основы теории надежности и диагностики» и «Надежность подвижного состава» [Текст] / А.С. Ширшиков, А.С. Иванов, В.В. Лянденбургский // Пенза: ПГУАС, 2005. – С. 1-12.

182. Лянденбургский, В.В. Компьютерные тесты по дисциплине «Техническая эксплуатация автомобилей, оборудованных компьютерами, и со встроенной диагностикой» [Текст] / А.С. Ширшиков, А.С. Иванов, В.В. Лянденбургский. – Пенза: ПГУАС, 2005. – С. 1-9.

183. Лянденбургский, В.В. Компьютерные тесты по дисциплине «Электроника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин» [Текст] / А.С. Ширшиков, А.С. Иванов, В.В. Лянденбургский. – Пенза: ПГУАС, 2005. – С. 1-11.

184. Лянденбургский, В.В. Методический подход к созданию имитационной модели определения периодичности ТО [Текст] / А.М. Белоковылский, В.В. Лянденбургский // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы I международной научно-производственной конференции. – Пенза, ПГСХА 2008. – С. 28-33.

185. Лянденбургский, В.В. Методический подход к созданию имитационной модели процесса восстановления автомобилей [Текст] / А.М. Белоковылский, В.В. Лянденбургский // Перспективные направления

развития автотранспортного комплекса: материалы I международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2008.

186. Лянденбургский, В.В. Анализ отказов топливных систем дизельных автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, С.А. Кривобок, К.А. Абрамов // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011.

187. Лянденбургский, В.В. Выбор интервалов оптимальных периодичностей технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов, А.В. Федосков // Проблемы развития строительной отрасли: сборник научных трудов международной научной конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 339 с.

188. Лянденбургский, В.В. Графоаналитическая модель формирования технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов, А.В. Федосков // Проблемы развития строительной отрасли: сборник научных трудов международной научной конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 339 с.

189. Лянденбургский В.В. Встроенные средства диагностирования / Лянденбургский В.В., Коробков О.А. // Современное состояние и перспективы развития строительной отрасли. Сборник научных трудов международной научной конференции. – Пенза, 2011. С 351.

190. Лянденбургский, В.В. Комбинированная система технического обслуживания и ремонта автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы I международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2008. – С. 83-85.

191. Лянденбургский, В.В. Модифицированный технико-экономический метод технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, И.Е. Ильина // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы II международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2009. – С. 125-132.

192. Лянденбургский, В.В. Формирование перечней ступеней технического обслуживания автомобилей [Текст] / А.И. Тарасов, В.В. Лянденбургский, Д.А. Симанчев // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы II международной научно-производственной конференции. – Пенза, 2009. – С. 147-150.

193. Лянденбургский, В.В. Вероятностный подход к построению модели технического состояния автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. – Пенза: ПГУАС, 2010. – С. 55-51.

194. Лянденбургский, В.В. Статистическая модель выбора оптимальных интервалов технического обслуживания автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.П. Бажанов, А.И. Тарасов // Проблемы и перспек-

тивы развития автотранспортного комплекса. – Магадан: СВГУ, 2010. – С. 193-195.

195. Лянденбургский, В.В. Экспериментальные исследования отказов автомобилей КАМАЗ [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, С.А. Кривобок // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 135-137.

196. Лянденбургский, В.В. Анализ отказов топливных систем дизельных автомобилей, эксплуатируемых в условиях России [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, К.А. Абрамов // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 132-135.

197. Лянденбургский, В.В. Характеристика отказов топливных систем дизельных автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, А.В. Федосков, А.Н. Потапов // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 137-140.

198. Лянденбургский, В.В. Анализ отказов топливных систем дизельных автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, С.А. Кривобок, К.А. Абрамов // Проблемы развития строительной отрасли. Теория и практика: материалы конференции. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 251-253.

199. Лянденбургский, В.В. Роль диагностирования в повышении технической эксплуатации автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Е.В. Кравченко, А.А. Бердников // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: материалы IV международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2011. – С. 55-50.

200. Лянденбургский, В.В. Неисправности и их влияние на состояние дизельного двигателя [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Е.В. Кравченко, А.А. Бердников // Материалы V международной научно-производственной конференции. – Пенза: ПГСХА, 2012. – С. 55-50.

201. Лянденбургский, В.В. Встроенная система диагностирования автомобиля [Текст] / В.В. Лянденбургский, С.А. Кривобок, А.И. Тарасов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. – Пенза: ПГУАС, 2012. – С. 39-44.

202. Лянденбургский, В.В. Совершенствование процесса выявления неисправностей топливной системы дизеля [Текст] / И.Е. Ильина, А.И. Тарасов, В.В. Лянденбургский // XI Международная научно-практическая конференция «Прогрессивные технологии в транспортных и социальных системах». – Оренбург: ОГУ, 2013.

203. Лянденбургский, В.В. Анализ первичных неисправностей топливной аппаратуры дизельных двигателей [Текст] / С.А. Кривобок, А.И. Тарасов, В.В. Лянденбургский // Международный научный форум «Наука молодых – интеллектуальный потенциал XXI века». – Пенза: ПГУАС, 2013.

204. Лянденбургский, В.В. Анализ влияния надежности датчиков на безотказность системы [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Р.Р. Сейфетдинов, Е.В. Кравченко // Международный научный форум «Наука молодых – интеллектуальный потенциал XXI века». – Пенза: ПГУАС, 2013.

205. Лянденбургский, В.В. Совершенствование процесса выявления неисправностей топливной системы дизельного двигателя [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, Е.В. Кравченко // Международный научный форум «Наука молодых – интеллектуальный потенциал XXI века». – Пенза: ПГУАС, 2013.

206. Лянденбургский, В.В. Система технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, П.А. Мнечкин, Л.А. Рыбакова // Проблемы и перспективы развития автомобильного транспорта: материалы международной научно-практической конференции. – Курган: КГУ, 2013. – С. 152-158.

207. Лянденбургский, В.В. Компьютерное обеспечение транспорта – важное условие повышения эффективности деятельности автотранспортного предприятия [Текст] / В.В. Лянденбургский, Т.Н. Чудайкина, Е.В. Кравченко // Materiály I mezinárodní vědecko – praktická conference «Innovation is the source of development of national economy– 2014». – Díl 1. Ekonomické vědy.: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o – 55-59 stran

208. Лянденбургский, В.В. Влияние неисправностей на состояние системы питания дизельного двигателя [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, И.В. Кучин // Materiály I mezinárodní vědecko – praktická conference «Innovation is the source of development of national economy– 2014». – Díl 3. Technické vědy. Moderní informační technologie.: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o – 17-19 stran

209. Лянденбургский, В.В. Совершенствование оборудования для диагностирования в процессе подготовки студентов по дисциплине техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, Е.В. Кравченко // Materials of the X International scientific and practical conference, «Scientific horizons», – 2014. Volume 10. Technical sciences. Sheffield. Science and education s.r.o – 18-21 stran.

210. Лянденбургский, В.В. Влияние диагностирования на повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей [Текст] / В.В. Лянденбургский, А.И. Тарасов, М.В. Нефедов // Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka i innowacja – 2014» Volume 11. Techniczne nauki. :Przemysł. Nauka i studia s.r.o – 33-35 stran.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Характеристика отказов КАМАЗ, полученных в Пензе и Рязани

№ п/п		Пробеги, на которых произошли отказы, тыс.км	
		г. Рязань	г. Пенза
		КАМАЗ	КАМАЗ
1	2	3	4
1	Топливный насос высокого давления:		
1.1	плунжерная пара	83,01; 153,12; 203,15; 354,33; 123,57; 255,78; 377,15; 139,25; 258, 89; 388,87	85,32; 155,73; 205,78; 347,79; 125,93; 259; 380; 142,35; 272,45
1.2	пружина толкателя	81,54; 150,57; 205,59; 250,28	37,15; 83,39; 152,52; 207,07
1.3	пружина нагнетательного клапана	55,29; 152,11; 204; 288	38,19; 88,78; 153,98; 205,27
1.4	нагнетательный клапан	85,03; 151,05; 205,23; 255,57; 124,77; 257,95; 378,85; 152,55; 271,74; 379,98	87,7; 153,38; 207,85; 255,745; 125,58; 259,854; 153,75; 273,59; 383,33
2	Трубопровод высокого давления:		
2.1	крепление трубопроводов	205,25; 377,15; 388,53; 309,5; 271,587; 207,8; 379,3; 390,57; 311,32; 315,89; 201,5; 359,7; 389,55; 301,457; 315,233; 204,857; 371,47; 387,87; 308,98; 272,23; 202,75; 373,98; 381,5	207,57; 379,87; 389,98; 319,55; 275,87; 212,54; 383,87; 394,23; 314,03; 325,75; 210,32; 373,353; 393,89; 304,05; 318,54; 208,55; 374,87; 389,23; 310,87; 274,17; 205,28; 374,55

Окончание прил. 1

1	2	3	4
2.2	трубки высокого давления	205,07; 377,09; 388,55; 309,23; 209,87; 199,355; 189,89; 303,23; 275,17; 390,83; 209,95; 187,57; 381,9; 315,455; 380,45; 199,78; 185,23; 300,87; 275,8	208,54; 378,7; 380,57; 319,98; 209,55; 214,89; 194,27; 308,8; 281,3; 395,15; 214,55; 192,75; 385,94; 321,38; 385,57; 204,24; 190,85; 305,34
3	Форсунки:		
3.1	пружина	83,45; 153,57; 203,58; 301,57; 125,34; 254,57; 123,785; 255,245; 377,557; 125,28; 270,7; 79,8; 81,34; 150,28; 205,19; 250,17	88,27; 158,85; 208,48; 259,95; 128,54; 251,934; 382,79; 130,15; 275,27; 84,55; 85,78; 155,24; 35,35; 155,7; 210,5
3.2	игла	81,55; 157,18; 205,25; 301,48; 125,77; 257,84; 378,348; 388,59; 303,9	85,55; 152,34; 210,78; 305,27; 125,85; 252,98; 383,75; 131,29; 275,85; 85,87; 88,90; 158,75; 132,97; 394,53; 382,72; 393,98
3.3	крепление форсунки	79,85; 150,87; 203,94; 255,238; 125,57; 258,85; 378,95; 380,87; 383,35; 385,85; 388,27; 391,78; 82,87; 393,555; 85,38; 87,085	75,5; 155,55; 208,78; 251,37; 130,89; 253,95; 383,75; 385,18; 388,03; 390,02; 393,07; 395,87; 87,78; 398,54; 90,75
4.	прочее	53,2; 153,75; 203,39; 254,18; 123,70; 255,54; 377,72; 125,778; 270,55; 79,87; 85,5; 87,3; 205,8; 377,3; 388,3; 309,5; 271,8; 207,54; 371,95; 379,58; 311,59; 315,27; 272,75; 315,23	88,57; 158,98; 208,75; 259,7; 128,5; 251,8; 382,8; 130,523; 275,57; 84,87; 89,91; 92,97; 210,57; 382,78; 392,79; 314,13; 277,27; 211,59; 375,59; 384,57; 315,87; 321,87; 278,8

Приложение 2

Характеристика отказов КАМАЗ с встроенной системой
диагностирования, полученных в г. Пензе и г. Рязани

№ п/п		Пробеги, на которых произошли отказы, тыс.км	
		г. Пенза	г. Рязань
		КАМАЗ	КАМАЗ
1	2	3	4
1	Топливный насос высокого давления:		
1.1	плунжерная пара	195,84; 253,9; 303,75; 324,8; 324,52; 357,48; 375,14; 345,72	301,5; 181,21; 252,55; 350,12; 322,1; 370,55; 178,35; 340,48
1.2	пружина толкателя	101,7; 280; 255,23; 311	98,2; 180,9; 248,3
1.3	пружина нагнетательного клапана	103,5; 210,87; 251; 340,5	208; 192,5; 250
1.4	нагнетательный клапан	105,2; 255; 312,4; 155,5; 311,7; 355,4; 202,8; 340,97	120; 254,7; 331,2; 157,5; 325,34; 210,3; 327; 353,3
2	Трубопровод высокого давления:		
2.1	крепление трубопроводов	255,5; 375,02; 383,12; 309; 271; 255,3; 375,31; 387,5; 401; 409,3; 253,1; 350,8; 375,9; 301; 308,9; 251,1; 301,3; 329,12; 259,5; 370;	255,5; 359,9; 389,8; 311,5; 341; 278,9; 380,3; 322,5; 210; 373; 393; 304; 318; 258,3; 353,75; 347,98; 255,5; 378,72

Окончание прил. 2

1	2	3	4
2.2	трубки высокого давления	255,5; 371,25; 381,25; 309;209; 241,3; 238,14; 395,72; 350,3; 355; 257,5; 325,3; 247,5; 220,5; 300; 350,3	250,23; 371,25; 324,25; 271,25; 279,98; 239,55; 311,52; 350,5; 397,7;278,5; 249,5; 395,25; 304,45; 255,3; 241,3
3	Форсунки:		
3.1	пружина	103,55; 203,25; 251,09; 304,04; 150,25; 303,12; 157,44; 325,12; 150,25; 320,85; 101,75; 102,85; 200,25; 255,5; 332,8	109,89; 203,82; 252,08; 332,8; 155,4; 325,8; 395,5; 157,7; 345,5; 103,5; 105,23; 200,59; 110,23; 208,55; 255,25
3.2	игла	101,25; 254,24; 259,3; 395,12;150,25; 323,82; 397,7;303	105,23; 208,98; 255,5; 150,25;335,35; 481,25; 159,35; 345; 102,25; 110,89; 208,28; 155; 312,2
3.3	крепление форсунки	101,25; 200; 230,89; 327,59; 150,25; 325,08; 371,25; 375,2; 101,25; 390,5; 102,75; 103,25	102,75; 155; 208; 251; 130; 253; 380,3; 389,1; 381,8; 310,84; 103,25; 120,9
4.	прочее	102,75; 192,78; 251,25; 253,2; 158,7; 322,55; 371,25; 158,75; 340,2; 101,91; 102,82; 105,3; 252,4; 371,25; 383,25; 383,15; 341,25; 258,75; 301,25	105,3; 199,08; 252,08; 325,34; 155,12; 330,5; 151,2; 375,2; 104,3; 110,3; 120,5; 253,3; 392,78; 309,5; 395,54; 349,02; 270,08; 310,88; 350,08

Приложение 3

Показатели надежности элементов топливной системы КАМАЗ (Пенза)

№ п/п	Наименование отказов	Средняя наработка на отказ L , тыс. км	Среднеквадратичное отклонение σ , тыс. км	Коэффициент вариации, ν
1	Топливный насос высокого давления:			
1.1	плунжерная пара	209,7	93	0,44
1.2	пружина толкателя	210,3	55	0,25
1.3	пружина нагнетательного клапана	152	59,5	0,38
1.4	нагнетательный клапан	210,7	93,1	0,44
2	Трубопровод высокого давления:			
2.1	крепление трубопроводов	315,1	59	0,18
2.2	трубки высокого давления	282,2	111	0,39
3	Форсунки:			
3.1	пружина	179,3	85,3	0,47
3.2	игла	223,3	115	0,52
3.3	крепление форсунки	257,5	137	0,51
4.	прочее	244	97	0,39

Приложение 4

Показатели надежности элементов топливной системы КАМАЗ
со встроенной системой диагностирования Пенза

№ п/п	Наименование отказов	Средняя наработка на отказ L , тыс.км	Среднеквадратичное отклонение σ , тыс.км	Коэффициент вариации, ν
1	Топливный насос высокого давления:			
1.1	плунжерная пара	293,2	135,89	0,45
1.2	пружина толкателя	212	91,4	0,43
1.3	пружина нагнетательного клапана	232	85,2	0,37
1.4	нагнетательный клапан	281,3	123,03	0,43
2	Трубопровод высокого давления:			
2.1	крепление трубопроводов	389,35	88,5	0,22
2.2	трубки высокого давления	334,1	129,5	0,38
3	Форсунки:			
3.1	пружина	219,58	83,4	0,41
3.2	игла	257,81	115,3	0,49
3.3	крепление форсунки	342,9	98,4	0,29
4.	прочее	291,84	89,5	0,28

Приложение 5

Показатели надежности элементов топливной системы КАМАЗ (Рязань)

№ п/п	Наименование отказов	Средняя наработка на отказ L , тыс.км	Среднеквадратичное отклонение σ , тыс.км	Коэффициент вариации, ν
1	Топливный насос высокого давления:			
1.1	плунжерная пара	192,3	110	0,57
1.2	пружина толкателя	175	59	0,33
1.3	пружина нагнетательного клапана	182,2	90	0,49
1.4	нагнетательный клапан	175,1	98	0,55
2	Трубопровод высокого давления:			
2.1	крепление трубопроводов	314	55,7	0,18
2.2	трубки высокого давления	277	78,5	0,28
3	Форсунки:			
3.1	пружина	181,1	87,1	0,48
3.2	игла	223,5	109	0,49
3.3	крепление форсунки	251,4	133	0,53
4.	прочее	258,7	109	0,4

Приложение 6

Показатели надежности элементов топливной системы КАМАЗ
со встроенной системой диагностирования Рязань

№ п/п	Наименование отказов	Средняя наработка на отказ L , тыс.км	Среднеквадратичное отклонение σ , тыс.км	Коэффициент вариации, ν
1	Топливный насос высокого давления:			
1.1	плунжерная пара	252,25	79	0,38
1.2	пружина толкателя	203,58	55	0,37
1.3	пружина нагнетательного клапана	231,4	57	0,31
1.4	нагнетательный клапан	230,12	103	0,5
2	Трубопровод высокого давления:			
2.1	крепление трубопроводов	252,53	70	0,22
2.2	трубки высокого давления	321,31	59	0,23
3	Форсунки:			
3.1	пружина	222,53	91	0,52
3.2	игла	253,52	95	0,45
3.3	крепление форсунки	350,17	117	0,41
4.	прочее	300,1	95	0,4

Приложение 7

Величины простоя по ТНВД от отказа элемента на один автомобиль (t1a – для вероятностно-логической стратегии, t2a – для планово-предупредительной стратегии), на парк автомобилей (t1p – для вероятностно-логической стратегии, t2p – для планово-предупредительной стратегии), на один день (t1d – для вероятностно-логической стратегии, t2d – для планово-предупредительной стратегии)

№ п/п	t1a	t2a	t1p	t2p	t1d	t2d
1	2	3	4	5	5	7
1	0,21	0,24	13,27	15,99	0,12	0,24
2	0,39	0,47	22,41	28,58	0,22	0,37
3	0,75	0,95	39,09	50,04	0,41	0,43
4	1,25	1,71	50,72	77,72	0,59	0,75
5	1,33	1,81	53,59	81,39	0,72	0,89
5	1,44	1,98	57,92	85,94	0,78	1,31
7	1,45	1,99	58,4	87,55	0,79	1,38
8	1,52	2,10	71,12	91,04	0,82	1,38
9	1,59	2,35	77,98	99,81	0,92	1,50
10	1,71	2,39	78,59	100,5	0,92	1,55
11	1,83	2,57	83,14	105,4	0,99	1,52
12	1,85	2,51	84,25	107,8	1,00	1,53
13	1,85	2,52	84,35	95,37	1,00	1,57
14	1,89	2,57	85,72	109,7	1,02	1,71
15	1,99	2,83	89,45	114,5	1,07	1,71
15	2,03	2,89	91,07	115,5	1,10	1,72
17	2,12	3,03	94,4	120,8	1,14	1,74
18	2,37	3,43	103,8	132,9	1,27	1,77
19	2,41	3,49	105,2	134,5	1,29	1,78
20	2,42	3,50	105,5	135,1	1,30	1,78
21	2,45	3,57	107,1	137,1	1,32	1,79
22	2,47	3,59	107,5	137,7	1,33	1,82
23	2,52	3,57	109,3	139,9	1,35	1,84
24	2,54	3,87	113,9	145,8	1,42	1,87
25	2,57	3,92	115	147,2	1,43	1,93
25	2,72	3,99	115,7	149,3	1,45	1,95
27	2,73	4,00	117	149,8	1,45	1,97
28	2,83	4,15	120,5	154,4	1,51	1,97
29	2,85	4,21	121,5	155,5	1,53	2,08
30	2,94	4,35	124,8	159,8	1,57	2,11
31	2,95	4,38	125,4	150,5	1,58	2,19
32	2,99	4,43	125,4	151,8	1,50	2,22
33	3,09	4,50	130,2	155,5	1,55	2,23
34	3,30	4,94	137,5	175	1,75	2,27
35	3,41	5,12	141,5	181,1	1,82	2,28

Окончание прил. 7

1	2	3	4	5	5	7
35	3,52	5,48	149	190,7	1,93	2,51
37	3,75	5,71	153,9	195,9	2,00	2,54
38	3,81	5,80	155,5	199,2	2,03	2,54
39	4,23	5,50	170	217,5	2,24	2,79
40	4,35	5,72	174,3	223,1	2,31	2,81
41	4,39	5,78	175,5	224,7	2,33	2,83
42	4,41	5,81	175,2	225,5	2,34	3,09
43	4,51	7,00	179,9	230,2	2,39	3,17
44	4,55	7,05	180,9	231,5	2,41	3,19
45	4,55	7,05	181	231,5	2,41	3,25
45	4,78	7,45	188,9	241,8	2,53	3,53
47	5,05	7,94	198,2	253,7	2,58	3,88
48	5,52	8,73	213,3	273	2,91	4,25
49	7,01	11,38	251,5	334,9	3,58	4,35
50	7,02	11,39	251,9	335,2	3,58	5,53
Среднее (Mean)	2,93	4,40	122,5	155,55	1,55	2,15
Среднеквадратическое отклонение StdDv	1,48	2,45	53,5	58,7	0,77	1,01
Коэффициент вариации v	0, 51	0,55	0,43	0,44	0,49	0,47

Приложение 8

Величины простоя по форсунке от отказа элемента на один автомобиль (t1a_f – для вероятностно-логической стратегии, t2a_f – для планово-предупредительной стратегии), на парк автомобилей (t1p_f – для вероятностно-логической стратегии, t2p_f – для планово-предупредительной стратегии), на один день (t1d_f – для вероятностно-логической стратегии, t2d_f – для планово-предупредительной стратегии)

№ п/п	t1a_f	t2a_f	t1p_f	t2p_f	t1d_f	t2d_f
1	2	3	4	5	5	7
1	0,21	0,22	13,53	17,02	0,17	0,21
2	0,35	0,41	23,14	29,49	0,29	0,38
3	0,55	0,78	40,92	52,88	0,50	0,58
4	1,03	1,29	54,25	83,94	0,78	1,10
5	1,08	1,35	57,35	88,1	0,81	1,15
5	1,15	1,47	72,07	94,42	0,87	1,24
7	1,15	1,48	72,59	95,11	0,88	1,25
8	1,21	1,55	75,55	99,1	0,91	1,30
9	1,33	1,72	83,03	109,1	1,00	1,44
10	1,35	1,73	83,59	110	1,01	1,45
11	1,43	1,85	88,55	115,7	1,05	1,54
12	1,45	1,88	89,88	118,4	1,08	1,55
13	1,45	1,88	90	118,5	1,08	1,55
14	1,47	1,92	91,49	120,5	1,10	1,59
15	1,54	2,01	95,58	125,1	1,15	1,55
15	1,57	2,05	97,34	128,4	1,17	1,70
17	1,53	2,14	101	133,4	1,21	1,75
18	1,80	2,39	111,3	147,4	1,33	1,95
19	1,83	2,42	112,8	149,4	1,35	1,98
20	1,83	2,43	113,2	150	1,35	1,99
21	1,85	2,47	115	152,3	1,37	2,02
22	1,87	2,48	115,4	152,9	1,38	2,03
23	1,90	2,53	117,4	155,5	1,40	2,05
24	1,99	2,55	122,4	152,5	1,45	2,15
25	2,00	2,58	123,5	154,1	1,47	2,18
25	2,04	2,73	125,4	155,5	1,49	2,21
27	2,04	2,74	125,9	157,1	1,50	2,22
28	2,11	2,83	129,8	172,5	1,54	2,29
29	2,13	2,85	130,9	173,9	1,55	2,31
30	2,19	2,95	134,5	178,8	1,50	2,38
31	2,20	2,95	135,1	179,7	1,51	2,39
32	2,21	2,99	135,2	181,2	1,52	2,41
33	2,28	3,09	140,4	185,8	1,57	2,49
34	2,42	3,30	148,5	197,9	1,75	2,54
35	2,49	3,41	152,9	203,9	1,81	2,72

Окончание прил. 8

1	2	3	4	5	5	7
35	2,53	3,51	151,2	215,3	1,91	2,88
37	2,72	3,75	155,5	222,7	1,97	2,98
38	2,75	3,80	158,5	225,3	1,99	3,01
39	3,02	4,21	184,5	247,3	2,18	3,31
40	3,10	4,33	189,3	253,9	2,23	3,40
41	3,13	4,35	190,7	255,7	2,25	3,43
42	3,14	4,38	191,4	255,7	2,25	3,44
43	3,21	4,49	195,5	252,3	2,30	3,52
44	3,23	4,52	195,7	253,9	2,32	3,54
45	3,23	4,52	195,7	254	2,32	3,54
45	3,25	4,55	198,4	255,4	2,34	3,58
47	3,38	4,75	205,5	275,2	2,42	3,71
48	3,55	5,01	215,9	290,5	2,54	3,91
49	3,84	5,45	232,8	313,8	2,73	4,23
50	4,75	5,90	287	388,7	3,35	5,25
51	4,75	5,91	287,3	389,2	3,35	5,27
Среднее (Mean)	2,17	2,95	133,50	177,95	1,58	2,37
Средне-Оквadraticеское отклонение StdDv	0,98	1,45	59,22	80,57	0,58	1,09
Кoeffициент вариации v	0,451	0,49	0,44	0,453	0,43	0,45

Приложение 9

Величины простоя по коробке перемены передач от отказа элемента на один автомобиль (t1a_k – для вероятностно-логической стратегии, t2a_f – для планово-предупредительной стратегии), на парк автомобилей (t1p_f – для вероятностно-логической стратегии, t2p_f – для планово-предупредительной стратегии), на один день (t1d_f – для вероятностно-логической стратегии, t2d_f – для планово-предупредительной стратегии)

Величины простоя по форсунке от отказа элемента на один автомобиль (t1a_f – для вероятностно-логической стратегии, t2a_f – для планово-предупредительной стратегии), на парк автомобилей (t1p_f – для вероятностно-логической стратегии, t2p_f – для планово-предупредительной стратегии), на один день (t1d_f – для вероятностно-логической стратегии, t2d_f – для планово-предупредительной стратегии)

№ п/п	t1a k	t2a k	t1p k	t2p k	t1d k	t2d k
1	2	3	4	5	6	7
1	0,53	0,47	12,32	25,2	0,31	0,09
2	0,72	0,53	14,87	49,07	0,33	0,12
3	0,91	0,52	38,87	55,53	0,33	0,35
4	0,93	0,57	39,29	58,51	0,47	0,45
5	1,1	0,94	49,08	71,09	0,57	0,59
5	1,29	1,09	50,81	72,78	0,72	0,93
7	1,3	1,18	51	75,2	0,75	0,94
8	1,55	1,23	58,41	79,7	0,85	1
9	1,51	1,29	54,45	83,4	0,99	1,05
10	1,74	1,52	58,99	84,42	1,02	1,05
11	1,75	1,55	59,37	85,71	1,08	1,21
12	1,78	2,18	81	88,45	1,25	1,27
13	1,92	2,35	81,41	88,89	1,31	1,28
14	2,08	2,39	85,31	91,05	1,44	1,32
15	2,14	2,44	85,09	91,51	1,5	1,43
15	2,17	2,55	88,55	94,1	1,55	1,51
17	2,18	2,85	91,53	94,58	1,58	1,54
18	2,28	3,05	92,59	100,52	1,58	1,54
19	2,3	3,09	93,18	100,74	1,72	1,55
20	2,33	3,11	95,98	105,85	1,74	1,72
21	2,34	3,25	97,09	110,98	1,74	1,74
22	2,35	3,3	97,48	120,44	1,79	1,93
23	2,35	3,35	99,88	123,45	1,8	1,95
24	2,71	3,37	107,35	124,9	1,9	1,97
25	2,85	3,37	110,44	130,55	2,11	1,97
25	2,85	3,4	110,84	140,8	2,23	2,03

Окончание прил. 9

1	2	3	4	5	6	7
27	2,85	3,4	121,31	142,55	2,34	2,11
28	3,03	3,45	125,98	151,1	2,35	2,31
29	3,14	3,51	131,59	159,89	2,39	2,52
30	3,25	3,85	133,3	171,75	2,44	2,5
31	3,39	3,88	134,11	178,58	2,45	2,53
32	3,53	3,98	149,82	178,99	2,58	2,55
33	3,59	4,22	152,42	184,55	2,71	3,13
34	3,7	4,38	152,37	187,23	2,81	3,14
35	3,74	4,51	154,29	201,33	2,91	3,22
35	4,27	4,55	172,93	213,7	3,25	3,45
37	4,28	4,58	175,58	215,58	3,39	3,55
38	4,3	4,88	177,77	215,8	3,94	3,55
39	4,35	5,34	207,2	219,81	4,07	3,82
40	4,77	5,21	208,48	242,98	4,14	3,99
41	4,88	5,25	213,55	245,87	4,22	4,02
42	4,92	5,85	238,27	247,42	4,48	4,82
43	5,14	7,03	239,73	255,8	4,53	4,82
44	5,35	7,08	254,8	258,1	4,55	5,05
45	5,48	7,81	270,15	275,29	5,09	5,08
45	5,87	9,4	305,3	283	5,1	5,25
47	7,11	9,85	314,39	285,72	5,23	5,51
48	7,5	10,59	430,24	554,25	5,24	5,5
Среднее (Mean)	3,05	3,77	134,00	155,58	2,35	2,43
Средне-квадратическое отклонение StdDv	1,53	2,44	85,54	93,74	1,45	1,55
Коэффициент Вариации v	0,57	0,33	0,58	0,32	0,52	0,31

Листинг программа «Сигнализатор ТО»

```
program sign_to;
uses
Forms,
sign in 'sign.pas' {Form1},
vibor in 'vibor.pas' {Form2},
notrealize in 'notrealize.pas' {Form3};
{$R *.res}
begin
Application.Initialize;
Application.CreateForm(TForm1, Form1);
Application.CreateForm(TForm2, Form2);
Application.CreateForm(TForm3, Form3);
Application.Run;
end.

unit sign;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, ComCtrls, Menus, ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine, Chart,
Series, Grids, DBGrids, DB, DBTables, DbChart;
type
TForm1 = class(TForm)
MainMenu1: TMainMenu;
N1: TMenuItem; N2: TMenuItem; N3: TMenuItem; N4: TMenuItem;
Label1: TLabel; Label2: TLabel;
DateTimePicker1: TDateTimePicker; DateTimePicker2: TDateTimePicker;
Button1: TButton; GroupBox1: TGroupBox;
Chart1: TDBChart; Chart2: TDBChart; Chart3: TDBChart;
Chart4: TDBChart; Chart5: TDBChart; Series1: TBarSeries;
Series2: TBarSeries; Series3: TBarSeries; Series4: TBarSeries;
Series5: TBarSeries;
Table1: TTable; Table2: TTable;
DataSource1: TDataSource;
DataSource2: TDataSource;
N5: TMenuItem; N8: TMenuItem;
Label3: TLabel; Label4: TLabel; Label5: TLabel; Label6: TLabel;
Label7: TLabel; Label8: TLabel; Label9: TLabel; Label10: TLabel;
Query1: TQuery;
```

```

Label11: TLabel; Label12: TLabel; Label13: TLabel;
Label14: TLabel; Label15: TLabel; Label16: TLabel;
N6: TMenuItem; N7: TMenuItem;
ke1: TMenuItem; ke2: TMenuItem; ke3: TMenuItem;
ke4: TMenuItem; ke5: TMenuItem; kr1: TMenuItem;
kr2: TMenuItem; kr3: TMenuItem; kr4: TMenuItem;
kr5: TMenuItem;

DBGrid1: TDBGrid; DBGrid2: TDBGrid;
procedure N5Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Create_Alias(MyAlias:string);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure ke1Click(Sender: TObject);
procedure ke2Click(Sender: TObject);
procedure ke3Click(Sender: TObject);
procedure ke4Click(Sender: TObject);
procedure ke5Click(Sender: TObject);
procedure kr1Click(Sender: TObject);
procedure kr2Click(Sender: TObject);
procedure kr3Click(Sender: TObject);
procedure kr4Click(Sender: TObject);
procedure kr5Click(Sender: TObject);
procedure N2Click(Sender: TObject);
procedure N4Click(Sender: TObject);
procedure N8Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
goska: string [10]; marka: string [20]; tipa : string [30];
probegt: integer; nominalm: real; kritikalm: real;
tekm: real; end;
var
Form1: TForm1;
i: integer;
implementation
uses vibor, notrealize;
{$R *.dfm}
//процедура выбора авто по госномеру
procedure TForm1.N5Click(Sender: TObject);

```

```

begin
Form2.Show;
end;
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
// DataSource1.DataSet.Active:=True;
// DataSource2.DataSet.Active:=True;
Form1.Create_Alias('base');
Form1.Table1.Open;
Form1.Table2.Open;
Label4.Caption:="";
Label6.Caption:="";
Label8.Caption:="";
Label10.Caption:="";
Label12.Caption:="";
Label14.Caption:="";
Label16.Caption:="";
// чекаем коэффициенты
Form1.ke1.Checked:=true;
Form1.kr1.Checked:=true;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
rlnastokm: double;
nominalka,otnosm: real;
tost:real;
dataz: TDate;
koefke, koefkr: real;
begin
Create_Alias('base');
Series1.Clear;
Series2.Clear;
Series3.Clear;
Series4.Clear;
Series5.Clear;
With Query1 do begin
If Active then Close;
SQL.Clear;
SQL.Add('Select * from datchig where (datchig.»Госномер»=«'+goska+'«) and
(datchig.»Дата» between «'+DateToStr(DateTimePicker1.Date)+'« and «'+
DateToStr(DateTimePicker2.Date)+'«)');

```

```

Prepare;
Open;
end;
Series1.Clear;
Form1.Table2.First;
repeat
if Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[0].AsString = Form1.goska then
begin
dataz:= Form1.DateTimePicker1.DateTime - 1;
if (Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime >= dataz)
and (Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime <=
Form1.DateTimePicker2.DateTime)
then begin
rlnastokm:=(Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[5].AsInteger
/ Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[4].AsInteger) * 100;
Chart1.Series[0].AddXY(
Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime,
rlnastokm,
Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsString,
clYellow);
end;
end;
until Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
With Series2 do begin
Clear;
ParentChart:=Chart2;
DataSource:=Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Время работы двигателя';
CheckDatasource;
end;
With Series3 do begin
Clear;
ParentChart:=Chart3;
DataSource:=Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Пробег';
CheckDatasource;
end;
end;

```

```

With Series4 do begin
Clear;
ParentChart:=Chart4;
DataSource:=Query1;
XLabelsSource:='Дата';
XValues.ValueSource:= 'Дата';
YValues.ValueSource:= 'Измеренная мощность';
CheckDatasource;
end;
// (измеренн.мощность «из датчика» [2]/ ном. мощность «бд авто» [2]) *100 %
Series4.Clear;
nominalka:= Form1.nominalm;
Form1.tekm:=0;
Form1.Table2.First;
repeat
if Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[0].AsString = Form1.goska then
begin
dataz:= Form1.DateTimePicker1.DateTime - 1;
if (Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime >= dataz)
and (Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime <=
Form1.DateTimePicker2.DateTime)
then begin
otnosm:=(Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[2].AsFloat / nominalka)
* 100;
Chart4.Series[0].AddXY(
Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsDateTime,
otnosm,
Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[1].AsString,
clBlue);
Form1.tekm:=Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[2].AsFloat;
end;
end;
until Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
if Form1.tekm <> 0 then Form1.Label16.Caption:= FloatToStr(Form1.tekm)
else Form1.Label16.Caption:='<нет данных!>';
if ke1.Checked then koefke:= 1.0;
if ke2.Checked then koefke:= 0.9;
if ke3.Checked then koefke:= 0.8;
if ke4.Checked then koefke:= 0.7;
if ke5.Checked then koefke:= 0.6;
if kr1.Checked then koefkr:= 1.0;

```

```

if kr2.Checked then koefkr:= 0.9;
if kr3.Checked then koefkr:= 0.9;
if kr4.Checked then koefkr:= 0.8;
if kr5.Checked then koefkr:= 0.8;
if Form1.tekm <> 0 then begin
tost:= abs((Form1.kritikalm – Form1.tekm)/(Form1.tekm – Form1.nominalm))
* 16000 * koefke * koefkr;
Series5.Clear;
Chart5.Series[0].AddXY(
tost,
tost,
'До следующего ТО',
clGray);
end;
end;
procedure TForm1.Create_Alias(MyAlias:string);
var
AParams: TStringList;
Dir: string;
begin
Dir:= ExtractFilePath(ParamStr(0)) + MyAlias; // Путь к базе
AParams:= TStringList.Create;
//Проверка существования псевдонима dbBaza
if not Session.IsAlias(MyAlias) then
begin
Session.AddStandardAlias(MyAlias, Dir, 'PARADOX');
// кто-то добавил, а то не записывает
Session.SaveConfigFile;
end
else
try
begin
AParams.Clear;
AParams.Add('ПАТН=' + Dir);
Session.ModifyAlias(MyAlias, AParams);
Session.SaveConfigFile;
end;
finally
AParams.Free;
end;
end;

```



```
procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
```

```
begin
```

```
Series1.Clear;
```

```
Series2.Clear;
```

```
Series3.Clear;
```

```
Series4.Clear;
```

```
Series5.Clear;
```

```
Table2.CLOSE;
```

```
Table1.CLOSE;
```

```
Query1.CLOSE;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.ke1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Form1.ke1.Checked:=true;
```

```
Form1.ke2.Checked:=false;
```

```
Form1.ke3.Checked:=false;
```

```
Form1.ke4.Checked:=false;
```

```
Form1.ke5.Checked:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.ke2Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Form1.ke1.Checked:=false;
```

```
Form1.ke2.Checked:=true;
```

```
Form1.ke3.Checked:=false;
```

```
Form1.ke4.Checked:=false;
```

```
Form1.ke5.Checked:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.ke3Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Form1.ke1.Checked:=false;
```

```
Form1.ke2.Checked:=false;
```

```
Form1.ke3.Checked:=true;
```

```
Form1.ke4.Checked:=false;
```

```
Form1.ke5.Checked:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.ke4Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Form1.ke1.Checked:=false;
```

```
Form1.ke2.Checked:=false;
```

```
Form1.ke3.Checked:=false;
```

```
Form1.ke4.Checked:=true;
```

```
Form1.ke5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.ke5Click(Sender: TObject);
begin
Form1.ke1.Checked:=false;
Form1.ke2.Checked:=false;
Form1.ke3.Checked:=false;
Form1.ke4.Checked:=false;
Form1.ke5.Checked:=true;
end;
procedure TForm1.kr1Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=true;
Form1.kr2.Checked:=false;
Form1.kr3.Checked:=false;
Form1.kr4.Checked:=false;
Form1.kr5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.kr2Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=false;
Form1.kr2.Checked:=true;
Form1.kr3.Checked:=false;
Form1.kr4.Checked:=false;
Form1.kr5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.kr3Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=false;
Form1.kr2.Checked:=false;
Form1.kr3.Checked:=true;
Form1.kr4.Checked:=false;
Form1.kr5.Checked:=false;
end;
procedure TForm1.kr4Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=false;
Form1.kr2.Checked:=false;
Form1.kr3.Checked:=false;
Form1.kr4.Checked:=true;
Form1.kr5.Checked:=false;
```

```

end;
procedure TForm1.kr5Click(Sender: TObject);
begin
Form1.kr1.Checked:=false;
Form1.kr2.Checked:=false;
Form1.kr3.Checked:=false;
Form1.kr4.Checked:=false;
Form1.kr5.Checked:=true;
end;
procedure TForm1.N2Click(Sender: TObject);
begin
Form3.Show;
end;
procedure TForm1.N4Click(Sender: TObject);
begin
Form3.Show;
end;
procedure TForm1.N8Click(Sender: TObject);
begin
Form1.Create_Alias('base');
// Form1.Close;
end;
end.

```

unit vibor;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls;

type

TForm2 = class(TForm)

ComboGos: TComboBox;

Button1: TButton;

procedure FormCreate(Sender: TObject);*procedure* Button1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Form2: TForm2;

```

implementation
uses sign, notrealize;
{$R *.dfm}
procedure TForm2.FormCreate(Sender: TObject);
begin
Form2.ComboGos.Items.Clear;
Form1.Table1.First;
repeat
Form2.ComboGos.AddItem(
Form1.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[4].AsString,
Form1.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[4]);
until Form1.DBGrid1.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
//эта строка выбирает первый госномер списка
Form2.ComboGos.ItemIndex:=0;
//а эта может выбирать пустую строку
//Form2.ComboGos.ItemIndex:=-1;
end;
procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
var
probeg:integer;
begin
Form1.goska:= Form2.ComboGos.Text;
Form1.Label4.Caption:= Form1.goska;
Form1.Table1.First;
repeat
if Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[4].AsString = Form1.goska then
begin
Form1.marka:=Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[0].AsString;
Form1.tipa :=Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[1].AsString;
Form1.nominalm :=Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[2].AsFloat;
Form1.kritikalm :=Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.Fields[3].AsFloat;
end;
until Form3.DBGrid1.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
Form1.Label6.Caption:= Form1.marka;
Form1.Label8.Caption:= Form1.tipa;
Form1.Label12.Caption:= FloatToStr(Form1.nominalm);
Form1.Label14.Caption:= FloatToStr(Form1.kritikalm);
probeg:=0;
Form1.Table2.First;
repeat

```

```

if Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[0].AsString = Form1.goska then
begin
probeg:=probeg+Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.Fields[4].AsInteger;
end;
until Form3.DBGrid2.DataSource.DataSet.FindNext = false ;
Form1.probegt := probeg;
if Form1.probegt <> 0 then Form1.Label10.Caption:= IntToStr(Form1.probegt)
else Form1.Label10.Caption:= '<нет данных!>';
Form1.Label16.Caption:="";
Form2.Close;
end;
end.

```

unit notrealize;

```

interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, DBCtrls, Grids, DBGrids;
type
TForm3 = class(TForm)
Button1: TButton;
DBGrid1: TDBGrid;
DBGrid2: TDBGrid;
DBNavigator1: TDBNavigator;
DBNavigator2: TDBNavigator;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
Form3: TForm3;
implementation
uses sign;
{$R *.dfm}
procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
begin
Form3.Close;
end;
end.

```

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	4
1.1. Роль диагностирования в повышении эффективности технической эксплуатации автомобилей	4
1.2. Общие сведения о неисправностях и их влияние на состояние автомобиля	6
1.3. Сравнительный анализ разработок в области диагностирования ...	14
1.4. Анализ методов поиска неисправностей.....	25
1.5. Анализ методов группировки операций технического обслуживания автомобилей.....	37
1.6. Анализ методов определения периодичности технического обслуживания автомобилей.....	43
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНО- ЛОГИЧЕСКОГО ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ.....	50
2.1. Описание объекта исследований.....	50
2.2. Режимы обеспечения работоспособности автомобиля	51
2.3. Вероятностно-логический подход к выявлению неисправностей автомобилей	52
2.3.1. Вероятностно-логическая модель как способ диагностирования автомобиля.....	53
2.3.2. Система коэффициентов вероятностно-логической модели поиска неисправностей автомобилей	56
3. МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ НА ПРОВЕДЕНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ, ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ	86
3.1. Модель затрат вероятностно-логического диагностирования.....	86
3.2. Модель затрат динамичной системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей	93
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	99
4.1. Общая методика исследований	99
4.2. Обоснование плана и объема исследований.....	100
4.3. Общее назначение и цели выполнения экспериментальных исследований.....	102
4.4. Характеристика объекта исследований и методика проведения исследований.....	104
4.5. Анализ статистических данных по отказам элементов двигателя и трансмиссии при эксплуатации автомобилей КАМАЗ в условиях гг. Пензы и Рязани	105

4.6. Сравнительный анализ результатов исследования поиска неисправностей	115
4.6.1. Определение времени простоя автомобилей	115
4.6.2. Анализ удельных затрат на поиск неисправностей автомобилей КАМАЗ	120
4.6.3. Анализ удельных затрат и эффективности применения динамичной стратегии автомобилей КАМАЗ	124
5. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	129
5.1. Структура и описание работы программы по диагностированию технического состояния автомобиля	129
5.2. Макетные образцы встроенной системы диагностирования автомобилей	137
5.2. Образцы программ определения технического состояния и постановки автомобилей на техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей	140
5.3. Оценка экономической эффективности внедрения системы диагностирования автомобильных дизелей	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	154
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	156
ПРИЛОЖЕНИЯ	174

Научное издание

Лянденбургский Владимир Владимирович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ
НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Монография

В авторской редакции

Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 05.03.15. Формат 60x84/16.

Бумага офсетная. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 11,625. Уч.-изд. л. 12,5. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.

Заказ № 79.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.