

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пензенский государственный университет архитектуры и  
строительства»**

КАФЕДРА «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Утверждаю:

Зав. кафедрой

Ю.В. Родионов

(подпись, инициалы, фамилия)

\_\_\_\_\_

число

\_\_\_\_\_

месяц

\_\_\_\_\_

год

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе на тему:

**Повышение эффективности использования транспортных средств**  
(наименование темы)

**Автор выпускной квалификационной работы** \_\_\_\_\_ **М.С. Шаманов**  
подпись инициалы, фамилия

Направление подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»  
(наименование)

Обозначение 2069059 – 23.03.03 - 151416-2017 Группа ЭТМК-21м

Руководитель работы \_\_\_\_\_  
подпись, дата,

**Р.Н. Москвин**  
инициалы, фамилия

Пенза 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования

«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Утверждаю:  
Зав. кафедрой

Ю.В. Родионов  
*фамилия*

*(подпись, инициалы,*

\_\_\_\_\_ *число* \_\_\_\_\_ *месяц* \_\_\_\_\_ *год*

### **ЗАДАНИЕ**

#### **НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студент Шаманов Михаил Сергеевич Группа ЭТМК-21м

Тема **«Повышение эффективности использования транспортных средств»**  
утверждена приказом по ПГУАС № 06-09-332 от 01. 12. 2016 г.  
*число месяц год*

Срок представления проекта к защите \_\_\_\_\_  
*число* \_\_\_\_\_ *месяц* \_\_\_\_\_ *год*

- I. Исходные данные для проектирования
  - Данные литературного и патентного поиска
  - Технические характеристики существующих конструкций
  - Анализ современного состояния рассматриваемого вопроса
- II. Содержание пояснительной записки

Введение

Глава 1 Состояние вопроса и задачи исследования

Глава 2 Теоретические исследования процесса технической эксплуатации подвижного состава

Глава 3 Реализация инженерно-кибернетического подхода при повышении эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава

Глава 4 Экспериментальные исследования

Глава 5 Разработка предложений по повышению готовности подвижного состава к использованию по назначению

Общие выводы

Используемая Литература

Руководитель работы \_\_\_\_\_ Р.Н. Москвин  
*подпись* \_\_\_\_\_ *дата* \_\_\_\_\_ *инициалы, фамилия*

Задание принял к исполнению Шаманов Михаил Сергеевич \_\_\_\_\_  
*(Ф.И.О. студента)*

Введение .....	
Глава 1 Состояние вопроса и задачи исследования .....	
1.1 Основные принципы повышения эффективности процесса технической эксплуатации подвижного состава предприятия .....	
1.2 Роль и место технического диагностирования в системе технической эксплуатации подвижного состава.....	
1.2.1 Анализ методов технического диагностирования подвижного состава .....	
1.2.2 Анализ методов прогнозирования технического состояния подвижного состава.....	
1.3 Анализ организации производственных процессов технического обслуживания и ремонта подвижного состава .....	
1.3.1 Анализ исследований по определению технического состояния и характеристик ремонтного фонда агрегатов подвижного состава .....	
1.3.2 Анализ состава и трудоемкости работ в подразделениях осуществляющих ремонт агрегатов подвижного состава .....	
1.4 Цель и задачи исследования .....	
Глава 2 Теоретические исследования процесса технической эксплуатации подвижного состава .....	
2.1 Сущность и задачи технической диагностики .....	
2.2 Теоретические положения по распознаванию класса технического состояния объекта диагностирования .....	
2.3 Математическая модель изменения технического состояния подвижного состава в процессе эксплуатации .....	
2.4 Способ отбора рациональной совокупности объектов, подлежащих техническому диагностированию .....	
2.5 Математическое описание процесса изменения диагностического параметра.....	
2.5.1 Общее выражение функции.....	
2.5.2 Функция скорости изменения параметра.....	
2.6 Выводы .....	
Глава 3 Реализация инженерно-кибернетического подхода при повышении эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава ...	
3.1 Подход к формированию основ теории повышения эффективности технической эксплуатации подвижного состава.....	
3.2 Моделирование при повышении эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава .....	
3.3. Определение основных свойств системы технической эксплуатации подвижного состава .....	
3.4 Определение качества системы технической эксплуатации подвижного состава .....	
3.5 Выводы .....	
Глава 4 Экспериментальные исследования .....	
4.1. Характеристика программы экспериментальных исследований.....	
4.2 Определение числа объектов наблюдений .....	
4.3 Определение объектов диагностирования.....	

4.4	Обработка и статистический анализ экспериментальных данных.....	
4.4.1	Определение статистических вероятностей появления отказов объектов диагностирования .....	
4.4.2	Регрессионные зависимости вероятности отказов объектов диагностирования от пробега .....	
4.4.3	Статистическая оценка значимости коэффициентов регрессионной модели .....	
4.4.4	Проверка математических моделей на адекватность .....	
4.4.5	Определение вероятностей возможных состояний объектов .....	
4.5.	Определение диагностических параметров .....	
4.6	Выводы .....	
Глава 5	Разработка предложений по повышению готовности подвижного состава к использованию по назначению .....	
5.1	Повышение эффективности технического диагностирования подвижного состава .....	
5.1.1	Рекомендации по прогнозированию технического состояния подвижного состава .....	
5.1.2	Рекомендации по определению периодичности контроля технического состояния подвижного состава.....	
5.1.3	Алгоритмы технического диагностирования подвижного состава .....	
5.1.4	Экономическая оценка повышения эффективности технического диагностирования подвижного состава .....	
5.1.5	Техническая оценка результатов повышения эффективности технического диагностирования .....	
5.2	Выводы .....	
	Общие выводы .....	
	Список литературы .....	
	Приложение А. Характеристика отказов объектов диагностирования подвижного состава .....	
	Приложение Б. Графики остатков.....	
	Приложение В. Структурно-следственные модели объектов диагностирования .....	

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Стратегическим направлением технического сервиса на период до 2015 года и прогноз до 2020 года является обеспечение работоспособности и продление сроков службы имеющегося машинно - тракторного парка за счет повышения качества и ресурса машин и агрегатов на основе освоения прогрессивных технологий их обслуживания и ремонта (технической эксплуатации) с применением средств диагностики, процессов восстановления изношенных деталей [139, 140].

Результаты проведенных исследований и опыт эксплуатации подвижного состава (ПС) показывают, что на современном этапе существенное повышение эффективности технической эксплуатации (ТЭ) не может быть достигнуто проведением разрозненных мероприятий, а требует рассмотрения технической эксплуатации как системы и применения к ней современных методов исследования и совершенствования сложных систем.

Развитие системы ТЭ осуществляется на основе планово - предупредительного принципа проведения ремонтно-обслуживающих работ. Информационной базой оптимизации системы являются показатели долговечности конструктивных и неконструктивных элементов машин и результаты их диагностирования. Использование этих данных позволяет изучить закономерности формирования затрат на обеспечение работоспособности ПС и осуществить построение эффективных ресурсосберегающих процессов её ТЭ.

Однако полностью реализовать вышеизложенное направление применительно к ПС в рядовой эксплуатации не удастся вследствие необходимости определения технического состояния (ТС) большого количества их элементов. Поэтому назначение ремонтно-обслуживающих воздействий обосновано лишь для отдельных диагностируемых элементов ПС. Определение периодичности технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) ПС осуществляется по их наработке на основе общих закономерностей изменения эксплуатационных и ремонтных затрат

[38]. Такой подход не позволяет в принципе прогнозировать величину периодичности и ремонтные затраты для различных условий эксплуатации. В результате отсутствует возможность развития системы ТЭ путем управления сроками и объемами ремонтно-обслуживающих воздействий.

Анализ организации производственных процессов, состава и распределения трудовых ресурсов системы ТЭ ПС показал, что ее организационно-производственная структура недостаточно учитывает возможный объем и состав работ по техническому обслуживанию и ремонту всей номенклатуры агрегатов.

Для поддержания ПС в готовности к использованию по назначению, своевременного и качественного проведения их ТО и Р, необходимо повысить уровень контроля за состоянием ПС на всех этапах эксплуатации что несомненно повысит эффективность системы ТЭ ПС.

**Степень разработанности темы.** Отечественные ученые предлагают различные меры для совершенствования системы ТЭ ПС: формирование структуры и содержания ремонтно-обслуживающих воздействий на агрегаты ПС, применение необезличенной формы ремонта, создание и совершенствование методов ТО и Р, разработка и внедрение стратегий ТО и Р ПС по состоянию, развитие системы диагностирования ПС.

Многие российские учёные - специалисты в области технического обслуживания и диагностирования техники занимались работами по созданию и совершенствованию методов ТД ПС. В настоящее время разработан и применяется широкий спектр методов ТД ПС, однако, из трех задач ТД (контроль ТС; поиск места и определение причин отказов; прогнозирование ТС) в них реализованы только первая и вторая и то не в полной мере. Кроме того, следует отметить, что для осуществления прогнозирования ТС ПС разработан широкий спектр различных методов, однако большинство из них базируется на изучении закономерностей изменения значений диагностических параметров от наработки (пробега).

Однако рассмотрению технической эксплуатации как системы взаимосвязанных технических, технологических, организационных,

информационных и экономических аспектов в достаточной степени внимание не уделялось.

В связи с изложенным, повышения эффективности системы ТЭ ПС, совершенствование ее организационно-производственной структуры является актуальной научно - технической проблемой.

Диссертационная работа выполнялась в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

**Цель работы.** Обоснование методологии повышения эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава на основе инженерно-кибернетического подхода, повышения эффективности технического диагностирования.

**Для осуществления указанной цели решались следующие задачи:**

1. Предложить стратегию технического обслуживания и ремонта подвижного состава.

2. Обосновать и разработать методологию повышения эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава на основе инженерно-кибернетического подхода.

3 Обосновать способ определения периодичности контроля технического состояния подвижного состава, основанный на сравнении вероятности безотказной работы автомобиля с заданным уровнем безотказности.

4. Предложить способ прогнозирования технического состояния подвижного состава.

5. Разработать предложения по совершенствованию технического диагностирования подвижного состава.

6. Дать технико-экономическую оценку результатов исследования.

**Научная новизна** состоит в:

- обосновании стратегии технического обслуживания и ремонта подвижного состава;

- инженерно-кибернетическом подходе к разработке основ теории повышения эффективности технической эксплуатации подвижного состава.
- методике выбора рационального перечня диагностических параметров на основе оценки их информационной значимости;
- теоретическом обосновании способа определения периодичности контроля технического состояния подвижного состава;
- регрессионных зависимостях вероятности возникновения отказов в выбранных объектах контроля от пробега;
- теоретическом обосновании способа прогнозирования технического состояния подвижного состава.

**Практическая значимость** результатов исследований заключается в:

- предложенной стратегии технического обслуживания и ремонта подвижного состава .
- предложениях по прогнозированию технического состояния и определению периодичности контроля подвижного состава;
- снижении затрат на повышение уровня готовности ПС к использованию по назначению;

**Объект исследования.** Система технической эксплуатации подвижного состава.

**Предмет исследования.** Процесс технической эксплуатации подвижного состава г. Пензы.

Методы исследования основаны на применении инженерно-кибернетического подхода, системного анализа, теории управления, теории эффективности, теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов, математического программирования, теории надежности и технической диагностики.

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

- методология исследования и совершенствования системы технической эксплуатации подвижного состава на основе инженерно-кибернетического подхода;

- закономерности изменения вероятности возникновения отказов на выбранных объектах диагностирования в зависимости от пробега;

- способ определения периодичности контроля технического состояния подвижного состава;

- способ прогнозирования технического состояния подвижного состава;

**Достоверность результатов исследований.** Теоретические исследования, проводимые на основе современных математических методов, проверялись аналитическими расчетами с использованием статистических и экспериментальных данных. Выводы и рекомендации подтверждаются согласованием результатов аналитических и экспериментальных исследований с рПСождением не более 7%. Проведено сопоставление принципиальных подходов к процессам исследования системы технической эксплуатации в стране. Результаты исследования прошли широкую апробацию в печати и на научно-практических конференциях, в том числе международных.

**Практическая значимость результатов исследований заключается в:**

- предложенной стратегии технического обслуживания и ремонта подвижного состава.

- предложениях по прогнозированию технического состояния и определению периодичности контроля подвижного состава;

- снижении затрат на осуществление контроля технического состояния подвижного состава и повышении уровня их готовности к использованию по назначению;

**Реализация результатов исследования.** Алгоритмы диагностирования систем ПС, Стратегия ТО и Р ПС, методология исследования и совершенствования системы ТЭ ПС внедрены и применяются в МУП г. Пензы.

## **1. Состояние вопроса и задачи исследования**

### **1.1.. Основные принципы повышения эффективности процесса технической эксплуатации подвижного состава предприятия**

Эффективность научно-технического прогресса зависит не только от наращивания выпуска новейшей техники, но и лучшего использования основных фондов. Возникает необходимость в снижении затрат времени, труда и средств на ТО и Р машин.

В связи с этим возникает необходимость в улучшении использования производственных фондов, повышении загрузки мощностей и оборудования, увеличении фондоотдачи, совершенствовании ремонтного производства, обеспечении надежной работы машин и оборудования во всех отраслях промышленности.

Особое значение эти вопросы приобретают, для отрасли машиностроения, производящей ПС, являющейся одной из фондоемких отраслей промышленности. Поэтому улучшение использования основных фондов оказывает первостепенное влияние на повышение эффективности производства ПС.

С повышением технического уровня новых образцов ПС увеличивается их сложность и производительность, техника становится дороже. В связи с ростом цен на технику и топливо увеличиваются расходы предприятий на обеспечение эксплуатации.

Эффективность ТЭ ПС зависит от многих факторов, действующих на различных этапах ее разработки, испытаний, производства и эксплуатации.

Повышение эффективности ТЭ ПС во многом зависит от совершенства ее конструкции и применяемых стратегий ТО и Р, которые находятся в тесной взаимосвязи. Применение новых более эффективных стратегий возможно лишь при условии совершенствования конструкции ПС, повышения надежности и эксплуатационной технологичности [76]. Это вызывает необходимость совместных и согласованных действий всех организаций и предприятий, создающих, эксплуатирующих и ремонтирующих ПС. Общие интересы этих предприятий и организа-

ций должны быть подчинены требованиям, эксплуатации. Оценка их разносторонней деятельности, в конечном счете, должна осуществляться по единой шкале эффективности эксплуатации. К сожалению, это еще не всегда и не везде учитывается. Многие исследования и разработки, особенно в промышленности, выполняются вне связи с процессом эксплуатации ПС, без предварительной оценки того, насколько внедрение результатов проводимых исследований улучшит основные показатели эффективности процесса эксплуатации такие как: регулярность работ; себестоимость перевозок, продолжительность и стоимость ТО и Р и др.

В настоящее время основные показатели эффективности процесса ТЭ действующего парка ПС еще не соответствуют предъявляемым требованиям, несмотря на большую работу, которая проводится на предприятиях промышленности по совершенствованию конструкции и методов ТЭ ПС. Это объясняется недостаточной согласованностью действий различных предприятий и организаций при решении поставленных задач, а также отсутствием, должной теоретической и научно-методической базы.

Вопросы совершенствования процесса ТЭ ПС и их конструкции по обеспечению надежности и эксплуатационной технологичности, как правило, рассматриваются и решаются изолированно друг от друга, так как не связаны общими целями и программами. Закладывая в конструкции ПС новых типов свойства надежности и эксплуатационной технологичности, работники конструкторских бюро и заводов промышленности ориентируются, в основном, на принятую на предприятиях устаревшую систему ТО и Р без учета перспектив ее развития.

Поэтому последующая работа по совершенствованию системы ТО и Р, проводимая на этапе эксплуатации работниками предприятий и организаций ПС, не дает достаточного эффекта.

В связи с этим особую актуальность приобретает проблема создания методологии повышения эффективности ТЭ ПС, отражающей целенаправленную деятельность специалистов организаций и предприятий промышленности на всех стадиях жизненного цикла ПС по повышению безопасности и регулярности работ, интенсивности использования ПС, снижения затрат времени, труда и средств

на ТО и Р.

Повышение эффективности ТЭ ПС строится на основе совокупности научно обоснованных и проверенных практикой принципов управления предприятием, нормативных документов и научных результатов по эксплуатации, надежности, техническому обслуживанию и ремонту ПС, системному анализу и теории эффективности систем [10, 142, 146] .

Для повышения целенаправленности повышения эффективности ТЭ ПС и ориентации его на конечные результаты производственно - хозяйственной деятельности, используется целевой подход к управлению, в соответствии с которым определяется главная цель управления и ее последующая дифференциация в виде иерархической системы целей (в том числе по регионам, объединениям, предприятиям, подразделениям), обеспечиваются условия, необходимые, для достижения целей.

Повышение эффективности ТЭ ПС направлено на изыскание инновационных подходов, приведение в действие резервов развития и повышение эффективности производства, повышение качества продукции, технического уровня и организации производства, совершенствование технологических процессов, обеспечения надежности ПС, безопасности и регулярности работ, повышения интенсивности использования ПС, увеличения производительности труда, снижение себестоимости продукции, рационального использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов.

## **1.2. Роль и место технического диагностирования в системе технической эксплуатации подвижного состава**

В настоящее время при техническом обслуживании подвижного состава в Российской Федерации принята система ТО по наработке. В странах Европы, в США, принята система ТО машин по состоянию. Переход в РФ к указанной сис-

теме ТО сразу невозможен, в связи с чем необходим переходный период, заключающийся в применении системы ТО с контролем технического состояния ПС. Необходимость переходного периода объясняется наличием значительного объема работ ТО (например, крепежных, смазочных и др.), требующих обязательного выполнения с установленной в эксплуатационной документации периодичностью, сравнительно низким уровнем контролепригодности машин, ограниченностью перечня встроенных средств контроля и технического диагностирования, недостаточным количеством необходимых средств технического диагностирования (СТД) для определения требуемой номенклатуры диагностических параметров, отсутствием, как правило, универсальных внешних диагностических средств и др.

Сущность принятой системы [128] заключается во внедрении в систему ТО по наработке регламентированных видов контроля ТС, позволяющих регулярно проверять фактическое ТС ПС и своевременно предотвращать возникновение по эксплуатационным причинам отказов и повреждений, обеспечивая исправное или работоспособное состояние МТ. С помощью комплекса технических средств (КТС) устанавливается перечень операций, потребность в выполнении которых определяется техническим состоянием подвижного состава в момент начала ТО, что значительно сокращает трудоемкость выполнения ТО. Контроль ТС проводится на протяжении всего периода эксплуатации ПС, совмещаясь по месту и времени с ТО.

Основным видом контроля ТС при использовании ПС по назначению [74] является ТД, которое проводится с целью получения информации о фактическом состоянии ПС и (или) их сборочных единиц (составных частей) на момент проверки и позволяет определить объем работ ТО, обеспечивающего поддержание ПС в исправном или работоспособном состоянии.

ТД играет значительную роль в обеспечении поддержания установленного уровня надежности, требований по безопасности выполнения транспортных работ и эффективности использования ПС за счет получения информации о их фактическом техническом состоянии на момент контроля [13, 74].

Так в настоящее время объем диагностических операций для ПС составляет около 30% от общего объема ТО [13, 16, 30, 31, 36], что свидетельствует, во-первых, о важности повышения контролепригодности ПС и, во-вторых, о необходимости совершенствования методов и средств ТД. Это подтверждается и динамикой повышения трудоемкости диагностических операций. Удельная трудоемкость диагностирования и его доля в общем объеме ТО также непрерывно растет [4]. Закономерность роста трудоемкости диагностирования указывает также на тенденцию ее дальнейшего увеличения.

Как процесс определения ТС ПС, ТД предопределяет наличие системы диагностирования, представленной на рисунке 1.2.

Основными составляющими системы ТД являются: объект диагностирования; средства диагностирования; персонал; техническая документация. Система ТД должна учитывать ряд особенностей, присущих ПС как объекту диагностирования. В основном это обусловлено спецификой подвижного состава, представляющей собой сложный объект диагностирования с многоэлементной структурой и разнородными физическими рабочими процессами [51, 81].

Кроме того, к особенностям автомобиля, как объекта диагностирования, следует отнести также сложность и неблочность структурной организации агрегатов ПС [30, 31, 36, 39, 90], что обуславливает значительные трудности в выборе параметров технического состояния.

В процессе эксплуатации ПС имеют место необратимые физико-химические процессы, чаще всего случайного характера, которые

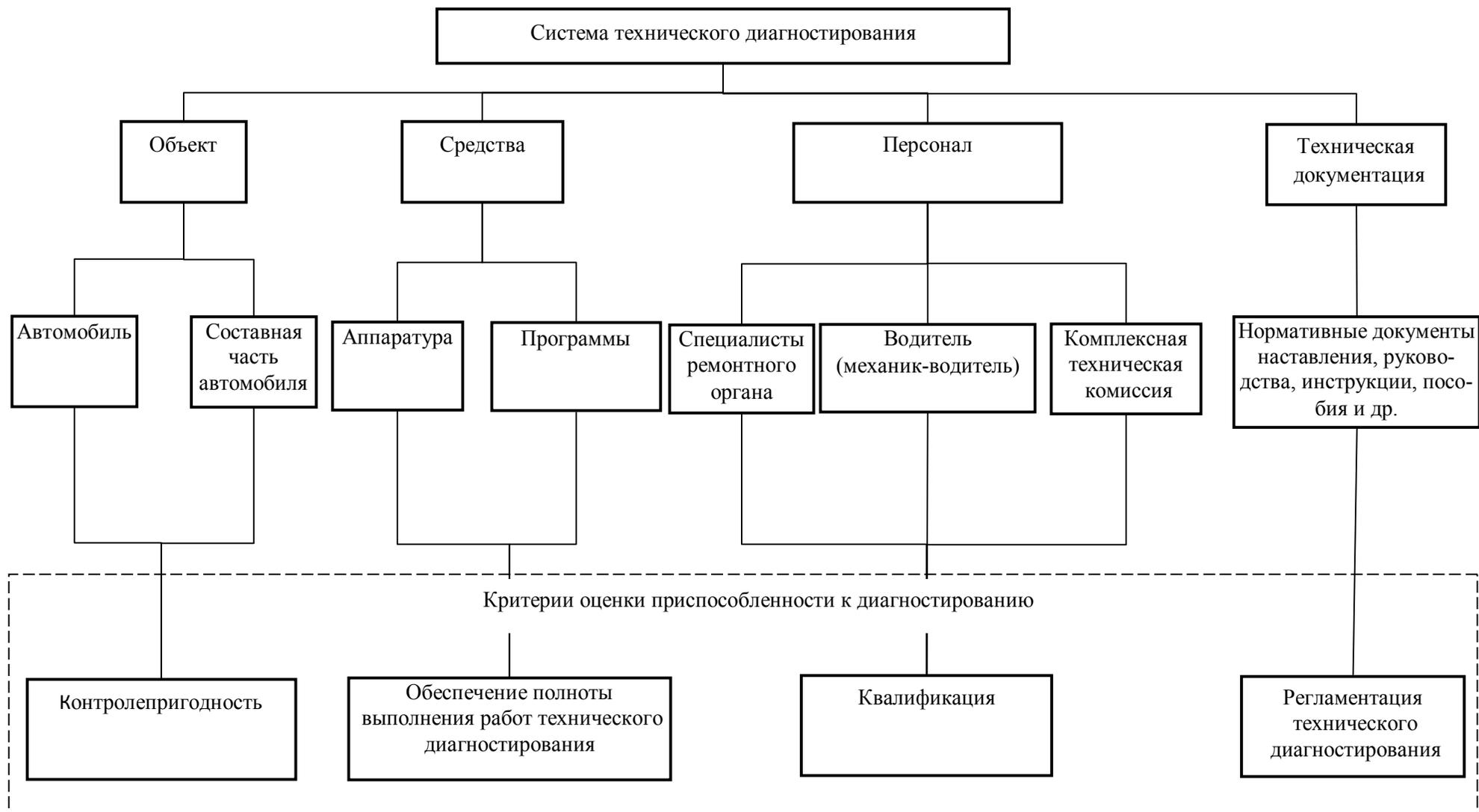


Рисунок 1.2 – Система технического диагностирования

вызывают нарушения работоспособности его агрегатов и систем. Поэтому автомобиль, как объект диагностирования, в данный момент времени имеет определенное, характерное только для него, состояние. В этом и состоит трудность выбора рациональной номенклатуры диагностических параметров [53].

В соответствии с вышеизложенным можно сделать вывод о ведущей роли ТД в системе ТО ПС, повышение эффективности которой не возможно без разработки новых методов ТД последних.

### **1.2.1. Анализ методов технического диагностирования подвижного состава**

Анализ современных методов ТД показал, что в настоящее время разработаны различные методы, имеющие самую разнообразную информативность, достоверность, трудоемкость применения и сложность. В настоящее время ТС ПС предлагается контролировать по 500 параметрам. Рекомендации по числу контролируемых параметров содержат различные комбинации проверок с их числом от 20 до 150, а время диагностирования - от 2...3 минут до 4...5 часов [33, 36].

Многие российские учёные - специалисты в области технического обслуживания и диагностирования техники занимались работами по созданию и совершенствованию методов технического диагностирования. Большой вклад в создание и совершенствование методов диагностирования внесли И.Н. Аринин, В.А. Аллилуев, И.Д. Бухтияров, Н.В. Бышов, В.Н. Варфоломеев, О.Д. Гиря, Н.Я. Говорущенко, И.Г. Голубев, И.К. Данилов, А.С. Денисов, М.Д. Денкин, Н.С. Ждановский, А.И. Зелин, А.П. Иншаков, А.В. Касьянов, В.А. Мачнев, Л.В. Мирошников, В.М. Михлин, Н.М. Новиков, Б.В. Павлов, А.П. Савельев, А.В. Серов, И.А. Успенский, А.А. Филимонов и др.

Анализ выше указанных работ говорит о том, что в настоящее время разработан и применяется широкий спектр методов технического диагностирования

машин, однако, из трех задач технического диагностирования (определение технического состояния, поиск отказов и прогнозирование ресурса) в них реализованы только первая и вторая и то не в полной мере [13,67, 68, 69,94, 121, 132]. Вопрос прогнозирования остаточного ресурса машин остается открытым и требует своего скорейшего решения.

Достоверность постановки диагноза определяется полнотой оценки технического состояния объекта диагностирования [4], которая зависит от сущности и числа параметров, положенных в основу метода испытаний. В простейшем случае измеряют какой-либо один из наиболее важных параметров. Полное описание состояния объекта диагностирования [53] определяется совокупностью независимых между собой параметров, характеризующих отклонение структуры или функций этого механизма от структуры или функций его идеального прототипа. Однако на практике все параметры этой совокупности иногда трудно или невозможно измерить, поэтому целесообразно осуществлять выбор рациональной совокупности диагностических параметров, позволяющей дать объективную оценку о техническом состоянии объекта диагностирования. При этом исследуют информативность различных параметров и выбирают те, которые наиболее полно отвечают поставленной задаче.

Кроме того, при измерении диагностических параметров могут возникать различного рода помехи [68, 76], которые обусловлены конструктивными особенностями объекта. Это затрудняет постановку диагноза и снижает его достоверность. Поэтому, важное значение, имеет выбор из выявленной исходной совокупности наиболее значимых и рациональных в использовании диагностических параметров.

Под рациональным, следует понимать перечень диагностических параметров, который в обязательном и первоочередном порядке проверяется на объекте диагностирования. В зависимости от полученных результатов техническое диагностирование либо завершается (значение параметров находится в допуске), либо выполняется по заданному алгоритму для поиска места или определения причин отказа (повреждения).

Вопросу выбора диагностических параметров для оценки технического состояния отдельных агрегатов, систем и узлов подвижного состава посвящено большое число исследований [3, 22, 24, 26, 36, 48, 53, 85, 86, 87, 96, 97, 101, 102, 103, 105, 111, 122, 123, 128, 129, 141, 143]. Однако до настоящего времени нет регламентированного перечня параметров, однозначно определяющих техническое состояние каждого агрегата или механизма, а также узлов и систем автомобиля. Этот вопрос требует дальнейших исследований. Особенно он представляется важным для ПС.

Специфика эксплуатации подвижного состава предопределяет осуществление выбора диагностических параметров [103] с учетом необходимости обеспечения эксплуатационных свойств подвижного состава и особенностей их использования .

В общем случае диагностический параметр определяет информационную сторону одной или нескольких физических величин и является количественной мерой оценки ТС объекта контроля [141].

Значимость и пригодность диагностических параметров в целом определяется [9, 75] комплексом требований к ним (таблица 1.2).

Из анализа выше представленного материала следует, что для оценки технического состояния подвижного состава в условиях производства нет необходимости использовать всю номенклатуру диагностических параметров, так как применение обоснованной ее части позволяет поддерживать заданные показатели качества автомобиля, определять изменение его технического состояния и прогнозировать остаточный ресурс.

В связи с этим при выборе рационального перечня диагностических параметров необходимо руководствоваться принципами возможности и достаточности [9].

Принцип возможности базируется на имеющихся средствах технического диагностирования или реальности разработки необходимых ТС, с помощью которых можно с требуемой точностью определить текущее значение диагностического параметра [75, 86, 87].

Таблица 1.2 - Критерии оценки диагностических параметров

Критерий оценки	Характеристика
1	2
Информативность	Количество информации, которую можно получить, осуществляя проверку по этому параметру
Информативность комплексного параметра	Характеризуется влиянием на комплексный диагностический параметр данной системы состоянием других систем
Однозначность	Заключается в том, что изменению технического состояния <i>i</i> -го элемента соответствуют вполне определенные значения диагностического параметра
Чувствительность	Относительное изменение параметра в процессе эксплуатации
Стабильность	Определяют наибольшим отклонением его величины от среднего значения, характеризующего рассеивание параметра при неизменных условиях измерения
Функциональная важность	Заключается в том, насколько необходим данный параметр для оценки нормального функционирования объекта контроля
Дифференцирующая способность	Свойство параметра, позволяющее разделять и локализовывать неисправности различных элементов объекта контроля до их составных частей или до конкретной детали
Универсальность	Определяется общим количеством систем, диагностирование которых возможно с помощью средств, предназначенных для диагностирования по данному параметру
Стоимость диагностирования	Максимальная стоимость, которая определяется суммарными затратами на диагностирование

Требуемое диагностическое оборудование, исходя из принципа достаточности, предопределяет рациональность номенклатуры диагностических параметров, позволяющих объективно оценить техническое состояние контролируемого автомобиля.

Тем ни менее, необходимо учитывать и то обстоятельство, что минимальное количество диагностических параметров (интегрированных показателей) ха-

рактарно лишь для технически исправного объекта диагностирования (ОД), когда их предельно допустимые значения находятся в допуске. В противном случае требуется поиск отказа или повреждения, для чего требуется определение (замер) других параметров [9, 75].

Таким образом, выбор метода определения рационального перечня диагностических параметров является сложной технической задачей, решение которой не возможно без детального изучения существующих подходов к осуществлению селекции диагностических параметров.

### **1.2.2. Анализ методов прогнозирования технического состояния подвижного состава**

Для полного использования ресурса ПС и объективного определения срока службы до его выхода в ТО и Р необходима разработка простых методов прогнозирования, базирующихся на результатах измерения рационального количества диагностических параметров, содержащих необходимую информацию о техническом состоянии базовых и основных деталей. Наиболее удобно для этого использовать данные диагностирования, которое проводят при ТО-2. Достоверность прогнозирования технического состояния зависит от уровня соответствия теоретических расчетных зависимостей реальным условиям и режимам работы изделия, законам изнашивания деталей и точности измерения соответствующих параметров, используемых в качестве исходных физических величин [39,91].

Устанавливая диапазон изменения структурных и диагностических параметров, можно прогнозировать изменение технического состояния ПС по постепенным отказам и тем самым предотвращать их, корректируя периодичность технического обслуживания и нормы рПСода запасных частей, эксплуатационных материалов [30, 31, 36, 91].

В связи с тем, что процесс изменения технического состояния ПС носит

случайный характер, в практике прогнозирования остаточного ресурса обычно имеет место два основных случая установления остаточного ресурса [26, 28]:

- всей совокупности элементов ПС;
- конкретного диагностируемого элемента.

В первом случае предупредительная замена элемента определяется периодичностью диагностирования и допустимым в момент диагноза значением параметра технического состояния. Как правило, при диагностировании оценивают остаточный ресурс основных элементов агрегатов и узлов ПС (цилиндро - поршневой группы, коленчатого вала двигателя, шестерен и валов агрегатов трансмиссии).

Во втором случае по результатам оценки величины параметра конкретного элемента прогнозируется остаточный ресурс ПС.

В настоящее время математические основы прогнозирования строятся на базе численного анализа или теории случайных функций [26, 39].

В силу случайного характера процесса изнашивания узлов и сопряжений двигателя и агрегатов трансмиссии изменение диагностических параметров всегда аппроксимируют некоторой функцией. На этой основе известно несколько методов прогнозирования технического состояния и определения остаточного ресурса агрегатов ПС. Наибольшее распространение получили методы прогнозирования ресурса машин, разработанные ГОСНИТИ, ВИМ и ЛСХИ, в которых в качестве аппроксимирующей используется степенная функция. Как показали проведенные исследования [10, 26, 42, 50, 88], закономерность изменения параметра по мере увеличения наработки можно представить в виде зависимости:

$$U(t) = V_c t^\alpha + Z, \quad (1.8)$$

где  $U(t)$  - значение параметра к моменту  $t$ ;

$V_c$  - скорость (интенсивность) изменения параметра;

$t$  - пробег с начала эксплуатации или срок службы;

$\alpha$  - показатель степени, определяющий характер изменения параметра (при  $\alpha = 1$  – прямая линия, при  $\alpha > 1$  – выпуклая вверх, при  $\alpha < 1$  – выпуклая вниз);  $Z$  - начальное значение параметра.

Степенная функция обладает достаточной универсальностью, коэффициенты имеют четкий физический смысл и их немного. Этим объясняется широкое использование степенной функции в теории прогнозирования.

Для определения остаточного ресурса данным способом необходимо знать начальное значение измеряемого параметра, пробег с начала эксплуатации, значение измеряемого параметра в данный момент времени, а также предельные показатели этого параметра:

$$t_{ост} = t \left[ \alpha \sqrt{\frac{P_{np} - P_{нач}}{P_n - P_{нач}}} - 1 \right], \quad (1.9)$$

где  $P_{нач}$ ,  $P_{np}$  и  $P_n$  - начальное, предельное и текущее значение параметра;

$t$  - наработка значения параметра.

Расчеты показывают, что остаточный ресурс, определенный по формуле (1.9), как правило, является завышенным в 1,3-1,5 раза. Это связано со значительным рассеиванием начального значения параметра и трудоемкостями выбора значения  $\alpha$ . В целях определения характера кривой изменения параметра, выражаемого показателем  $\alpha$ , необходимо производить замер изменения параметра состояния испытываемых деталей сопряжений и узлов несколько раз. При прогнозировании остаточного ресурса конкретного элемента предполагается, что показатель степени  $\alpha$  для данного типа элементов известен заранее на основе обработки статистической информации и принят постоянным для любого из одноименных элементов.

Способ, предложенный Киевским филиалом ГОСНИТИ [43], основан на учете действительной закономерности изнашивания и измерения конкретных диагностических параметров машины в прошедший период. При этом предполагается неизменность условий эксплуатации машин на прогнозируемый период.

Сущность этого способа состоит в том, что по трем значениям параметра (номинальному и двум измеренным при диагностировании) и известной наработке с начала эксплуатации до каждой проверки устанавливается закономерность из-

менения характера и аппроксимируют ее по времени. Способ может быть использован при наличии данных двух последовательных проверок и известной наработке с начала эксплуатации. Расчет остаточного ресурса производится по уравнению [43] :

$$t_{ост} = t_1 \left( \frac{1}{m} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - t_2, \quad (1.10)$$

где  $m = \frac{1-R}{t^{\alpha}}$  - коэффициент пропорциональности;

$R$  - коэффициент технического ресурса, который определяется из соотношения параметров  $R = \frac{P_{нр} - P_n}{P_{нр} - P_{нач}}$ ;

$t_1$  и  $t_2$  - наработка машины от начала эксплуатации нового сопряжения до первого и второго диагностирования;

$P_{нач}$ ,  $P_{нр}$  и  $P_n$  - начальное, предельное и измеренное при диагностировании значения параметра;  $\alpha$  - показатель степени функции.

В ГОСНИТИ также разработан и успешно применяется метод прогнозирования по среднему статистическому параметру.

Допустимое изменение параметра при прогнозировании по среднему статистическому определяют, используя целевую функцию минимума удельных издержек, с помощью которой устанавливают оптимальные допустимые износы деталей [91]:

$$C(D) = \min_{0 \leq D \leq U_p} \left\{ \frac{AQ(D)}{t_{\phi}(D)} + \frac{C[1-Q(D)]}{t_{\phi}(D)} \right\}, \quad (1.11)$$

где  $D$  и  $U_p$  - допустимое и предельное изменения параметра, обслуживающего профилактическую замену и отказ элемента;

$A$  и  $C$  - средние издержки, связанные с восстановлением элемента после отказа в период эксплуатации и профилактической замены элемента при техническом обслуживании или ремонте;

$Q(D)$  - вероятность отказа в эксплуатации;

$t_{\phi}(D)$  - средний ресурс элемента в зависимости от наработки.

Оптимизацию допустимой величины параметра на основе использования метода прогнозирования по среднему статистическому применяют, когда отсутствует информация о характере изменения параметра конкретного элемента в прошлом и производят с помощью номограмм.

Таратковским И.Б. [133] предложено логарифмическое уравнение для определения остаточного ресурса, которое получено на основе исследований износа цилиндра - поршневой группы и подшипников коленчатого вала:

$$t_{ост} = A \lg \frac{P_{np} + h}{P_{нач} + h} - t_2, \quad (1.12)$$

где  $A$  и  $h$  - коэффициенты, учитывающие конкретные условия эксплуатации;

$P_{нач}$  и  $P_{np}$  - начальное и предельное значения параметра;

$t_2$  - наработка машины от 1-го до 2-го диагностирования.

Аналогичная зависимость для оценки остаточного ресурса была получена в Саратовском политехническом институте Ф.И. Авдонькиным [1]:

$$t_{ост} = \frac{1}{b} \ln \frac{(P_{np} - P_3) + \alpha_{2-3}}{\alpha_{2-3}} - t_3, \quad (1.13)$$

где  $b = \frac{\alpha_n - \alpha_0}{\Delta S}$  - коэффициент, учитывающий условия эксплуатации;

$P_{np}$  и  $P_3$  - предельное и текущее значение параметра, измеренных при диагностировании;

$\alpha_{2-3}$  - интенсивность изнашивания между 2 и 3-м диагностированием;

$t_3$  - наработка машины до 3-го диагностирования.

М.Л. Брайниным [11] за основу для прогнозирования была принята дробно-линейная модель вида:

$$\delta = \delta_{ки} \frac{t}{T + t}, \quad (1.14)$$

где  $\delta$  - значение параметра к моменту  $t$ ;  $t$  - время эксплуатации;  
 $T$  - константа, характеризующая интенсивность проектирования процесса цикла;  
 $\delta_{ки}$  - константа, характеризующая степень затухания процессов изнашивания.

Преимуществом указанной прогнозной модели является ее универсальность, т.е. пригодность как для статически, так и для динамически нагруженных сопряжений в агрегатах ПС.

Решение задачи прогнозирования предполагает наличие текущих экспериментальных значений контролируемого параметра  $\delta$ , соответствующих наработке и относящихся к конкретной реализации изнашиваемого сопряжения.

На основе этой информации осуществляется вычисление оптимальных постоянных  $\delta_{ки}$  и  $T$ , после чего производится предсказание величины  $\delta$  для заданного времени прогнозирования или решается обратная задача, т.е. находится наработка, необходимая для достижения заданной величины параметра, например, предельного значения.

В настоящее время ВИМ [50, 88] рекомендует применять функциональный способ определения ресурса. Ресурс при этом способе определяют по действительной скорости (интенсивности) изменения параметра в момент проверки с учетом общей закономерности его изменения. В общем случае ресурс безотказной работы сопряжений, механизмов и узлов, диагностические параметры которых изменяются по прямолинейным и криволинейным зависимостям с убывающей и возрастающей скоростью изменения параметра, определяют по формуле:

$$t = \frac{P_{np} - P_n}{P_n - P_{нач}} \cdot \frac{t_n}{\alpha} K_n, \quad (1.15)$$

где  $P_{нач}$ ,  $P_{np}$  и  $P_n$  - начальное, предельное и текущее значения параметра;

$t_n$  - наработка машины с начала эксплуатации;

$K_n$  - коэффициент запаса величины параметра;  $\alpha$  - показатель степени. Пре-

дельные и начальные значения параметра берутся из технических условий на диагностирование ПС, а наработка с начала эксплуатации – из эксплуатационной документации.

При этом коэффициент запаса величины параметра принимается:

$$K_i = 1 \text{ при условии } \alpha \leq 1, P_{np} \geq P_{нач};$$

$$K_n = \frac{P_n}{P_{np}} \text{ при условии } \alpha > 1, P_{np} > P_{нач};$$

$$K_n = \frac{P_{нач} + P_{np} - P_n}{P_{нач}} \text{ при условии } \alpha > 1, P_{np} < P_{нач}.$$

Показатель степени  $\alpha$  при прогнозировании рекомендуется принимать равным среднестатистическому.

Основные способы прогнозирования остаточного ресурса двигателей, получившие в настоящее время наибольшее распространение представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Способы прогнозирования остаточного ресурса двигателей

№ п/п	Аналитическая зависимость для определения остаточного ресурса	Автор способа
1	$t_{ост} = t \left[ \alpha \sqrt{\frac{P_{np} - P_{нач}}{P_n - P_{нач}}} - 1 \right]$	В.М. Михлин
2	$t_{ост} = t_1 \left( \frac{1}{m} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - t_2$	В.И. Кирса
3	$t_{ост} = t \left[ \sqrt{\frac{P_{np} - P_{нач}}{P_n - P_{нач}}} - 1 \right]$	И. Величкин
4	$t_{ост,нов} = 10^3 \sqrt{(P_{np} - 16) \cdot 0,112 - 10^3} \sqrt{(P_{np} - 16) \cdot 0,112}$	В.Г. Лабуров
5	$t_{ост} = A \lg \frac{P_{np} + h}{P_{нач} + h} - t_2$	И.Б. Татарковский
6	$t_{ост} = \frac{1}{b} \ln \frac{(P_{np} - P_3) + \alpha_{2-3}}{\alpha_{2-3}} - t_3$	Ф.И. Авдонькин

7	$t_{ост} = \frac{\Delta S_{np}}{U}; \Delta S_{np} = S_{np} - S_{нач}$	Я.Л. ЭНСОН
8	$t_{ост} = (P_{np} - P_2) \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}$	Н.С. Ждановский

Обозначения:  $t$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  - наработка до прогнозирования;

$\Delta S$  - предельное изменение величины зазора;  $U$  - скорость изменения величины зазора;

$P_{нач}$ ,  $P_{np}$ ,  $P_n$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  - значение параметра: начальное, предельное, измеренное при 1, 2 и 3-м диагностировании;

$\alpha_{2-3}$  - интенсивность изнашивания между 2 и 3-м диагностированием.

Зависимость (1) в таблице 1.3 применяется, когда остаточный ресурс приближенно определяется на основе одного диагностирования при наработке  $t$  и когда вероятностное значение  $\alpha$  установлено заранее на основе статистических данных.

Зависимости (2) и (3) учитывают условия эксплуатации, однако в этом случае на ошибку прогнозирования оказывают влияния ошибки двух измерений.

В формулах (4) и (5) приняты логарифмические законы для описания процессов изменения параметров. Решение этих уравнений представляет известную трудность. Для определения постоянных  $A$ ,  $h$  и  $b$  необходимо провести статистическое исследование износа деталей, находящихся в эксплуатации, в результате которого полученное уравнение будет верным для деталей со средней и близкой к ней скоростью изнашивания.

На основе анализа приведенных выше способов прогнозирования остаточного ресурса можно сделать следующие выводы:

а) проведенный анализ свидетельствует о большом разнообразии способов прогнозирования. Основными методами прогнозирования остаточного ресурса являются методы прогнозирования по среднему статистическому и по реализации изменения параметра;

б) вышеуказанным способам прогнозирования свойственны следующие недостатки:

- методы сложны и требуют больших затрат времени для получения и обработки опытных данных;
- расчет по указанным уравнениям представляет определенные трудности;
- рекомендуемые в отдельных случаях номограммы, построенные по этим уравнениям, также неудобны для их практического применения;
- точность прогнозирования существенно зависит от количества имеющейся информации, от предыстории используемого явления;
- разнообразие аппроксимирующих функций, несмотря на известные преимущества требует своих приемов вычисления, прогнозирования состояния машин, применения соответствующих формул, таблиц, номограмм, что резко усложняет процесс прогнозирования;

в) для условий эксплуатации целесообразно после выбора аппроксимирующего выражения и нахождения коэффициентов преобразовывать их в одну определенную функцию, для которой разработать аппарат прогнозирования. В качестве преобразованной функции целесообразно избрать прямолинейную, как наиболее простую. Помимо упрощения процесса прогнозирования, такое решение обеспечивает возможность совместного анализа совокупности элементов ПС и сопоставления их характеристик.

### **1.3. Анализ организации производственных процессов технического обслуживания и ремонта подвижного состава**

Одним из основных направлений решения задачи повышения эффективности системы ТЭ ПС, является формирование ее рациональной структуры.

Рассматривая систему ТЭ ПС как сложную организационно-производственную систему и применяя к ней методы исследования операций [19,

20], можно сделать вывод о том, что ее структура будет определяться неуправляемыми переменными, в данном случае качественными и количественными характеристиками ПС и их элементов (агрегатов, узлов, систем). Под качественными характеристиками понимается состояние неисправных элементов ПС, определяемое марочным составом ПС.

Учитывая, что наиболее трудоемким, в системе технической эксплуатации, является ремонт агрегатов, будем рассматривать функционирование системы ТЭ ПС на примере организации ремонта агрегатов.

Под количественными характеристиками понимаются: числовые показатели функций распределения трудоемкости ремонта агрегатов по видам работ; количество неисправных узлов и деталей на данном агрегате.

Автомобили в условиях производства подвержены ряду случайных воздействий, поэтому максимально точное определение их характеристик и агрегатов поступающих в ремонт позволит сформировать рациональную производственную структуру подразделений по их ремонту, способных наиболее эффективно восстанавливать ресурс агрегатов ПС.

### **1.3.1. Анализ исследований по определению технического состояния и характеристик ремонтного фонда агрегатов подвижного состава**

В рамках исследования операций стохастические системы, к которым относится и система технической эксплуатации (СТЭ) ПС, исследуются различными методами, одними из которых являются методы теории массового обслуживания [19, 20].

К числу основных операционных характеристик (характеристик поведения) любой системы массового обслуживания относится входящий поток заявок (требований). Описание системы через ее операционные характеристики используется для принятия решений относительно режима функционирования и эффективной работы системы. Для СТЭ ПС входящим потоком требований является ре-

монтный фонд, т.е. агрегаты, нуждающиеся в ремонте в силу своего технического состояния.

Анализ результатов работ [6, 37, 83] по оценке технического состояния агрегатов, поступающих в систему ТЭ, показывает, что отсутствие строгих математических моделей, позволяющих с достаточной точностью оценивать имеющиеся статистические данные, приводит к необходимости принятия существенных ограничений в установлении этих характеристик.

Значительная многомарочность парка при возросшей конструктивной сложности машин уменьшает возможности специализации подразделений по ремонту. Это усложняет организацию производства и является одной из причин дестабилизации их работы.

Опытная эксплуатация и статистические исследования дают богатый материал для разработки необходимых технологий по ремонту. Однако, к ответу на вопрос, каковы должны быть технологии ремонта и производственные структуры подразделений по ремонту, следует подходить с позиций учета не только качественных, но и количественных оценок параметров ТС агрегатов, узлов и деталей.

Пользуясь обобщенными показателями технического состояния, трудно учесть современные требования к формированию производственных систем.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что методы прогнозирования технического состояния агрегатов, а также результаты расчетов недостаточно точны.

Предложения по повышению эффективности системы ТЭ с целью более полного соответствия ее прогнозируемому качественному и количественному составу агрегатов поступающих в систему ТЭ и повышения производственных возможностей с целью более полного удовлетворения потребности в работоспособных автомобилях должны быть обоснованы достоверной входной информацией. Такая цель может быть достигнута на основе теоретического обоснования методики расчета ТС агрегатов (узлов, деталей), требующих ремонта.

Достоверное прогнозирование технического состояния поступающих в систему ТЭ агрегатов подвижного состава позволит ответить на вопрос: в какой мере

существующая система организации ремонта соответствует целям функционирования системы ТЭ подвижного состава.

Таким образом, вопросы обоснования и разработки новой методики определения технического состояния агрегатов, основанной на строгих математических зависимостях, представляют научный и практический интерес и требуют дальнейших исследований.

### **1.3.2. Анализ состава и трудоемкости работ в подразделениях осуществляющих ремонт агрегатов подвижного состава**

Задача формирования рациональной производственной структуры подразделений по ремонту ПС является сложной задачей, решение которой связано с организацией производственного процесса ремонта и его материального обеспечения. Решение такой задачи связано с обеспечением максимального соответствия структуры производственных ресурсов подразделений по ремонту составу и трудоемкости работ ПС поступающих в истему ТЭ. Анализ результатов исследований [6, 83] показывает, что для эффективного функционирования системы ТЭ качественные показатели, определяющие техническое состояние подвижного состава, являются одними из основных.

Для формирования сбалансированной, наиболее рациональной структуры подразделений по ремонту необходимо знать состав и трудоемкость работ по ремонту агрегатов (узлов) ПС, т.к. именно трудоемкость и ее распределение по видам работ определяют соотношение отдельных производственных подразделений, участков и рабочих постов.

Недостаток информации, характеризующей вероятное распределение трудоемкости ремонта агрегатов подвижного состава может привести к диспропорции использования трудовых ресурсов СТЭ и нарушить сбалансированность их производственных процессов.

Проведенные исследования и практический опыт выполнения ремонтных работ в СТЭ показывает, что величина трудоемкости ремонта агрегата одного и того же типа не бывает одинаковой. Она определяется, прежде всего, номенклатурой и сочетанием узлов и деталей, требующих ремонта. Такой перечень причин, влияющих на трудовые затраты, говорит о том, что заранее эти затраты определить с достаточной степенью точности сложно. Несмотря на это, проектирование СТЭ ПС, оценка эффективности производства осуществляется исходя из постоянства трудоемкостей.

Влияние различной трудоемкости работ по ремонту на эффективность функционирования элементов производственной системы до конца не исследована.

Кроме того, используемый в настоящее время технологический процесс капитального ремонта агрегатов предусматривает их разборку и дефектацию с обезличиванием деталей. Однако, анализ результатов исследований [6, 25, 83] показал, что при использовании в подразделениях по ремонту агрегатов необезличенного метода ремонта на тупиковых универсальных постах, можно существенно сократить трудоемкость ремонта и уменьшить рПСод запасных частей.

Таким образом, проектирование подразделений по ремонту агрегатов ПС, оценка эффективности производства до настоящего времени осуществляется, исходя из постоянства трудоемкости (по усредненным нормативам) без учета качественных и количественных характеристик ремонтного фонда агрегатов. Это может привести к увеличению диспропорций в производстве и снижению производственных возможностей СТЭ ПС. Следовательно, необходимо проведение дальнейших исследований по оценке влияния характеристик ремонтного фонда на эффективность функционирования элементов производственной системы.

#### **1.4. Цель и задачи исследования**

Результаты проведенных исследований и опыт эксплуатации ПС показывают, что на современном этапе существенное повышение эффективности ТЭ не может быть достигнуто проведением разрозненных мероприятий, а требует рассмотрения ТЭ ПС как организационно-производственной системы и применения к ней современных методов исследования и совершенствования сложных организационно-производственных систем.

Развитие системы ТЭ осуществляется на основе планово - предупредительного принципа проведения ремонтно-обслуживающих работ. Информационной базой оптимизации системы являются показатели долговечности конструктивных и неконструктивных элементов машин и результаты их диагностирования. Использование этих данных позволяет изучить закономерности формирования затрат на обеспечение работоспособности ПС и осуществить построение эффективных ресурсосберегающих процессов её ТЭ.

Определение периодичности технического обслуживания ТО и Р ПС осуществляется по их наработке на основе общих закономерностей изменения эксплуатационных и ремонтных затрат. Такой подход не позволяет в принципе прогнозировать величину периодичности и ремонтные затраты для различных условий хозяйственной деятельности. В результате отсутствует возможность развития системы ТЭ путем управления сроками и объемами ремонтно-обслуживающих воздействий.

В настоящее время разработан и применяется широкий спектр методов ТД подвижного состава, однако, из трех задач ТД (контроль технического состояния, поиск места и определение причин отказов и прогнозирование технического состояния) в них реализованы только первая и вторая и то не в полной мере. Кроме того, следует отметить, что для осуществления прогнозирования технического состояния подвижного состава разработан широкий спектр различных методов, однако, все они базируются на изучении закономерностей изменения значений диагностических параметров от наработки (пробега). Сложность установления закономерностей изменения по каждому диагностическому параметру ПС приводит к значительным затратам времени на осуществление прогноза. Все выше пе-

речисленные примеры являются сдерживающими факторами в применении имеющихся методов ТД.

Техническое состояния и характеристики ремонтного фонда агрегатов ПС, носящие вероятностный характер, исследованы не до конца, имеющиеся результаты по оценке характеристик ремонтного фонда агрегатов определялись с математической точки зрения недостаточно строго, кроме того общая теория вопроса недостаточно разработана для практического применения.

**Цель исследования.** Обоснование методологии повышения эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава в МУП города Рязани «УРТ» на основе инженерно-кибернетического подхода, повышения эффективности технического диагностирования.

**Для осуществления указанной цели решались следующие задачи:**

1. Предложить стратегию технического обслуживания и ремонта ПС.
2. Обосновать и разработать методологию повышения эффективности системы технической эксплуатации ПС на основе инженерно-кибернетического подхода.
3. Обосновать способ определения периодичности контроля технического состояния ПС, основанный на сравнении вероятности безотказной работы автомобиля с заданным уровнем безотказности.
4. Предложить способ прогнозирования технического состояния ПС.
5. Дать технико-экономическую оценку результатов исследования.

## **2. Теоретические исследования процесса технической эксплуатации подвижного состава**

### **2.1. Сущность и задачи технической диагностики**

Основные задачи технического диагностирования (ТД) определяет ГОСТ 20911-89. Ими являются: контроль технического состояния; поиск места и определение причин отказа (неисправности); прогнозирование технического состояния.

Задачами контроля технического состояния являются задачи по определению технического состояния объекта диагностирования, в котором он находится в настоящий момент времени.

Задачами прогнозирования ТС являются задачи предсказания технического состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент времени. В специальной литературе их иначе называют задачами технической прогностики. К ним относятся, например, задачи, связанные с определением срока службы объекта или с назначением периодичности его профилактических проверок, обслуживаний и ремонтов. Эти задачи решаются путем определения возможных или вероятных эволюций состояния объекта, начинающихся в настоящий момент времени.

Решение задач прогнозирования очень важно для организации технического обслуживания машин по состоянию. Система ТО ПС по состоянию позволяет повысить среднюю наработку агрегатов без увеличения количества отказов. В настоящее время, как правило, при установлении периодичности и трудоемкости технических воздействий применяется среднестатистический подход. Среднестатистические нормы пробега и трудоемкости без должного основания переносятся на ПС. С точки зрения статистики это недопустимо. Применение коэффициентов корректировки также не решает проблему, так как ПС никогда не работают в постоянных условиях, а корректировочные коэффициенты являются средними величинами.

ТД является неперенным условием перехода к стратегии ТО с периодическим контролем и ремонта машин по состоянию. Это обусловлено тем, что именно результаты диагностирования позволяют определить объем и характер работ ТО, необходимость и объем работ различных видов ремонта. При этом ТД является основным звеном, регулятором управления состоянием ПС, источником информации о машине, качестве работ при ее ТО и Р.

Естественно предположить, что оптимальные периодичность и объем технических воздействий (прежде всего, операций ТО) по поддержанию надежности машин в эксплуатации могут быть определены только на основании достоверной информации о реальном ТС деталей, узлов, механизмов машин, получаемой в результате их диагностирования. При этом решение на проведение ТО, устранение скрытых отказов и неисправностей, восстановление работоспособности и ресурса машины, ее составных частей принимается на основании определения ее фактического технического состояния в процессе диагностирования. При использовании такого подхода систему ТО машин называют «с периодическим контролем». Суть ее заключается в том, что технические воздействия производятся при достижении контролируемыми параметрами своих критических уровней (предельно допустимых значений).

Эта система позволяет исключить «лишние» ремонты при незначительной вероятности отказа в работе деталей. Она является более экономичной. Вместе с тем ее внедрение предполагает широкое использование средств ТД для проведения с определенной периодичностью контроля ТС машин.

Применение системы обслуживания машины «с периодическим контролем» или иначе «по состоянию» за рубежом, опытное внедрение в ряде предприятий в нашей стране, опыт использования такой системы в авиации показывает, что она является более эффективной, позволяет обеспечивать высокие показатели надежности техники в эксплуатации, повышает среднюю наработку агрегатов без увеличения количества отказов.

Система ТО машин с периодическим контролем предполагает выполнение трех видов работ: обязательных, контрольно-диагностических, устранение

выявленных неисправностей. Суммарная трудоемкость работ по обслуживанию машин на 1000 км распределяется по видам работ в процентном отношении приблизительно так: 25 % - обязательные работы; 10-12 % - диагностические; 63-65 % - работы по устранению неисправностей, в том числе регулировочные и крепежные [92]. По мере развития и совершенствования средств ТД, улучшения контролепригодности техники, внедрения встроенных средств контроля объем обязательных работ будет сокращаться и тогда возможно применение в «чистом виде» тактики ТО и Р по состоянию.

## **2.2. Теоретические положения по распознаванию класса технического состояния объекта диагностирования**

В общем случае, процесс контроля ТС включает получение информации об объекте, а также о процессе формирования решений на основе этой информации по управлению и обслуживанию объекта [101].

Простейшей формой контроля является проверка функционирования. Под контролем функционирования обычно понимается [101] проверка выполнения функций объекта или отдельных его элементов без количественных оценок его работоспособности. В этом случае обычно используются упрощенные формы допускового контроля, проводимого по принципу «годен-не годен» или «меньше-норма-больше». Более совершенной формой контроля является количественная оценка контролируемых параметров. При этом фиксируются или абсолютные значения параметров или же их отклонения от номинальной величины в долях поля допуска. Количественный контроль за счет более точной оценки контролируемых параметров позволяет не только качественно определить работоспособность объекта, но и ее уровень.

Дальнейшее применение контроля ТС связано с расширением состава параметров и существенно более сложной обработкой результатов измерений [126].

Такая обработка включает в себя вычисление некоторых функций, аргументами которых являются измеренные значения отдельных контролируемых параметров, а также совместную их логическую обработку.

Диагностирование, как правило, охватывает только ту часть объекта, состояние которой может влиять на вышедший за пределы поля допуска контролируемый параметр. При этом контролируются дополнительные параметры, определяющие ТС узлов или элементов объекта. Сама процедура контроля при диагностировании совпадает с аналогичной процедурой при допусковом или количественном контроле. Результаты измерений с целью оценки и локализации неисправности обрабатываются по специфическим для разных объектов алгоритмам.

Повышение объективности контроля ТС ПС является актуальной задачей. Однако организация достоверного контроля осложняется рядом обстоятельств. Например, переход объекта контроля из одного состояния в другое сопровождается появлением целого ряда признаков (изменений контролируемых параметров). Хотя появление того или иного признака и удастся однозначно связать с конкретным видом отказа, в более общем случае для обнаружения отказа объекта необходимо обработать весь комплекс его признаков. При этом, решение задачи контроля сводится к отнесению фактического состояния объекта к одному из нескольких классов (обобщенных состояний), перечень которых устанавливается заранее с учетом специфики исследуемого объекта и эксплуатационных возможностей устранения отказов [17, 93, 137].

Имеющиеся в настоящее время системы контроля и диагностирования представляют собой определенный класс распознающих систем, позволяющих решить задачу статистической классификации, которая может быть сформулирована следующим образом [17, 93, 137]:

- по результатам измерений ограниченного числа параметров контролируемого объекта необходимо принять оптимальное решение о принадлежности его к тому или иному классу состояний (задача распознавания).

Распознавание представляет собой отнесение исследуемого объекта, задаваемого в виде совокупности наблюдений, к одному из взаимоисключающих классов. Это означает, что существует однозначное отображение совокупности

наблюдений, являющихся конечным множеством  $\{X\}$  на множество состояний  $\{S\}$ , количество которых задано,  $\{X\} \rightarrow \{S\}$ .

Совокупность различных состояний объекта контроля образует множество [90]:

$$S_j = \{S_0, S_1, \dots, S_M\}, \quad (2.2)$$

где  $S_0$  - исправное состояние объекта;  $S_j$  - классы состояний, выраженные совокупностью реализаций конкретной неисправности;  $M$  - число классов возможных состояний объекта.

Возможны два способа распознавания образов: по расстоянию между центром распределения  $S_{jy}$  и эталоном  $S_{jэ}$  (рисунок 2.3) и по включению измеренной реализации (образа) внутрь области исправных состояний ( $S_0$ ) или неисправных состояний ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ) (рисунок 2.4).

В первом случае распознавание сводится к определению расстояния между  $S_{jy}$  и  $S_{jэ}$ :

$$\rho(S_{jy}, S_{jэ}) = \sqrt{\sum_{k=1}^N (y_k - y_{kэ})^2}, \quad (2.3)$$

где  $y_k, y_{kэ}$  - значения контролируемых параметров (реализаций), предъявленных к распознаванию;  $N$  - число параметров, характеризующих множество состояний;  $y_1, y_2$  - контролируемые параметры.

Во втором случае распознавание выражается определением границ между классами характерных состояний.

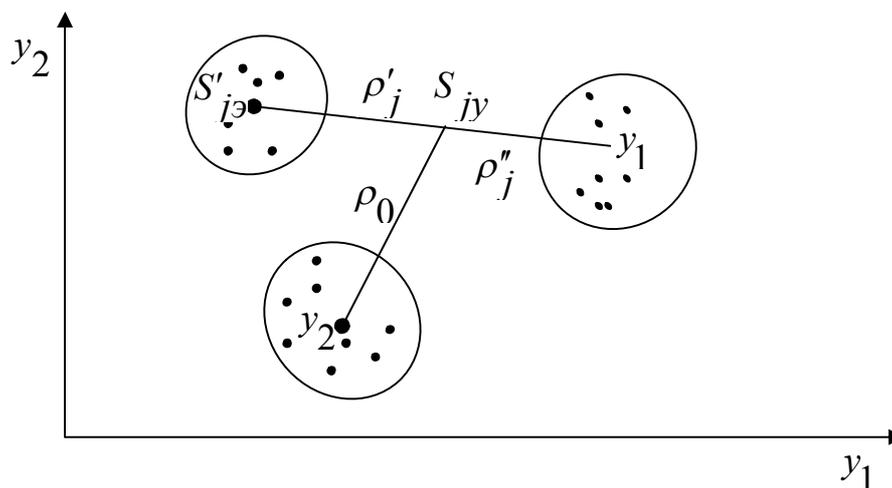


Рисунок 2.3 – Геометрическая интерпретация способа распознавания образов по расстоянию между образами

Проведение технического диагностирования позволяет предотвратить или сократить продолжительность эксплуатации ПС с неисправностями и тем самым не допустить возникновения отказов при движении (дорожных отказов).

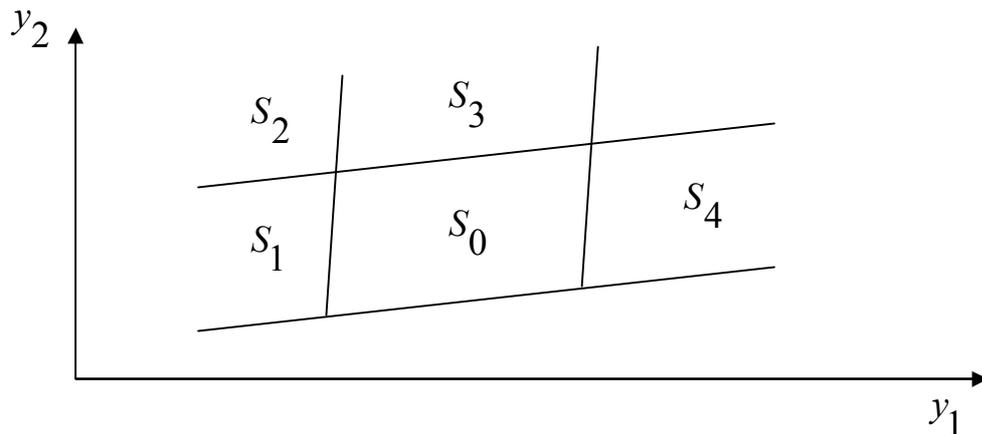


Рисунок 2.4 – Геометрическая интерпретация способа распознавания образов по включению реализаций внутрь  $S_j$  - го состояния

Как известно [34], отказы бывают постепенные, характеризующиеся постепенным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта, и внезапные. Деление отказов на внезапные и постепенные является условным в том смысле, что при эксплуатации всякому скачкообразному изменению параметра предшествует процесс постепенного изменения каких-либо других физических величин [24, 126].

Поэтому понятие внезапного отказа определяется в значительной степени отсутствием информации о постепенном изменении в объекте.

Опыт эксплуатации ПС показывает, что многим отказам предшествует постепенный «уход» параметров, а не их скачкообразное изменение. Иными словами, любой отказ связан с определенными изменениями параметров, и ТД способствует его предотвращению. По этой причине в данной работе рассматриваются в совокупности постепенные и внезапные отказы.

Таким образом, разработка методики ТД ПС с использованием математических моделей по ее обслуживанию создают возможности для организации ТО ПС в зависимости от фактического состояния [46, 126]. Именно большой объем знаний о ТС позволит сократить долю ПС, эксплуатируемых с неисправностями, повысить уровень их готовности к использованию по назначению и снизить, возникающие при этом, эксплуатационные затраты.

### **2.3. Математическая модель изменения технического состояния подвижного состава в процессе эксплуатации**

Под техническим состоянием ПС, следует понимать совокупность подверженных изменению свойств ПС, характеризующихся в определенный момент времени степенью соответствия фактических значений показателей и (или) качественных признаков, установленным в нормативно-технических документах [5].

Изменение технического состояния объекта определяется значениями диагностических (контролируемых) параметров.

Выбор наиболее информативных параметров объекта диагностирования может начинаться только после исследования явлений, протекающих в объекте, и наличия хотя бы приближенного описания контролируемых процессов.

Контроль объекта как динамической системы обычно рассматривают как реакцию на входные возмущающие и управляющие воздействия [48]. В такой схеме, основанной на принципе «вход-выход», контроль и оптимизация работы объекта осуществляется на основе связей между входными переменными, за которые принимаются все внешние возмущающие (условия эксплуатации) и управляющие воздействия (со стороны оператора и управляющих устройств) и выходные переменные.

Изменение технического состояния и контроль работоспособности объекта контроля можно представить в виде системы (рисунок 2.5), на входе которой действуют векторные функции:

- условий эксплуатации  $S = [s_1(t), \dots, s_n(t)]$ ,

- управления  $U = [u_1(t), \dots, u_m(t)]$ ,

- внутренних связей  $\Phi = [\varphi_1(t), \dots, \varphi_l(t)]$ .

Это значит, что на объект контроля действует  $n$  - возмущающих,  $m$  - управляющих и  $l$  - внутренних воздействий, которые являются функцией какого-либо аргумента  $t$ , например, времени или пробега. Для ПС аргументом  $t$  является пробег.

При этом функция  $S(t)$  характеризует внешние воздействия: характеристики дороги, климатические воздействия, нагрузки. Внутренние изменения характеризуются вектором  $\Phi(t)$ , отражающим влияние старения и износа.

Выходные переменные образуют также векторную ( $k$  - мерную) функцию  $Y = [y_1(t), \dots, y_k(t)]$ , компонентами которой являются все контролируемые параметры.

Выходные параметры  $Y(t)$  отражают соответствие текущего состояния контролируемых объектов требованиям нормативной документации и зависимость от входных воздействий  $\Phi(t)$ ,  $U(t)$  и  $S(t)$ .

Тогда задача контроля на начальном этапе сводится к распознаванию принадлежности этой функции к одному из двух классов:  $S_1$  - объект исправен или  $S_2$  - объект неисправен.

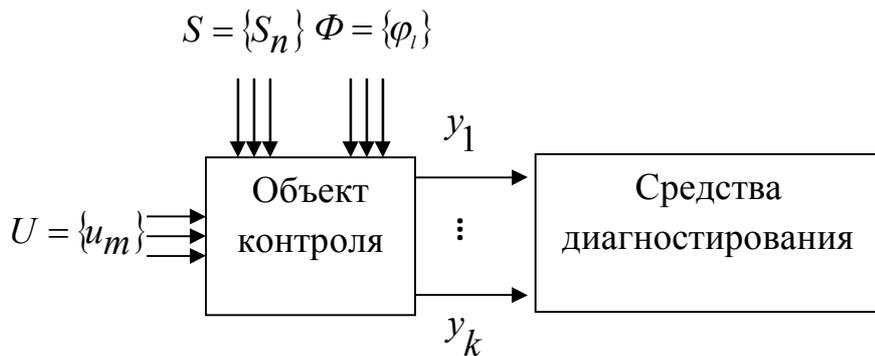


Рисунок 2.5 – Схема влияния воздействующих факторов на состояние объекта

Здесь и в дальнейшем под объектом контроля понимается агрегат, узел или составная часть машины, характеризующиеся множеством контролируемых параметров, по которым автоматически идентифицируется вид технического состояния. При этом, некоторые параметры могут характеризовать техническое состояние как одной сборочной единицы, так и нескольких одновременно, или автомобиля в целом.

При стационарном диагностировании подвижного состава, а соответственно и объекты контроля пытаются поместить в жестко фиксированные условия, но, как правило, при этом не удается полностью стабилизировать все нагрузочные и скоростные режимы стендов. Поэтому состояние входов и выходов является некоторыми, в общем случае, случайными функциями времени и для описания состояния объекта необходимо использовать функционалы от них.

Таким образом, при контроле целесообразно контролировать два динамических процесса – входной и выходной.

Выше было показано, что объект имеет выходную функцию  $Y$ , характеристики которой зависят от  $\Phi, U$  и  $S$ . Этот вектор подвергается измерению. При этом на него воздействует вектор  $Z = [z_1, \dots, z_q]$ , который вносит погрешности в процесс измерения.

В итоге вектор  $Y$  зависит от четырех аргументов:

$$Y = F_{\varphi}(U, \Phi, S, Z), \varphi = \overline{1, M} \quad (2.4)$$

Работоспособность объекта, как известно [48], характеризует его способность выполнять заданные функции в определенных условиях эксплуатации. При

этом работоспособность объекта характеризуется таким техническим состоянием, при котором в данный момент времени (пробега ПС) параметры вектора  $Y$  находятся в пределах, установленных нормативно-технической документацией

$$y_{\varphi}(U, \Phi, S, Z) \leq y_{\varphi}^*, \quad (2.5)$$

где  $y_{\varphi}^*$  - допустимый предел измерения для  $\varphi$  - го параметра.

Неравенство (2.5) выделяют в пространстве, характеризующем работоспособность объекта, область  $G$ , где может изменяться вектор  $Y$ . Изменение вектора внутри области  $G$  непосредственно зависит от характера  $U, \Phi, S, Z$ .

При описании физических процессов, протекающих в объекте, влияние вектора  $Z$  не учитывается.

Изменение состояния объекта может быть представлено значениями некоторой, в общем случае, векторной функцией  $W$  [72, 126], которую в дальнейшем будем называть функцией состояния или просто состоянием объекта.

К совокупности контролируемых параметров, входящих в функцию состояния, и к форме функции предъявляются различные требования. Среди них - требование необходимой полноты предоставления изменения технического состояния объекта. Это означает, всякое различие в состоянии объекта должно быть отражено в изменении значения аргумента, что равносильно требованию о непрерывности функции состояния. Тогда функция состояния должна быть дифференцируемой [98] функцией, допускающей разложение ее в ряд Тейлора по совокупности всех аргументов:

$$W(Y) = W(Y_0 + \frac{1}{1!} \sum_1^j W' \Delta y_j + \frac{1}{2!} \sum_1^j W'' \Delta y_j^2 + \dots), \quad (2.6)$$

или

$$W(Y) = W(Y_0 + \frac{1}{1!} \sum_1^j \frac{dW}{dy_j} \Delta y_j + \frac{1}{2!} \sum_1^j \frac{d^2W}{dy_j^2} \Delta y_j^2 + \dots), \quad (2.7)$$

где  $Y_0$  - совокупность номинальных значений контролируемых параметров объекта контроля;  $j$  - количество контролируемых параметров.

Не теряя общности, функцию состояния можно определить таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$W(Y_0) = 0 \quad (2.8)$$

В этом случае функция состояния будет определяться приращением всех ее аргументов относительно их номинальных значений:

$$W(Y) = W(Y_0 + \Delta Y) = \frac{1}{1!} \sum_1^j \frac{dW}{dy_j} \Delta y_j + \frac{1}{2!} \sum_1^j \frac{d^2W}{dy_j^2} \Delta y_j^2 + \dots \quad (2.9)$$

Для различных форм анализа целесообразно оставление в разложении (2.9) только члена с первым приращением. Условием допустимости такого ограничения числа разложения является соотношение:

$$\sum_1^j \frac{dW}{dy_j} \Delta y_j \gg \sum_1^j \frac{d^2W}{dy_j^2} \Delta y_j^2. \quad (2.10)$$

Естественно, что члены разложения с более высокими степенями приращений полагаются и по давности малыми.

Тогда:

$$W = \sum_1^j \frac{dW}{dy_j} \Delta y_j. \quad (2.25)$$

Функцию состояния  $W$  в формуле (2.11) можно представить как сумму приращений аргументов:

$$W = \sum_1^j \beta_j \cdot \Delta y_j, \quad (2.12)$$

где  $\beta_j$  - веса, определяемые соотношением:  $\beta_j = \frac{dW}{dy_j}$

Каждое из приращений аргументов функции состояния является некоторой, в общем случае, случайной функцией времени (пробега), то есть:

$$\Delta y_j = y_j(t). \quad (2.13)$$

В соответствии с (2.12) из (2.13) следует, что и сама функция состояния также зависит от времени, а для ПС – от пробега:

$$W(Y) = \sum_1^j \beta_j \cdot \Delta y_j = \sum_1^j \beta_j \cdot \Delta y_j(t) = Y(t). \quad (2.14)$$

Изменения контролируемых параметров объекта могут быть по своим свойствам расчленены на два независимых аддитивных компонента: обратимого и необратимого. Первый из этих компонентов обусловлен существованием целого комплекса различного рода случайных факторов, часть из которых носит внешний для объекта характер и обусловлен флюктуациями внешних условий и управляющих воздействий и отражает влияние векторных функций  $S(t)$  и  $U(t)$ .

По своим свойствам обратимый компонент может рассматриваться как случайная функция с достаточно широким энергетическим спектром, то есть с достаточно быстрыми изменениями своих значений. Ее можно обозначить как  $V_j(t)$ , где индексом  $j$  отмечена принадлежность данного компонента  $j$ -му контролируемому параметру.

Второй компонент обусловлен протеканием совокупности необратимых физических процессов внутри контролируемого объекта. В числе таких процессов, в первую очередь, находятся процессы старения и износа, характеризующиеся вектором  $\Phi$ . Эти процессы протекают сравнительно медленно, имеют достаточно гладкий характер, и как правило, отличаются определенными направлениями изменений. Это позволяет привлекать для их описания детерминированные функции времени (пробега). Второй компонент называют детерминированным компонентом и обозначают  $f_j(t)$ .

Таким образом, зависимость  $j$ -го контролируемого параметра от времени или пробега будет иметь вид [126]:

$$y_j(t) = f_j(t) + V_j(t). \quad (2.15)$$

Тогда в целом математическую модель функции состояния объекта в соответствии с (2.12) можно записать:

$$\begin{aligned}
 Y(t) &= \sum_1^j \beta_j \cdot y_j(t) = \sum_1^j \beta_j \cdot (f_j(t) + V_j(t)) = \\
 &= \sum_1^j \beta_j f_j(t) + \sum_1^j \beta_j V_j(t) = F(t) + V(t),
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

$$\text{где } F(t) = \sum_1^j \beta_j f_j(t), \quad V(t) = \sum_1^j \beta_j V_j(t).$$

Из последнего выражения (2.16) следует, что функция состояния также будет обладать детерминированным -  $F(t)$  и случайным  $V(t)$  компонентами.

Компоненты функции состояния могут иметь как общие, так и различающиеся аргументы из общего набора аргументов функции. В частности, компоненты могут представлять собой те или иные взятые контролируемые параметры.

Для одного и того же объекта контроля функции состояния могут быть выбраны не единственным способом. При этом требование о том, чтобы выбранные параметры допускали свою количественную оценку является одним из основных. Для ПС в целом, да и для многих узлов и агрегатов эти модели отсутствуют. В то же время существующие математические аналогии часто имеют сложный вид [124] с многочисленными допущениями, которые не позволяют конкретно ставить селекцию параметров.

Таким образом, в результате моделирования изменения ТС получена функция состояния, дающая обобщенное описание контролируемых процессов.

#### **2.4. Способ отбора рациональной совокупности объектов, подлежащих техническому диагностированию**

Выбор параметров, подлежащих ТД должен формироваться с учетом задач, стоящих перед контролем ТС. В общем виде система должна определять исправен или неисправен объект контроля и, соответственно, можно или нельзя продолжать

эксплуатацию автомобиля, отслеживать динамику изменения ТС автомобиля в целом.

Исследованиями установлено [49, 73, 138], что условием и начальным этапом, предшествующим выбору диагностических параметров, должно быть обоснование состава объектов контроля. Методически выбор объектов для технического диагностирования должен в наибольшей степени отражать всю сумму значимых эксплуатационных факторов. Выбор объектов контроля можно рассматривать как задачу разделения исходного множества  $\bar{R}_0$  на два непересекающихся подмножества:

$$\bar{R}_0 = R_k \cup R_n, \quad (2.17)$$

где  $R_k = \bigcup_{j=1}^k R_j$  - подмножество, состоящее из  $k$  объектов, подлежащее

техническому диагностированию;

$R_k = \bigcup_{j=k+1}^P R_j$  - подмножество, состоящее из  $(P - k)$  объектов, не подлежа-

щих техническому диагностированию;

$P$  - общее число первоначально выделенных объектов диагностирования.

Рассмотрим построение методического аппарата отбора объектов, подлежащих техническому диагностированию. Для этого сформируем комплекс критериев отбора таким образом, чтобы он в полной мере опирался на уже созданную информационную базу эксплуатации ПС в отношении надежности узлов, последствий и возможностей выявления отказов, затрат и условий их устранения.

При этом критерии должны отвечать следующим основным требованиям:

1. Критерий должен иметь количественную характеристику.
2. Значения критерия должны определяться достаточно точно без значительных затрат средств и времени.
3. Критерий должен базироваться на получаемых при эксплуатации и испытаниях подвижного состава исходных данных.

Автомобиль как совокупность объектов диагностирования может быть представлен не единственным образом. Рациональная структура объектов контроля должна обеспечиваться достоверными исходными данными эксплуатации подвижного состава в рассматриваемых условиях.

Учитывая сложившуюся систему сбора данных по результатам подконтрольной эксплуатации и испытаний ПС, автомобиль можно представить как сложную систему, состоящую из отдельных подсистем (двигатель, электрооборудования и др.), которые в свою очередь подразделяются на множество узлов и деталей. Все эти составные части автомобиля представляют собой объекты диагностирования.

Применение модели позволит систематизировать исходные данные и на их основе выявить объекты, которые следует диагностировать в первую очередь. В качестве объекта диагностирования рассматривается узел, агрегат или их совокупность, имеющие отказы в эксплуатации.

Для формирования целесообразной совокупности объектов проанализируем информационную базу наиболее значимых факторов, определяющих отбор объектов диагностирования. Структура базы, построенная на основе целевого подхода [27] и анализа опыта эксплуатации и испытаний ПС, представлена на рисунке 2.6.

Анализ структуры информационной базы (рисунок 2.6) и итеративный перебор количественных оценок позволяет сформировать критерии отбора с учетом предъявляемых к ним требований и перейти к расчету ОД по исходным



Рисунок 2.6 – Структура информационной базы формирования оценки целесообразности диагностирования объектов

эксплуатационным данным. В дальнейшем необходимо получить количественные оценки и по выбранным критериям проранжировать их по множеству объектов.

Затем в зависимости от общей суммы рангов, полученной каждым объектом, и последующей оценки результатов ранжирования выявляется совокупность объектов, которую целесообразно диагностировать.

Анализ структуры информационной базы показал, что не по каждому фактору могут быть получены эксплуатационные данные и определен соответствующий критерий. Поэтому для практического использования отобраны лишь два фактора, для которых известно количественное значение и накоплены исходные

данные. Для анализа последствий отказов сравниваемых ОД в процессе эксплуатации предлагается использовать критерий  $B_i$  относительной весомости отказа объекта (подсистемы) [27]:

$$B_i = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^M n_{ij} K_{ij} (Z_{ij} \tau_{ij} + C_l), \quad (2.18)$$

где  $M$  - количество отказов  $i$ -го ОД на пробеге  $L$ ;

$n_{ij}$  - число  $j$ -х одноименных отказов  $i$ -го ОД на данном пробеге;

$K_{ij}$  - коэффициент влияния ОД на работоспособность автомобиля;

$Z_{ij}$  - средняя величина заработной платы специалистов ремонтного подразделения при устранении  $j$ -го отказа  $i$ -го ОД, руб./чел.-ч;

$\tau_{ij}$  - средняя трудоемкость устранения  $j$ -го отказа  $i$ -го ОД, чел.-ч;  $C_l$  - стоимость заменяемых при  $l$ -ом текущем ремонте узлов или деталей (в общем случае  $l \neq M$ ), руб.

В таблице 2.3 даны значения коэффициента  $K_{ij}$  [100] в зависимости от последствий отказа. Коэффициент характеризует значимость  $j$ -го отказа при эксплуатации  $i$ -го ОД и влияние его последствий на работоспособность автомобиля в целом.

Критерий  $B_i$  характеризует потери времени и удельные материальные затраты на устранение  $j$ -го отказа  $i$ -го объекта диагностирования с учетом его влияния на работоспособность ПС.

В качестве характеристики конструктивной сложности объекта диагностирования предлагается использовать долю отказов неустранимых водителем, при условии наличия запасных частей и отсутствии специального оборудования [27, 47]:

$$V_i = \frac{H_i}{M_i}, \quad (2.19)$$

где  $H_i$  - количество отказов  $i$  - го объекта диагностирования неустранимых водителем;  $M_i$  - общее количество отказов  $i$  - го объекта диагностирования.

Таблица 2.3 – Коэффициент  $K_{ij}$  влияния  $j$ -го отказа  $i$ -го объекта диагностирования на работоспособность автомобиля

Последствия $j$ -го отказа $i$ -го объекта диагностирования	Значение $K_{ij}$
1 Нарушение функционирования систем и ухудшение функциональных качеств автомобиля без потери его работоспособности в целом	0,05-0,1
2 Эксплуатация автомобиля с неисправностями, определяющими вероятный дорожный отказ на пробеге между очередными ТО и ухудшение технико-экономических показателей по отношению к требованиям технической документации	0,1-0,2
3 Эксплуатация с ухудшенными технико-эксплуатационными характеристиками автомобиля на предельных и аварийных режимах за счет повышения частоты выполнения водителем управляющих воздействий с приложением дополнительных усилий, а также при ускоренном износе узлов или с угрозой для безопасности движения или экологии	0,2-0,4
4 Дорожный отказ, то есть полная потеря работоспособности и невозможность продолжения движения	0,4-0,6
5 Тяжелые последствия отказа, повлекшие значительные затраты на восстановление (например, выход из строя двигателя, ДТП и др.)	0,6-1

По результатам расчета приведенных критериев строится матрица следующего вида: строки матрицы соответствуют наименованиям объектов контроля; столбцы матрицы соответствуют обозначениям показателей и рангов;

на каждом пересечении строки и столбца проставляется численное значение показателя для конкретного ОД и его ранга; последняя пара столбцов содержит общую сумму рангов и место ОД по отношению к другим.

Анализируя содержание таблицы и общее место, занятое конкретным объектом, а также учитывая равнозначность критериев между собой, на заключительном этапе отбирается состав объектов контроля, подлежащих диагностированию.

## **2.5. Математическое описание процесса изменения диагностического параметра**

Математическое описание, обоснование функции, учитывающей процесс изменения параметра, является весьма важным моментом при разработке методики диагностирования, а в частности методов прогнозирования состояния элементов. От выбора аппроксимирующей функции в конечном итоге зависят погрешность и трудоемкость прогнозирования. Неправильный выбор функции может свести на нет все усилия по управлению безотказностью и другими показателями элементов машин [92].

Требования, которые могут быть предъявлены к математическому описанию, обоснованию функции изменения параметра, в основном, сводятся к следующему. Функция должна: учитывать физическую картину изменения параметра, в частности внешние и внутренние факторы, случайную величину скорости и характер изменения параметра, межконтрольную наработку и др.; быть возрастающей, отражать интегральный характер изменения параметра состояния элемента в зависимости от наработки; быть универсальной, характеризующей линейную, степенную, экспоненциальную и другие зависимости изменения параметра от наработки; содержать небольшое число коэффициентов, что облегчает прогнозирование, обеспечивает возможность составления простых номограмм, таблиц, а также использование простых формул.

На основании анализа факторов, влияющих на процесс изменения параметров, а так же требований, предъявляемых к математическому описанию этого процесса, представляется возможным сделать некоторые общие замечания. Во-первых, изменение (приращение) параметра состояния необходимо аппроксимировать случайной упорядоченной функцией с возрастающими реализациями. Реа-

лизацию изменения параметра можно рассматривать как строго, так и нестрого монотонную функцию в диапазоне от нуля до предельного изменения параметра.

### 2.5.1. Общее выражение функции

Приведенные ранее рассуждения с учетом двух групп факторов позволяют исследовать изменение параметра в тот или иной момент наработки как сумму двух случайных величин:

$$U_{об} = U + Z, \quad (2.34)$$

где  $U_{об}$  - фактическое приращение параметра (существенно положительная непрерывная случайная величина);

$U$  - теоретическое изменение параметра под влиянием внутренних, заводских факторов (существенно положительная непрерывная случайная величина);

$Z$  - отклонение величины  $U$  под воздействием внешних эксплуатационных факторов (непрерывная случайная величина).

Величина  $U$  формирует распределение изменения параметра в фиксированные моменты наработки по усредненным результатам работы элемента, характеризующим среднюю эксплуатационную нагрузку. Величина  $Z$  формирует распределение отклонения фактического изменения параметра от усредняющей кривой.

Средние величины  $U_{об}$  всех подвергнутых испытанию элементов, полученные по результатам первого, второго и т.д. измерений, образуют на графике ряд экспериментальных точек. Построенная по этим точкам с помощью метода наименьших квадратов плавная теоретическая кривая выражает характер того или иного процесса, изменения параметра совокупности элементов по их работе с усредненной эксплуатационной нагрузкой. Значение кривой в той или иной точке соответствует среднему значению случайной величины  $U(t)$ . Отклонение экспериментальной точки от теоретической кривой будет равно средней величине  $Z$ ,

стремящейся при увеличении числа испытываемых элементов или времени работы одного элемента к нулю.

Рассмотрим фактическое изменение параметра состояния совокупности элементов как случайную функцию  $U(t)$ . В общем виде она представляет собой довольно сложный математический объект. Разложим ее на элементарные случайные функции, используя идею канонического разложения [125]:

$$U(t) = f_0(t) + \sum_{i=1}^n V_i f_i(t), \quad (2.35)$$

где  $f_0(t)$  - математическое ожидание случайной функции;

$V_i$  -  $i$  - коэффициент разложения;  $f_i(t)$  - координатная  $i$  - ая функция.

В нашем случае в качестве коэффициентов разложения используем случайные величины  $U^0$  (центрированная величина  $U$ ) и  $Z$  в первоначальный момент наработки. При этом координатными функциями окажутся детерминированные функции, характеризующие изменение величины  $U^0$  и  $Z$  в зависимости от наработки  $t$ . Тогда вместо уравнения (2.35) можно записать в момент  $t$  случайную величину:

$$U(t) = f_0(t) + V_c^0 f(t) + V_t' f_1(t), \quad (2.36)$$

$$M[V_c^0] = M[V_t'] = 0, \quad M[V_c^0 V_t'] = 0$$

где  $f(t)$  и  $f_1(t)$  - детерминированные функции, характеризующие зависимость  $U^0$  и значение  $Z$  от наработки;

$V_c^0$  - центрированная случайная величина изменения параметра за единицу наработки  $t=1,0$  под влиянием внутренних (заводских) факторов;

$V_t'$  - центрированная случайная величина в момент  $t$  отклонения  $Z$  на единицу изменения параметра под влиянием внешних (эксплуатационных) факторов.

Некоррелированные в силу физической природы возникновения случайные величины  $V_c^0$  и  $V_t'$  можно интерпретировать соответственно как скорость изме-

нения параметра и скорость отклонения. Причем если  $V_c^0$  для конкретного элемента есть величина постоянная, а для совокупности элементов – случайная, то величина  $V_t'$  для конкретного элемента может принимать различные значения. В этой связи  $V_t'$  следует рассматривать во времени как случайный стационарный процесс с нулевым математическим ожиданием и независимыми случайными величинами в сечениях.

Первая детерминированная возрастающая функция может быть определена из выражения:

$$f(t) = \frac{f_0(t)}{m_V} = \frac{f_0(t)}{f_0(t=1,0)}, \quad (2.37)$$

где  $m_V$  - математическое ожидание нецентрированной случайной величины  $U$  при  $t=1,0$ .

По аналогии получим:

$$f_1(t) = \frac{z_{cp}(t)}{z_{cp}(\Delta U(t)=1,0)}, \quad (2.38)$$

где  $z_{cp}(t)$ ,  $z_{cp}(\Delta U(t)=1,0)$  - средние значения величины  $Z$  в зависимости от наработки и при  $\Delta U(t)=1,0$ .

Учитывая уравнение (2.37), можно записать случайную величину изменения параметра в момент времени  $t$  в более простом виде, сложив первые два слагаемых и выразив нецентрированную величину скорости изменения параметра как  $V_c = m_V + V_c^0$ :

$$U(t) = V_c f(t) + V_t' f_1(t). \quad (2.39)$$

Величина  $V_c$  имеет размерность – (единица измерения параметра/единица наработки), величина  $V_t'$  в момент  $t$  размерности не имеет, когда размерность у детерминированных  $f(t)$  и  $f_1(t)$  соответственно единица наработки и единица параметра. Первое слагаемое выражения (2.39) характеризует изменение параметра.

ра под влиянием внутренних (заводских), а второе – внешних (эксплуатационных) факторов.

$$U(t) = V_c f(t), \quad (2.40)$$

Первое слагаемое представляет собой элементарную случайную функцию. Все возможные реализации этой функции могут быть получены из графика функции простым изменением масштаба по оси ординат. Выражение (2.39) функции изменения обеспечивает простой ее вид, позволяет выявить физический смысл каждого члена.

Линейная случайная функция имеет вид:

$$U(t) = V_c t + Z, \quad (2.41)$$

Функции (2.39) и (2.41) могут характеризовать также изменение параметра конкретного элемента, т.е. одну реализацию. При этом,  $V_c$  является постоянной, а  $Z$  - случайной величиной в момент  $t$ . В случае гладких или относительно гладких возрастающих реализаций изменения параметра состояния элемента, а также при приближенном учете реального процесса изменения параметра слагаемое  $Z$  можно приравнять нулю. Тогда:

$$U(t) = V_c t, \quad (2.42)$$

Назовем простую функцию (2.16) базовой. Различные варианты случайной функции изменения параметра будем получать путем последовательного усложнения функции (2.42).

Следует отметить, что коэффициент вариации случайной величины, получаемой при фиксированном значении  $t_1$  элементарной случайной функции  $V_c f(t_1)$  есть величина постоянная, равная коэффициенту вариации случайной величины  $V_c$ . Это можно доказать следующим путем. Пусть в фиксированный момент наработки  $t_1$  имеем случайную величину  $U(t_1)$  со среднеквадратичным отклонением  $\sigma_u = \sigma_V f(t_1)$ . Математическое ожидание этой величины

$f_0(t_1) = m_V f(t_1)$ , где  $m_V$  - математическое ожидание  $V_C$ . Тогда коэффициент вариации величины  $U(t_1)$  составит:

$$\frac{\sigma_u}{f_0(t_1)} = \frac{\sigma_V f(t_1)}{m_V f(t_1)} = \frac{\sigma_V}{m_V}, \quad (2.43)$$

Что и требовалось доказать.

### 2.5.2. Функция скорости изменения параметра

Вариация  $V_C$  имеет обычно относительно большую величину, что приводит к значительному рассеиванию ресурса элемента. Поэтому в целях повышения точности и облегчения прогнозирования состояния машин крайне важно уменьшить величину  $V_C$ . Это можно сделать при учете функциональной связи скорости изменения параметра со свойствами материала и условиями работы деталей, узлов и агрегатов машины.

Связь между скоростью изменения параметра (например, скоростью изнашивания детали) и показателями свойств материала и условиями работы (твердость поверхности металла, удельная нагрузка на поверхность детали, ее относительная скорость движения) обычно выражают функциональной, детерминированной зависимостью, полученной в результате лабораторных испытаний или теоретических исследований:

$$V_{C.л} = F(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n), \quad (2.44)$$

где  $x_j$  - значение  $j$ -го показателя.

В то же время скорость изменения параметра в связи с влиянием ряда неучтенных показателей и рассеиванием в реальных условиях эксплуатации учитываемых формулой (2.43) показателей ( $j=1, 2, \dots, n$ ) есть величина случайная. Для нахождения тесной связи необходимо учесть влияние первых и рассеивание вторых показателей.

В этих целях предлагается использовать так называемый метод случайного коэффициента. Сущность метода заключается в переносе случайного на коэффициент  $K$ , который при этом характеризует влияние на  $V_c$  всех неучтенных показателей свойств материала и условий работы, и представлении величины  $V_c$  в виде элементарной линейной случайной функции:

$$V_c = KA\{V_{c.л}\} = KA\{F(x_1, x_2, \dots, x_n)\}, \quad (2.45)$$

где  $A$  - оператор, линейно преобразующий функцию связи (2.43) относительно  $K$ .

Введение оператора  $A$  связано с возможным неравномерным односторонним влиянием неучтенных показателей на  $V_c$  при изменении функции (2.43).

В уравнении (2.44) случайной величиной служит  $K$ , а оставшаяся часть выражает детерминированную функцию. Коэффициент вариации скорости изменения параметра при таком представлении оказывается равным коэффициенту вариации величины  $K$ , что резко уменьшает вариацию скорости изменения параметра и ресурса элемента рисунок 2.8.

Применяя метод случайного коэффициента, можно найти среднее значение скорости изменения параметра:

$$m_V = K_0 A[F(x_1, x_2, \dots, x_n)], \quad (2.46)$$

где  $K_0$  - математическое ожидание величины  $K$ .

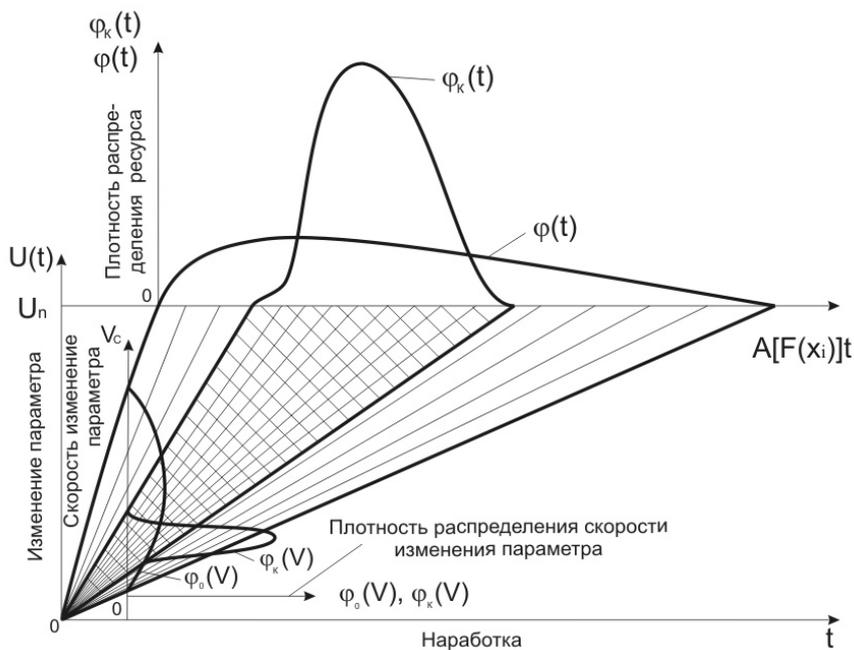


Рисунок 2.8 – Уменьшение рассеивания скорости изменения параметра при ее представлении в виде элементарной случайной функции

Учтем рассеивание в эксплуатационных условиях показателей  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , используя метод линеаризации функции и относительно небольших средних квадратических погрешностей показателей  $x_j$ . В качестве функции выступает выражение (2.46). Коэффициент вариации величины  $V_c$  в случае независимости аргументов составит:

$$v_{II} = \sqrt{\frac{\sigma_K^2}{m_V^2} + \frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{dm_V}{dx_j} \right)^2 \sigma_{xj}^2}{m_V^2}}, \quad (2.47)$$

где  $\frac{dm_V}{dx_j}$  - частная производная функция  $m_V$  по аргументу  $x_j$ ;

$\sigma_{xj}^2$  - среднеквадратическое отклонение  $j$ -го показателя от среднего значения  $x_j$ .

## 2.6. Выводы

1. В результате анализа существующих стратегий технического обслуживания и ремонта обосновано применение стратегии технического обслуживания и ремонта подвижного состава по состоянию с контролем параметров.

2. Класс технического состояния ПС и его составных частей можно представить как функцию, аргументами которой являются измеренные значения диагностических параметров. Распознавание класса технического состояния целесообразно производить одним из двух способов: по расстоянию между центрами распределения функции и эталоном или методом определения границ между классами характерных состояний. Для ПС характерны три класса ТС: исправен - неисправен, неисправен но работоспособен и работоспособен - неработоспособен.

3. Изменения технического состояния ПС или его составных частей определяются значениями диагностических (контролируемых) параметров. Сам ПС или его составная часть представляют собой динамическую систему, на входе которой действуют векторные функции возмущающих, управляющих и внутренних воздействий, а на выходе – векторы всех контролируемых параметров. В результате моделирования изменения технического состояния объекта диагностирования получена функция состояния, дающая обобщенное математическое описание контролируемых процессов. Однако из-за своей сложности и многочисленных допущений возникают трудности, не позволяющие конкретно ставить селекцию параметров.

4. Объекты диагностирования ПС характеризуются неопределенностью технического состояния в эксплуатации. Контроль каждого параметра снимает часть неопределенности в знании об объекте. Таким образом, задача селекции контролируемых параметров состоит в обосновании совокупности параметров, обладающую наибольшей информативностью. Количество информации о техническом состоянии ОД, полученное в результате контроля диагностического пара-

метра, предлагается определять как разность между апостериорной и априорной энтропией объекта контроля.

5. Изменение параметра в тот или иной момент наработки (пробега) можно представить как сумму двух случайных величин: изменение параметра под влиянием внутренних, заводских факторов (существенно положительная непрерывная случайная величина) и их отклонение под воздействием внешних эксплуатационных факторов (непрерывная случайная величина). С точки зрения прогнозирования состояния машин наибольший интерес представляют строго монотонно возрастающие в зависимости от наработки слагаемые функции состояния в силу возможности использования этого качества для целей прогноза.

### **3. Реализация инженерно-кибернетического подхода при повышении эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава**

#### **3.1. Подход к формированию основ теории повышения эффективности технической эксплуатации подвижного состава**

Необходимость повышения готовности к использованию по назначению ПС является причиной поиска путей становления и развития теории повышения эффективности технической эксплуатации последних. Суть содержательной части любой теории определяется использованным в ней общенаучным концептуальным подходом, базирующемся на критическом осмысливании системы принципов и способов организации и построении теоретической и практической деятельности. С этой точки зрения комплексный подход строится на выполнении его требований к любым исследованиям в части «... всестороннего рассмотрения с учетом всех существенных факторов интересующего объекта, представляемого в виде единого целого, состоящего из взаимосвязанных частей, подчиненных достижению общей целевой функции» [12, 57]. В свою очередь, системный подход, представляющий собой «общенаучную» концепцию, «...не редко трактуется как общая методология науки, призванная заменить все существующие методологические мировоззренческие концепции, противопоставляется диалектическому методу проведения различного рода исследований» [10, 54].

Однако следует отметить, что ни системный, ни комплексный подходы не отражают содержания всей совокупности принципов, обеспечивающих развитие систем, в связи, с чем они не могут самостоятельно рассматриваться как самые универсальные и базовые для разработки теории повышения эффективности ТЭ ПС.

Исходя из этого, была выдвинута гипотеза о том, что наиболее универсальный, концептуальный подход для построения общей теории исследования и совершенствования объектов современной техники, оставаясь комплексным, должен отражать не только системную организацию их построения, но и включать в себя эволюционный и управленческий аспекты, обеспечивающие постоянное со-

вершенствование и повышение эффективности создаваемых технических систем. Такой подход получил название - кибернетический (ИКП) [55, 58, 82].

Если научным фундаментом системного подхода является общая теория систем, то научным фундаментом кибернетического подхода считают теоретическую кибернетику. Однако отечественные специалисты делают четкое разграничение между теоретической кибернетикой, как фундаментальной наукой, и многими возможными направлениями ее реализации.

Как и само определение теоретической кибернетики, не установилась и однозначно трактуемая структура построения ее методологии. Если проанализировать работы, касающиеся структуры построения кибернетики [79], то с позиций современного уровня понимания ее можно представить в виде, показанном на рисунке 3.1.

Важным принципом кибернетического подхода следует считать и определение алгоритма его реализации в любой области практического применения, который можно представить следующими типовыми операциями.

1. Установление актуальных, программных целей, формирование и постановка задач по их достижению.
2. Выбор для достижения этих целей объектов и средств в форме систем соответствующей им сложности.
3. Определение характерного для этих систем окружения в течение всего периода их существования.
4. Изучение предыстории, состояния и возможных направлений развития выбранной системы, ее окружения и процессов их взаимодействия.
5. Установление параметров, определяющих эффективность этой системы, а так же формирование программных уровней полного качества системы, учитывающего их степень достижения поставленных целей с их использованием, так или иначе связанных с этим затрат.



Рисунок 3.1 – Структура теоретической кибернетики

6. Организация замкнутых контуров повышения эффективности системы для целенаправленного перевода ее из существующего в намеченное состояние.

7. Моделирование и максимальная формализация системы, окружения и всех, имеющих к ним отношение объектов, процессов и факторов на основе математического и вычислительного обеспечения теоретической кибернетики.

8. Реализация процессов повышения эффективности системы на основе использования всей необходимой информации, циркулирующей по каналам прямой и обратной связи. Установление актуальных, программных целей, формирование и постановка задач по их достижению.

Отечественными специалистами кибернетический подход выбран в качестве концептуального подхода для построения содержательной части общей теории повышения эффективности технических системам на современном этапе [2]. Решение проблемы дальнейшего развития теоретического обеспечения процессов исследования и применения современной техники, в основе которых лежат про-

цессы повышения ее эффективности, стало научным фундаментом для формирования нового прикладного направления развития теоретической кибернетики - инженерной кибернетики [82].

Обобщая все вышеизложенное, можно представить структурную схему развития методологии исследования объектов современной техники (рисунок 3.2), где инженерная кибернетика, может рассматриваться как следующий шаг в развитии отечественной комплексной и американской системотехнической методологии с их концепциями комплексного и системного подходов.

Осуществляя теоретическое обобщение, с позиций кибернетического подхода, опыта разработки, производства и эксплуатации ряда поколений мобильной техники можно представить структуру построения методологии инженерной кибернетики как продукта развития общей теории создания и исследования и совершенствования технических систем различного назначения (рисунок 3.3). Каждая из научных дисциплин, выступающих в роли основных подсистем методологии инженерной кибернетики в свою очередь включает на правах собственных методологических подсистем ряд формирующих их дисциплин, что, в конечном счете, обуславливает многоуровневую иерархическую структуру построения методологии инженерной кибернетики.

Однако следует отметить, что анализ и выбор подходов к формированию методологических основ создания и применения мобильной техники на современном этапе однозначно требует оценки тенденций развития системы ее технической эксплуатации.

В современных условиях это особенно актуально, поскольку имеет место процесс, когда совсем новые и вполне работоспособные технические системы устаревают так быстро, что не успевает даже устояться сопровождающий их

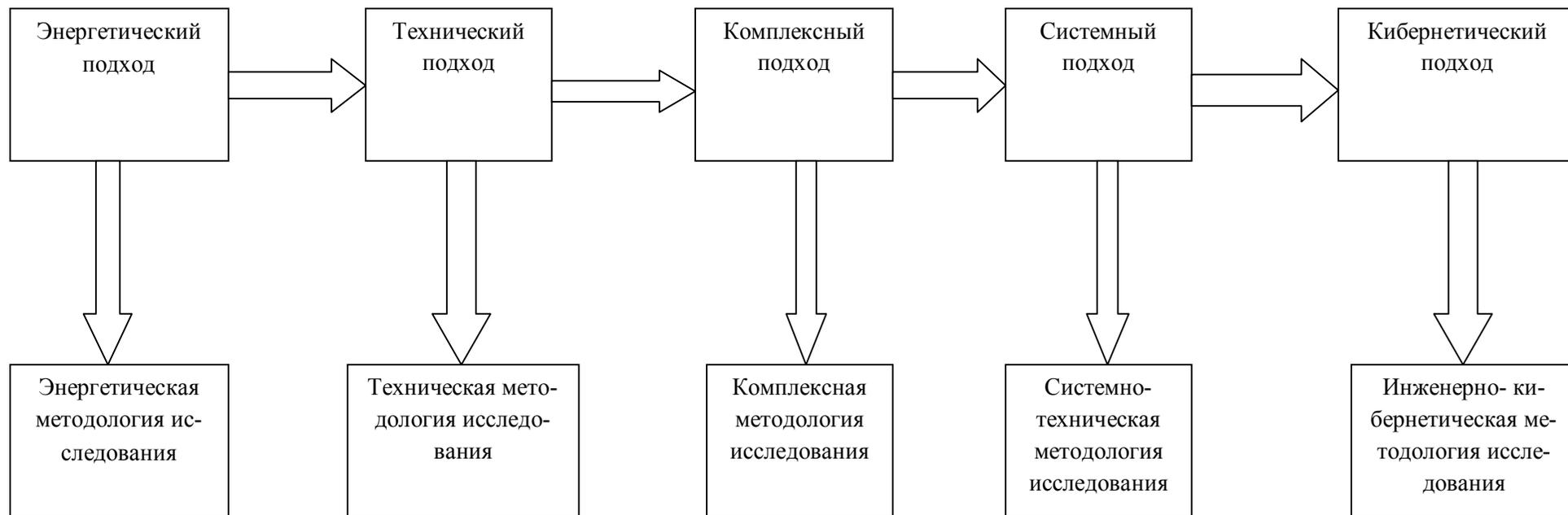


Рисунок 3.2. – Схема развития методологии исследования объектов современной техники

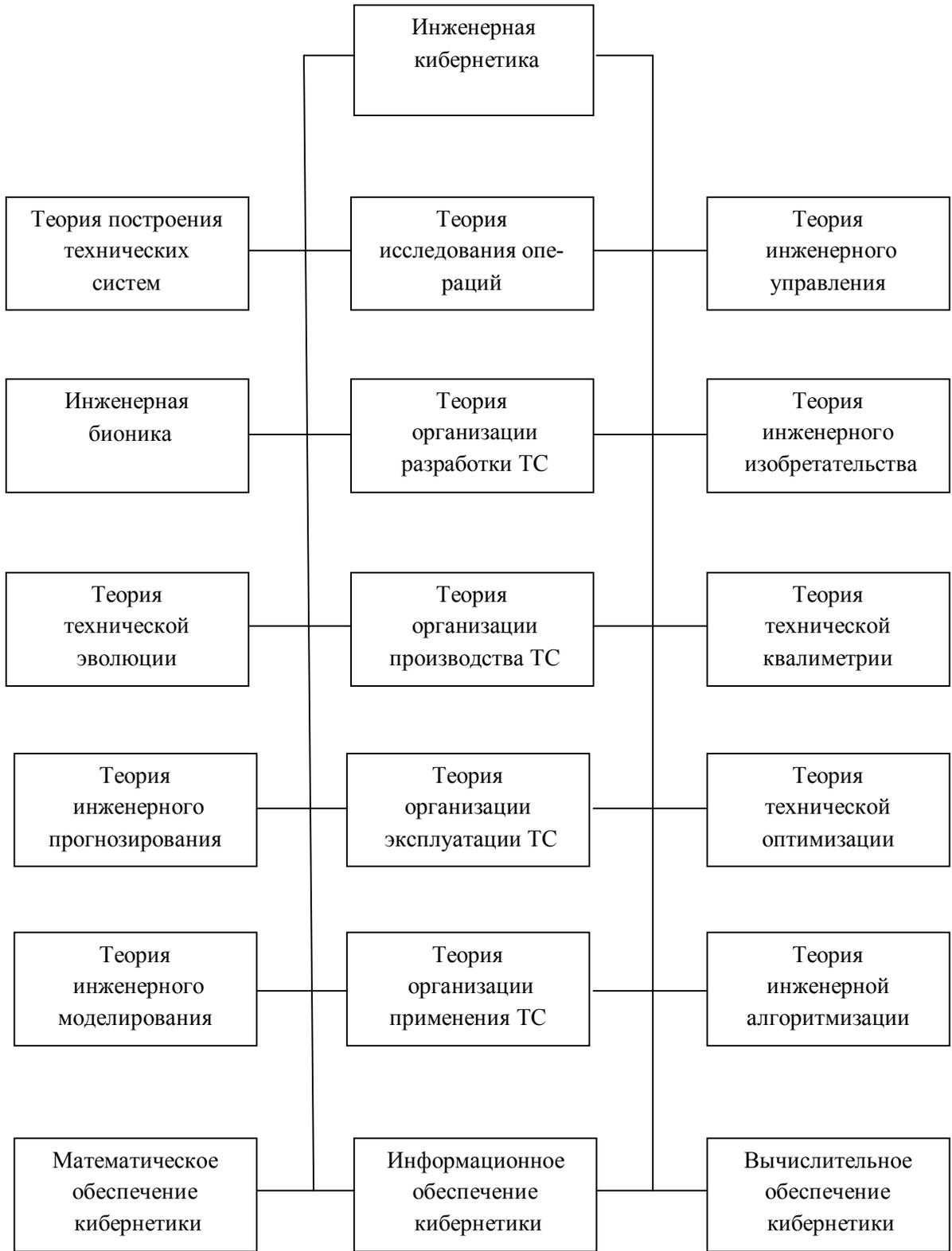


Рисунок 3.3 – Структура построения методологии инженерной кибернетики

понятийный аппарат, что затрудняет понимание друг друга, производителей и

пользователей технических систем.

Следовательно, кибернетический подход, применительно к конкретной предметной области, может быть успешно реализован только на основе всестороннего анализа технического облика и свойств исследуемых объектов, их целевого назначения и областей применения.

### **3.2. Моделирование при повышении эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава**

Моделирование является одной из главных концепций инженерной кибернетики, служащей основным инструментом для синтеза, в известной степени, идеализированных моделей существующих или воображаемых объектов, факторов и процессов, которые имеют или будут иметь прямое или косвенное отношение к разработке, производству, эксплуатации совершенствованию и целевому применению технических систем, имитирующих их в некоторой форме, отличной от оригиналов, с сохранением адекватности по основной сущности этих оригиналов [12].

Модели - единственное средство для проведения опережающих экспериментов над всеми объектами, факторами и процессами в ходе повышения эффективности системы технической эксплуатации с целью оценки новых решений, сравнения альтернативных действий и отыскания, из возможных, наиболее рациональных вариантов их построения, а также реализации условий их исследования, совершенствования и целевого применения, обеспечивающих максимальный уровень показателей эффективности этих технических систем, без реального воспроизведения всего множества промежуточных вариантов моделируемых оригиналов [56, 59, 61, 65].

Главными объектами моделирования при ИКП являются основные системы, формирующие полную систему, с их собственными надсистемами и подсистемами.

ми и элементами, а именно: программно-целевые системы; технические системы; промышленно - функциональные системы; операционные системы; управляющие системы.

Вся совокупность моделей основных систем образует общую модель (ОМ), к которой с позиций ИКП предъявляется большое число требований, главными из которых являются следующие:

- достоверность, объективность и полнота отражения сущности моделируемых систем и их взаимосвязей;
- целенаправленность, чувствительность к изменениям анализируемых внешних переменных (исходных данных) и внутренних переменных (параметров систем);
- убедительность физической трактовки, воспринимаемость и «прозрачность»;
- доступность в разработке и их использовании с точки зрения оперативности и трудоемкости синтеза и обработки;
- адаптивность, «гибкость» и возможность оперативной перенастройки при периодическом изменении структуры систем.

ИКП при исследовании сложных технических систем строится на использовании ОМ, структура которой должна отражать все стороны проявления их сложности, в связи с чем ей должны быть присущи все существенные особенности моделируемых объектов. В частности, она должна иметь системную иерархическую структуру, распадаться на увязанные между собой в единое целое модели различного уровня структурной организации, представляющие, по существу, общесистемные, надсистемные, подсистемные и элементные модели, которые непостоянны во времени и изменяются по мере накопления, при переходе от одного этапа к другому, используемой для их построения информации и эволюционного развития моделируемых систем.

Моделирование охватывает ряд этапов:

1. Синтез моделей систем на основе выделения их интересующей ценности в том или ином исследовании, абстрагирования, пренебрежения несущественны-

ми деталями, выбора типа моделей, наиболее полно отвечающего требованиям конкретных исследований.

2. Применение модели для выработки того или иного решения по изменению программно-целевой, технической, промышленно-функциональной, операционной или управляющей систем.

3. Анализ полученных результатов и принятие указанных выше решений с учетом накладываемых на них ограничений.

Актуальным в ИКП является вопрос об адекватности моделей реальной действительности - основе действительной рациональности принимаемых на их основе решений.

Формально структуру ОМ, в каждый текущий момент времени исследования сложных ТС для конкретного состава исследователей, символично можно выразить конечным множеством частных моделей основных систем на всех  $a_n$  уровнях управления:

$$\{Y_{ПЦС}, Y_{ТС}, Y_{ПФС}, Y_{ОС}, Y_{КС}\}, \quad (3.1)$$

где  $Y_i = \bigcup \bigcup Y_{ima}$

$Y_i$  - множество моделей, соответствующей системы.

Создание ОМ для обеспечения повышения эффективности современных сложных ТС весьма трудоемкая теоретическая задача, решение которой базируется на установлении путем абстрагирования прежде всего принципа, отношения или характерного признака, лежащего в основе интересующей стороны моделируемого объекта, и представления их через выбираемые параметры. При этом в первую очередь стремятся выявить основные особенности моделируемых объектов, выражая их через наиболее характерные, основные параметры, исключив из-за громоздкости моделей второстепенные параметры и выбрав разумную степень детализации в каждом конкретном исследовании.

Основой для построения моделей при исследовании сложных ТС служат, прежде всего, причинно-следственные, постулируемые детерминированные и вероятные закономерности, устанавливаемые формально - теоретическим, опытно-теоретическим, эмпирическим (экспериментальным), логико-интуитивным (эври-

стическим) или комбинированными способами, "отлаживаемые" и проверяемые твердо установленными соотношениями между значениями выходных результатов моделирования и параметров, являющихся входными данными.

Модели всех подсистем промышленно – функциональной среды (ПФС) (кроме естественной), предназначенные для оценки "возможностей" и "потребностей" исследуемых ТС, с учетом долговременной перспективы, строятся на основе ряда промышленно-функциональных прогнозов: научных, технических, производственных, экономических, отраслевых, межотраслевых, эксплуатационных, целевых, специальных, выполняемых применительно к эволюционной схеме ТС [60, 62, 63, 144, 145].

Информационной базой для составления всех указанных выше прогнозов служат материалы анализа состояния ТС в данный период, научные сообщения и статьи, патентные исследования, специальная информация, результаты проводимых НИР фундаментального и прикладного характера, документы по развитию науки, техники, производства, экономики и др.

Теоретической базой для синтеза операционных промышленных моделей являются такие научные дисциплины, как организация, технология и экономика современного промышленного производства.

Операционные эксплуатационные модели отражают технологию эксплуатации объектов ТС, включающую их ввод в строй, текущее и периодическое техническое обслуживание, диагностику, контроль и устранение возникающих неисправностей, а также работы по гарантийному надзору и последующей утилизации этих объектов.

Теоретической основой для синтеза операционных эксплуатационных моделей является формирующаяся в настоящее время теория эксплуатации современной техники [52].

Для анализа различных способов функционирования ТС и синтеза соответствующих операционных моделей, для выбора рациональной из них при отсутствии математической постановки, целесообразно применять популярные в настоящее время методы так называемого имитационного моделирования, в котором ис-

следует поведение моделируемых объектов при различных допустимых значениях параметров и исходных данных.

Общей теоретической основой для синтеза операционных моделей целевого применения служат способы и методы теории исследования операций [25], анализ систем и других специальных дисциплин.

### **3.3. Определение основных свойств системы технической эксплуатации подвижного состава**

Определение номенклатуры основных свойств и показателей, исследуемых ТС - необходимая составляющая процесса исследования, обеспечивающая установление уровня эффективности этих ТС лежащего в основе принятия всех исследовательских решений.

Номенклатуру основных свойств современной системы технической эксплуатации и характеризующих ее показателей условно можно подразделить на:

- располагаемые, объективно присущие той или иной структуре системы для тех или иных условий их создания и применения;
- требуемые, задаваемые заказчиком в техническом задании на разработку ТС;
- желаемые, намечаемые самими разработчиками при внесении технических предложений о создании или совершенствовании ТС.

В совокупности вышепоименованных групп основных свойств и показателей ТС, как правило, различаются между собой, что служит стимулом для совершенствования структур ТС, их промышленно-функциональной среды (ПФС) и операционной системы (ОС), реализуемого при повышении эффективности этих ТС. Однако в ходе выбора решений по повышению эффективности ТС в первую очередь интересуют располагаемые совокупности, которые в соответствии с эволюционным подходом ИКМ трактуются как частные меры технической приспособ-

особенности структур ТС к взаимодействию тем или иным способом (при соответствующей ОС) с отдельными подсистемами ПФС, характерной для протекания всех этапов жизненного цикла (ЖЦ) той эволюционной системы видов ТС, к которой принадлежат исследуемые ТС [119]. По своей принципиальной сущности такая трактовка показателей, характеризующих свойства ТС, не противоречит ГОСТ 15467-79, в соответствии с которым свойство продукции - это объективная особенность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении, и вкладывает в него конкретный физический смысл [29].

Исходя из этого количественные уровни показателей  $i$ -х свойств  $W_i$ , из всей их совокупности, которой располагают исследуемые ТС, характеризуются множествами обобщенных, изменяющихся во времени параметров

$P_{mi}^k(t)$ , следующим образом:

$$W_i(t) = F'_{1i}(\{ P_{mi}^k(t); m_i = 1, 2, 3, \dots, 1_i \}), \quad i = 1, 2, 3, \dots, 1 \quad (3.2)$$

и устанавливаются на основе частных функционалов технической приспособленности. Последние в свою очередь получаются при замене параметров  $P_{mi}^k(t)$  в (3.2) соответствующими множествами параметров структуры ТС ( $P_c$ ), их промышленно-функциональной среды ( $P_{пфс}$ ) и операционной системы ( $P_{ос}$ ), которые формируют эти параметры и имеют вид;

$$W_i(t) = F'_{2i} [ \{ P_{ci}^k(t); i = 1, 2, 3, \dots, n \}, \{ P_{пфсj}(t); j = 1, 2, 3, \dots, m \}, \\ \{ P_{окk}(t); K = 1, 2, 3, \dots, k_{ос} \} ], \quad i = 1, 2, 3, \dots, 1 \quad (3.3)$$

Конкретной иллюстрацией частных функционалов технической приспособленности могут служить функционалы работоспособности для объектов ТС, широко используемые в теории надежности [94].

При анализе выражения для частного функционала технической приспособленности (3.3) можно сделать ряд выводов. В частности, располагаемые совокупности показателей свойств исследуемых ТС могут, во-первых, количественно измеряться только при условии рассмотрения взаимодействия этих ТС с соответствующими характерными для них подсистемами конкретной ПФС при определенной ОС; во-вторых, изменяться за счет управления параметрами структуры ТС, их

ПФС и ОС; в-третьих, достигать определенных значений при данной структуре ТС для каждой ПФС и ОС.

Учитывая сложность структур современных ТС, ПФС, в которой они создаются и функционируют, многообразие возможных способов их взаимодействия в ходе исследования, оказывается важным точно определить номенклатуру показателей, характеризующих из всей совокупности свойств наиболее важные, типичные для вида ТС. Обычно такие показатели и свойства называют базовыми [94]. Исходя из существующих подходов к построению универсальной классификации базовых свойств современных ТС [98], их трактовки с позиций ИКМ и анализа взаимодействия исследуемых ТС со всеми типовыми подсистемами ПФС, целесообразно выделить, как вариант, следующие базовые свойства: перспективность (Б1), вписываемость (Б2), развертываемость (Б3), эксплуатабельность (Б4), управляемость (Б5), производительность (Б6), надежность (Б7), долговечность (Б8), живучесть (Б9), достигаемость (Б10), стоимость (Б11) и др.

Указанные базовые свойства (БС) существенны и характерны для подавляющего числа видов исследуемых ТС, хотя значимость и весомость отдельных из них в разных ситуациях могут быть неравнозначны. Для решения практических задач все БС необходимо делить в соответствии со структурой жизненного цикла (ЖЦ) и ПФС. Так, например, к функциональной группе БС следует относить Б4, Б6-Б10, которые характеризуют ТС как объекты функционального применения и проявляются в ходе их взаимодействия с функциональной средой по конкретной функциональной ОС. Следует отметить, что каждую из формируемых групп БС, в свою очередь, можно представить двумя подгруппами, например: разработочной и производственной, эксплуатационной и целевой, характеризующими ТС как объекты разработки и производства, эксплуатации и целевого применения соответственно.

Для определения уровней множества количественных показателей базовых свойств  $W_B$ , которыми располагают исследуемые ТС, будем использовать частные базовые функционалы технической приспособленности, записываемые по аналогии с типовой их формой, при подстановке в них конкретных параметров подсистем.

тем ПФС, во взаимодействии с которыми формируются те или иные базовые свойства, и ОС, характеризующих процессы этого взаимодействия. Тогда, например, выражения для уровней показателей таких свойств, как Б2, Б4, Б6, Б11, примут вид:

$$W_{Bi}(t) = F_{2Bi}' \left[ \left\{ P_{ci}(t); i=1,2,3,\dots,n \right\}, \left\{ P_{ПФСj}^{ti}(t); j=1,2,3,\dots,m^{ti} \right\}, \left\{ P_{оск}^{ti}(t); k=1,2,3,\dots,k^{ti} \right\} \right], \quad (3.4)$$

где  $t$ , - соответствующая фаза ЖЦ ( $t_{11}, t_{12}, t_{21}$ ) ТС.

Уровни показателей, характеризующих все БС объектов ТС, находятся между собой в определенной взаимосвязи, которая обусловлена, во-первых, прямой зависимостью всех их от параметров структуры ТС, во-вторых, системной целостностью подсистем ПФС, с которыми взаимодействуют эти объекты.

Количественные показатели располагаемых уровней всех общесистемных БС, характеризуются множествами обобщенных параметров, которые формируют эти БС. Обозначив последние  $P_{Bi}^k$  (где  $B_i$  - соответствующие БС), получим

$$W_{Bi}(t) = F_{3Bm}' \left[ P_{Bi}^k(t) \right], i=1,2,3,\dots,N \quad (3.5)$$

В этом выражении  $P_{Bi}^k$ , можно представить так:

$$P_{Bi}^k(t) = F_{3Bi}' \left[ \left\{ P_{ci}(t); i=1,2,3,\dots,1_{Bi} \right\}, \left\{ P_{ПФСj}^{Bi}(t); j=1,2,3,\dots,m_{Bi} \right\}, \left\{ P_{оск}^{Bi}(t); k=1,2,3,\dots,k_{Bi} \right\} \right], \quad (3.6)$$

где  $P_{ПФС}^{Bi}$ ,  $P_{оск}^{Bi}$  - параметры подсистем ПФС и ОС, участвующие в формировании  $i$ -го БС.

Принимая во внимание, что все типовые подсистемы ПФС, исследуемых ТС, и соответствующие им подсистемы ОС в свою очередь распадаются, из-за иерархического принципа построения, на свои собственные подсистемы, количественные показатели общесистемных БС формируются рядом количественных показателей частных БС ( $W_B'$ ), которые определяют результаты взаимодействия объектов ТС с этими подсистемами и измеряются частными параметрами  $P_B^K$ , называемыми на практике основными характеристиками объектов ТС [98].

Исходя из этого положения показатели каждого общесистемного БС, развивая выражение (3.5), можно записать таким образом:

$$W_{Bi}(t) = F_{4Bi} [ \{ W_{Bj}'(t); j=1,2,3,\dots,n_j' \} ] = \\ F_{5Bi} [ \{ P_{Bj}^{K'}(t); j=1,2,3,\dots,n_j' \} ], i=1,2,3,\dots,N. \quad (3.7)$$

Если  $P_{Bj}^{K'}(t)$  представить как  $\{ p_1(t), p_2(t), \dots, p_{n_1}(t) \}$ ;

$\{ p'_1(t), p'_2(t), \dots, p'_{n_2}(t) \}, \dots, \{ p_1^n(t), p_2^n(t), \dots, p_{n_i}^n(t) \}$  и принять во внимание иерархичность построения самих объектов ТС, то можно сделать вывод, что каждое общесистемное частное свойство этих объектов (описываемое параметрами  $P_{n_1}, P'_{n_2}, \dots, P_{n_i}^n$ ) в свою очередь формируется из аналогичных подсистемных БС, число которых определяется числом входящих в эти объекты ТС подсистем и степенью их детализации. Это значит, что, с учетом изложенного, количественные показатели располагаемых уровней каждого из общесистемных БС сложных ТС следует представлять функцией от матрицы-функции с размерностью, определяемой числом частных свойств  $n'_j$  формирующих конкретное БС, и числом подсистем, на которые разбивается ТС при решении задач исследования, имеющей вид

$$W_{Bi}(t) = F'_{5Bi} [ M_{W_{Bi}^c}(t) ]. \quad (3.8)$$

Матрица-функция такого типа, для представления одного из важнейших БС объектов ТС различного назначения "надежности" (Б7), в качестве примера, будет иметь вид:

$$M_{W_{B7}^c}(t) = \begin{matrix} & W'_{11}(t) & W'_{12}(t) & \dots & W'_{1n_1}(t) \\ W'_{21}(t) & & W'_{22}(t) & \dots & W'_{2n_2}(t) \\ \dots & & \dots & \dots & \dots \\ W'_{m_y1}(t) & & W'_{m_y2}(t) & & W'_{m_y n}(t) \end{matrix} \quad (3.9)$$

Где  $m_y$  - число подсистем;  $n_{m_y}$  - число частных свойств, присущих  $m_y$ -ой подсистеме.

Уровни параметров всех общих БС ТЕ и образцов сложных в целом находятся в определенной количественной взаимосвязи, которую можно формально выразить так:

$$W_{Bi}(t) = F_W [ W_{Bi}^{TE}_1(t), W_{Bi}^{TE}_2(t), \dots, W_{Bi}^{TE}_m(t);$$

$$P_{11i}^c(t), P_{12i}^c(t), \dots, P_{22i}^c(t), \dots, P_{mki}^c(t), \quad (3.10)$$

где  $P_{mki}^c$  - структурные параметры объектов, перечисленных выше ТС, участвующие в формировании общесистемного показателя  $i$ -го БС при выражении его через показатели БС ТЕ;  $W_{Bi}^{TE_m}(t)$  - показатели свойств разнородных ТЕ, лежащих в основе формирования более сложных ТС.

Для обеспечения однозначности оценки уровня показателей БС, исследуемой ТС, и представления их в форме единых (скалярных) величин, необходимых для выработки управленческих решений и их оптимизации, с позиций вероятностного подхода ИКМ, рекомендуется метод расчета вероятных значений уровня показателя БС, строящийся на учете вероятностей реализации того или иного варианта промышленной (разработочной и производственной) ситуации  $P_n$   $[(P_{11}), (P_{12})]$  и функциональной (эксплуатационной и целевой) ситуации  $P_\phi$   $[(P_{121})]$ , характеризующих той или иной комбинацией параметров соответствующих компонент ПФС и ОС, которые могут сложиться в течение реальных ЖЦ объектов ТС.

При таком подходе вероятные уровни значений показателей того или иного БС могут быть установлены таким образом:

$$W_{Bin}^{ep}(t) = \sum_{a=1}^{a_{\text{воз}}} W_{Bin} [P_{ПФСа}^n(t), P_{ОСа}^m(t)] \bullet P_n(t); i_n \subset i, \quad (3.11)$$

$$W_{Bi\phi}^{ep}(t) = \sum_{\phi=1}^{\phi_{\text{воз}}} W_{Bi\phi} [P_{ПФС\phi}^\phi(t), P_{ОС\phi}^\phi(t)] \bullet P_\phi(t); i_\phi \subset i,$$

где  $a_{\text{воз}}$ ,  $\phi_{\text{воз}}$  - число возможных промышленных и функциональных ситуаций, прогнозируемых при исследовании ТС соответственно.

Для вероятностей  $P_n$  и  $P_\phi$ , представление о значениях которых могут изменяться в ходе исследования, характерны следующие соотношения, как для полных вероятностей событий:

$$\sum_{a=1}^{a_{\text{воз}}} P_n(t) = 1,0 \text{ и } \sum_{\phi=1}^{\phi_{\text{воз}}} P_\phi(t) = 1,0 \quad (3.12)$$

Установленные в соответствии с выражениями (3.11) и (3.12) вероятные уровни значений показателей БС, исследуемых ТС, условно можно считать номинальными уровнями.

### **3.4. Определение качества системы технической эксплуатации подвижного состава**

Определение качества и показателей, характеризующих его уровни у исследуемых ТС, называемое общей квалиметрией [2], - важнейшая составляющая процесса исследования, и придающая ему целенаправленный характер.

Уровни показателей качества ТС подразделяются, как и уровни показателей их свойств, на требуемые, желаемые и располагаемые. Все перечисленные уровни показателей качества, в каждый текущий момент времени, различаются между собой. Отличия между требуемым и прогнозируемым уровнями становятся движущей силой цикловой технической эволюции, а между желаемым и фактическим - фазовой и видовой техническими эволюциями, при которых отличия ликвидируются путем усовершенствования существующих и создаваемых новых ТС.

Выбор всех решений в ходе исследования ведется исходя из обеспечения максимального уровня показателей прогнозируемого полного качества (ПК), которое, в соответствии с эволюционными подходами ИКП, трактуется как общая мера технической приспособленности их структур к взаимодействию тем или иным способом, при той или иной ОС с ПФС, характерной для протекания всех этапов их жизненного цикла (ЖЦ), и определенной эволюционной схемой (ЭС) видов ТС, к которой принадлежат ПС

По своей принципиальной сущности данная трактовка ПК элементов ТС также, не противоречит определению этой категории по ГОСТ 15467-79, в соответствии с которыми "качество - это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответ-

ствии с ее назначением", но является более конкретной и полной, ибо она учитывает также и свойства элементов ТС, обуславливающих их пригодность для разработки, изготовления и эксплуатации.

Исходя из приведенной выше трактовки уровни количественных показателей ПК  $Q_c^o$ , которыми располагают исследуемые ТС, определяются совокупностью показателей всех БС и, характеризующих их, обобщенных базовых квалитметрических параметров:

$$Q_c^o(t) = F_{q_0} [\{W_{Bi}(t); i = 1, 2, 3, \dots, N\}] \quad (3.13)$$

и устанавливают на основе общего функционала технической приспособленности, зависящего (как и частные функционалы) от параметров структуры ТС, их ПФС и ОС, в общем случае, изменяющихся во времени. Это значит, что данный функционал имеет вид:

$$Q_c^o(t) = F_{q_0} [\{W_{Bi}(t); i = 1, 2, 3, \dots, 1Bi\}; \{P_{ПФСj}(t); j = 1, 2, 3, \dots, m_{Bi}\}; \{P_{оск}(t); k = 1, 2, 3, \dots, k_{Bi}\}] \quad (3.14)$$

При анализе (3.14) можно сделать некоторые принципиальные выводы. В частности, из этого выражения следует, что располагаемые уровни показателей ПК исследуемых ТС (как и их свойств), могут, во-первых, количественно измеряться только при условии рассмотрения взаимодействия этих ТС с соответствующей конкретной и характерной для них ПФС по определенной ОС; во-вторых, изменяться путем управления параметрами структуры ТС, ПФС и ОС; в-третьих, достигать определенного предельного значения для данной структуры ТС, их ПФС и ОС, которое в специальной литературе именуют полным квалитметрическим потенциалом  $Q_c^{пот}$  [126]

Для количественной характеристики уровня показателей располагаемого ПК ТС в ходе исследования, при применении ИКМ, используются группы показателей, классифицируемые [64, 100]: по признаку этапности группирования БС, структурной размерности квалитметрируемого объекта, числу показателей, применяемых для представления ПК, степени охвата БС и т.д.

Если различать, в соответствии со структурой ЖЦ элементов ТС, промышленную и функциональную компоненты их ПК, которые, в свою очередь, делятся

на разработочную, производственную, эксплуатационную и целевую компоненты соответственно, то общий показатель располагаемого ПК элементов ТС будет представлять собой функционал от указанных компонент, отражающий "эстафетный" принцип его формирования, а именно:

$$Q_c^n(t) = F'_{q_3} [Q_c^n(t), Q_c^\phi(t)] = F'_{q_4} [Q_c^p(t), Q_c^{np}(t), Q_c^s(t), Q_c^u(t)] \quad (3.15)$$

Так как, исходя из представления (3.12) показатели уровня, каждой из компонент, количественно определяются совокупностью показателей соответствующих БС элементов ТС, то и выражение функционала (3.13) следует представлять в зависимостях от соответствующих показателей БС. В частности, это значит, что промышленную функциональную компоненты ПК можно определять как функционалы от показателей  $\{БС_i\}$  соответствующей группы, т.е.

$$Q_c^o(t) = F_{q_0} [\{W_{Bi}(t); i = 1, 2, 3, \dots, N^n\}] \quad (3.16)$$

$$Q_c^\phi(t) = F_{q_0} [\{W_{Bi}(t); i = 1, 2, 3, \dots, N^\phi\}]$$

Аналогичным образом следует определять разработочную, производственную эксплуатационную и целевую компоненты ПК, являющихся функционалами от показателей соответствующей подгруппы БС.

Каждая из компонент ПК характеризует ТС, как объекты промышленного создания и функционального использования, и отражает этапные фазовые меры их технической приспособленности к взаимодействию тем или иным способом по той или иной ОС с этапными компонентами ПФС. Так, в частности, уровень  $Q_c^n(t)$  определяет меру приспособленности ТС к промышленным "возможностям", а уровень  $Q_c^\phi(t)$  - к функциональным "потребностям". В соответствии с этим данные компоненты могут рассматриваться как показатели качества ТС с частных, ведомственных точек зрения: промышленности (разработчиков и изготовителей) и заказчика (эксплуатационников и персонал, использующий технику по назначению). Последние, как показывает опыт работ, при выработке и согласовании требований к качеству ПС стремятся задать наиболее высокий уровень ПК.

Основой для определения уровня количественных показателей компонент ПК, которым располагают ТС, в выражении (3.16) служат этапные функционалы,

технической приспособленности типа (3.14). Эти функционалы можно представить на основе соответствующих групп обобщенных базовых и частных квалиметрических параметров, например

$$Q_c^n(t) = F_{q1}'[(P_\theta^n(e))] = F_{q3}'[l_{B11}(t), l_{B12}(t), \dots, l_{B21}(t), l_{B22}(t), \dots, l_{Bn1}(t), l_{Bn2}(t), \dots, N^n] \quad (3.17)$$

Этапные компоненты ПК взаимосвязаны, т.к. все они определяются структурой ТС, выбираемой исходя из условий выполнения этими ТС целевых задач. Отсюда следует, что целевая компонента ПК определяет уровень всех его остальных компонент, т.е.

$$Q_c^p(t) = F_{q4}'[Q_c^u(t)]; Q_c^{np}(t) = F_{q4}'[Q_c^u(t)]; Q_c^i(t) = F_{q4}'[Q_c^u(t)] \quad (3.18)$$

Если принять во внимание, что общесистемные, для сложных ТС в целом, показатели этапных компонент ПК формируются из соответствующих этапных подсистемных показателей качества, проявляющихся на каждом из этапов ЖЦ, то выражение (3.18) для  $Q_c^0(t)$  в развернутой форме целесообразно представлять в виде функционала многомерной ( $4 \times m_y$ ) матрицы-функции, члены которой - этапные показатели качества подсистем, типа  $Q_c^0(t) = F_{q5}'[M_{q0}(t)]$ , где

$$M_{q0}(t) = \begin{bmatrix} Q_{PC1}^P(t) & Q_{PC1}^{nP}(t) & Q_{PC1}^{\text{э}}(t) & Q_{PC1}^u(t) \\ Q_{PC2}^P(t) & Q_{PC2}^{nP}(t) & Q_{PC2}^{\text{э}}(t) & Q_{PC2}^u(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{PCm_y}^P(t) & Q_{PCm_y}^{nP}(t) & Q_{PCm_y}^{\text{э}}(t) & Q_{PCm_y}^u(t) \end{bmatrix}. \quad (3.19)$$

Это матрица может рассматриваться как математическая модель показателей располагаемого ПК (т.е. системы ценностей) сложных ТС, отражающая этапную подсистемную форму его образования и структурную размерность этих ТС.

Однако, при исследовании ТС, с присущей им конкретной структурой построения, уровень показателей ПК не может быть определен однозначно в связи с невозможностью однозначного установления фактических параметров ПФС и ОС которые будут реализованы при создании и функционировании этих ТС в действительности. Следовательно, необходим расчет вероятных значений показателей ПК, который учитывал бы вероятность реализации а-ой промышленной  $P_a^n$  и в-й функциональной  $P_b^\Phi$  ситуации, характеризуемых, из множества возможных, кон-

кретным совокупным сочетаниям параметров ПФС.

Необходимо отметить, что разработочное, производственное, эксплуатационное целевое качество, исследуемых ТС, следует отличать от созвучных понятий качество разработки, производства, эксплуатации и целевого применения, используемых некоторыми авторами в специальной литературе [92. 95], которые характеризуют прежде всего качество протекания соответствующих процессов, определяемых их конечными результатами. В последнем случае более уместно использовать понятие «эффективность».

Следует отметить, что одному и тому же показателю качества ТС может соответствовать несколько критериев. Выбор конкретного критерия делается в зависимости от постановки задачи, этапа разработки и целей оценки, ввиду их косвенности и локальности.

Для количественного измерения показателей качества ТС, так же как и их свойств, используются критерии: матричного (дифференцированного) типа, в виде матрицы из всей совокупности критериев уровня показателей БС (основных характеристик) или подсистемных критериев качества ТС, представленной в выражении (3.19), без сведения их к единым обобщенным критериям (такой подход к измерению критериев качества используется в настоящее время, как правило, во взаимоотношениях между заказчиками и разработчиками сложных ТС); поликритериального (векторного) типа, в виде совокупности, представленной в выражении (3.15), ограниченного числа критериев, представляющих собой, в частности, основные компоненты ПК ТС, которые могут записываться в виде вектора или кортежа; монокритериального (скалярного) типа, в виде единых критериев.

Несмотря на то, что в настоящее время разработано много методов решения исследовательских задач с использованием матричных и векторных критериев качества (типа методов поочередного выравнивания, последовательных уступок, ранжирования отдельных компонент ПК) [92, 95], самой прогрессивной формой оценки уровня качества сложных ТС является выражение его показателей в виде единого количественного критерия, позволяющего в максимальной степени формализовать, упростить и обеспечить принятие объективных технических решений

в ходе управления эффективностью исследуемых ТС [32]. От того, какой критерий эффективности ТС выбирается главным, насколько он объективен, зависят не только результаты отдельных технических решений, но и направления развития целых отраслей современной мобильной техники на длительный период времени.

Изложенные принципы формирования критериев эффективности исследуемых ТС могут быть положены в основу практической деятельности научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий.

### **3.5. Выводы**

В ходе теоретических исследований были проанализированы пути становления и развития теории повышения эффективности технической эксплуатации подвижного состава .

В результате анализа предложен кибернетический подход, на основе которого возможно исследования объектов современной техники, где инженерная кибернетика, может рассматриваться как следующий шаг в развитии отечественной комплексной и американской системотехнической методологии с их концепциями комплексного и системного подходов.

На основе кибернетического подхода предложен алгоритм исследования и повышения эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава включающий:

1. Использование моделирования для исследования и повышения эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава;
2. Определение номенклатуры основных свойств и показателей, исследуемой технической системы;
3. Определение качества и показателей, характеризующих его уровни у исследуемой технической системы;

## 4. Экспериментальные исследования

### 4.1. Характеристика программы экспериментальных исследований

В ходе теоретических исследований было установлено, что выбор диагностируемых параметров структурно состоит из двух этапов. Первый этап заключается в сравнительной оценке объектов диагностирования. При этом в качестве исходных данных использовались результаты подконтрольной эксплуатации подвижного состава МУП города Рязани «УРТ».

На втором этапе для выбранного перечня объектов отбираются диагностические параметры. Однако, предварительно необходимо определить вероятностные характеристики нахождения отобранных объектов в исправном и неисправных состояниях. В этом случае исследуемой характеристикой является вероятность  $S_j$  -го состояния по причине отказа  $j$  - го элемента объекта диагностирования.

Для определения вероятностей возникновения отказов был использован пассивный эксперимент [18, 44, 127], заключающийся в наблюдении и регистрации входных и выходных переменных исследуемого процесса в режиме его обычного протекания без вмешательства исследователя.

При этом методе исследователь вынужден пассивно ожидать результаты эксперимента и тратить значительное время для получения необходимого объема информации. Однако его применение объективно необходимо, потому что исследуемые вероятности являются результатом реально протекающего процесса. Для построения математических моделей объектов при пассивном эксперименте используются методы регрессионного и корреляционного анализа [127].

При сборе исходной информации рассматривались результаты подконтрольной эксплуатации подвижного, обобщенные в технических отчетах [106, 130-132], информационные карты о надежности машин подконтрольной эксплуа-

тации, а также анализировались результаты исследований, проведенные другими авторами [23].

Помимо сбора информации программа исследований включала определение объема наблюдений, определение объектов контроля, обработку и статистический анализ экспериментальных данных и выявление диагностических параметров по автомобилям.

#### 4.2. Определение числа объектов наблюдений

Наблюдения в условиях эксплуатации представляют собой процесс, обеспечивающий получение достоверной информации о надежности наблюдаемых объектов.

Цель планирования наблюдений заключается в определении требуемого объема наблюдений для получения оценок показателей надежности с заданной точностью и достоверностью [120].

Под объемом наблюдений при исследовании вероятности появления отказов понимается число объектов наблюдений  $N$ .

Исходными данными для расчета минимального объема наблюдений явились:

- доверительная вероятность  $\gamma$  - вероятность того, что доверительный интервал накроет действительное значение параметра по выборочным данным [35]. Она выбирается из ряда 0,80; 0,90; 0,95; 0,99 и представляет собой характеристику надежности показателя;

- предельная относительная ошибка  $\delta$ , характеризующая интервал, который с заданной вероятностью накроет неизвестное значение оцениваемого параметра. Она выбирается из ряда 0,05, 0,10, 0,15, 0,20 и представляет собой меру точности оценки показателя.

При этом доверительным интервалом  $I_\gamma$  называют интервал, который покрывает неизвестный параметр с заданной надежностью  $\gamma$  [78].

При известном законе распределения случайной величины (вероятности появления отказов), а также задавшись предельной относительной ошибкой  $\delta=0,15$ , доверительной вероятностью  $\gamma=0,8$ , при коэффициентах вариации 0,3; 0,6; 1 (план  $NUn$ ) получим соответственно для нормального закона распределения не менее пяти; для распределения Вейбулла не менее пятнадцати; для экспоненциального закона не менее сорока объектов наблюдений [120].

Исходными данными для плана  $NUz$  при определении числа наблюдений при неизвестном законе распределения являются доверительная вероятность  $\gamma$ , предполагаемое значение вероятности  $P(L)$ , установленное число отказов (предельных состояний). Число наблюдений устанавливается по таблицам [120] и при  $P(L)=0,9$  с доверительной вероятностью  $\gamma=0,8$  будет равно  $N \geq 15$ .

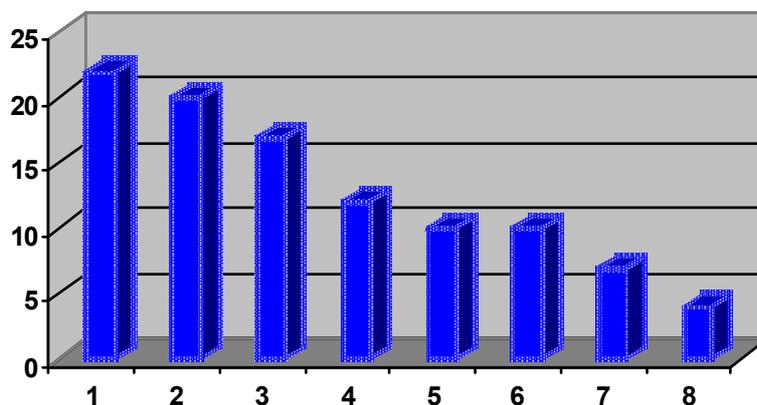
В соответствии с расчетом, изложенным в данном исследовании был принят объем выборки  $N=15$ . Для определения вероятности отказов анализировалась исходная информация по эксплуатационной надежности. Суммарный пробег, которых за период подконтрольной эксплуатации составил 668100 км.

### 4.3. Определение объектов диагностирования

В ходе теоретических исследований, изложенных во 2 главе, разработана методика выбора объектов подвижного состава, подлежащих техническому диагностированию. Для проверки правильности разработанных теоретических постулатов, необходимо произвести выбор объектов диагностирования по указанным в пункте 2.3 критериям, используя в качестве исходных данные по подконтрольной эксплуатации подвижного состава.

Анализ статистических данных подвижного по результатам подконтрольной эксплуатации позволил обоснованно установить распределение отказов по объектам диагностирования (рисунок 4.1).

Анализ информации о надежности подвижного состава [107, 134-136] показывает, что конструктивные отказы составляют 43,6 %, производственные – 32,2 %, эксплуатационные – 24,2 %. Из них внезапные отказы составляют 38,7 %, а постепенные – 61,3 %.



1-двигатель и его системы, 2-ходовая часть, 3-трансмиссия, 4-кабина, корпус, платформа, 5-тормозная система, 6-электрооборудование, 7-рулевое управление, 8-спецоборудование

Рисунок 4.1 – Относительное распределение отказов по агрегатам, механизмам и системам машины

Необходимые для расчета объектов контроля исходные данные по пробегу до возникновения отказа, трудоемкости устранения отказов, стоимостям заменяемых деталей и возможностям устранения отказов водителем приведены в приложении А [112-119]. Результаты расчета объектов по указанным в пункте 5.3 критериям приведены в таблице 4.1.

Анализ общей суммы рангов и место, занятое каждым объектом по результатам расчета показывает, что в первую очередь диагностированию

Таблица 4.1 – Результаты оценки целесообразности диагностирования объектов

Объект контроля	$B_i$ , руб./тыс.км	Ранг	$V_i$	Ранг	Сумма ран- гов	Общий ранг
1	2	3	4	5	6	7
3 Системы управления						
1.1 Рулевое управление	0,45	13	0,33	5	18	7
4 Электрооборудование						
2.1 Система электроснабжения	0,14	16	0	11	27	12
5.2 Система пуска	2,28	5	0,61	3	8	3
2.3 Система освещения, звуковой и световой сигнализации	1,29	7	0,13	8	15	5

должны подлежать, тормозная система, рулевое управление, система пуска и система освещения и световой сигнализации.

Таким образом, на следующем этапе экспериментальных исследований определяется рациональный состав диагностируемых параметров для системы рулевого управления и системы освещения, звуковой и световой сигнализации.

#### 4.4. Обработка и статистический анализ экспериментальных данных

В результате расчетов, проведенных в пункте 4.3 были выявлены объекты, подлежащие диагностированию.

К ним относятся система питания топливом, цилиндропоршневая группа, сцепление, коробка перемены передач, раздаточная коробка, колеса, тормозная система, рулевое управление, система пуска и система освещения и световой сигнализации. Для данных объектов контроля необходимо определить рациональную совокупность диагностируемых параметров.

Однако первоначально должны быть определены вероятности появления отказов объектов на рассматриваемом пробеге. Для этой цели методами теории

вероятностей и математической статистики необходимо решить следующие задачи:

1 Определить статистические вероятности появления отказов объектов на рассматриваемом пробеге.

2 Разработать математические модели (регрессионные зависимости) вероятности отказов от пробега.

3 Провести статистическую оценку значимости коэффициентов регрессионных моделей.

4 Проверить регрессионные модели на адекватность.

5 Определить вероятности возможных состояний объектов.

#### **4.4.1. Определение статистических вероятностей появления отказов объектов диагностирования**

Для систематизации исходного материала необходимо построить статистические ряды [21]. Исходными данными служат:

- распределение отказов ОД по рассматриваемому пробегу;
- общее число отказов исследуемых ОД за рассматриваемый период.

Для оценки статистической вероятности  $P_i^*$  появления отказа  $i$ -го ОД исходную статистическую совокупность значений случайной величины необходимо разделить на интервалы или разряды и подсчитать количество отказов  $m_i$ , приходящееся на каждый разряд. Статистическая вероятность определяется по формуле [34]:

$$P_i^* = \frac{m_i}{n}, \quad (4.1)$$

где  $m_i$  - количество отказов  $i$ -го объекта на данном интервале пробега;

$n$  - общее число отказов исследуемых ОД на рассматриваемом пробеге.

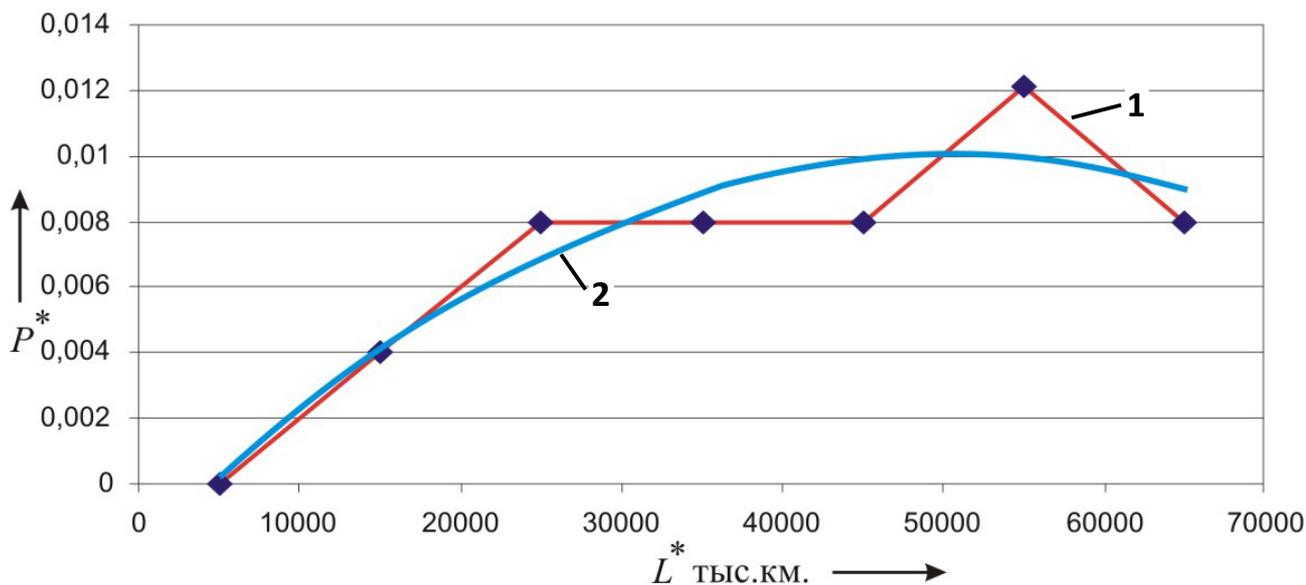
Сумма частот (статистических вероятностей) всех интервалов, очевидно, должна быть равна единице.

Количество отказов по объектам контроля приведено в таблице 4.1.

Статистические ряды распределения величины  $P_i^*$  для исследуемых объектов диагностирования представлены в таблице 4.2, соответствующие им полигоны распределения показаны на рисунках 4.2-4.12 (позиция 1).

Таблица 4.2 – Статистические ряды распределения величины

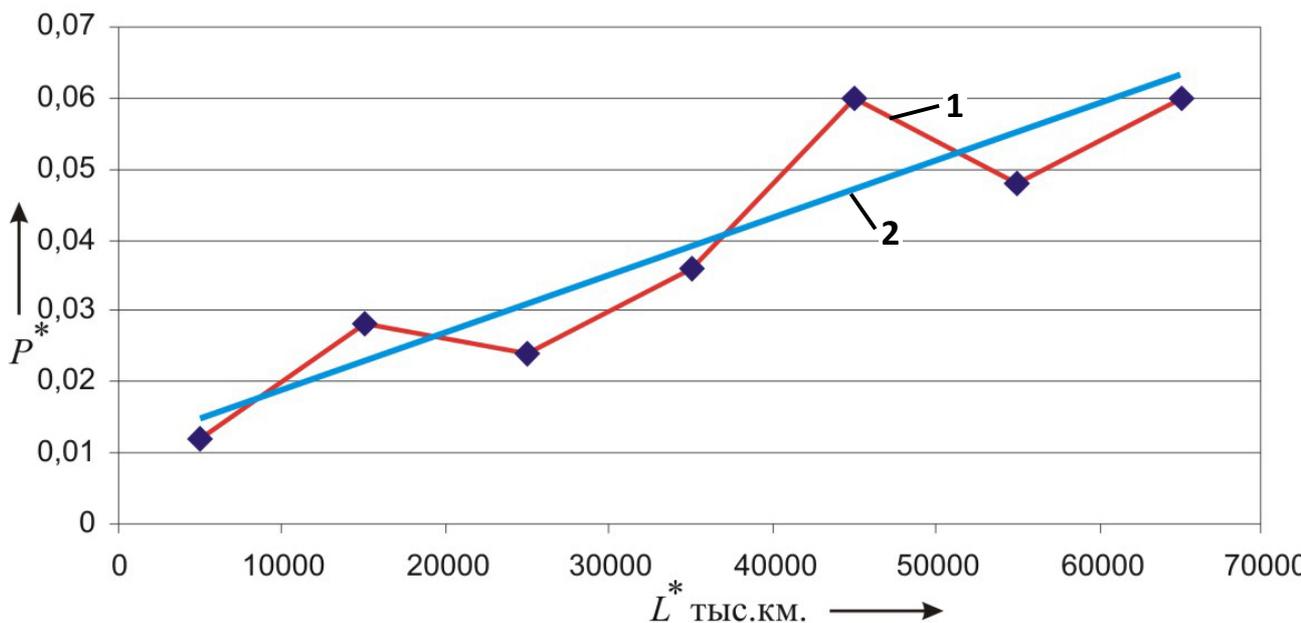
	Интервал, тыс.км						
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Рулевое управление							
$m$	0	1	2	2	2	3	2
$P^*$	0	0,004	0,008	0,008	0,008	0,0121	0,008
Система освещения, звуковой и световой сигнализации							
$m$	3	7	6	9	15	12	15
$P^*$	0,0121	0,0281	0,0241	0,036	0,06	0,048	0,06
ИТОГО: по автомобилю							
$m$	3	8	8	11	17	15	17



1 - Полигон распределения статистической вероятности отказов рулевого управления;

2 - Зависимость вероятности появления отказа от пробега для рулевого управления

Рисунок 4.1



- 1 - Полигон распределения статистической вероятности отказов системы освещения, звуковой и световой сигнализации;  
 2 - Зависимость вероятности появления отказа от пробега для системы освещения, звуковой и световой сигнализации

Рисунок 4.2

Следует отметить, что полигон распределения является графическим изображением ряда распределения, который строится путем восстановления перпендикуляра к оси абсцисс для каждого значения случайной величины, полученные точки для наглядности (и только для наглядности) соединяются отрезками прямых [21].

Анализируя полигоны распределения можно сделать предположение о виде зависимости [5] между переменными  $P$  и  $L$ . Так, вероятная связь между переменными для системы освещения, звуковой и световой сигнализации и колес предположительно является линейной, для системы питания топливом, цилиндропоршневой группы, сцепления, коробки перемены передач, раздаточной коробки, рулевого управления, тормозной системы, системы пуска и автомобиля в целом – квадратичной.

#### 4.4.2. Регрессионные зависимости вероятности отказов объектов

### диагностирования от пробега

Основной задачей регрессионного анализа является установление вида функции, связывающей функцию отклика с факторами, оказывающими на нее влияние. Уравнения регрессии определяют математические зависимости между переменными физического процесса, поэтому их называют математическими моделями [45, 84].

Выше было указано, что предполагаемая зависимость между переменными описывается полиномом первой и второй степеней. Теперь необходимо выбрать параметры полиномов, чтобы теоретические зависимости наилучшим образом аппроксимировали экспериментальные зависимости.

Общепринятым при решении подобных задач является метод наименьших квадратов, при котором требование наилучшего согласования теоретической зависимости и экспериментальных точек сводится к тому, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от сглаживающей кривой обращалась в минимум, то есть

$$S = \sum_{i=1}^n (\bar{y}_n - y_{эксн})^2 \rightarrow \min , \quad (4.2)$$

Обработка экспериментальных данных проводилась на ЭВМ с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel [13].

В результате работы программы были определены коэффициенты моделей и получены регрессионные зависимости вероятности появления отказов на пробеге от 0 до 70000 километров:

Для рулевого управления:

$$P_8 = -0,0021 + 5 \cdot 10^{-7} L - 5 \cdot 10^{-12} L^2 , \quad (4.10)$$

Для системы освещения, звуковой и световой сигнализации:

$$P_{10} = 0,0109 + 8 \cdot 10^{-7} L , \quad (4.12)$$

Соответствующие полученным моделям графики зависимостей показаны на рисунках 4.1-4.2 (позиция 2).

Таким образом, проведенные в рамках раздела экспериментальные исследования позволили установить закономерность изменения вероятностей появления отказа на пробеге от 0 до 70000 километров и разработать на их основе регрессионные зависимости, которые могут быть использованы для прогнозирования технического состояния объектов диагностирования и определения рациональной периодичности их контроля.

#### 4.4.3. Статистическая оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

Оценка значимости коэффициентов моделей производилась по очереди. При этом проверялись гипотезы  $H_{oj} : \beta_j = 0$  (величина  $P$  не зависит от  $L$ ), против альтернативной  $H_{oj} : \beta_j \neq 0$  [68].

Оценка значимости коэффициентов производилась с помощью критерия Стьюдента, записанного в виде следующего альтернативного условия, отвечающего левосторонней критической области:

$$t_{опыт} = \frac{|B_j - \beta_j|}{S\{B_j\}}, \quad (4.14)$$

если  $t_{опыт} \geq t_{табл} (\alpha, k = n - 1)$  – гипотеза  $H_{oj}$  отвергалась с риском ошибки не более чем 5 %, где  $t_{опыт}$  – опытное значение критерия Стьюдента;

$t_{табл}$  – табличное (критическое) значение критерия Стьюдента;

$|B_j|$  – абсолютное значение оцениваемого коэффициента;

$S\{B_j\}$  - стандартная ошибка коэффициента модели;

$\alpha$  - уровень значимости,  $\alpha = 0,05$  при 95% доверительной вероятности;

$n$  - полный объем выборки;  $k$  - число степеней свободы.

Причем:

$$S\{B_j\} = \frac{S_j}{\left\{ \sum_{j=1}^n (X_{ji} - \bar{X})^2 \right\}^{1/2}},$$

где  $S_j$  - оценка среднеквадратического отклонения;

$X_{ji}$  - значение  $j$  переменной в  $i$  - й точке наблюдения;

$\bar{X}$  - среднее значение  $j$  - й переменной.

Табличное значение критерия Стьюдента определялось по таблицам [40].

Оценка значимости коэффициента приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Оценка значимости коэффициентов модели

Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка коэффициента регрессии	Множественная корреляция	$\frac{t_{опыт}}{t_{табл}}$
1	2	3	4
Рулевое управление			
$5 \cdot 10^{-7}$	$1,87 \cdot 10^{-8}$	0,81	$\frac{3,154}{2,447}$
$-5 \cdot 10^{-12}$	$-4,64 \cdot 10^{-13}$		$\frac{-3,092}{2,447}$
Система освещения, звуковой и световой сигнализации			
$8 \cdot 10^{-7}$	$1,48 \cdot 10^{-8}$	0,92	$\frac{4,863}{2,447}$

Анализ полученных результатов (таблицы 4.3) свидетельствует о том, что все коэффициенты разработанных регрессионных моделей вероятности появления отказа от пробега оказались статистически значимыми.

#### 4.4.4. Проверка математических моделей на адекватность

При оценке математической регрессионной модели выдвигались две гипотезы: - модель адекватная; - модель неадекватная.

Проверка правдоподобности гипотезы об адекватности производилась с помощью критерия Фишера, записываемого в виде следующего альтернативного условия:

$$F_{опыт} = \frac{S^2\{y\}}{S^2\{y\}_{восп}}, \quad (4.15)$$

при  $F_{опыт} \geq F_{табл}$  - модель адекватная (нулевая гипотеза  $H_0$  ( $\alpha = 0,05, K_1 = n - d - 1, K_2 = n - 1$ ) отвергается с риском ошибки не более, чем 5%).

где  $S^2\{y\}_{восп}$  - дисперсия воспроизводимости эксперимента;  $S^2\{y\}$  - построчные дисперсии;  $\alpha$  - число значащих коэффициентов модели.

Результаты проверки математических моделей приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Таблица однофакторного дисперсионного анализа

Источник дисперсии	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	$\frac{F_{опыт}}{F_{табл}}$
1	2	3	4	5
Рулевое управление				
Регрессия	$5,77 \cdot 10^{-5}$	2	$2,16 \cdot 10^{-6}$	$\frac{9,56}{6,16}$
Отклонение от регрессии	$3,02 \cdot 10^{-5}$	4	$6,04 \cdot 10^{-6}$	
Полная	$8,79 \cdot 10^{-5}$	6		
Система освещения, звуковой и световой сигнализации				
Регрессия	$1,72 \cdot 10^{-3}$	1	$1,72 \cdot 10^{-3}$	$\frac{27,37}{4,95}$
Отклонение от регрессии	$3,14 \cdot 10^{-4}$	5	$6,28 \cdot 10^{-5}$	
Полная	$2,03 \cdot 10^{-3}$	6		

Полученные результаты однофакторного дисперсионного анализа (таблица 4.4) показывают, что построенные математические модели адекватно описывают изучаемые явления.

Для дополнительной проверки адекватности разработанных моделей был выполнен анализ остатков [41]. Проведенные с помощью программы «Microsoft Excel» расчеты показали, в ряду остатков отсутствует систематическая составляющая (ряд не имеет закономерности, его элементы случайны), а последовательные остатки независимы между собой, что подтверждает правильность построенных регрессионных моделей. Графики остатков представлены в приложении Б.

#### 4.4.5. Определение вероятностей возможных состояний объектов

Каждый ОД может находиться как в исправном состоянии, так и в неисправных состояниях по причине отказа одного из составных элементов объекта. В п. 2.4 было принято допущение, что при разделении объекта на  $N$  элементов и двухальтернативном исходе контроля для каждого из них множество отказов ОД характеризует его как вероятностную систему с конечным множеством состояний, равным числу отказавших его составных элементов, появление каждого из которых характеризуется вероятностью. Вероятность появления отказа объектов определяется по зависимостям (рисунки 4.2 - 4.12). Вероятность исправного состояния определяется как вероятность противоположного события по формуле:

$$P(S_0) = 1 - P(\bar{S}_0), \quad (4.16)$$

где  $P(S_0)$  - вероятность исправного состояния объекта диагностирования;

$P(\bar{S}_0)$  - вероятность появления неисправных состояний.

С учетом аксиомы сложения [15, 77], гласящей, что вероятность появления одного из нескольких независимых и несовместимых однородных (принадлежащих к одной группе) событий равна сумме вероятностей этих событий, вероят-

ность  $P(\bar{S}_0)$  принимается равной сумме вероятностей отказов составных элементов объекта диагностирования.

В результате, пренебрегая вероятностями совместного появления отказов  $\langle S_1, \dots, S_j \rangle$  и принимая их появление событиями независимыми [24], находим:

$$P(\bar{S}_0) \approx \sum_{j=1}^N P(S_j) \quad (4.17)$$

$$P(S_0) \approx 1 - \sum_{j=1}^N P(S_j) \quad (4.18)$$

Таким образом, вероятности возможных состояний ОД определяются с учетом вероятности отказа объекта и соотношения отказов элементов ОД на данном интервале пробега.

#### 4.5. Определение диагностических параметров

При определении параметров, подлежащих диагностированию рассчитывалась информационная значимость каждого контролируемого параметра. Для этого предварительно разработаны структурно-следственные модели объектов на основе оценки их надежности и анализа причинно-следственных связей. Структурно-следственные модели объектов диагностирования представлены в приложении В.

Проведенный анализ структурно-следственных моделей объектов диагностирования позволил однозначно установить перечень диагностических параметров для некоторых агрегатов и систем автомобиля.

Вместе с тем, анализ структурно-следственных моделей систем и результаты ранее проведенных исследований [70, 104] позволили построить матрицы состояний, характеризующие распознавание параметрами возможных состояний объектов.

Матрица состояний рулевого управления, включающая исправное состояние  $S_0$  и неисправные состояния объекта по причине отказа  $S_1$  – рулевых тяг;  $S_2$  – насоса гидроусилителя руля;  $S_3$  – рулевого механизма (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Матрица состояния рулевого управления

Параметры	Состояния			
	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$y_1$ - суммарный люфт в рулевом управлении	1	0	1	0
$y_2$ - усилие на рулевом колесе	1	1	0	1
$y_3$ - давления развиваемое насосом ГУР	1	1	0	1

Матрица состояний системы освещения световой и звуковой сигнализации, включающая исправное состояние  $S_0$  и неисправные состояния объекта по причине отказа  $S_1$  – реле указателей поворота;  $S_2$  – предохранителей;  $S_3$  - замыкания проводов,  $S_4$  - окисления контактов,  $S_5$  - перегорания нитей накаливания ламп системы (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Матрица состояния системы освещения, звуковой и световой сигнализации

Параметры	Состояние					
	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
$y_4$ - напряжение на участках цепи	1	1	0	0	0	0
$y_5$ - сила света фар	1	1	1	1	1	0
$y_6$ - частота проблесков указателей поворота	1	0	1	1	1	1

Согласно теоретическим исследованиям, проведенным в разделе 2.4 первоначальным этапом в определении значимости диагностических параметров объектов диагностирования является расчет для каждого из них максимально возможного значения априорной энтропии.

Максимум априорной энтропии для объектов диагностирования определялся по формуле (4.19):

$$H_0 = -(P(S_0)\log_2 P(S_0) + P(S_1)\log_2 P(S_1) + P(S_2)\log_2 P(S_2) + P(S_3)\log_2 P(S_3)) + P(S_4)\log_2 P(S_4) + P(S_5)\log_2 P(S_5) + \dots + P(S_i)\log_2 P(S_i) , \quad (4.19)$$

где  $P(S_0)$  - вероятность исправного состояния;  $P(S_1), \dots, P(S_i)$  - вероятности нахождения ОК в неисправном состоянии по причине отказа  $i$  - го элемента.

Значения, полученные в результате расчета максимальной энтропии объектов диагностирования приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Значения максимальной энтропии объектов диагностирования

Наименование объекта диагностирования	Расчетное значение Максимальной энтропии $H_0$ , дв.ед.
Рулевое управление	0,27
Система освещения, звуковой и световой сигнализации	1,27

Результаты расчета количества приносимой каждым параметром информации и остающейся после их контроля апостериорной энтропии технического состояния объектов диагностирования приведены в таблицах 4.12 – 4.13.

Таблица 4.12 – Результаты расчета количества информации и энтропии ТС рулевого управления

Параметры	Состояния				Апостериорная энтропия, дв. ед	Количество информации, бит.
	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$		
$Y_1$	1	0	1	0	0,123	0,147
$Y_2$	1	1	0	1	0,248	0,022
$Y_3$	1	1	0	1	0,248	0,022

Таблица 4.13 – Результаты расчета количества информации и энтропии ТС системы освещения, звуковой и световой сигнализации

Параметры	Состояния	Апостериор-	Количе-
-----------	-----------	-------------	---------

	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	ная энтропия дв. ед	ство ин- форма- ции, бит.
$Y_4$	1	1	0	0	0	0	0,44	0,83
$Y_5$	1	1	1	1	1	0	0,65	0,62
$Y_6$	1	0	1	1	1	1	1,23	0,04

Таким образом, результаты анализа структурно следственных связей ОД, приведенные выше, и проведенные расчеты по определению информационной значимости диагностических параметров позволили установить их рациональный перечень для каждого объекта диагностирования (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Рациональный перечень диагностических параметров

Наименование объекта диагностирования	Наименование диагностического параметра
Рулевое управление	12 Суммарный люфт в рулевом управлении;
Система освещения, звуковой и световой сигнализации	15 Напряжение на участках цепи.

#### 4.6. Выводы

В ходе экспериментальных исследований была разработана программа экспериментальных работ, в которой обоснованы объемы требующихся наблюдений,

определены объекты диагностирования, описан порядок обработки исходной информации и статистический анализ экспериментальных данных.

На основе экспериментальных исследований были получены результаты, позволяющие сделать следующие основные выводы:

1. В результате апробации способа отбора объектов контроля было установлено, что в первую очередь должны подлежать диагностированию: рулевое управление и система освещения световой и звуковой сигнализации;

2. Для определения вероятностных характеристик возможных состояний, указанных выше объектов, на основе статистического анализа разработаны математические модели вероятности появления отказа от пробега. Проведенные проверки по определению статистической значимости коэффициентов регрессионных моделей и адекватности подтвердили правильность их построения;

3. На основе проведенных расчетов информативности диагностических параметров определен их рациональный перечень, позволяющий производить объективную оценку технического состояния ПС в процессе их эксплуатации;

## **5. Разработка предложений по повышению готовности к использованию по назначению подвижного состава к использованию по назначению**

### **5.1. Повышение эффективности технического диагностирования подвижного состава**

#### **5.1.1. Рекомендации по прогнозированию технического состояния подвижного состава**

Результаты анализа имеющихся методов прогнозирования технического состояния подвижного состава, показали, что в настоящее время имеет место два основных случая установления остаточного ресурса [26, 29]: всей совокупности элементов машины; конкретного диагностируемого элемента.

В первом случае предупредительная замена элемента определяется периодичностью диагностирования и допустимым в момент диагноза значением параметра технического состояния.

Во втором случае по результатам оценки величины параметра конкретного элемента прогнозируется остаточный ресурс машины в целом.

Из вышесказанного следует, что имеющиеся в настоящее время методы прогнозирования технического состояния базируются на изучении закономерностей изменения диагностических параметров и конкретном определении их значений. Сложность установления закономерностей изменения по каждому диагностическому параметру машины приводит к значительным затратам времени на осуществление прогноза.

В этой связи, для исключения данного недостатка, прогнозирование технического состояния предлагается осуществлять, основываясь на закономерностях изменения вероятностей возникновения отказов в объектах диагностирования от пробега машины [27, 29, 39, 70].

Алгоритм прогнозирования технического состояния подвижного состава представлена на рисунке 5.1.

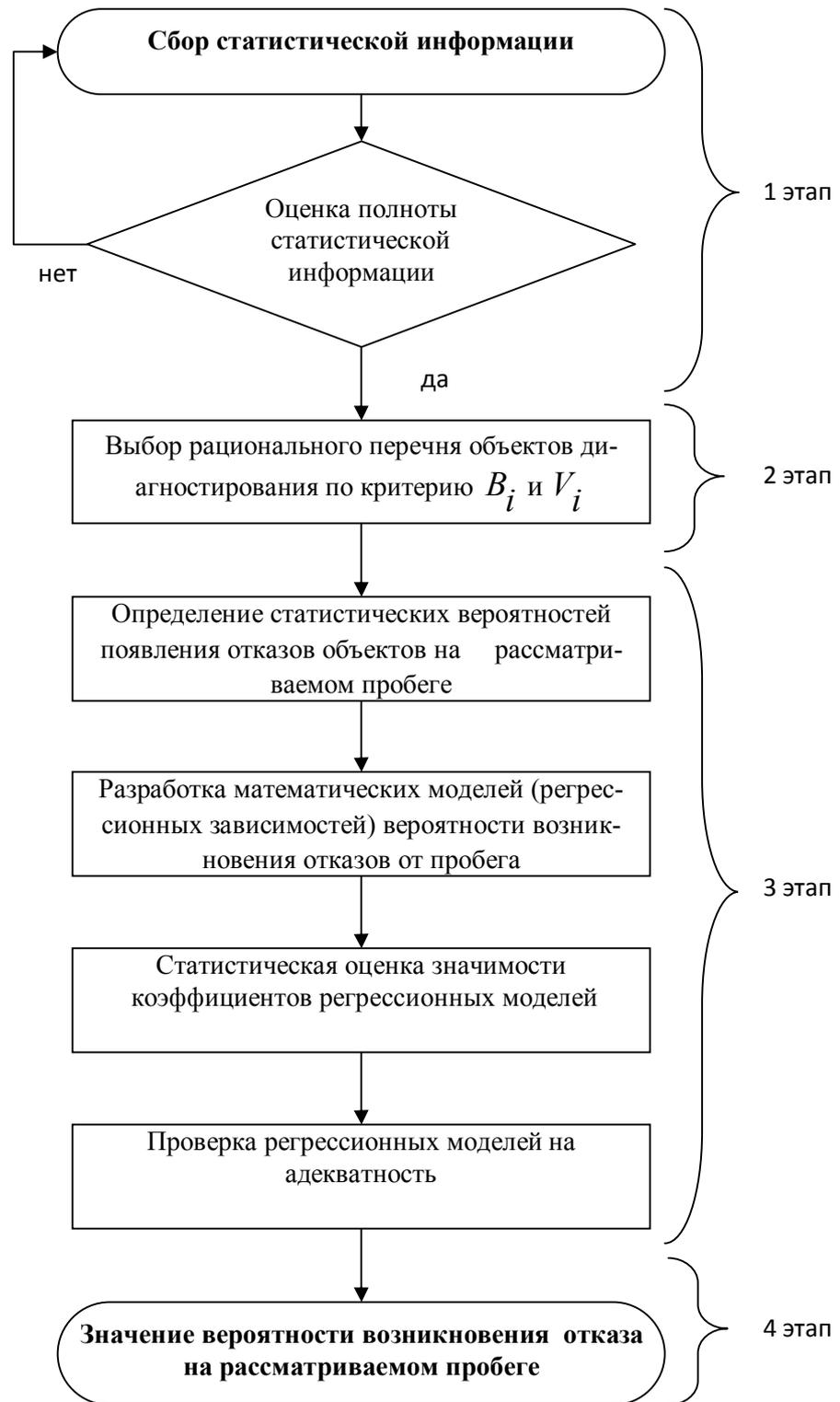


Рисунок 5.1 – Алгоритм прогнозирования технического состояния подвижного состава

Как видно из рисунка 5.1, на первом этапе осуществляется сбор статистической информации по результатам подконтрольной эксплуатации подвижного состава, приемочных, ресурсных, исследовательских и др. испытаний.

Первоочередной задачей при сборе статистической информации является определение числа объектов наблюдения. Под объемом наблюдений при исследовании вероятности появления отказов понимается число объектов наблюдений  $N$ .

Исходными данными для плана  $NUz$  при определении числа наблюдений при неизвестном законе распределения (а именно он, как правило, имеет место) являются:

- доверительная вероятность  $\gamma$  - вероятность того, что доверительный интервал накроет действительное значение параметра по выборочным данным [35]. Она выбирается из ряда 0,80; 0,90; 0,95; 0,99 и представляет собой характеристику надежности показателя;

- предполагаемое значение вероятности безотказной работы образца  $P(L)$  (как правило принимается  $\geq 0,9$ );

- установленное число отказов (предельных состояний) (соответственно 0).

Число объектов наблюдений устанавливается по таблицам [120], так при  $P(L)=0,9$  с доверительной вероятностью  $\gamma=0,8$  оно будет равно  $N \geq 15$ .

На втором этапе прогнозирования осуществляется выбор наиболее значимых объектов диагностирования машины. Выбор объектов диагностирования предлагается осуществлять по разработанному во 2 главе способу. В основу метода положено определение значений критерия относительной весомости отказов ОД и доли отказов, неустранимых водителем по следующим выражениям:

#### Критерий относительной весомости отказов

$$B_i = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^M n_{ij} K_{ij} (Z_{ij} \tau_{ij} + C_l), \quad (5.1)$$

где  $M$  - количество отказов  $i$ -го ОД на пробеге  $L$ ;

$n_{ij}$  - число  $j$ -х одноименных отказов  $i$ -го ОД на данном пробеге;

$K_{ij}$  - коэффициент влияния ОД на работоспособность машины;

$Z_{ij}$  - средняя величина заработной платы специалистов ремонтного подразделения при устранении  $j$ -го отказа  $i$ -го ОД, руб./чел.-ч;

$\tau_{ij}$  - средняя трудоемкость устранения  $j$ -го отказа  $i$ -го ОД, чел.-ч;

$C_l$  - стоимость заменяемых при  $l$ -ом ремонте узлов или деталей (в общем случае  $l \neq M$ ), руб.

Доля отказов неустранимых водителем

$$V_i = \frac{H_i}{M_i}, \quad (5.2)$$

где  $H_i$  - количество отказов  $i$ -го объекта диагностирования неустранимых водителем;

$M_i$  - общее количество отказов  $i$ -го объекта диагностирования.

В ходе выполнения третьего этапа определяются статистические вероятности появления отказов объектов на рассматриваемом пробеге, разрабатываются математические модели (регрессионные зависимости) вероятности отказов от пробега, проводится статистическая оценка значимости коэффициентов регрессионных моделей и проверка моделей на адекватность.

Следует учесть, что математическое описание, обоснование функции, учитывающей процесс изменения вероятности возникновения отказа от пробега, является весьма важным моментом в процессе прогнозирования. От выбора аппроксимирующей функции в конечном итоге зависят погрешность и трудоемкость прогнозирования.

Требования, предъявляемые к математическому описанию, обоснованию функции изменения вероятности возникновения отказа от пробега в основном сводятся к следующему [92].

Функция должна:

- быть возрастающей, отражать интегральный характер изменения вероятности возникновения отказа объекта диагностирования в зависимости от пробега;
- быть универсальной, характеризующей линейную, степенную, экспоненциальную и другие зависимости изменения вероятности возникновения отказа от пробега;
- содержать небольшое число коэффициентов, что облегчит прогнозирование и обеспечит возможность использования простых формул.

Итак, изменение вероятности возникновения отказа от пробега необходимо аппроксимировать случайной упорядоченной функцией с возрастающими реализациями. Значение функции в фиксированный момент является положительной многозначной величиной.

На четвертом, заключительном этапе осуществляется непосредственно прогнозирование технического состояния объектов диагностирования и автомобиля в целом путем расчета по уравнениям регрессии вероятности возникновения отказа на интересующем пробеге.

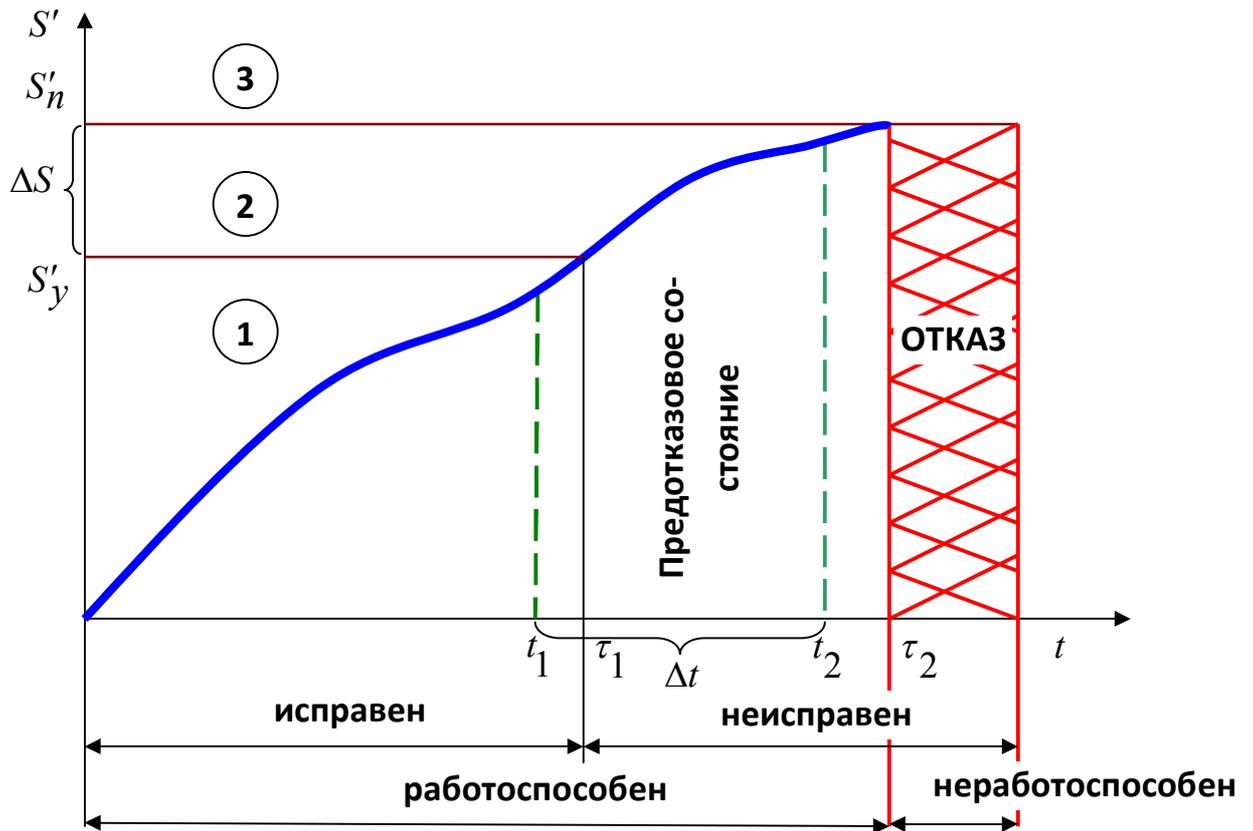
Таким образом, предлагаемый способ прогнозирования технического состояния подвижного состава по изменению вероятности возникновения отказа от пробега [70] позволяет снизить временные затраты на осуществление прогноза.

### **5.1.2. Рекомендации по определению периодичности контроля технического состояния подвижного состава**

Одной из основных задач прогнозирования технического состояния является предупреждение возникновения отказов в автомобилях.

Предупреждение отказов возможно за счет назначения упреждающих допусков (диагностических нормативов), которые позволяют предотвратить переход объекта контроля в неработоспособное состояние на межконтрольном пробеге. Динамика изменения параметра технического состояния объекта показана на рисунке 5.2.

На рисунке отображена область (зона) 1 - характеризующая исправное состояние; 2 - неисправное, но работоспособное (предотказовое); 3 - неработоспособное состояние.



$S'$  - параметр технического состояния;  $S'_y$ ,  $S'_n$  - упреждающее и предельное значения параметра;  $t_1$ ,  $t_2$  - моменты контроля;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  - моменты перехода в другое состояние.

Рисунок 5.2 – Характер изменения параметра технического состояния объекта контроля

Из рисунка 5.2 видно, что при попадании объекта в предотказовое состояние (зона 2) должны проводиться восстановительные работы для возвращения его в исправное состояние, то есть обслуживание должно проводиться в зависимости от фактического состояния объекта [7, 14, 69].

Величина упреждающего допуска  $\Delta S' = S'_n - S'_y$  связана с периодичностью контроля  $\Delta t = t_2 - t_1$  так, что реализация процесса изменения контролируемого параметра после пересечения уровня  $S'_y$  при наработке  $t_1 \leq \tau_1 \leq t_2$  до момента  $t_2$  не успевает пересечь уровень  $S'_n$  с вероятностью:

$$P(t) \geq P_3, \quad (5.3)$$

где  $P_3$  - заданный уровень вероятности безотказной работы за время  $\Delta t$ .

Следовательно, зная значение вероятности безотказной работы образца на конкретном интервале пробега и заданный уровень вероятности безотказной работы можно определить периодичность контроля технического состояния изделия МТ.

Вероятность безотказной работы образца на определенном интервале пробега определяется по следующему выражению:

$$P(t) = 1 - P^* \quad (5.4)$$

где  $P(t)$  - вероятность безотказной работы образца;

$P^*$  - вероятность возникновения отказа в образце.

Для определения вероятности безотказной работы образца предлагается использовать данные, полученные в результате прогнозирования его технического состояния по способу, изложенному в разделе 5,1.

Заданный уровень безотказной работы подвижного состава, используемых для осуществления транспортных перевозок должен быть не менее 0,9.

Алгоритм определения периодичности контроля технического состояния подвижного состава может быть представлена следующим образом (рисунок 5.3.)

Основной операцией, на основании которой определяется периодичность контроля технического состояния подвижного состава, является сравнение заданной вероятности безотказной работы образца с расчетным ее значением. При этом, для обеспечения заданного уровня надежности разность между этими значениями ( $P(t) - P_3$ ) должна быть не менее 0,05 [70, 80].

Таким образом, предложенный способ определения периодичности контроля технического состояния подвижного состава [14, 71] позволяет значительно снизить трудозатраты по определению периодичности контроля и повысить достоверность полученных результатов за счет расчета вероятностных характеристик автомобиля.

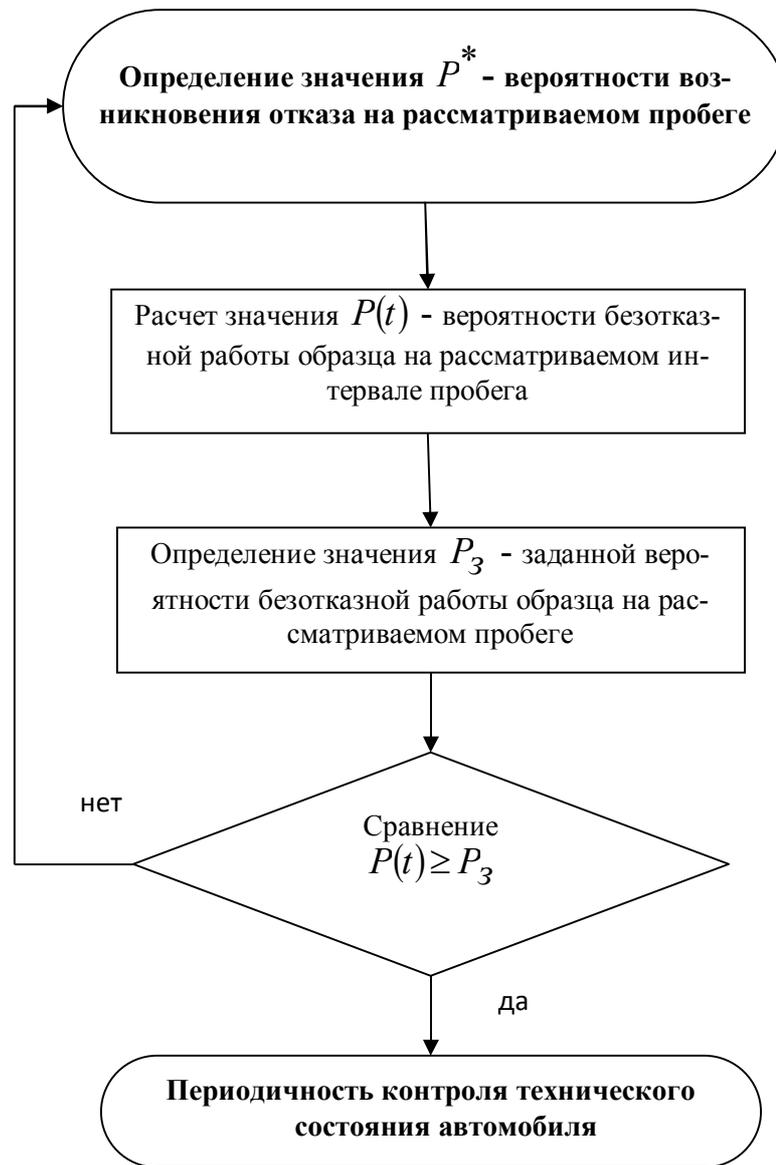


Рисунок 5.3 – Алгоритм определения периодичности контроля технического состояния подвижного состава

### 5.1.3. Алгоритмы технического диагностирования подвижного состава

Алгоритм диагностирования является одним из основных документов, описывающим технологический процесс технического диагностирования машины. Грамотно отработанный алгоритм диагностирования позволяет с наименьшими трудозатратами и в наиболее рациональной последовательности определить тех-

ническое состояние машины или производить поиск места отказа или повреждения.

Алгоритм технического диагностирования разрабатывается с учетом:

- конструктивной сложности и приспособленности машины к диагностированию;
- перечня диагностических и проверочно-регулирующих работ, предусмотренных руководством по эксплуатации или другим нормативным документом;
- диагностических характеристик машины;
- наличия и технических возможностей встроенных средств диагностирования;
- номенклатуры внешних СТД, поступающих на снабжение хозяйства, и их технических возможностей;
- ограничений по времени, отведенного для проведения диагностирования.

В связи с отсутствием алгоритмов диагностирования в руководствах по эксплуатации машин для практического использования и с учетом всех факторов, влияющих на проведение ТД подвижного состава, в приложении Г представлены типовые формы следующих алгоритмов:

- алгоритм диагностирования дизельного двигателя и электрооборудования;
- алгоритм диагностирования карбюраторного двигателя и электрооборудования;
- алгоритм диагностирования трансмиссии;
- алгоритм диагностирования ходовой части;
- алгоритм диагностирования рулевого управления;
- алгоритм диагностирования тормозной системы с гидроприводом;
- алгоритм диагностирования тормозной системы с пневматическим (пневмогидравлическим приводом);
- алгоритм диагностирования световых приборов.

При отсутствии в СПК необходимой нормативной документации по рассматриваемому вопросу приложение К должно явиться наглядным примером для

самостоятельной разработки специалистами алгоритмов диагностирования, соотносясь с конкретными условиями эксплуатации машин, их марочным составом и реальной оснащённостью парка диагностическим оборудованием.

Для разработки алгоритмов поиска места отказа или повреждения целесообразно использовать типовые формы схем структурно-следственных связей составных частей машины, представленных в приложении В.

#### **5.1.4. Экономическая оценка повышения эффективности технического диагностирования подвижного состава**

Для определения возможного эффекта от внедрения результатов новых методов и средств технического диагностирования проведена их экономическая оценка.

Разработанный в данном исследовании метод выбора рационального перечня диагностических параметров, практические рекомендации по использованию результатов работы имеют своей целью обеспечение требуемой точности и достоверности оценки технического состояния ПС, и повышение эффективности функционирования системы ТО по состоянию.

Кроме того, практические рекомендации по прогнозированию технического состояния и определению рациональной периодичности контроля ПС, разработанные в рамках настоящего диссертационного исследования будут способствовать принятию на оснащение СПК образцов с скорректированной по результатам подконтрольной эксплуатации системой контроля технического состояния.

Экономический эффект от внедрения предполагаемых результатов исследований достигается за счет сокращения рПСодов на закупку средств технического диагностирования ПС, необходимых для контроля их технического состояния.

Расчет экономической эффективности исследований  $\mathcal{E}$  рассчитывался для СПК на примере подвижного состава по следующему выражению [89, 101]:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{рек} - \mathcal{E}_{пр} , \quad (5.7)$$

где  $\mathcal{E}_{рек}$  - стоимость средств технического диагностирования подвижного состава КАМАЗ рекомендуемых для снабжения СПК;

$\mathcal{E}_{пр}$  - стоимость предлагаемого комплекта СТД подвижного состава (таблица 5.2).

В свою очередь, составляющие зависимости (5.7) рассчитываются по следующим выражениям [161, 182]:

$$\mathcal{E}_{рек} = K \cdot \sum_i^N C_i , \quad (5.8)$$

где  $K$  - количество подвижного состава, (на примере 10 ед);

$C_i$  - стоимость  $i$  - го средства технического диагностирования;

$N$  - количество средств технического диагностирования, рекомендуемых для снабжения СПК.

$$\mathcal{E}_{пр} = K \cdot \sum_i^M C_i , \quad (5.9)$$

где  $C_i$  - стоимость  $i$  - го средства технического диагностирования;

$M$  - количество средств технического диагностирования, входящих в предлагаемый комплект.

При осуществлении расчетов в качестве исходных были использованы стоимостные данные, указанные в прайс-листах организаций-изготовителей того или иного диагностического оборудования [108-110] (таблица 5.2).

В результате проведенных расчетов установлено, что стоимость комплекта диагностического оборудования для СПК рекомендованного на снабжение

составляет  $\mathcal{E}_{рек} = 1073620$  руб., а стоимость предлагаемого комплекта СТД -  $\mathcal{E}_{пр} = 258840$  руб.

Таблица 5.2 – Стоимость рекомендуемых средств технического диагностирования

Наименование оборудования	Марка	Стоимость, руб.
1	2	3
1. Прибор для контроля суммарного люфта рулевого управления	ИСЛ-М	23654
2. Линейка для проверки схождения передних колес подвижного состава	ПСК-ЛГ	1743
3. Приспособление для измерения давления масла	КИ-13936	1528
4. Индикатор загрязнения жидкости	ИЗЖ	2415
5. Индикатор рПСода картерных газов	КИ-13671	2752
6. Приспособление для проверки натяжения приводных ремней	ППНР-100	8200
7. Гидрометр (для определения плотности НОЖ)	АЭТ-1	2350
8. Прибор для проверки и регулировки света фар	ОП	36540
9. Люфтомер	КИ-4832	5460
10. Ампервольтметр	ЭК-2346-2	1856
11. Приспособление для замера остаточной глубины рисунка протектора шин	ИВП-1	3560
12. Манометр шинный	МД-3	2780
ИТОГО:	1073620	

Исходя из этого на основании выражения (5.9) имеем:

$$\mathcal{E} = 1202840 - 258840 = 814780 \text{ руб.} \quad (5.10)$$

Таким образом, произведенная оценка эффективности показывает, что ожидаемый экономический эффект от внедрения рекомендуемых средств техни-

ческого диагностирования, применительно к СПК, составит 81478 рублей на автомобиль в год.

### 5.1.5. Техническая оценка результатов повышения эффективности технического диагностирования

Технический эффект от внедрения полученных результатов достигается за счет снижения трудозатрат, для осуществления контроля технического состояния ПС, которое достигается за счет сокращения перечня операций технического диагностирования необходимых для качественной оценки технического состояния ПС. Перечень диагностических операций устанавливается исходя из результатов, полученных в ходе определения рациональной номенклатуры диагностических параметров (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Рациональный перечень диагностических операций

Наименование диагностической операции	Трудоемкость выполнения, чел.ч
1	2
11. Измерить величину суммарного люфта в рулевом управлении	0,13
12. Измерить величину тока, потребляемого стартером	0,08
13. Измерить величину сопротивления обмоток тягового реле	0,05
14. Измерить величину напряжение на участках цепи	0,17
ИТОГО:	2,32

Технический эффект предлагается рассчитывать на примере сокращения трудоемкости  $T_{\text{Э}}$  проведения технического диагностирования единицы ПС по следующему выражению [891]:

$$T_{\text{Э}} = T_{\text{П}} - T_{\text{рац}}, \quad (5.11)$$

где  $T_{\text{П}}$  - трудоемкость технического диагностирования, при выполнении полного перечня диагностических операций заданных руководством по эксплуатации завода-изготовителя.

$T_{\text{рац}}$  - трудоемкость технического диагностирования, при выполнении рационального перечня диагностических операций.

В свою очередь, составляющие зависимости (5.11) рассчитываются по следующим выражениям [89]:

$$T_{II} = \sum_i^N t_i, \quad (5.12)$$

где  $t_i$  - трудоемкость выполнения  $i$  - ой диагностической операции (таблица 5.5) [102];

$N$  - число диагностических операций заданных руководством по эксплуатации завода-изготовителя.

$$T_{рац} = \sum_i^M t_i, \quad (5.13)$$

где  $M$  - число рационального перечня диагностических операций (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Трудоемкость диагностических операций заданных руководством по эксплуатации завода-изготовителя

Наименование диагностической операции	Трудоемкость выполнения, чел.ч
1	2
1. Измерить величину суммарного люфта в рулевом управлении	0,13
2. Измерить величину сопротивления обмоток тягового реле	0,05
3. Измерить величину напряжение на участках цепи	0,17
4. Измерить величину плотности электролита в АКБ	0,02
5. Измерить величину емкости АКБ	0,01
6. Измерить величину силы света фар	0,03
7. Измерить величину частоты проблесков указателей поворота	0,03
8. Измерить величину угла установки фар головного света	0,04
ИТОГО:	5,19

В результате проведенных расчетов установлено, что трудоемкость технического диагностирования, при выполнении полного перечня диагностических операций заданных руководством по эксплуатации завода-изготовителя составляет  $T_{II} = 5,19$  чел.ч, а при выполнении рационального перечня диагностических операций -  $T_{рац} = 2,32$  чел.ч.

Исходя из этого на основании выражения (5.11) имеем:

$$T_{\text{Э}} = 5,19 - 2,32 = 2,87 \text{ чел.ч} \quad (5.14)$$

Таким образом, результаты технической оценки свидетельствуют о целесообразности внедрения материалов исследования. Трудозатраты на проведение технического обслуживания в целом и контроля технического состояния в частности сокращаются на 2,87 чел.ч., что позволяет практически на 45 % снизить время на подготовку МТ к использованию по назначению в условиях хозяйственной деятельности.

## 5.2. Выводы

В ходе разработки практических рекомендаций по техническому диагностированию подвижного состава получены следующие основные результаты:

1. Обоснованы способ определения периодичности контроля и способ прогнозирования технического состояния подвижного состава, позволяющие снизить трудозатраты при подготовке подвижного состава к использованию по назначению в среднем на 15%.

2. Разработанные алгоритмы технического диагностирования ПС, позволяют за счет оптимизации диагностических операций трудозатраты на проведение технического обслуживания автомобиля КАМАЗ-43114 в целом и контроля технического состояния в частности сокращаются на 2,87 чел.ч;

3. Проведенные экономическая и техническая оценки свидетельствуют о целесообразности внедрения материалов по повышению эффективности технического диагностирования ПС, позволяющих практически на 45 % сократить финансовые, трудовые и временные затраты на техническое обслуживание ПС в целом и контроля технического состояния в частности, что в

свою очередь будет способствовать поддержанию ПС в постоянной готовности к использованию по назначению.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Обосновано применение стратегии технического обслуживания и ремонта подвижного состава по состоянию с контролем параметров.

2. Разработана методология исследования и повышения эффективности системы технической эксплуатации подвижного состава на основе инженерно-кибернетического подхода.

3. Предложен способ отбора рациональной совокупности объектов, подлежащих техническому диагностированию, основанный на комплексном использовании математики и оценке безотказности объектов диагностирования посредством расчета значений критериев относительной весомости отказов и доли последствий отказов, неустраняемых водителем.

5. Обоснованы способ определения периодичности контроля и способ прогнозирования технического состояния подвижного состава, позволяющие снизить трудозатраты при подготовке подвижного состава к использованию по назначению в среднем на 15%.

8. Разработаны предложения по совершенствованию технического диагностирования подвижного состава:

- на основе построения и анализа структурно-следственных моделей ОД представлены алгоритмы технического диагностирования, позволяющие осуществлять поиск места и причин отказа с наименьшими затратами; за счет оптимизации диагностических операций трудозатраты на проведение технического обслуживания автомобиля КАМАЗ-43114 в целом и контроля технического состояния в частности сокращаются на 2,87 чел.ч;

9. Проведенная экономическая и техническая оценки свидетельствуют о целесообразности внедрения материалов исследования, что позволяет на 42 -45 % сократить финансовые и трудовые затраты на техническую эксплуатацию подвижного состава в целом и техническое диагностирование в частности. Кроме того, время на подготовку подвижного состава к использованию по назначению снижается на 30 %.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения материалов исследования составит 944000 рублей в год.

## Список литературы

1. Авдонькин Ф.Н. Повышение срока службы автомобильных двигателей / Ф.Н. Авдонькин. – Саратов.: Приволжское книжное издательство, 1969. – 203 с.
2. Автономов В.Н. Создание современной техники: Основы теории и практики / В.Н. Автономов. – М.: Машиностроение, 1991. – 304 с.
3. Аксельрод Д.И. Диагностическое обеспечение системы управления рПСодом топлива на АТП (на примере подвижного состава с дизелями): дисс. ... канд.техн.наук: 05.22.10 / Аксельрод Денис Иванович.– М., 1989. – 274 с.
4. Анализ методов и средств диагностирования тормозных систем автомобиля / Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Юхин И.А., Гусаров С.Н., Колупаев С.В., и др. // В электронном журнале «Научный журнал КубГАУ». – 2016 г., № 02 (116), режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/02/pdf/71.pdf>.
5. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: подход с использованием ЭВМ / А. Афифи, С. Эйзен. – М.: Мир, 1982. – 167 с.
6. Батищев А.Н. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] / Курчаткин В.В. , Тараторкин В.М. , Батищев А.Н. , и др. –6-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 464 с ЭБС «Академия».
7. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем: Учебное пособие / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 158 с.
8. Берк К. Анализ данных с помощью Microsoft Office Excel / К. Берк, П. Кэйри. – Москва, 2005. – 87 с.
9. Методы технической диагностики автомобилей: Учебное пособие [Электронный ресурс]/ В.Д. Мигаль, В.П. Мигаль. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 416 с. ЭБС «znanium.com».
- 10.Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода / И.В. Блауберг, Э.Г. Юдин – М.: Наука, 1973. – 272 с.

- 11.Брайнин М.Л. Разработка и исследование метода прогнозирования постепенных отказов на примере сопряжений цилиндр - поршневое кольцо ДВС / М.Л. Брайнин – М.: Труды МАДИ, 1973. – 165 с.
- 12.Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем, 2-е изд., перераб. / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
- 13.Бышов Н.В. Повышение готовности к использованию по назначению мобильной сельскохозяйственной техники совершенствованием системы диагностирования / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев и др. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013, – 172 с.
- 14.Бышов Н.В. Методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев, И.А.Успенский и др. // В электронном журнале «Научный журнал КубГАУ». – 2013 г., № 02 (086), режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/02/pdf/41.pdf>, С. 585–596.
- 15.Бышов Н.В. Разработка таблицы состояний и алгоритма диагностирования тормозной системы / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.Д. Кокорев, И.А.Успенский и др. // Вестник КрасГАУ. – 2013 – №12. – С. 179–184.
- 16.Варнаков В.В. Технический сервис машин сельскохозяйственного назначения. / В.В. Варнаков, В.В. Стрельцов, В.Н. Попов, В.Ф. Карпенков. – М.: Колос, 2000. – 256 с.
- 17.Васильев В.И. Автоматический контроль и диагностика систем управления силовыми установками летательных аппаратов / В.И. Васильев, Ю.М. Гусев. – М.: Машиностроение, 1989. – 178 с.
- 18.Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. –114 с.
- 19.Венцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Венцель. – М.: Советское радио, 1976. – 552с.
- 20.Венцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е.С. Венцель. – М.: Наука, 1988 – 208с.

- 21.Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988 – 480 с.
- 22.Верзюков Г.Ф. Введение в техническую диагностику / Г.Ф. Верзюков – М.: Энергия, 1968 – 215 с.
- 23.Власов Ю.Л. Выбор параметров и средств диагностирования дизелей подвижного состава, работающих в сельском хозяйстве: дисс. канд. техн. наук: 05.22.10 / Власов Юрий Леонидович – М., ГОСНИТИ, 1985. – 198 с.
- 24.Воробьев В.Г. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования. Учебное пособие для вузов гражданской авиации / В.Г. Воробьев, В.В. Глухов – М.: Транспорт, 1984. –141 с.
- 25.Галиев И.Г. Повышение эффективности использования тракторов с учетом условий их функционирования / И.Г. Галиев – Казань: Изд-во Казанского университета, 2002. – 204 с.
- 26.Гаскаров Д.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д.В. Гаскаров , Т.А. Голинкевич, А.В. Мозголевский – М.: Сов. Радио, 1974. – 157 с.
- 27.Гилевский Р.В. Методика технического диагностирования военной автомобильной техники: дисс. ... канд. технич. наук: 2.02.17 / Гилевский Роман Владимирович – Бронницы, 2009, – 197 с.
- 28.Говорущенко Н.Я. Диагностика технического состояния подвижного состава / Н.Я. Говорущенко – М.: Транспорт, 1970. – 297 с.
- 29.Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация подвижного состава / Н.Я. Говорущенко – Харьков: Вища школа, 1984. – 312 с.
- 30.Голубев И.Г. Оценка качества технического сервиса тракторов / И.Г. Голубев, А.Ю. Фадеев, В.А. Макуев // Техника и оборудование для села. 2010. – №7. – С. 40–41.
- 31.Голубев И.Г. Организация сервисного обслуживания сельскохозяйственной техники зарубежными фирмами на российском рынке / И.Г. Голубев// Техника и оборудование для села. 2013. – №6. – С. 36 -38.
- 32.Горелик В.А. Исследование операций / В.А. Горелик, И.А. Ушаков – М.:

- Наука, 1982. – 312 с.
- 33.ГОСТ 23435-1979. Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 8 с.
- 34.ГОСТ 27.002–1983. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 30 с.
- 35.ГОСТ Р 50779.10–2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 2000 – 23 с.
- 36.Данилов И.К. Исследование режима дигносирования кривошипно-шатунной группы дизельных двигателей по толщине масляного слоя / А.С Денисов, И.К. Данилов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2003. – Т.1 №1 (1) – С. 72–76.
- 37.Данилов И.К. Совершенствование планирования эксплуатационно-ремонтных циклов двигателей внутреннего сгорания / Ю.И. Данильв, А.С. Денисов, И.К. Данилов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – Т.1 №1 (69) – С. 229–232.
- 38.Дидманидзе О.Н. Техническая эксплуатация подвижного состава. Учебник: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / О.Н. Дидманидзе, Г.Е. Митягин, Р.Н. Егоров. М.: МГАУ, 2005. – 427 с.
- 39.Диагностика современного автомобиля / / Храпов Ю.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Колупаев С.В., и др.. // В электронном журнале «Научный журнал КубГАУ». – 2016 г., № 04 (118), режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/61.pdf>.
- 40.Дмитриев В.И. Прикладная теория информации. Учебник для вузов по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления» / В.И. Дмитриев.– М.: Высшая школа, 1989. – 187 с.
- 41.Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. Книга 1. – М.: Финансы и статистика, 1986.– 347 с.

42. Ждановский Н.С. Диагностика автотранспортных двигателей с использованием электронных приборов / Н.С. Ждановский. - Л.: ЛСХИ, 1973. – 168 с.
43. Ермаков С.М. Математическая теория оптимального эксперимента. Учебное пособие / С.М. Ермаков, В.З. Бродский, А.А. Жиглевский. – М.: Наука, Гл. ред. Физ. – мат. Лит. 1982 – 294 с.
44. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта с помощью математических моделей. Учебное пособие / Ю.В. Завадский. – М.: МАДИ, 1980. – 124 с.
45. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта и дорожно-строительных машин с помощью регрессионно - корреляционного анализа. Учебное пособие / Ю.В. Завадский. – М.: МАДИ, 1981. –157 с.
46. Заковряшин А.И. Об организации технического обслуживания по фактическому состоянию / А.И. Заковряшин. – Ростов: РИСИ, 1981. – 314 с.
47. Исследование и разработка диагностических методов прогнозирования запаса хода подвижного состава до выхода в ремонт: отчет о НИР (заключ.)/в/ч 63539 – Бронницы, 1976. – Инв. 4751.
48. Иншаков А.П. Диагностирование турбокомпрессора автотракторного дизельного двигателя на обкаточно-тормозном стенде 5543 ГОСНИТИ /А.П. Иншаков, А.И. Кувшинов, И.И. Курбатов, О.Ф. Карнаухов // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №1. – С. 39–41.
49. Карасев В.А. Методы вибрационной диагностики машин / В.А. Карасев, В.П. Максимов. – М.: Колос, 1975. – 172 с.
50. Карпов Л.И. Диагностика и техническое обслуживание тракторов и комбайнов / Л.И. Карпов. – М.: Колос, 1972. – 320 с.
51. Касьянов А.В. Конструкция подвижного состава. Учебник: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.В. Касьянов. Пенза: ПГУАС, 2004. – 560 с.
52. Кейслер Д.Ж. Основы теории моделей / Д.Ж. Кейслер. – М.: Наука, 1982. – 312с.

53. Климнуш О.Д. Исследование и выбор диагностических параметров автомобильных двигателей семейства ЯМЗ: дис. ... канд. Техн. Наук:05.22.10/ Климнуш Олег Дмитриевич. – Киев: КАДИ, 1973.–197 с.
54. Кокорев Г.Д. Использование принципов системного подхода при анализе системы восстановления автомобильной техники / Г.Д. Кокорев, А.Ю. Афаеасьев // Научно-технический сборник №6. – Рязань: ВАИ, 1995. – С. 46–50.
55. Кокорев Г.Д. Кибернетический подход – как основа теории создания и управления качеством сложных технических систем на современном этапе / Г.Д. Кокорев // Научно-технический сборник №10. – Рязань: ВАИ, 2000. С 3–8.
56. Кокорев Г.Д. Математические модели в исследованиях сложных систем / Г.Д. Кокорев // Научно-технический сборник №10. – Рязань: ВАИ, 2000. С 8–12.
57. Кокорев Г.Д. Некоторые аспекты теории комплексного проектирования сложных организационно-технических систем / Г.Д. Кокорев // Научно-технический сборник №10.– Рязань: ВАИ, 2000. С 19–21.
58. Кокорев Г.Д. Подход к формированию основ теории создания сложных технических систем на современном этапе / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов РГСХА, (вып. 4) ч.2 – Рязань: РГСХА, 2000. С. 54–60.
59. Кокорев Г.Д. Моделирование при проектировании новых образцов автомобильной техники / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов РГСХА. – Рязань: РГСХА, 2001. С. 423–425.
60. Кокорев Г.Д. Состояние теории создания объектов современной техники / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов РГСХА. – Рязань: РГСХА, 2001. С. 425–427.
61. Кокорев Г.Д. Моделирование надежности автомобильной техники на этапах жизненного цикла / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов ВАИ. Вып.11. – Рязань: ВАИ, 2001. С. 17–24.

62. Кокорев Г.Д. Эволюционное развитие и состояние общей методологии создания объектов современной техники / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов ВАИ. Вып.11. – Рязань: ВАИ, 2001. С. 24–33.
63. Кокорев Г.Д. Классификация проектных моделей и их использование в теории инженерного прогнозирования / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов ВАИ. Вып.12. – Рязань: ВАИ, 2002. С. 128–135.
64. Кокорев Г.Д. Основные принципы исследования проблемы управления качеством сложных организационно-технических систем / Г.Д. Кокорев // Сборник научных трудов ВАИ. Вып.12. – Рязань: ВАИ, 2002. С. 135–141.
65. Кокорев Г.Д. Исследование сложных организационно-технических систем с помощью математических моделей / Г.Д. Кокорев // Материалы ХLI научно-технической конференции университета. – Челябинск: ЧГАУ, 2002. С. 121–123.
66. Кокорев Г.Д. Основные принципы управления эффективностью процесса технической эксплуатации автомобильного транспорта в сельском хозяйстве / Г.Д. Кокорев // Сборник материалов научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедр «Эксплуатация машинно-тракторного парка» и «Технология металлов и ремонт машин» инженерного факультета РГСХА. – Рязань: РГСХА, 2004. С. 128–131
67. Кокорев Г.Д. Системы мониторинга и диагностики автомобильного транспорта в сельском хозяйстве по вибрации / Г.Д. Кокорев, И.Н. Николотов, Н.В. Бышов, И.А. Успенский // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем». – Саранск, 2009. С. 176–182.
68. Кокорев Г.Д. Современное состояние виброакустической диагностики автомобильного транспорта / Г.Д. Кокорев, И.Н.Николотов, И.А.Успенский // Нива Поволжья. Февраль 2010 №1 (14) – С. 39–43.
69. Кокорев Г.Д. Роль диагностирования тормозных систем в повышении безопасности движения и эффективности технической эксплуатации / Г.Д. Кокорев, И.А.Успенский, Д.В. Безруков, И.Н.Николотов // Фундаменталь-

- ные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. XII Международная научно-практическая конференция. – Владимир. 2010. – С. 329–331.
70. Кокорев Г.Д. Метод прогнозирования технического состояния мобильной техники / Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, И.Н. Николотов, Е.А. Карцев Е.А. // Тракторы и сельхозмашины. –2010. – №12. С. 32–34.
71. Кокорев Г.Д. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники / Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев и др. // В электронном журнале «Научный журнал КубГАУ». – 2012 г., № 07 (081), режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/36.pdf>, С. 480–490.
72. Кокорев Г.Д. Математическая модель изменения технического состояния мобильного транспорта в процессе эксплуатации / Г.Д. Кокорев // Вестник Рязанского государственного Агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2012 – №4 (16). – С. 90–93.
- 73.. Кокорев Г.Д. Способ отбора рациональной совокупности объектов подлежащих диагностированию / Г.Д. Кокорев // Вестник Рязанского государственного Агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2013 – №1 (17). – С. 61–64.
74. Котелянец В.И. Экономика и организация транспорта в сельском хозяйстве /В.И. Котелянец. – М.: Колос, 1989.– 295с.
75. Коллакот Р.А. Диагностирование механического оборудования / Коллакот Р.А. – Л.: Судостроение, 1980. – 243 с.
76. Колчин А.В. Новые средства и методы диагностирования автотранспортных двигателей / Колчин А.В., Бобков Ю.К. – М.: Колос, 1982.– 219 с.
77. Котин А.В. Энергоресурсосберегающие технологии и системы в АПК / А.В. Котин // Межвузовский сборник научных трудов, Саранск, 2006. – С. 325–328.
- Кузнецов О.П. Дискретная математика для инженеров / О.П. Кузнецов, Г.М. Адельсон. – М: Энергоатомиздат, 1988. – 480 с.

78. Кузин Л.Т. Основы кибернетики: В 2-х Т.Т.2. Основы кибернетических модулей / Л.Т. Кузин. – М: Энергия, 1979.–584 с.
79. Кузнецов Е.С. Исследование эксплуатационной надежности автомобиля / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1969. – 247 с.
80. Кузнецов Е.С. О некоторых направлениях развития технической диагностики и надежности подвижного состава / Е.С. Кузнецов – М.: НИИАТ, 1980. – 174 с.
81. Курносов В.И., Лихачев А.М. Методология проектных исследований и управление качеством сложных технических систем электросвязи/ В.И. Курносов, А.М. Лихачев. – Санкт- Петербург.: «ТИРЕКС», 1998. – 495 с.
82. Курчаткин В.В. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве / В.В. Курчаткин. – М: Академия, 2010. – 464с.
83. Листопад И.А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства / И.А. Листопад – М.: Агропромиздат, 1989. – 289 с.
84. Матюгин Ф.Б. Бортовая микропроцессорная система контроля магистрального автопоезда: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Матюгин Федор Борисович – М., 1992. – 16 с.
85. Мачнев В.А. Основные предпосылки вибрационного диагностирования / В.А. Мачнев // Нива Поволжья. – 2007. № 1. С.25–27.
86. Мачнев В.А. Прогнозирование остаточного ресурса по результатам вибрационного диагностирования / В.А. Мачнев// Нива Поволжья. – 2012. – С. 83–87.
87. Методические рекомендации по организации диагностики и прогнозирования изменения технического состояния машин. - М.: ВИМ, 1974. – 74 с.
88. Методика определения оптовых цен на новую машиностроительную продукцию производственно-технического назначения. М.: Прейскурантиздат, 1997. – 29 с.

- 89.Мирошников Л.В. Диагностирование технического состояния подвижного состава на автотранспортных предприятиях / Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.И. Пал. – М.:, Транспорт, 1977. – 213 с.
- 90.Михлин В.М. Методические указания по прогнозированию технического состояния машин / Михлин В.М. - М.: ОНТИ-ГОСНИТИ, 1972. – 34 с.
- 91.Михлин В.М. Прогнозирование технического состояния машин / Михлин В.М. – М.: Колос, 1976. – 254 с.
- 92.Мозгалеvский А.В. Техническая диагностика / А.В. Мозгалеvский, Д.В. Гаскаров. - М.: Высшая школа, 1975. – 251 с.
- 93.Мозгалеvский А.В., Калявин В.П. Системы диагностирования судового оборудования. Учебное пособие / А.В. Мозгалеvский, В.П. Калявин – Л.: Судостроение, 1987. – 184 с.
- 94.Моисеева В.А. Психология конструкторской деятельности / В.А. Моисеева. – М.: Машиностроение, 1980. – 181 с.
- 95.Мороз С.М. Развитие и применение встроенных средств диагностирования подвижного состава / С.М. Мороз.- М., 1988. – 362 с.
- 96.Мостепан Н.А. Исследование и разработка метода корректирования режимов ТО в зависимости от технического состояния подвижного состава (на примере ТО-2): дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Мостепан Николай Алексеевич - М., 1979. – 234 с.
- 97.Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 Т./ Ред. Совет: В.С. Адуевский и др. -М.: Машиностроение, 1988. – Т. 5.: Проектный анализ надежности. – 316с.
- 98.Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 Т./ Ред. Совет: В.С. Авдуевский и др. – М.: Машиностроение. 1988. – Т. 3. Эффективность технических систем. – 328 с.
- 99.Никифоров А.Д., Бойцов В.В. Инженерные методы обеспечения качества в машиностроении / Никифоров А.Д., Бойцов В.В. – М.: Изд. Стандартов, 1987. – 384 с.

100. Нормативно-справочные материалы для экономической оценки сельскохозяйственной техники. – М.: ЦНИИТЭИ, 1983. –297 с.
101. Нормы времени на техническое обслуживание и текущий ремонт автомобильного транспорта // Автомобильный транспорт. – 2007. – № 5. – 124 с.
102. Садыков В.Г. Определение диагностических параметров механизмов /В.Г. Садыков// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1976. - № 2. – С. 37–45.
103. Определение диагностических параметров двигателей ЯМЗ// Отчет № 64/88, ЯМЗ, 1988. – 173 с.
104. Основы современной системотехники: Пер. с англ./ Под ред. М.М. Рабина. – М.: Мир, 1975.–528 с.
105. Подконтрольная войсковая эксплуатация подвижного состава КАМАЗ-4310 и КАМАЗ-43105 в объеме гарантийного пробега: отчет о НИР (заключ.)/ В/ч 63539 - Бронницы, 1986. – Инв. 12644.
106. Положение по техническому обслуживанию и текущему ремонту подвижного состава автомобильного транспорта. – М., 1982. – 47 с.
107. Прайс-лист ОАО «ГАРО» от 2007 г
108. Прайс-лист ООО «Бонус» от 2008 г.
109. Прайс-лист НПФ «Мета» от 2008 г.
110. Пушкарев И.Ф., Пахомов Э.А. Контроль и оценка технического состояния тепловозов / И.Ф. Пушкарев, Э.А.Пахомов. – М.: Транспорт, 1985. – 186 с.
111. Расчет-заявка № 34 Нормали к автомобилям семейства КАМАЗ на 2004-2006 г.
112. Расчет-заявка № 36 Запасные части к автомобилям КАМАЗ-43101, 43106 на 2007-2008 г.
113. Расчет-заявка № 78 Автомобильное электрооборудование на 2003-2004 г.
114. Расчет-заявка № 80 Автомобильные приборы на 2002-2003 г.

115. Расчет-заявка № 83 Автомобильные шины, автокамеры и почилочные материалы для их ремонта на 2006.
116. Расчет-заявка № 84 Автомобильные резинотехнические изделия на 2003-2004.
117. Расчет-заявка № 85 Шланговые резинотехнические изделия на 2004-2005.
118. Расчет-заявка № 86 Асбестовые изделия, прорезиненные ремни, желобки направляющие подвижного состава и гусеничных машин на 2007-2009.
119. РД 50-690-89. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным.
120. Савельев А.П. Диагностирование тракторов по динамическому состоянию машинно-тракторных агрегатов / А.П. Савельев. – Саранск: Издательство Мордовского университета, 1993. – 218 с.
121. Салмин В.В. Разработка метода стендовых испытаний гидронасосов / В.В. Салмин // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – 5. – С. 58–61.
122. Салмин В.В. Обоснование эвристического метода оценки элементов системы ВАДС / В.В. Салмин // Транспорт Урала. – 2011. №4. – С. 12–16.
123. Сергеев А.Г. Обобщенный критерий информативности диагностических параметров автомобиля / А.Г. Сергеев // Автомобильная промышленность. – 1974. – № 8. – С. 27–34.
124. Сидоров В.И. Методика выбора диагностических параметров по критерию информативности / В.И. Сидоров // Труды МАДИ. – 1979. – № 175. – С. 117–126.
125. Синдеев И.М. К вопросу о синтезе логических схем для поиска неисправностей и контроля состояния сложных систем / И.М. Синдеев // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1989. – № 2. – С. 124–133.
126. Скурихин В.И. и др. Математическое моделирование / В.И. Скурихин –К.: Техника, 1983. – 247 с.

127. Смирнов Н.Н. Методы обслуживания и ремонта машин по техническому состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. – М.: Знание, 1979. – 56 с.
128. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. 2 изд., перераб. и доп./ Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. – М.: Транспорт, 1987. – 185 с.
129. Справка-доклад о ходе работ по подконтрольной эксплуатации подвижного состава КАМАЗ-43114, КАМАЗ-4326 со сводным перечнем отказов и повреждений: отчет о НИР (промежуточный) / 21 НИИИ Минобороны России – Бронницы, 1997. – Инв. 7703. – 157 с.
130. Справка-доклад о ходе работ по подконтрольной эксплуатации подвижного состава КАМАЗ-43114, КАМАЗ-4326 со сводным перечнем отказов и повреждений: отчет о НИР (промежуточный) / 21 НИИИ Минобороны России – Бронницы, 1998. – Инв. 7810. – 138 с.
131. Справка-доклад о ходе работ по подконтрольной эксплуатации подвижного состава КАМАЗ-43114, КАМАЗ-4326 со сводным перечнем отказов и повреждений: отчет о НИР (заключ.) / 21 НИИИ Минобороны России – Бронницы, 1999. – Инв. 7947. – 157 с.
132. Таратковский И.Б. Опыт статистического исследования процесса изнашивания деталей машин / И.Б. Таратковский // Вестник машиностроения. – 1964. – № 6. – С. 54–62.
133. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи /Под ред. В.Г. Лазарева. – М.: Радио и связь, 1983. – 248с.
134. Успенский И.А. Надежность сельскохозяйственного транспорта при выполнении транспортных и погрузочно-разгрузочных работ / И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, С.Н. Кулик, И.А. Юхин // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Часть 2. Материалы VI международной научно-практической конференции. – Пенза. 2010. – С. 47–51.
135. Успенский И.А. Основные принципы диагностирования МСХТ с использованием современного диагностического оборудования / И.А. Успенский, П.С. Синицин, Г.Д. Кокорев // Сборник научных работ студентов

- РГАТУ. Материалы научно-практической конференции. – Рязань. 2011, 1 том. – С. 263–269.
136. Успенский И.А. Разработка теоретических положений по распознаванию класса технического состояния техники / И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, И.Н. Николотов, С.Н. Гусаров // Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции. – Владимир 20-22 ноября 2013. – С. 110–113.
137. Уточнение номенклатуры диагностических параметров для определения технического состояния ВАТ. Разработка предложений по переходу к стратегии ТО и Р ВАТ по техническому состоянию: отчет о НИР. (промежуточный) /21 НИИИ Минобороны России – Бронницы, 1999. Инв. 9916. – 98 с.
138. Черноиванов В.И. Стратегия развития технического сервиса в АПК / В.И. Черноиванов // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – №2. С. 3–6.
139. Черноиванов В.И. Стратегия развития инженерно-технической системы сельского хозяйства / В.И. Черноиванов, А.А. Ежевский, Н.В. Краснощеков // Техника и оборудование для села. – 2009. – №6. – С. 9–11.
140. Цвид С.В. Оптимизация номенклатуры диагностических параметров, контролируемых бортовыми контрольно-диагностическими системами. Расчет и исследование систем электрооборудования подвижного состава и дорожно-строительных машин /С.В. Цвид, А.М. Харазов, Е.Е. Махновский. – М., 1987. – 195 с.
141. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б.С. Флейшман – М.: Радио и связь, 1982. – 368с.
142. Ямпольский В.И. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники / В.И. Ямпольский, Н.И. Белоконь, В.Н. Пилипосян – М.: Транспорт, 1990. –347 с.
143. Шпилько А.В. Методика определения экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, П.А. Тулапин и др – М.: ВНИИЭСХ, 1998. – 219 с.

144. Broadbent G.H., 1966, Creativity.-The Design Method ( Ed. S. Gregory), London, Butterworths. – pp. 22–28.
145. Echerik J., 1963 Problems of the Design of a Design System.-Conf. On Design Methods –pp. 19–22.
146. Hall A.D., 1962, A Methodology for Systems Engineering, Princeton, N. J., Van Nostrand – pp.40–46.

## Приложение А

### Характеристика отказов объектов диагностирования подвижного состава МУП г. Рязани «УРТ»

Таблица А.1 – Характеристика отказов объектов диагностирования подвижного состава

Наименование объекта контроля	Отказы	Количество отказов	Пробег до воз- никновения отказа, тыс.км	Трудоемкость устранения от- каза (число ис- полнителей), чел.-ч (чел.)	Стоимость заменяемых деталей, руб. за единицу	Возможность устранения отказа водителем	
						Устр.	Не устр.
4 Системы управления	4.2 Рулевое управление						
	Износ шаровых пальцев руле- вой тяги	2	52,0-52,5 62,0-62,5	1,1 (1)	402	0	+
	Вход из строя шланга ГУР	1	65,0-65,5	0,5 (1)	110	+	0
	Ослабление гайки крепления рулевой сошки	1	30,0-30,5	0,5 (1)	Затяжка	+	0
	Выход из строя наружной ман- жеты вала сошки	4	11,0-11,5 26,0-26,5 46,5-47,0 58,0-58,5	2,6 (1)	23	+	0
	Выход из строя манжеты вала ведущей шестерни углового ре- дуктора	2	28,0-28,5 45,0-45,5	2,1 (1)	15	+	0
	Превышение усилия на рулевом колесе	2	33,0-33,5 53,0-53,5	2,5 (2)	Регулиров- ка	0	+

5 Электрооборудование	5.1 Система электроснабжения						
	Выход из строя реле регулятора напряжения	1	47,0-47,5	0,6 (1)	440	+	0
	Выход из строя генератора	1	24,0-24,5	2,3 (1)	2161	+	0
	5.3 Система освещения и световой сигнализации						
	Выход из строя реле указателей поворота	1	61,0-61,5	0,4 (1)	93	+	0
	Перегорание предохранителя цепи сигнала указателей поворота	1	8,5-9,0	0,1 (1)	17	+	0
	Перегорание предохранителя цепи ближнего света	1	15,0-15,5	0,1 (1)	17	+	0
	Замыкание в цепи фар головного света	9	10,0-10,5 14,5-15,0 26,5-27,0 32,5-33,0 37,0-37,5 42,0-42,5 53,5-54,0 62,5-63,0 69,0-69,5	0,3 (1)	18	0	+
	Окисление контактов штекерного разъема в цепи освещения и световой сигнализации	16	13,5-14,0 18,5-19,0 25,0-25,5 28,0-28,5 31,5-32,0 34,5-35,0 38,5-39,0 41,0-41,5 43,0-43,5	0,2 (1)	Очистка	+	0

			45,0-45,5 48,5-49,0 52,5-53,0 57,0-57,5 64,5-65,0 68,5-69,0 68,5-69,0				
	Перегорание нитей накаливания ламп системы освещения и световой сигнализации	39	9,5-10,0 10,5-11,0 17,0-17,5 19,0-19,5 21,0-21,5 24,0-24,5 28,0-28,5 33,0-33,5 36,5-37,0 39,0-39,5 39,5-40,0 40,0-40,5 41,5-42,0 42,0-42,5 42,0-42,5 43,0-43,5 43,5-44,0 44,5-45,0 46,0-46,5 48,0-48,5 49,0-49,5 52,0-52,5 52,5-53,0	0,3 (1)	35	+	0

			54,0-54,5				
			56,0-56,5				
			57,0-57,5				
			58,0-58,5				
			59,0-59,5				
			59,5-60,0				
			59,5-60,0				
			61,0-61,5				
			62,5-63,0				
			63,0-63,5				
			65,0-65,5				
			66,0-66,5				
			67,0-67,5				
			68,5-69,0				
			68,5-69,0				
			69,0-69,5				

## Приложение Б

### Графики остатков

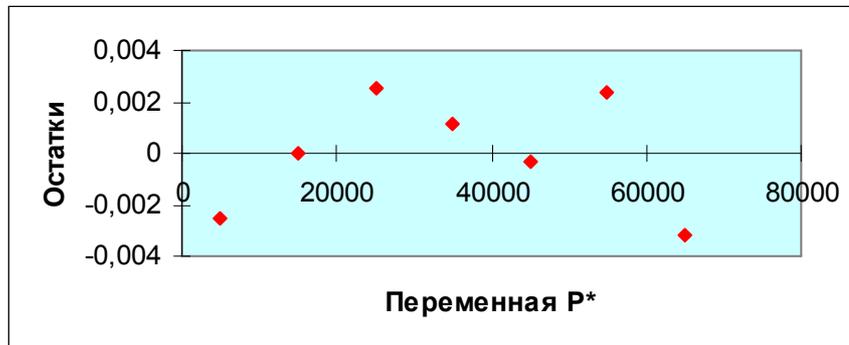


Рисунок Б.8 – График остатков рулевого управления

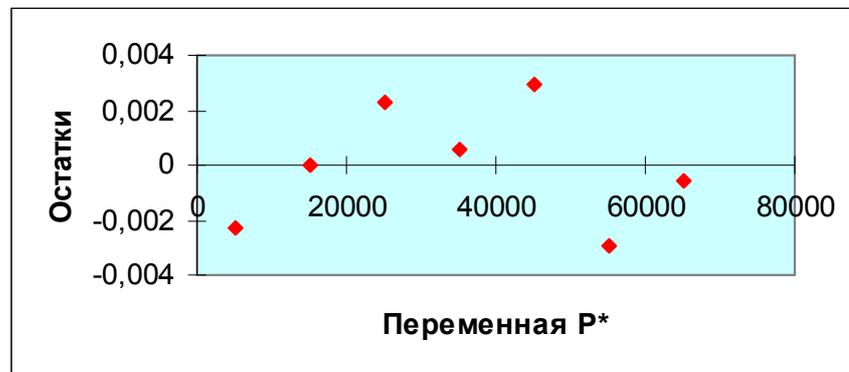


Рисунок Б.10 – График остатков системы освещения световой и звуковой сигнализации

## Приложение В

### Структурно-следственные модели объектов диагностирования

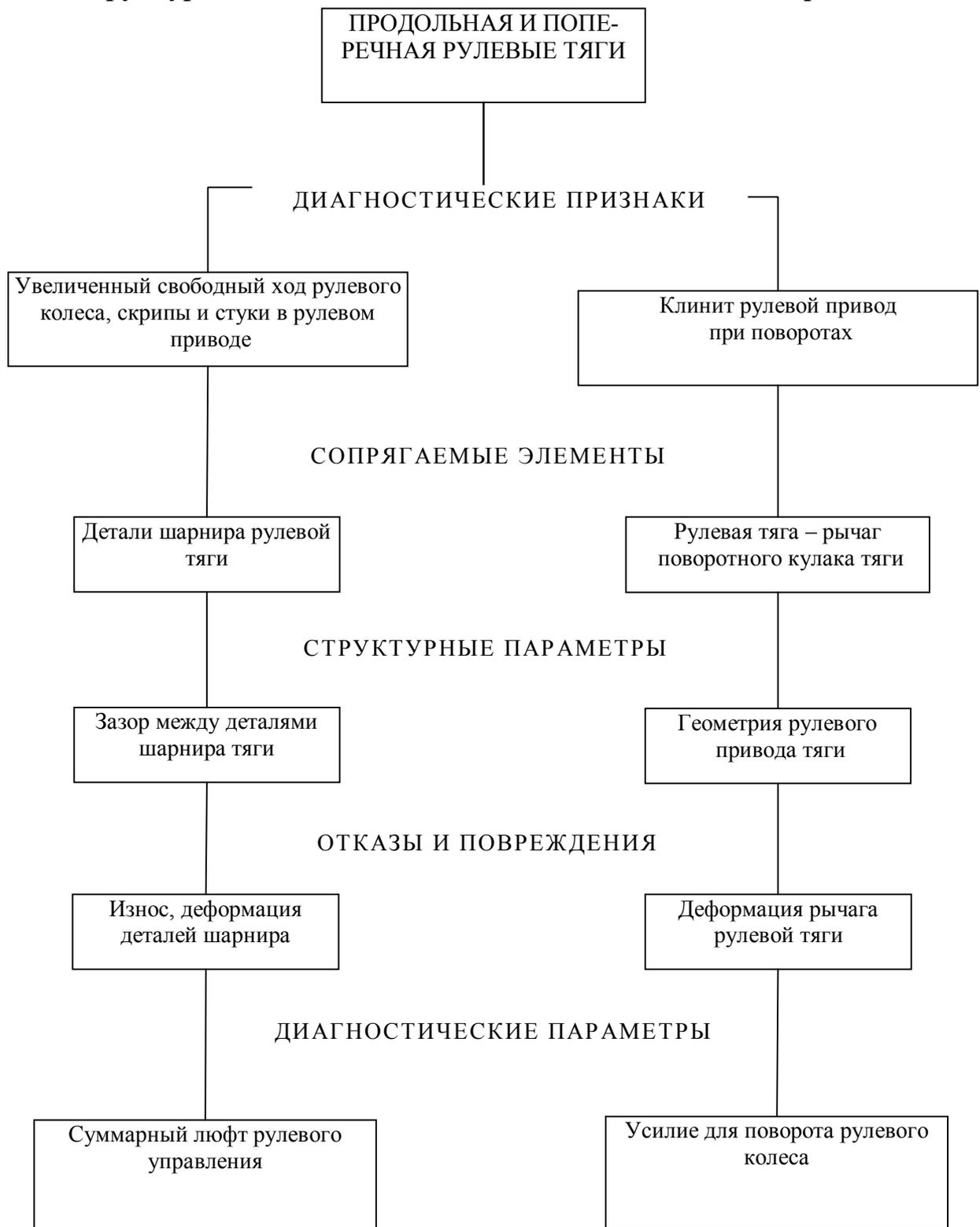


Рисунок В.9 – Структурно-следственная модель рулевых тяг рулевого управления

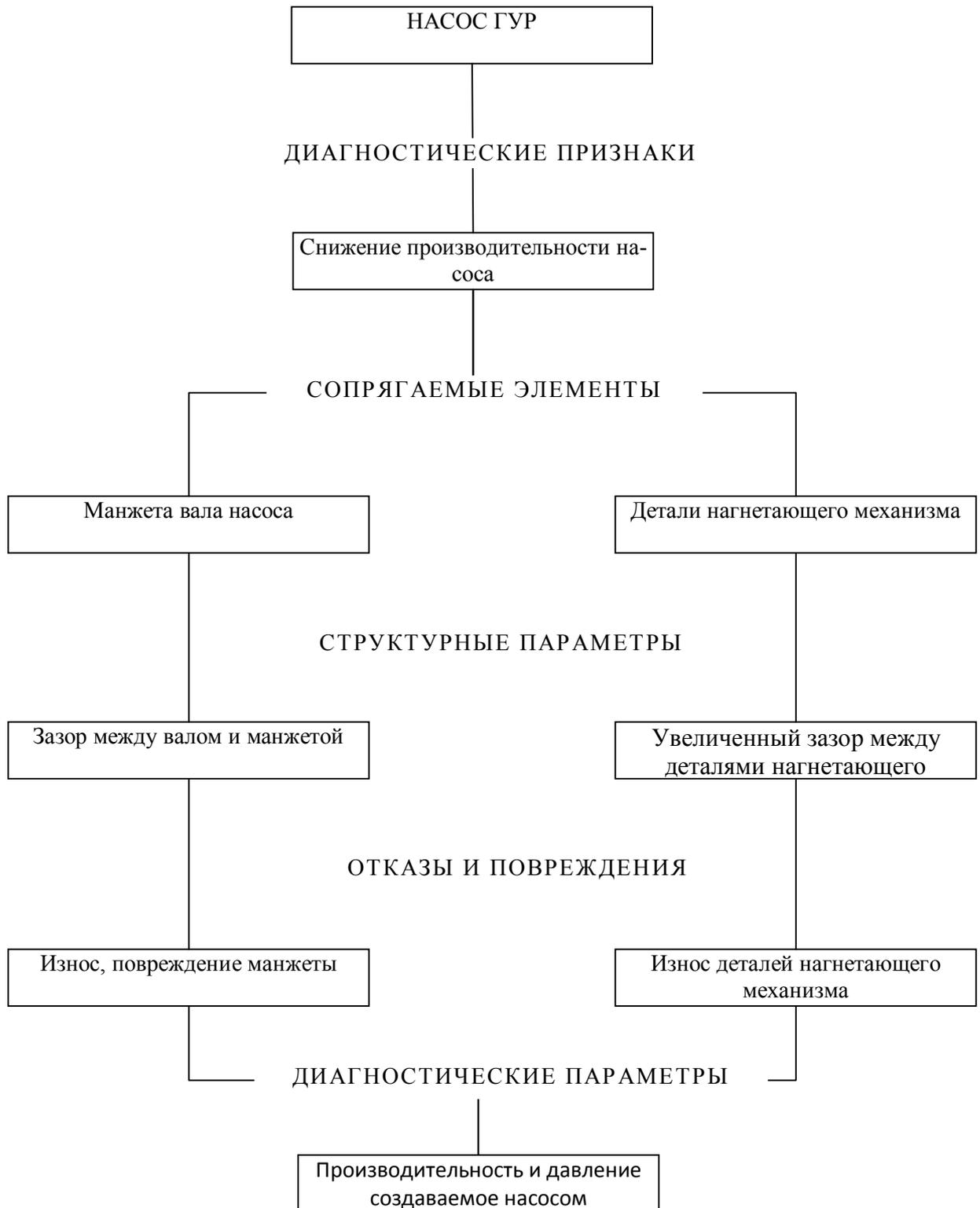


Рисунок В.10 – Структурно-следственная модель насоса ГУР

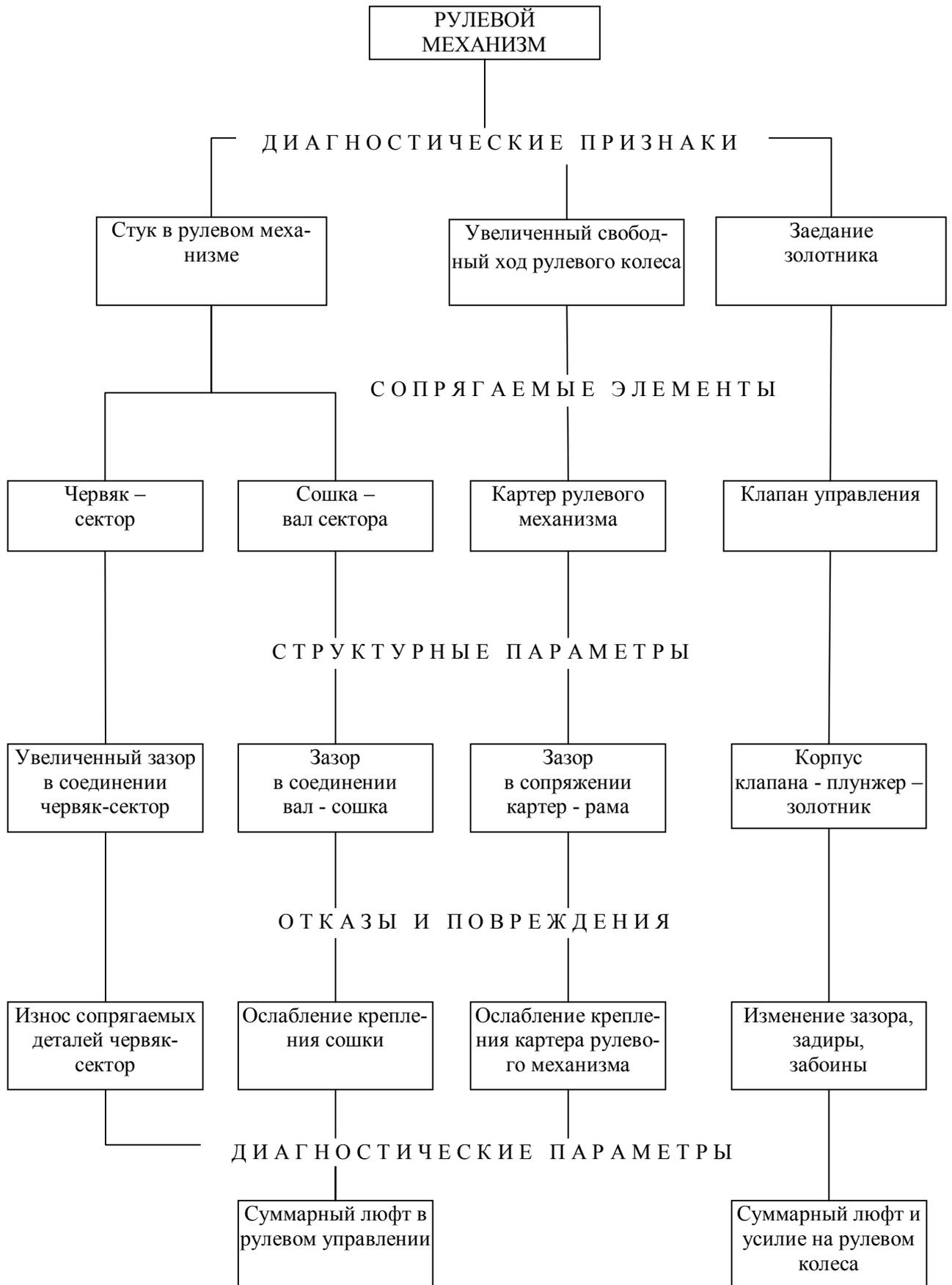


Рисунок В.11 – Структурно-следственная модель рулевого механизма

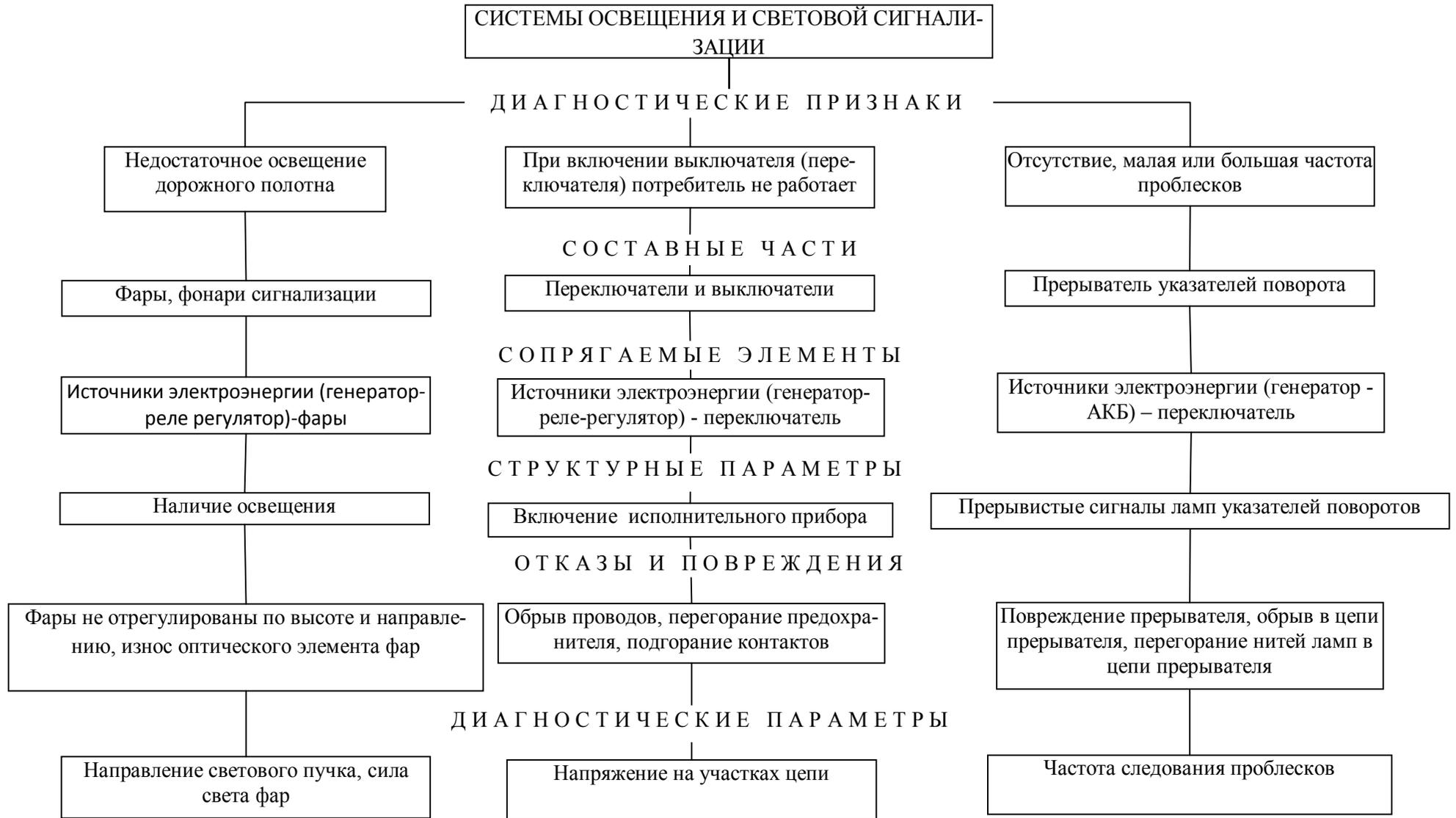


Рисунок В.14 – Структурно-следственная модель системы освещения световой и звуковой сигнализации