

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

*На правах рукописи*

**КОРЧАГИН Владислав Алексеевич**

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ ПРЕДРЕМОНТНОГО  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ИХ  
ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ РЕМОНТЕ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ  
СОСТОЯНИЮ**

Специальность: **05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель -  
кандидат технических наук, доцент  
Красовский Валентин Николаевич

Тюмень – 2014 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ.....	10
1.1. Обзор основных систем и стратегий технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта и их составных частей.....	10
1.2. Концепции управления процессами ТО и ремонта автомобильного транспорта и их автоматизация.....	19
1.3. Эффективность ЦРТС агрегатов автомобильного транспорта.....	26
1.4. Применение искусственных когнитивных систем в процессах диагностирования сложных технических устройств.....	29
1.5. Постановка цели и задач исследования.....	34
1.6. Выводы по первой главе.....	36
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ РЕМОНТНОГО ФОНДА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТА С УЧЕТОМ ИХ РАСПОЗНАННЫХ СОЧЕТАНИЙ ДЕФЕКТОВ.....	37
2.1. Моделирование технологии выполнения работ при ЦРТС агрегатов автомобилей.....	37
2.2. Обоснование выбора применяемого математического аппарата.....	39
2.3. Постановка задачи классификации агрегатов ремонтного фонда в зависимости от распознанных сочетаний дефектов.....	44
2.4. Алгоритм нормирования исходных данных при обучении математического аппарата ИНС.....	45
2.5. Алгоритм обучения ИНС методом обратного распространения ошибки.....	48
2.6. Разработка методики распределения агрегатов автомобилей по КРР с учетом сочетаний дефектов.....	53
2.6.1. Алгоритм применения ИНС для распознавания сочетаний дефектов агрегатов ремонтного фонда.....	53

2.6.2. Алгоритм классификации агрегатов по КРР с учетом выявленных сочетаний дефектов.....	56
2.7. Выводы по второй главе.....	58
<b>ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ИНС В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....</b>	<b>59</b>
3.1. Задачи и структура процесса оптимизации числа и состава контрольно-диагностических параметров.....	59
3.2. Моделирование причинно-следственных связей параметров для основных ресурсных групп двигателя ЯМЗ-238.....	61
3.3. Разработка технологической последовательности процесса разборки двигателя ЯМЗ-238.....	62
3.4. Выбор средств контроля и определения технического состояния объекта исследования.....	63
3.5. Методика выбора контрольно-измерительных средств.....	66
3.6. Определение минимального количества измерений.....	69
3.7. Формирование совокупности контрольно-диагностических параметров, характеризующих техническое состояние двигателей ремонтного фонда.....	70
3.8. Методика математической обработки эмпирических данных для построения моделей ИНС.....	71
3.9. Предварительная обработка полученных результатов измерений.....	73
3.10. Аппроксимация распределения эмпирических данных.....	74
3.11. Построение регрессионных моделей контролируемых параметров..	75
3.12. Критерий распределения агрегатов по КРР при ЦРТС.....	77
3.13. Построение моделей математического аппарата ИНС на основе эмпирических данных.....	78
3.13.1. Решение задачи распознавания сочетаний дефектов агрегатов ремонтного фонда с использованием ИНС.....	79
3.13.2. Решение задачи распределения агрегатов по КРР в зависимости	

от их фактического технического состояния.....	88
3.14. Выводы по третьей главе.....	92
<b>ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ</b>	
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ АРМ ОПЕРАТОРА-</b>	
<b>ДИАГНОСТА И РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....</b>	<b>94</b>
4.1. Общие положения.....	94
4.2. Структурная схема АРМ оператора-диагноста.....	95
4.3. Расчет сравнительного экономического эффекта результатов исследований.....	101
4.4. Выводы по четвертой главе.....	103
<b>ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.....</b>	<b>104</b>
<b>СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>106</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>119</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>	<b>125</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В.....</b>	<b>128</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....</b>	<b>129</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....</b>	<b>130</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....</b>	<b>131</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....</b>	<b>134</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ З.....</b>	<b>135</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ И.....</b>	<b>138</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ К.....</b>	<b>140</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Л.....</b>	<b>143</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ М.....</b>	<b>147</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Н.....</b>	<b>148</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Наиболее прогрессивной индустриальной формой ремонта автомобильного транспорта является централизованный ремонт по техническому состоянию (ЦРТС), при котором выявление сочетаний дефектов каждого агрегата происходит с помощью операций предремонтного диагностирования.

При таком подходе неотъемлемым звеном процесса диагностирования является человек (оператор-диагност). Применяя метод научной идеализации, объектный комплекс, ставящий конкретный диагноз при определении технического состояния изделия, можно определить как человеко-машинную систему, обладающую в каждом конкретном случае присущими ей достоинствами и недостатками. Не секрет, что самым слабым звеном в такой системе, будь то высокотехнологичная компьютеризированная станция или элементарный пневмотестер, является человек.

Более глубокое изучение технологических процессов диагностирования изделий позволяет сделать вывод о том, что значительного количества ошибок распознавания дефектов и соответствующего распределения ремонтируемых агрегатов по технологическим маршрутам ремонта можно избежать исключив влияние оператора-диагноста на формирование конечного результата постановки диагноза.

Значительно снизить потери связанные с ошибками предремонтного диагностирования поступающих в ремонт агрегатов автомобилей можно используя перспективные искусственные когнитивные системы на основе математического аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС). Поэтому формирование научно-методических основ разработки, обучения и практического применения данного математического аппарата в подсистемах предремонтного диагностирования ремонтного фонда агрегатов автомобилей является важной и актуальной задачей.

### **Степень разработанности темы исследования.**

Теоретическими основами работы стали исследования российских и зарубежных ученых, посвященных проблемам совершенствования процессов распознавания технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта и спецтехники при их ТО и ремонте: Е.В. Бондаренко, Н.Я. Говорущенко, Л.В. Дехтеринского, А.А. Ицковича, В.И. Карагодина, В.Н. Красовского, Е.С. Кузнецова, В.В. Попцова, А.М. Шейнина и др.; в сфере применения математического аппарата искусственных нейронных сетей в области технической диагностики: Л.Н. Ясницкого, E. Frisk, D.W. Dawei, C. Svärd и др.

### **Цель и задачи исследования.**

*Цель исследования* – организация подсистемы предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей на основе формируемого автоматизированного рабочего места оператора-диагноста, позволяющая снизить внутрипроизводственные потери ремонтного предприятия при функционировании системы централизованного ремонта по техническому состоянию.

#### *Задачи исследования:*

1. Выполнить анализ факторов, обуславливающих эффективность функционирования системы ЦРТС агрегатов автомобилей и оценить степень их влияния на качество ремонта.
2. Разработать методику распознавания дефектов агрегатов автомобилей с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей для их распределения по технологическим маршрутам ремонта (комплексам ремонтных работ – КРР).
3. Разработать методическое и метрологическое обеспечение экспериментального исследования над объектом исследования на этапе предремонтного диагностирования при ЦРТС.
4. Экспериментально оценить целесообразность применения разработанной методики на этапе предремонтного диагностирования объекта исследования.

5. Разработать структурную схему автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора-диагноста, ядром которого является созданное оригинальное программное обеспечение (ПО).

6. Произвести оценку ожидаемого экономического эффекта при внедрении результатов исследования.

*Объектом исследования* являются поступающие в ЦРТС агрегаты автомобилей (на примере двигателей ЯМЗ-238).

*Предметом исследования* являются процессы распознавания дефектов поступающих в ремонт агрегатов автомобилей и распределения их на множестве реализуемых на предприятии технологических процессов централизованного ремонта по техническому состоянию.

**Научная новизна** исследования заключается в следующем:

1. Разработана с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей методика распределения агрегатов автомобилей по технологическим маршрутам ремонта в зависимости от распознанных сочетаний дефектов при их ЦРТС, позволяющая снизить влияние человеческого фактора при постановке диагноза и распределении по КРР.

2. Разработана методика математической обработки эмпирических данных с целью построения адекватных (с требуемым уровнем достоверности) моделей ИНС для распознавания сочетаний дефектов поступающих в ЦРТС агрегатов автомобилей и распределения их по технологическим маршрутам ремонта.

3. Впервые экспериментально подтверждена целесообразность применения математического аппарата ИНС в процессах предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей при их ЦРТС.

4. Разработана структурная схема организации и взаимодействия элементов АРМ оператора-диагноста в процессе распределения поступающих в ЦРТС агрегатов автомобилей по имеющимся на предприятии КРР с учетом полученных результатов исследования.

**Методологической основой** диссертационного исследования послужили основные положения теории распознавания технического состояния

механических систем (технической диагностики); законодательные и нормативно-технические документы планово-предупредительной системы ТО и ремонта транспортной техники; методы теории вероятностей, математической статистики и системного анализа, математические модели искусственных нейронных сетей.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, п. 13. «Технологические процессы и организация технического обслуживания, ремонта и сервиса; методы диагностики технического состояния автомобилей, агрегатов и материалов».

### **Практическая ценность и реализация результатов исследований.**

По результатам проведенных экспериментально-теоретических исследований разработано научно-методическое и программное обеспечение (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614299), которое является базой для организации АРМ оператора-диагноста и позволяющее повысить эффективность функционирования подсистемы предремонтного диагностирования централизованного ремонта по техническому состоянию за счет снижения ошибок распознавания дефектов агрегатов, возникающих под влиянием человеческого фактора и распределения агрегатов по технологическим маршрутам ремонта.

Базовые положения диссертационного исследования внедрены в МКУ «Тюменьгортранс», а также приняты к рассмотрению и рекомендованы для внедрения в практику работы предприятий автомобильного транспорта Тюменской области и ХМАО, в частности ОАО «Сургутнефтегаз».

Результаты исследования применяются в учебном процессе ТюмГНГУ при подготовке специалистов всех форм обучения специальности 190601.65 «Автомобили и автомобильное хозяйство» и бакалавров всех форм обучения направления 190601.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» по дисциплинам «Основы технологии производства и ремонт автомобилей» и «Основы теории надежности и техническая диагностика», что подтверждено актом о внедрении в учебный процесс.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на международной научно-практической конференции «Проблемы функционирования систем транспорта» (Тюмень, 2010, 2011 гг); международной научно-практической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2011, 2012, 2013, 2014 гг); всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии – нефтегазовому региону» (Тюмень, 2012, 2013 гг); на III международном конгрессе студентов и молодых ученых (аспирантов, докторантов) «Актуальные проблемы строительства», секция «Техническая эксплуатация транспортных средств» (Санкт-Петербург, 2014).

**Публикации.** Материалы диссертации опубликованы в 18 печатных работах, общим объемом 5,13 п.л., лично автором – 3,07 п.л., в том числе 3 работы опубликованы в изданиях, входящие в утвержденный ВАК РФ перечень ведущих рецензируемых научных журналов, две работы в зарубежном издании (Украина).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав с выводами по каждой из них, общих выводов. Диссертационная работа содержит 149 страниц машинописного текста, в том числе 10 таблиц, 41 рисунок, список использованной литературы из 127 наименований отечественных и зарубежных авторов, 13 приложений на 31 странице.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТА ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

## 1.1. Обзор основных систем и стратегий технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта и их составных частей

Эффективность использования автомобильного транспорта (АТ) напрямую зависит от способов и методов поддержания их в состоянии технической исправности на требуемом уровне, чему на практике способствуют различные формы организации систем технического обслуживания (ТО) и ремонта.

Существующие на данный момент формы и методы организации ТО и ремонта транспортной техники в России и за рубежом можно свести к трем основным стратегиям:

1. *Hard time maintenance and repair* (плановое техническое обслуживание и ремонт). Деталям, узлам, агрегатам назначается установленный по наработке предел, по истечении которого выполняется либо регламентное ТО, либо регламентный ремонт.

2. *On condition* (по состоянию) – суть данной стратегии поддержания техники в исправном состоянии заключается в периодическом или непрерывном измерении контролируемых параметров, отклонения которых от номинальных могут свидетельствовать о неисправностях агрегатов машин. При этом нет жестких ограничений по наработке, т.к. решение о дальнейшей эксплуатации принимается по результатам контроля.

3. *Condition monitoring* (по состоянию с контролем уровня надежности) – в основе лежит комплекс мероприятий по управлению надежностью (анализ отказов, конструктивные изменения, изменения в технологии ремонтных работ и т.д.). При данном подходе транспортное средство снимается с эксплуатации в случае отказа.

Принятая в России планово–предупредительная система технического обслуживания и ремонта (ППС ТОиР) на АТ имеет высокий уровень управления

техническим обслуживанием (ТО) и ремонтом. Она соответствует приведенной выше стратегии Hard time maintenance and repair и представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых по плану и направленных на обеспечение работоспособности и технической исправности автомобильного транспорта в течение всего срока их службы, при соблюдении указанных условий и режимов эксплуатации.

Согласно регламенту ППС, для предупреждения отказов выполняются только технологические операции по ТО, а периодичность воздействий по текущему ремонту (ТР) при этом не планируется, так как наступление отказа носит вероятностный характер [29].

Наиболее значимый вклад в развитие ППС внесли работы д.т.н., профессоров Л.В. Дехтеринского, Н.Я. Говорущенко, Г.В. Крамаренко, Е.С. Кузнецова, А.М. Шейнина и других ученых [17, 36, 61, 69, 71, 111].

Однако, как показывает практика, данные принципы ППС не всегда работают достаточно эффективно, т.к. в реальных условиях эксплуатации о строгой линейной зависимости между техническим состоянием автомобилей и агрегатов, и сроком эксплуатации или наработкой на отказ можно говорить только лишь при коррозионных или эрозионных процессах, либо при усталостном износе.

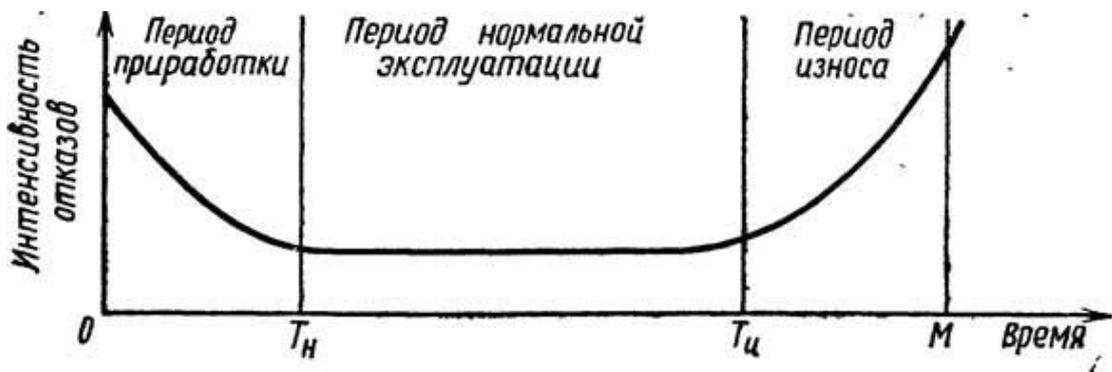


Рис. 1.1. Изменение параметра потока отказов изделия в течение его жизненного цикла

Как показывает опыт, необоснованная разборка сопряжений, осуществляемая в процессе ремонта, сокращает реальный межремонтный период механических систем изделия в среднем на 15–30%. По данным к.т.н. В.И. Милованцева, это приводит к сокращению ресурса изделия от 25,0 до 38,5% [58, 76].

Согласно исследованиям д.т.н., профессора И.К. Данилова, основанным на анализе статистических данных о надежности автомобилей и сельскохозяйственных машин, определенная номенклатура отказов двигателей и замен деталей повторяется. Кроме того, при выборе стратегии ожидания отказа в значительной степени увеличиваются затраты на поддержание работоспособности автомобилей и сельскохозяйственных машин [29].

Как отмечает в своих работах д.т.н., профессор И.Е. Дюмин, у поступающих в капитальный ремонт (КР) двигателей ЗИЛ-130 до 80% деталей имеют допустимые для эксплуатации износы. Число годных элементов у автомобилей и тракторов, задействованных в сельском хозяйстве, в среднем достигает 60...65% [43, 44, 45].

На техническое состояние механизма оказывает влияние время его эксплуатации, однако остаточный ресурс механизма не должен определяться лишь данным фактором, т.к. данный фактор часто является малозначительным.

Любой механизм состоит из большого числа допусков, начиная от момента проектирования и конструирования (проектно-конструкторские допуски), производства (производственно-технологические) и заканчивая допусками при эксплуатации (эксплуатационные), а также во время ТО и ремонтов, которые выполняются различными по квалификации специалистами. Так как на практике не может существовать совершенно одинаковых процессов эксплуатации, то не существует и двух абсолютно одинаковых механизмов их реализации. К наиболее значимым факторам, оказывающим влияние на эксплуатационные характеристики автомобилей и технологических машин, являются:

- условия изготовления;
- условия хранения;

- условия транспортировки;
- условия эксплуатации;
- техническое оснащение и квалификация обслуживающих рабочих;
- номенклатура и качество произведенных ремонтных воздействий и др.

Именно поэтому поступающие в ремонт узлы и агрегаты при эксплуатации в одинаковом временном промежутке имеют неравные остаточные ресурсы и, как следствие, одновременный их ремонт нецелесообразен.

Кроме того, ППС является весьма затратной формой ТО и ремонта, так как чаще всего стимулируется сдельной системой оплаты труда. Следовательно, как руководители предприятий по ремонту автомобильного транспорта, так и непосредственные исполнители заинтересованы в больших объемах ремонтных воздействий, что является существенной преградой для внедрения новых подходов к данной системе ТО и ремонта.

Когда на смену эпохи социализма в России наступает эпоха капитализма и, как следствие, приход рыночной экономики с появлением собственников ситуация вокруг взглядов на ремонт техники меняется. Руководители предприятий, после оценки положительных и отрицательных сторон планово-предупредительной системы, начинают искать способы снижения затрат на ТО и ремонт подвижного состава предприятия, принимая во внимание, что величина данных затрат должна быть обоснованной с технической и экономической точки зрения.

Как следствие, возникает необходимость в переходе на более совершенную разновидность ремонта, который частично уже применяется на предприятиях ряда отраслей промышленности – ремонт по фактическому техническому состоянию (соответствует «On condition» в приведенной выше классификации стратегий). Данный вид ремонта является наиболее оправданным вариантом при выборе ремонтной стратегии, т.к. базируется на переменном объеме работ в зависимости от технического состояния узлов и агрегатов.

Как отмечает в своих работах Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н, д.э.н., профессор Е.Ю. Барзилович, при внедрении ремонта техники по фактическому

техническому состоянию, экономический эффект может достигать 30% от общей стоимости парка техники [6, 7]. Ремонт по фактическому техническому состоянию широко применяется в сферах эксплуатации авиационной техники, согласно исследованиям д.т.н., д.э.н., профессора Е.Ю. Барзиловича [6, 7, 8], д.т.н., профессора Н.Н. Смирнова, д.т.н., профессора А.А. Ицковича и др.[75, 96, 97], и морского транспорта, согласно исследованиям к.т.н. Е.С. Носенко [81].

В своих работах д.т.н., профессор Н.Я. Говорущенко указывает, что ремонт подвижного состава автомобильного транспорта по техническому состоянию фактически уже в настоящее время используется во многих автотранспортных предприятиях страны [17, 18, 19].

В начале 60-х годов, д.т.н., профессором К.Т. Кошкиным была опубликована монография, в которой впервые раскрывались основные принципы и особенности проектирования технологических процессов ремонта деталей, которые легли в основу ремонта по техническому состоянию [60].

Ремонт, в основе которого лежат принципы серийного производства и характеризующийся широким использованием типовых технологических процессов, называется централизованным ремонтом по техническому состоянию (ЦРТС). Его суть состоит в следующем: по результатам предремонтного диагностирования (ПД), которое проводится либо до снятия агрегата с автомобиля (перед его отправкой в ремонт), либо на испытательном стенде (при приемке агрегата в ремонт), назначается один из заранее разработанных на предприятии технологических маршрутов ремонта (комплексов ремонтных работ – КРР). Как следствие, происходит некоторое увеличение объемов разборочно-сборочных работ, из-за несоответствий выявленного сочетания дефектов агрегата и номенклатуры работ технологического маршрута ремонта, по которому направляется данный агрегат. Однако данное увеличение объемов компенсируется сокращением объема контрольно-диагностических операций (КДО), т.к. при этом не требуется выявлять все дефекты агрегата, а лишь достаточно локализовать или установить отсутствие только тех дефектов, которые будут определять технологический маршрут ремонта [50].

Неотъемлемым звеном процесса диагностирования является человек (оператор-диагност). Эффективность ЦРТС в значительной степени зависит от применяемых методов и средств технического диагностирования, однако, какими бы устаревшими или современными они не были, самым слабым звеном в человеко-машинной системе является человек. Именно поэтому, на этапе предремонтного диагностирования неизбежны значительные по величине ошибки 1-го рода («ложный дефект») и 2-го рода («пропуск дефекта») и, как следствие, ошибка маршрутизации при распределении по КРР. Факторы, оказывающие влияние на постановку верного диагноза оператором-диагностом на этапе предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей при их ЦРТС представлены на рис. 1.2 [65].

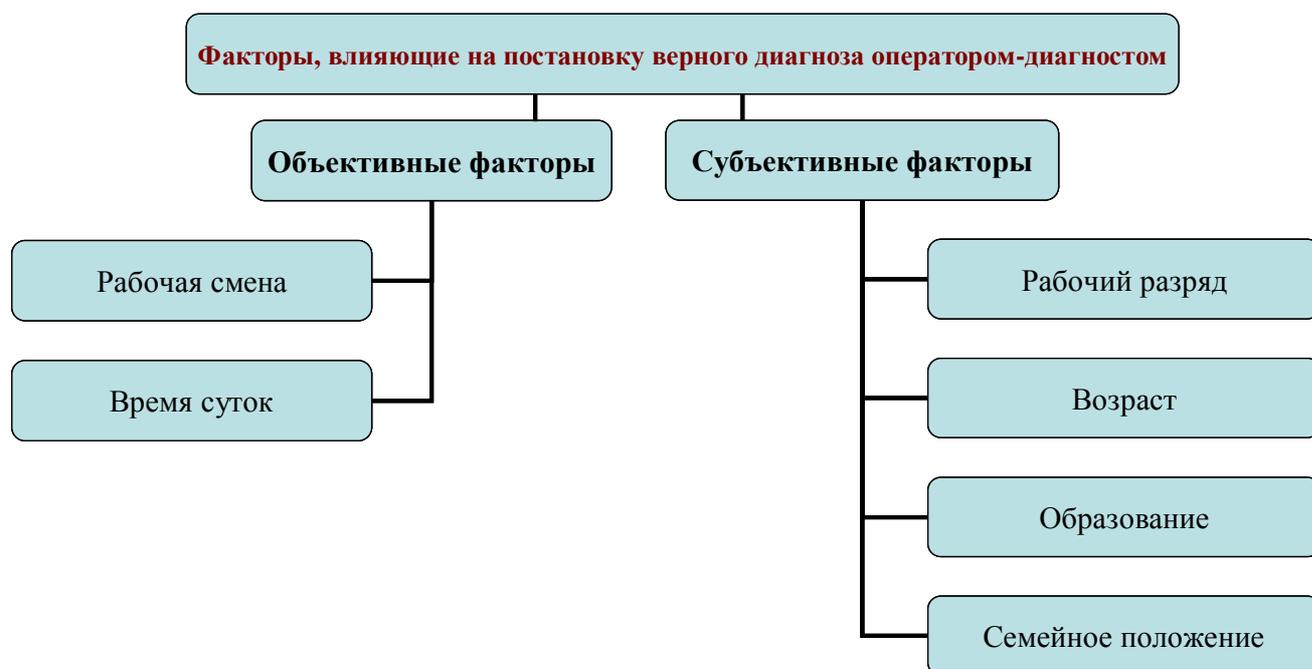


Рис. 1.2. Факторы, оказывающие влияние на постановку верного диагноза оператором-диагностом при ЦРТС агрегатов автомобилей

Схема технологического процесса ЦРТС при одноэтапном контроле представлена на рис. 1.3, где каждый поступающий в ремонт агрегат, характеризующийся сочетанием имеющихся у него дефектов ( $q$ -м) из множества  $Q$  ( $q = 1, \dots, Q$ ), по результатам предремонтного диагностирования распределяется на  $k$ -й КРР из множества  $K$  ( $k = 1, \dots, K$ ), при этом  $K < Q$ , поэтому

по одному технологическому маршруту ремонта могут быть направлены агрегаты со сходными сочетаниями выявленных дефектов. В соответствии с назначенными технологическими маршрутами ремонта, агрегаты направляют на специализированные рабочие места (СРМ) ( $R$  множество,  $r = 1, \dots, R$ ), которых достаточно чтобы выполнить годовой объем работ предприятия, кроме того на одном СРМ может выполняться несколько технологических маршрутов ремонта [50, 63, 86].

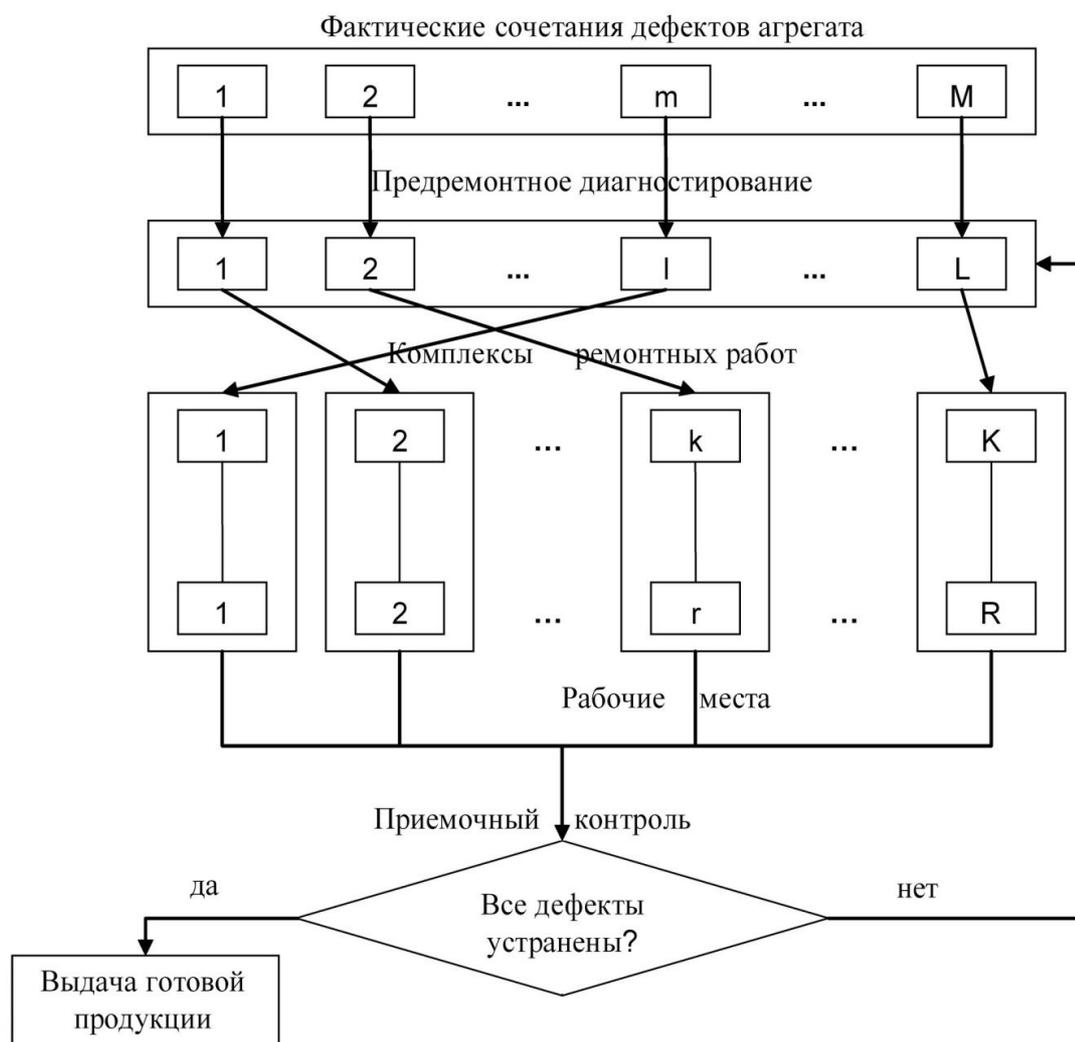


Рис. 1.3. Схема технологического процесса ЦРТС агрегатов автомобилей при одноэтапном контроле

При одноэтапном контроле из-за возникновения ошибок 1-го и 2-го рода до 28% агрегатов возвращались с рабочих мест обратно на предремонтное диагностирование.

К.т.н. В.Н. Красовский, для повышения достоверности распознавания технического состояния ремонтируемого агрегата и правильности назначения технологического ремонтного маршрута, ввел дополнительные контрольно-диагностические операции непосредственно в процесс разборки агрегата (операционный контроль разборочного процесса), что привело к снижению возврата агрегатов с рабочих мест до 18% и сокращению потерь от выполнения излишних и повторных ремонтных работ и КДО [63].

Схема ЦРТС агрегатов автомобилей при многоэтапном контроле представлена на рис. 1.4.

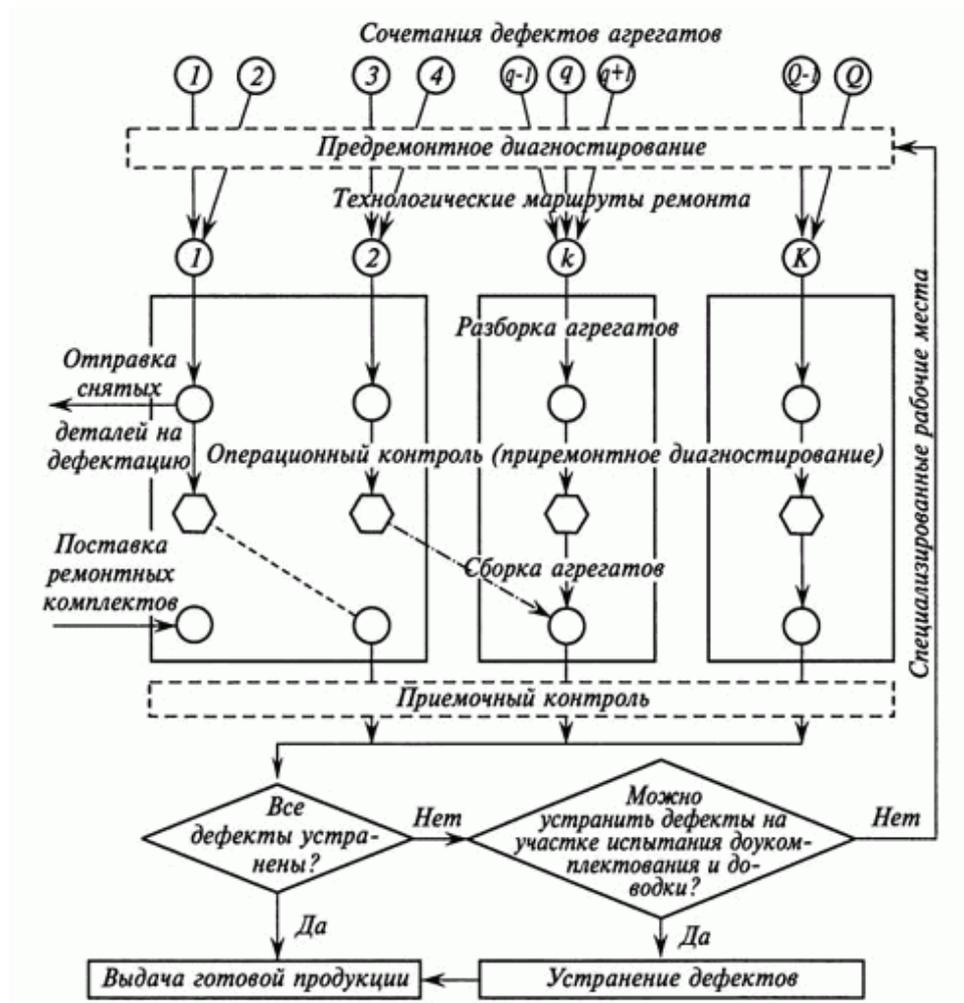


Рис. 1.4. Схема технологического процесса ЦРТС агрегатов автомобилей при многоэтапном контроле

Кроме того, на этапе приремонтного диагностирования появляется возможность локализовать дефекты, которые принципиально не поддаются

выявлению при предремонтном диагностировании. Частичная разборка агрегата способствует более точному определению его технического состояния, т.к. позволяет исключить искажающие влияния структурных параметров на рассматриваемый диагностический параметр [50]. Например, определяемые пневмотестером значения утечек сжатого воздуха, будут зависеть только от зазоров между компрессионными кольцами и стенками канавок поршней, а также юбками поршней и гильзами цилиндров. Однако, при пневмотестировании на этапе предремонтного диагностирования (когда двигатель в сборе), невозможно исключить влияние на данный параметр дефектов прокладки головки цилиндров и неплотностей клапанов [50, 63].

Во время разборки агрегатов выполняется приремонтное диагностирование, по результатам которого подтверждается правильность назначения КРР. В случае если технологический маршрут ремонта назначен правильно, то выполняются все разборочно-сборочные работы, предусмотренные данным маршрутом, после чего агрегат направляют в приемочный контроль, где он проходит обкатку и испытание. В противном случае по результатам приремонтного диагностирования агрегат перенаправляют на соответствующий маршрут, который выполняется на этом же рабочем месте (штриховая линия) или на другом (штрихпунктирная линия). При этом в соответствии с выполняемым маршрутом ремонта, снятые с агрегата детали направляют на дефектацию, а непосредственно на рабочие места подают необходимые для ремонта комплекты деталей. Дальнейшее восстановление деталей после дефектации производится на специализированных участках АРП [50, 63].

В случае обнаружения дефектов отремонтированных агрегатов на этапе приемочного контроля, они либо устраняются, если это технически возможно или экономически целесообразно, на участке по испытанию, доукомплектованию и регулировке агрегатов, либо агрегат направляют в повторный ремонт. Если агрегат соответствует техническим условиям на приемку, то его отправляют на склад готовой продукции или на выдачу заказчику [50].

Техническая база ЦРТС основывается на взаимосвязи между контролируемыми параметрами, характеризующими техническое состояние объекта ремонта, и дефектами, имеющими определенные диагностические признаки, которые меняются по мере развития дефектов. Иначе говоря, большинство распознаваемых дефектов, возникающих в агрегате, связаны с определенными диагностическими признаками и параметрами, которые сигнализируют о присутствии неисправностей, способствующих отказу агрегата. Таким образом, периодический мониторинг данных параметров позволяет вовремя обнаружить изменение технического состояния агрегата. В таком случае, ремонт будет производиться только тогда, когда возникает реальная вероятность выхода диагностических параметров автомобиля за предельно допустимые границы.

Камским автомобильным заводом установлено для двигателей три вида ремонта, в число которых, помимо текущего и капитального, также входит углубленный текущий ремонт по техническому состоянию, суть которого сводится к частичной разборке двигателей, выявлению фактического состояния деталей и узлов, необходимым заменах, сборке и испытаниям. Помимо завода ОАО «КАМАЗ» по капитальному ремонту двигателей (ЗРД) и агрегатов автомобилей КамАЗ, существуют филиалы производственных объединений по углубленному текущему ремонту двигателей.

Большое разнообразие возможных стратегий обслуживания и ремонта по состоянию условно можно объединить в две основные группы: с контролем уровня надежности и контролем параметров объектов эксплуатации. В первом случае обслуживание сводится к управлению уровнем надежности определенной совокупности однотипных изделий, а во втором - к управлению техническим состоянием каждого конкретного изделия [96].

Постепенной реализации задач для перехода от ППС к ремонтам по фактическому состоянию способствуют системы и их программные реализации класса ЕАМ (от англ. Enterprise Asset Management).

## **1.2. Концепции управления процессами ТО и ремонта автомобильного транспорта и их автоматизация**

За рубежом более 20 лет назад стали появляться системы, которые представляли собой целостный автоматизированный комплекс для повышения эффективности в задачах управления процессами ТО и ремонта на предприятиях автомобильного транспорта.

В авторемонтной отрасли Германии в 1989 г. был отмечен спад объемов выполняемых услуг по ТО и ремонту автотранспортных средств, поэтому многие предприятия были вынуждены интенсивно расширять перечень услуг предлагаемых клиентам. На тот момент там существовало около 17 тысяч свободных авторемонтных предприятий, которые, в отличие от фирменных, выполняли ТО и ремонты автомобилей любых марок [57].

Так, например, по заказу фирмы Bosch, в Германии была разработана система для обработки данных и информации на свободных авторемонтных предприятиях, Данная система была внедрена почти на 300 предприятиях-партнерах фирмы Bosch [57].

При разработке системы исходили из того, что она должна быть инструментом связи, так как авторемонтные предприятия нуждаются в значительном объеме информации. Пакет программ данной системы предусматривал доступ к базе данных и позволял оформлять рабочие листы, накладные, счета и т.д. Кроме того, пользователю предоставлялся обновляемый каталог о поставках фирмы Bosch с указанием цен. По желанию в систему можно было вносить данные о других фирмах-изготовителях, если предприятие намерено сотрудничать с ними [57].

В конце 80-х, в Болгарии софийским научно-исследовательским технологическим институтом автомобильного транспорта была разработана автоматизированная система контроля (САК), которая предназначалась для сбора и обработки информации с рабочих постов об измерениях контролируемых параметров детали, узла или агрегата. Блок-схема рабочего поста приведена на

рис. 1.5. К одному компьютеру можно было подключить до 8 рабочих постов. Каждый рабочий пост позволял измерять до 16 контролируемых параметров, а расстояние между постами могло составлять до 300 метров, что удовлетворяло требованиям сбора и обработки информации, т.к., к примеру, на авторемонтном предприятии часто проводят контроль технического состояния деталей на участках дефектации и комплектации, на участках ремонта и восстановления деталей и при приемке новых деталей [77].

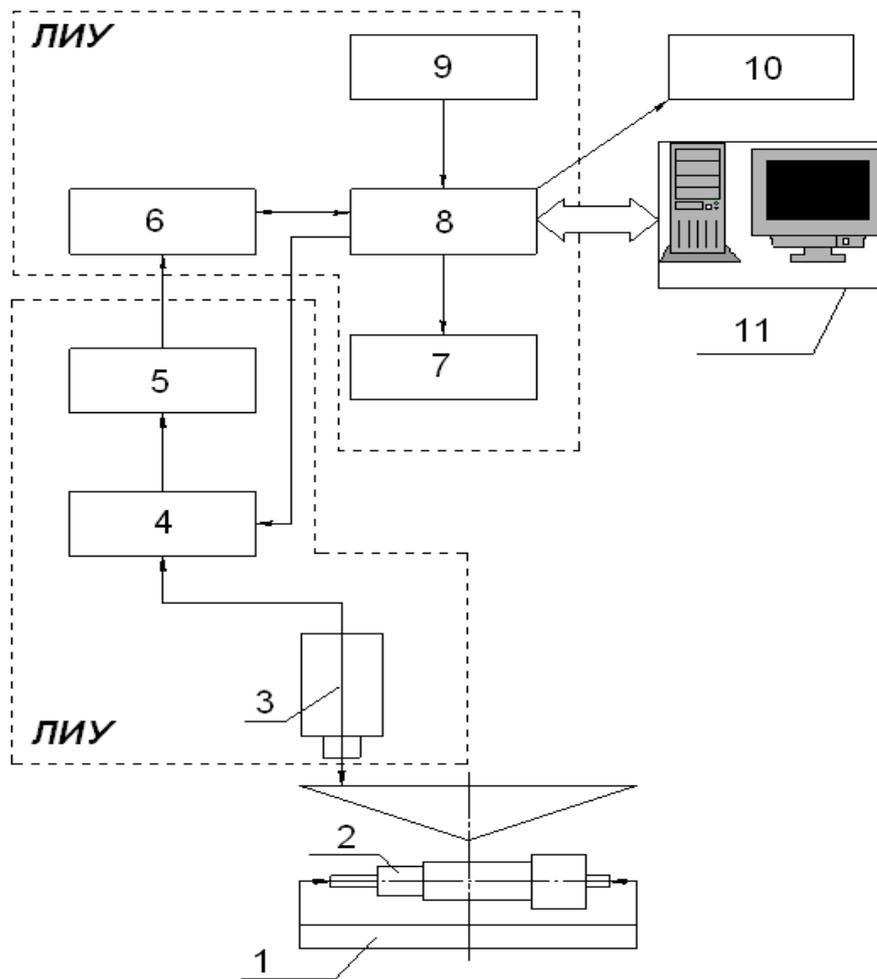


Рис. 1.5. Блок-схема рабочего поста, где: ЛМУ – локальное микропроцессорное устройство; ЛИУ – локальное измерительное устройство; 1 – приспособление для закрепления детали; 2 – контролируемая деталь; 3 – первичные преобразователи; 4 – мультиплексор; 5 – усилитель-преобразователь; 6 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 7 – блок индикации; 8 – микропроцессор; 9 – блок управления; 10 – печатающее устройство; 11 – компьютер.

Использование САК было особенно эффективно при комплектовании деталей и назначении маршрутов для восстановления изношенных деталей, т.к. принятие решения о техническом состоянии детали, узла или агрегата осуществлялось компьютером, что позволяло снизить влияние субъективного фактора при распределении ремонтного фонда по маршрутам.

В 90-х гг. функционал большинства компьютеризированных систем управления ТО и ремонтом на авторемонтных предприятиях был расширен за счет добавления возможности управления складскими запасами и ремонтным персоналом [77].

Позже возникли системы ЕАМ-системы (от англ. Enterprise Asset Management), которые в основном применялись для поддержания технологического оборудования и машин в технически исправном состоянии. Данные системы позволяют согласованно управлять следующими процессами:

- техническое обслуживание и ремонт;
- управление складскими запасами;
- материально-техническое снабжение;
- управление финансами, качеством и трудовыми ресурсами в рамках единой стратегии.

При внедрении данных систем на предприятии ориентируются на сокращение затрат на ТО и ремонт техники без снижения уровня надёжности, либо на повышение определенных производственных параметров без увеличения затрат.

Из ЕАМ-систем для автотранспортной сферы появились системы комплексного управления ТО и ремонтами – MRO-системы (от англ. Maintenance, Repair and Overhaul), основное назначение которых – это автоматизация планирования деятельности персонала, занимающихся выполнением ТО и ремонтов автомобильного транспорта, и обеспечение их необходимыми ресурсами. Кроме того, данные системы подразумевают функционал для информационного обеспечения и решения ряда задач:

- управление сроками службы и списания подвижного состава;

- оптимизация структуры и численности автопарка;
- хранение информации о каждой единице подвижного состава автопарка, отказах в процессе эксплуатации, а также выполненных ТО и ремонтах.
- поддержка территориальных подразделений предприятия, занимающихся ТО и ремонтами подвижного состава, в рамках единой стратегии и т. д.

В России и за рубежом в ряде отраслей промышленности применяется «система информационной поддержки жизненного цикла изделия» [28]. В основе которой лежит стандартизированное представление данных об изделии и предполагается фирменное сервисное гарантийное и постгарантийное обслуживание. Подобные технологии, как правило, включают в себя систему управления надежностью: осуществляется сбор сведений об отказах, плановых и аварийных ремонтах, а также о техническом состоянии выявляемых с помощью специальных контрольно-диагностических средств. Подобные системы активно внедряются в наукоемких отраслях промышленности нашей страны (ГП «Красная звезда», ВНИИ автоматики, ФГУП «ЦНИИАтоминформ» и др.), а в сфере автомобильного транспорта внедряются отдельные элементы данной системы [14].

В настоящее время в теории управления процессами ТО и ремонта популярно применение методики обслуживания, ориентированной на надежность работы машин и оборудования – известная в мире как RCM (Reliability-centered Maintenance), которая была создана в 60–х годах прошлого века для гражданской авиационной промышленности. Согласно этой методике, поддержание всех единиц машин и оборудования в безупречном состоянии не является самоцелью, главное – это работоспособность производственной системы в целом, а не работоспособность каждой единицы [115, 116].

Цель RCM – обеспечение надежности работы особо важных объектов (в соответствии с их критичностью), выход из строя которых повлечет за собой значительные последствия. При оценке последствий учитываются различные

риски – срыв производственных планов, несоблюдение норм качества продукции, экологические катастрофы и т.п.

Основные этапы RCM анализа [115]:

- А – определение пределов системы и/или подсистемы;
- В – определение всех функций системы и/или подсистемы;
- С – выявление функционально значимых элементов (FSI);
- D – определение причин отказов функциональных элементов, прогнозирование отказов и вероятностей их возникновения;
- Е – применение дерева решения проблем для классификации результатов отказов функционально значимых элементов;
- F – выбор операций для начальной программы ТО или ремонта;
- G – в случае, если какие-то операции при ТО и Р не могут быть установлены, то набор операций пересматривается;
- Н – создание динамической программы ТО и Р в результате планового и систематического обновления путем мониторинга (систематического контроля), сбора и анализа оперативных данных.

Первым шагом при использовании методики RCM является определение ограничений или пределов подсистемы. Это означает, что систему подразделяют на подсистемы более простого уровня сложности.

Вторым шагом является определение функционально значимых элементов.

На следующем шаге происходит выявление причин отказов функционально значимых элементов и прогнозирование вероятности их появления. Качественные методы (основанные на коллективном профессиональном мнении и практическом применении) и количественные методы (например, метод анализа характера и последствий отказов (FMEA–Failure Mode and Effect Analysis) или метод анализа рисков), могут использоваться для выявления причин и результатов отказа элементов. Средняя наработка на отказ основывается на компетентном анализе по схеме «причина-отказ-следствие» [115, 116].

Логическое дерево принятия решения показано на рис. 1.6, используется для классификации результатов отказов.

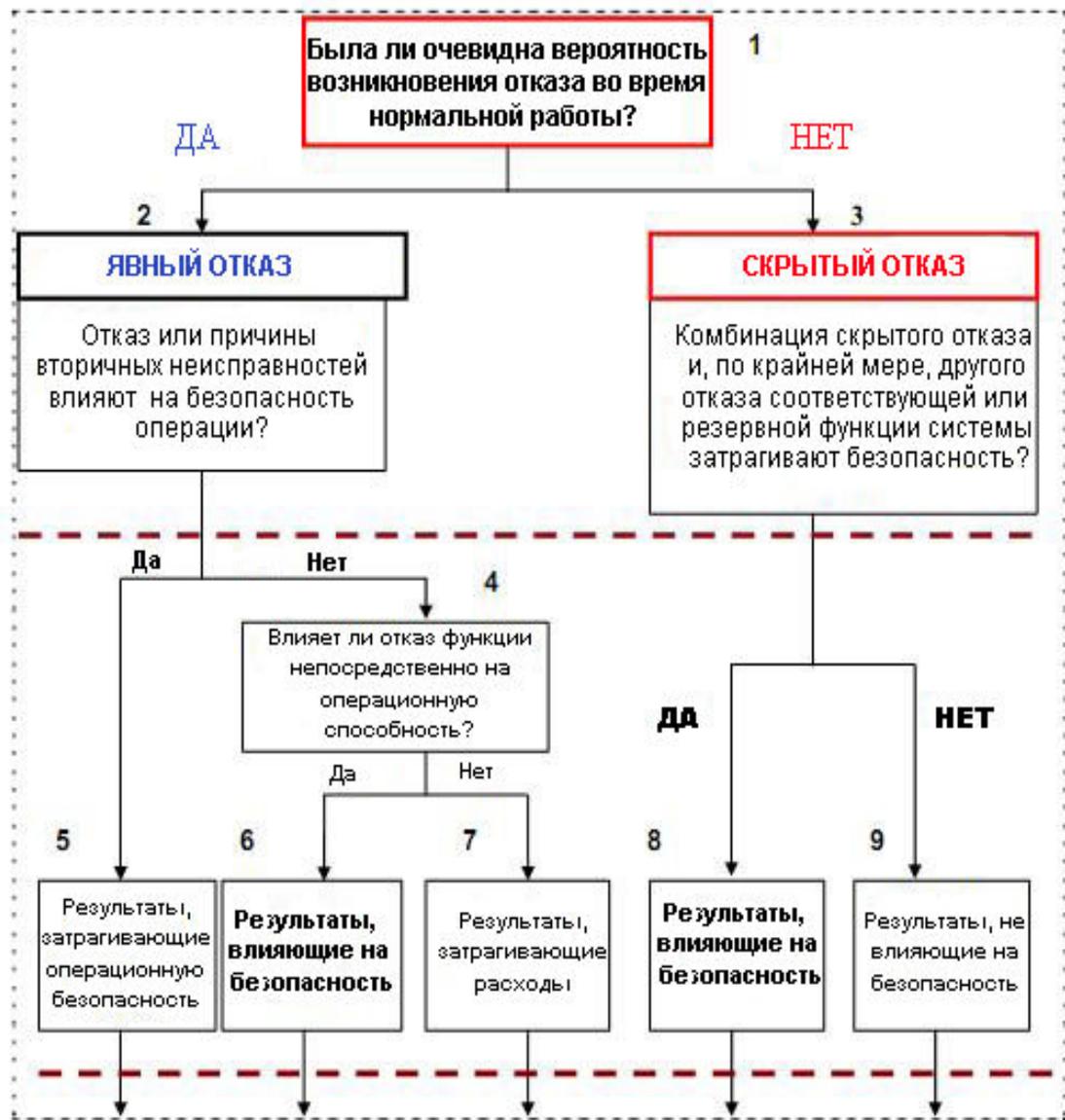


Рис. 1.6. Схема принятия решения для ТО и ремонта в системе RCM

Анализ характера и последствий отказов (FMEA), а так же логическое дерево принятия решения (FTA–Fault Tree Analysis) при отказах, могут быть успешными подходами при решении задач, связанных с расстановкой приоритетов устранения неисправностей в первую очередь [119, 125, 126].

Если вероятность отказа была предсказуема ещё во время нормальной эксплуатации системы, то данный отказ является явным, в противном случае, он классифицируется как скрытый.

### 1.3. Эффективность ЦРТС агрегатов автомобильного транспорта

Централизованный ремонт по техническому состоянию основан на принципах маршрутной технологии, основные принципы которой изложены в трудах К.Т. Кошкина [60] и информационных технологиях, являющихся ключевым фактором в вопросе о его эффективности.

На рис. 1.7 представлены составляющие технологического и информационного обеспечения ЦРТС, которые во много определяют его эффективность [86].

Однако, помимо технологического и информационного обеспечения, на эффективность ЦРТС также значительно влияет человеческий фактор, который и является источником появления ошибок 1-го («ложный дефект») рода и 2-го («пропуск дефекта») рода на этапе предремонтного диагностирования.



Рис. 1.7. Составляющие технологического и информационного обеспечения ЦРТС

На рис. 1.8 и 1.9 [63, 86] представлены зависимости распознавания ошибок 1-го рода от времени суток (в зависимости от смены) с учетом разряда и возраста оператора-диагноста, где  $\alpha$  – ошибка распознавания 1-го рода («ложный дефект») при определении оператором-диагностом комплекса ремонтных работ;  $P$  – рабочий разряд оператора-диагноста;  $W$  – возраст оператора-диагноста, лет;  $L$  – сменное рабочее время предремонтного диагностирования, час.

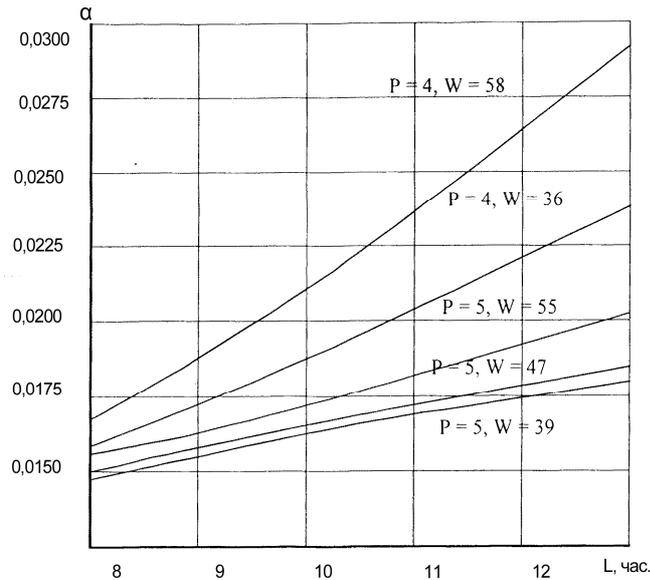


Рис. 1.8. Зависимость вероятностей ошибок 1-го рода в первую смену от времени с учетом разряда и возраста оператора-диагноста

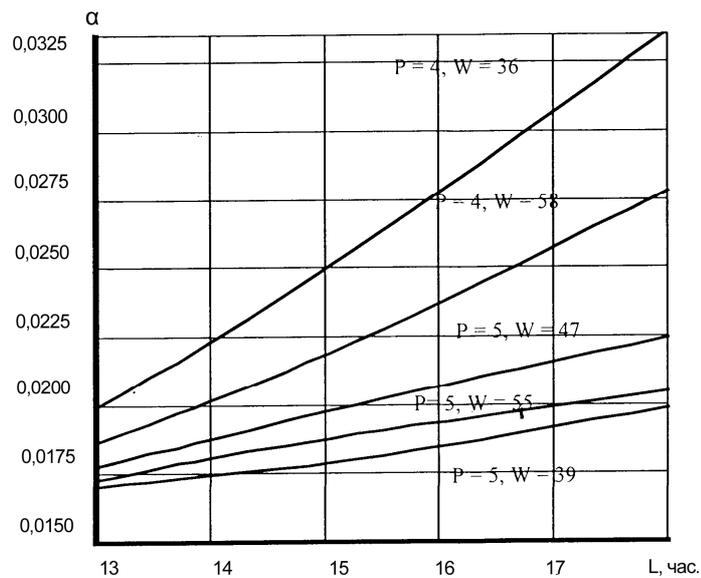


Рис. 1.9. Зависимость вероятностей ошибок 1-го рода во вторую смену от времени с учетом разряда и возраста оператора-диагноста

На рис. 1.10 и 1.11 [63, 86] представлены графики зависимостей распознавания ошибок 2-го рода от различных факторов, где  $\beta$  – ошибка распознавания 2-го рода («пропуск дефекта») при определении оператором-диагностом комплекса ремонтных работ;  $P$  – рабочий разряд оператора-диагноста;  $W$  – возраст оператора-диагноста, лет;  $L$  – сменное рабочее время предремонтного диагностирования, час;  $N$  – наработка агрегата (пробег), тыс. км.

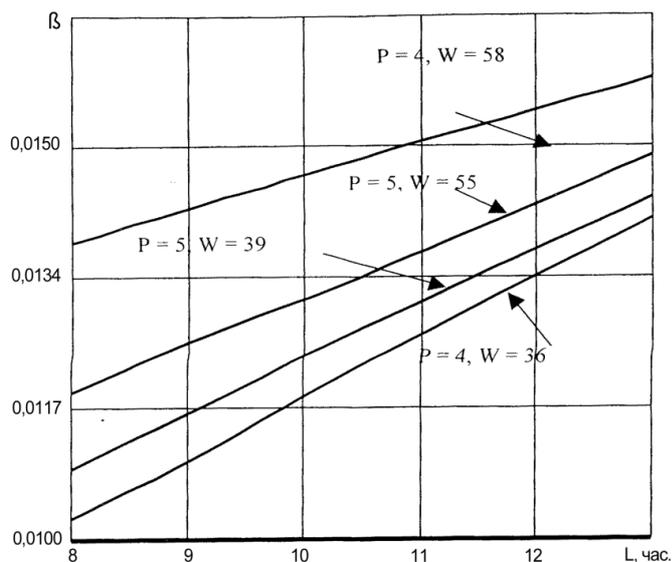


Рис. 1.10. Зависимость вероятностей ошибок 2-го рода от времени суток с учетом разряда и возраста оператора-диагноста

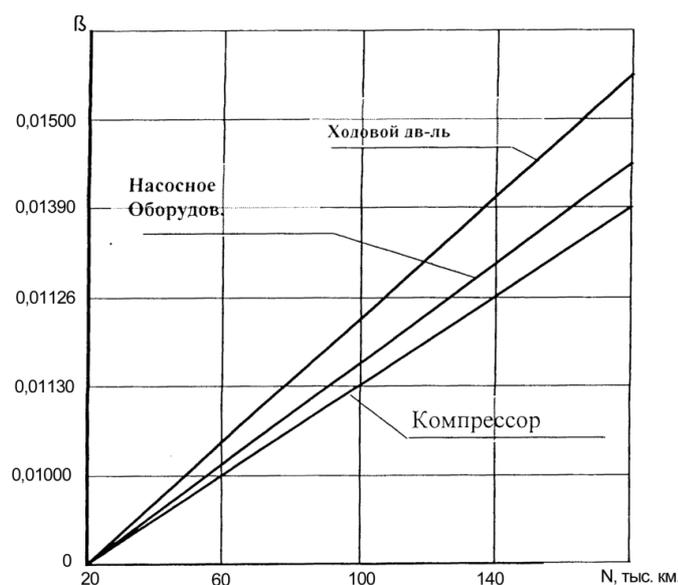


Рис. 1.11. Зависимость вероятностей ошибок 2-го рода от наработки агрегата

#### **1.4. Применение искусственных когнитивных систем в процессах диагностирования сложных технических устройств**

В основе ремонта по техническому состоянию лежит техническое диагностирование (ТД), с помощью которого проводят непрерывный или периодический контроль параметров, характеризующих текущее фактическое состояния объекта диагностирования.

Прогнозирование выполняют при непрерывном контроле для определения времени, в течение которого сохранится работоспособное состояние, а при периодическом контроле – для определения момента времени следующего контроля.

Процесс диагностирования неисправностей состоит из выявления и локализации дефектов в системе. По мере усложнения технических систем и росту требований к безопасности, надежности и экологичности, диагностирование неисправностей становится все более значимой процедурой. Одним из примеров является диагностика автомобилей, где требуется высокая надежность и работоспособность, низкий уровень выбросов, кроме того, диагностика способствует повышению эффективности ТО и ремонта автомобиля [126].

Следствиями неисправностей двигателей могут быть:

- повышение выбросов, загрязняющие экосистемы;
- снижение уровня безопасности;
- увеличение расхода топлива;
- ухудшение управляемости автомобилем или его проходимость и др.

При своевременном обнаружении неисправностей, эти последствия можно предотвратить или хотя бы уменьшить. Общая структура технического диагностирования представлена на рис. 1.12, где в системе диагностики сводятся все имеющиеся знания о процессе (сюда входят измеряемые параметры и прочая информация, на основании которой делается вывод о фактическом техническом состоянии объекта диагностирования).

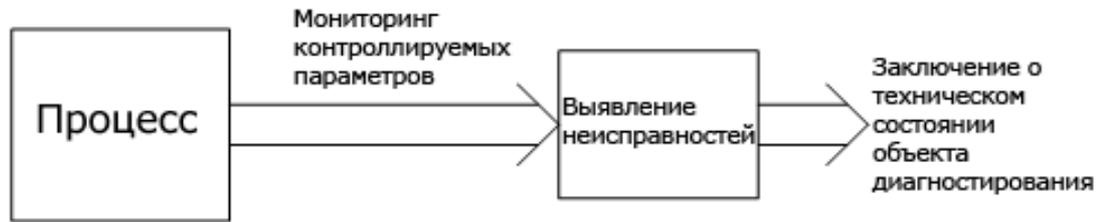


Рис. 1.12. Общая структура технического диагностирования

В публикациях, касающихся современных аппаратно–программных средств для различного рода вычислений, все чаще встречаются словосочетание искусственные когнитивные системы (от англ. Artificial cognitive systems).

В основе искусственных когнитивных системах лежит процесс “имитирования” мыслительной деятельности человека, они основаны, как правило, на моделях искусственных нейронных сетей (от англ. Artificial neural networks) (ИНС), которые представляют собой математические модели, выстроенные на основе принципов организации биологических нейронных сетей.

Среди множества различных способов и методов обнаружения неисправностей при диагностике технических систем, в США, Польше, Швейцарии и Китае и ряде других стран, в последнее десятилетие одним из прогрессивных методов диагностирования является с использованием искусственных когнитивных систем на основе математического аппарата ИНС [117, 118, 122, 124, 126].

После разработки алгоритмов обучения ИНС, получаемые модели используют в практических целях: в задачах прогнозирования, для распознавания образов, в задачах управления и др.

Искусственные нейронные сети, в настоящее время, проектируются в автономно работающем программном обеспечении, которое способно обрабатывать многомерные входные данные в режиме реального времени. Сеть обучается предсказывать одну из переменных, используя другие. Разница между предсказанием и измерением используется, чтобы отличить нормально работающий двигатель от неисправного. Например, используя ИНС, мы можем с высокой степенью точности обнаружить ошибки датчика абсолютного давления

впускного коллектора ( $V_s$ ) и клапана системы рециркуляции отработавших газов ( $V_a$ ). Во впускном коллекторе автомобильного двигателя, схематически изображенном на рис. 1.13, скорость массового расхода воздуха ( $V_i$ ), рециркуляция отработавших газов ( $V_a$ ), обороты двигателя ( $V_o$ ) и абсолютное давление ( $V_s$ ) связаны уравнением динамики первого порядка [117]:

$$dV_s/dt = F(V_i, V_o, V_a, V_s) \quad (1.1)$$

Во многих автомобилях датчики измеряют данные переменные. Благодаря взаимосвязи этих переменных и фиксации их изменений во времени, мы можем выявлять неисправности датчиков. Таким образом, к примеру, контролируя переменную  $V_s$ , мы способны с высокой точностью обнаруживать ошибки в переменной  $V_a$ . Рассмотрим модель нейронной сети, которая способна фиксировать динамику шестицилиндрового двигателя в условиях АРП и на производстве. Несмотря на то, что представленная модель ИНС лишь для определенной диагностической проблемы, данный подход является общим и может легко быть адаптирован под решение более широкого круга задач диагностики [117].

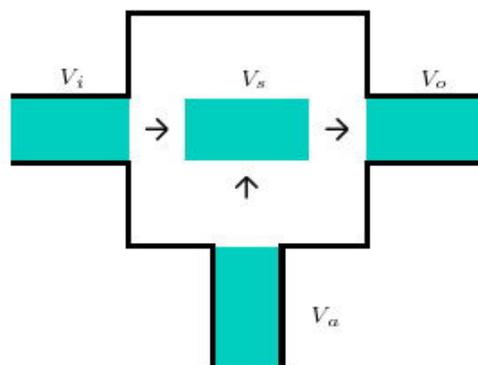


Рис. 1.13. Схема циркуляции потоков в двигателе

Используя трехслойную нейронную сеть с обратной связью, архитектура которой показана на рис. 1.14, можно спрогнозировать переменную  $V_s$ , используя остальные три переменные. Спрогнозированная переменная  $V_s$  возвращается на

вход (принцип действия сетей с обратной связью) в качестве четвертого входного нейрона.

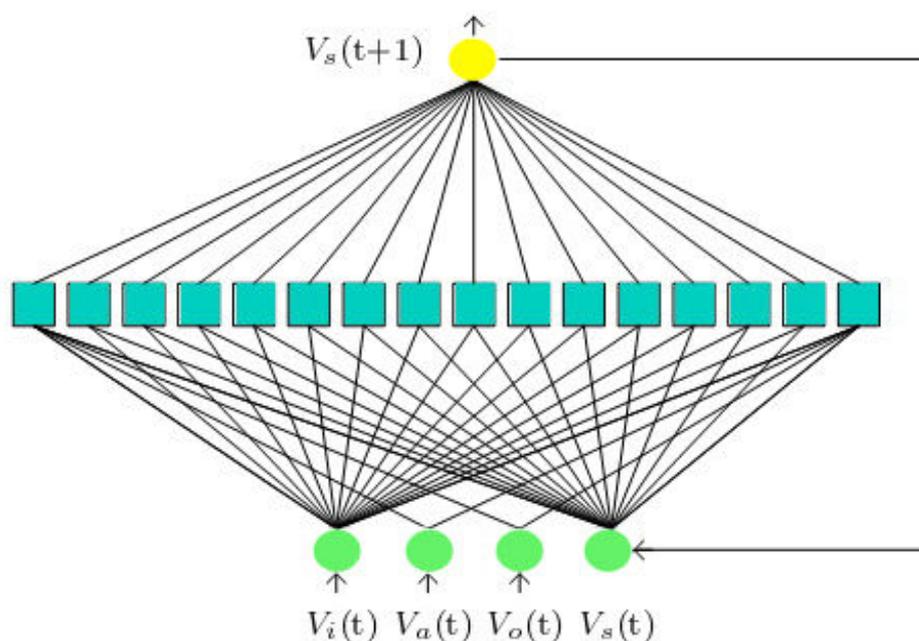


Рис. 1.14. Архитектура трехслойной ИНС с обратной связью

Сеть с обратной связью обучается на учебном наборе данных, который был сформирован путем имитирования неисправностей  $V_s$  и  $V_a$ . Данные для обучения подаются следующим образом [117]:

1. Находится случайная начальная точка в длинной временной последовательности данных и устанавливается начальное значение входа обратной связи переменной  $V_s$ .

2. Выполняется вход, чтобы получить  $V_s$  на выходе и вычислить ошибку (квадрат разности спрогнозированного значения  $V_s$  и полученного).

3. Устанавливается прямая подача на вход к следующей точки данных и вход обратной связи к спрогнозированному значению  $V_s$ .

4. Повторяются шаги 2 и 3 в цикле ( $n=100$ ) для сбора сигналов об ошибках.

5. Повторяются шаги 1, 2, 3 и 4 в цикле ( $n=4$ ) для дальнейшего сбора сигналов об ошибках.

6. Обновляется соединение согласно правилу обратного распространения ошибки (от англ. Back Error Propagation).

7. Повторяются шаги с 1 по 6 до тех пор, пока ошибка не перестанет уменьшаться или пока не будет достигнут предел вычислений.

Рабочие характеристики сети обычно проверяются на отдельном тестовом наборе данных.

В своих работах д.т.н., профессор Л.Н. Ясницкий описывает выявления неисправностей с использованием искусственной нейронной сети на примере авиационных двигателей, на которые устанавливаются датчики для измерений параметров работы во время полетов. Путем полетного мониторинга формируется файл данных, который содержит определенные контрольно-диагностические параметры двигателя. После выполнения определенного числа полетов, двигатель снимается и подвергается стендовой разборке, во время которой выявляют и устраняют его дефекты. Задача инженера-диагноста сводится к тому, чтобы, используя полученные данные мониторинга, выявить дефекты двигателя без его разборки. Традиционный способ решения данной задачи – это использование методик, основанных на физических закономерностях: возникновение определенного дефекта вызывает определенные отклонения тех или иных контролируемых параметров, поэтому, проводя анализ характера этих изменений, делается предположение о возможном наличии дефектов, вызывающих эти изменения [113].

Данная задача с использованием математического аппарата ИНС решается следующим образом: во входном векторе персептрона  $X$  предусматривают места для всех параметров полетного мониторинга, на значения которых оказывают влияние выявляемые дефекты. Возможные дефекты авиадвигателя кодируются в выходном векторе  $D$  с помощью двоичной системы счисления. Векторы желаемых выходов  $D_q$  составляются по результатам стендовых разборок двигателей. Кроме того, предполагается, что при начале эксплуатации нового или только что отремонтированного самолета его двигатель полностью исправен и дефектов в нем нет, тогда как перед самым завершением полетного мониторинга двигатель уже имел те самые дефекты, которые и выявились при его разборке. Поэтому из всего множества параметров полетного мониторинга ценность для

обучения нейронной сети имеют параметры именно первого и последнего полетов самолета. Тогда для каждого двигателя, побывавшего в разборке, нужно сформировать пару обучающих векторов  $X_q$  и  $D_q$ . Если количество обучающих примеров будет достаточным, то правильно спроектированный многослойный персептрон обучится надежно ставить диагноз неисправности авиационных двигателей, в том числе и тех, которые в обучающем множестве не присутствовали [113].

### **1.5. Постановка цели и задач исследования**

Анализ опыта применения математического аппарата искусственных нейронных сетей в задачах технической диагностики сложных технических устройств позволил сделать следующие выводы.

1. Применение данного аппарата исключает необходимость систематического накопления статистической информации многопараметрического характера как основу для проектирования рациональной структуры технологической системы ЦРТС, используемую в существующих научно-методических разработках.

2. Данные технологии обладают высокой степенью гибкости, что позволяет прогнозировать появление дефектов еще до поступления изделий в ремонт.

3. Исключается необходимость постоянного мониторинга технического состояния изделий, так как необходимые значения соответствующих параметров можно получать на этапе предремонтного диагностирования с высокой достоверностью распознавания сочетаний дефектов.

4. Можно добиться значительного снижения влияния человеческого фактора при постановке окончательного диагноза о техническом состоянии поступающих в ремонт агрегатов автомобилей.

При этом для построения моделей ИНС в задачах технического диагностирования и распределения по КРР агрегатов ремонтного фонда при их ЦРТС, можно использовать информацию, полученную на этапе предремонтного диагностирования.

Таким образом, анализ состояния вопроса позволил сформулировать цель настоящих исследований – организация подсистемы предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей на основе формируемого автоматизированного рабочего места оператора-диагноста, позволяющая снизить внутрипроизводственные потери ремонтного предприятия при функционировании системы централизованного ремонта по техническому состоянию.

Вышеизложенное позволяет представить рабочую гипотезу исследования в следующем предположении: существуют способы определения и классификации пространства признаков, оценивающих техническое состояние ремонтируемых изделий и их распределения в пространстве признаков, характеризующих процессы восстановления их технического состояния, не использующие вероятностные характеристики оценки их эффективности.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи.

1. Выполнить анализ факторов, обуславливающих эффективность функционирования системы ЦРТС агрегатов автомобилей и оценить степень их влияния на качество ремонта.

2. Разработать методику распознавания дефектов агрегатов автомобилей с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей для их распределения по технологическим маршрутам ремонта.

3. Разработать методическое и метрологическое обеспечение экспериментального исследования над объектом исследования на этапе предремонтного диагностирования при ЦРТС.

4. Экспериментально оценить целесообразность применения разработанной методики на этапе предремонтного диагностирования объекта исследования.

5. Разработать структурную схему автоматизированного рабочего места оператора-диагноста, ядром которого является созданное оригинальное программное обеспечение.

6. Произвести оценку ожидаемого экономического эффекта при внедрении результатов исследования.

### **1.6. Выводы по первой главе**

1. Централизованный ремонт по фактическому техническому состоянию позволяет существенно снизить потери от недоиспользования ресурса деталей, узлов и агрегатов автомобилей, что способствует повышению эффективности использования автотранспортных средств.

2. Среди факторов, оказывающих влияние на постановку верного диагноза оператором-диагностом при ЦРТС агрегатов автомобилей, выделяются как объективные (рабочая смена, время суток), так и субъективные (рабочий разряд, возраст и др.).

3. Наличие ошибок распознавания не только при определении технического состояния направляемых ремонт агрегатов автомобиля, но и в процессе распределения дефектных агрегатов по конкретным технологическим маршрутам приводит к появлению производственных потерь на выполнение излишних ремонтных работ и затрат на устранение пропущенных дефектов, что не позволяет в полной мере реализовать преимущества ЦРТС агрегатов автомобилей, а в некоторых случаях приводит к полному отказу от него в пользу капитального ремонта.

4. Существующие на данный момент формы и методы организации ЦРТС не позволяют полноценно использовать преимущества данного вида ремонта, т.к. для достоверного распределения агрегатов по КРР необходима аккумуляция больших объемов статистических данных.

5. Существенному снижению влияния человеческого фактора на результат постановки диагноза о наличии (или отсутствии) дефектов и распределения агрегатов по технологическим маршрутам ремонта способствует использование искусственных когнитивных систем в задачах ЦРТС.

## ГЛАВА 2. МЕТОДИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АГРЕГАТОВ РЕМОНТНОГО ФОНДА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТА С УЧЕТОМ ИХ РАСПОЗНАННЫХ СОЧЕТАНИЙ ДЕФЕКТОВ

### 2.1. Моделирование технологии выполнения работ при ЦРТС агрегатов автомобилей

Проектирование технологических процессов ЦРТС агрегатов автомобилей связано с формированием наиболее эффективной производственно-технической базой, обеспечивающей существенное снижение внутрипроизводственных потерь ремонтного предприятия. При этом внешние по отношению к конкретному предприятию факторы, в соответствии с целью и задачами настоящего исследования, можно считать форс-мажорными и исключить их из дальнейшего анализа.

Принимая за основу классическую форму организации ЦРТС, где технологический процесс разборки (и сборки) агрегатов автомобилей представляет совокупность  $K = \{k: k = \overline{1, K}\}$  установленных заранее типовых сочетаний ремонтных работ (далее - комплексов ремонтных работ - КРР), целевую функцию исследования можно представить в следующем аддитивным выражением, характеризующим текущие производственные потери:

$$C_{\Sigma^{вн}} = \sum C_{\Sigma^{ош}} = (C_{\Sigma^{изл}} + C_{\Sigma^{прон}} + C_{\Sigma^{расп}}) N_z \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

где  $C_{\Sigma^{вн}}$  – обобщенные внутрипроизводственные потери ремонтного предприятия, руб.;

$C_{\Sigma^{ош}}$  - потери производства, формируемые ошибками распределения ремонтируемых агрегатов по КРР, руб.;

$C_{\Sigma}^{изл}$  – затраты на выполнение излишних работ при устранении ошибочно выявленных дефектов, руб.;

$C_{\Sigma}^{pron}$  – затраты на выполнение условно повторных работ при пропуске ошибочно не выявленных дефектов, руб.;

$C_{\Sigma}^{расп}$  – потери, формируемые ошибками при распределении агрегатов по технологическим маршрутам ремонта, руб.;

$N_2$  – производственная программа предприятия, ед./год.

При этом каждый из КРР представляет собой некоторое подмножество  $\{i\}_k$  ремонтных (разборочно-сборочных) операций, все множество  $R = \{r: r = \overline{1, R}\}$  которых является необходимым и достаточным, для устранения дефектов любого агрегата из числа ремонтируемых на данном предприятии.

Составляющая  $C_{\Sigma}^{ош}$  целевой функции (2.1) может быть выражена функционалом  $C_{\Sigma}^{ош} = f(C_{ij} P_{ij})$ , где  $C_{ij}$  – обобщенные затраты на выполнение работ по выявлению и устранению  $i$ -го дефекта  $j$ -го ремонтируемого агрегата, руб.;  $P_{ij}$  – вероятность события, заключающегося в возникновении ошибки распознавания  $i$ -го дефекта  $j$ -го ремонтируемого агрегата.

При этом вероятность  $P_{ij}$ , учитывая положения теории вероятностей, можно определить следующим выражением:

$$P_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij}, \quad (2.2)$$

где  $\alpha_{ij}$  – ошибка распознавания 1-го рода (ложная неисправность)  $i$ -го дефекта  $j$ -го ремонтируемого агрегата на этапе предремонтного диагностирования;  
 $\beta_{ij}$  – ошибка распознавания 2-го рода (пропуск неисправности)  $i$ -го дефекта  $j$ -го ремонтируемого агрегата на этапе предремонтного диагностирования.

Вводя целочисленные переменные, принимающие значения

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й отсутствующий дефект } j\text{-го ремонтируемого} \\ & \text{агрегата определяется как присутствующий;} \\ 0 & \text{в противном случае (ложная неисправность),} \end{cases}$$

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й присутствующий дефект } j\text{-го ремонтируемого} \\ & \text{агрегата определяется как отсутствующий;} \\ 0 & \text{в противном случае (пропуск неисправности),} \end{cases}$$

вероятность  $P_{ij}$  можно записать в развернутом виде:

$$P_{ij} = \{1 - [\delta_{ij}(1 - \alpha_{ij}) + \eta_{ij}(1 - \beta_{ij})]\} \quad (2.3)$$

В общем случае из-за ошибочного определения  $i$ -го дефекта  $j$ -го двигателя, когда в действительности такого дефекта нет (ложная неисправность -  $\alpha_{ij}$ ) возникают потери  $C_{\Sigma ij}^{изл}$ . Затраты  $C_{\Sigma ij}^{прон}$  на условно повторное выполнение работ формируются ошибками  $\beta_{ij}$ , возникающими в случае пропуска  $i$ -го дефекта при ПД  $j$ -го ремонтируемого агрегата автомобиля (пропуск неисправности).

Анализ возможных производственных ситуаций позволяет представить функционал (2.1) в следующем виде:

$$C_{\Sigma вн} = \sum C_{\Sigma ош} = (C_{\Sigma изл} + C_{\Sigma прон} + C_{\Sigma расн}) N_z \quad (2.4)$$

Таким образом, достижение поставленной цели – снижение внутрипроизводственных потерь при функционировании системы ЦРТС агрегатов автомобилей – возможно лишь при решении задач снижения абсолютных значений ошибок на всех этапах производственного процесса ремонта.

## 2.2. Обоснование выбора применяемого математического аппарата

Совокупность методов для интеллектуального анализа данных объекта исследований получили название Data Mining. Знания, добываемые этими методами, обычно представляют в виде моделей.

Одним из таких классов моделей являются искусственные нейронные сети (ИНС) – это математические модели, представляющие собой упорядоченный набор искусственных нейронов, которые связаны друг с другом определенным образом.

Выбор искусственной нейронной сети в качестве математического аппарата для решения задачи распознавания дефектов агрегатов ремонтного фонда и распределения их по комплексам ремонтных работ при ЦРТС обусловлен рядом причин.

1. Благодаря способности к обучению и запоминанию, а также путем изменения адаптивных параметров искусственных нейронов из которых состоит сеть, можно добиться высокой степени точности при решении данной задачи.

2. Применение искусственной нейронной сети позволяет избежать процесса накопления статистической информации для расчета вероятностей появлений дефектов (как это делает при методе организации и оптимизации технологических процессов ЦРТС по типовым сочетаниям ремонтных работ) для оптимального распределения агрегатов по комплексам ремонтных работ.

3. Проверка адекватности построенных на основе искусственной нейронной сети моделей проводится с использованием тестовых выборок, которые формируются во время проведения эксперимента над объектом исследований, что гарантирует высокую степень надежности моделей и др.

При применении ИНС прежде всего встает вопрос выбора архитектуры сети (числа “скрытых слоев” и количества “искусственных нейронов” в каждом из них) под конкретную задачу.

Искусственный нейрон представляет собой узел ИНС, смоделированный по упрощенному принципу функционирования биологического нейрона. Первой работой, заложившей теоретические основы создания интеллектуальных устройств, считается статья У. Мак-Каллока и В. Питтса, которая была опубликована в 1943 году, а первый перевод на русский вышел в 1956 году.

С математической точки зрения, искусственный нейрон представляет собой функцию от единственного аргумента – линейной комбинации всех сигналов на

входе (данная функции получила название “активационная функция”), с помощью которой вырабатывается выходной сигнал нейрона.

В общем виде, математическая модель искусственного нейрона является взвешенным сумматором и имеет вид [67, 73]:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + x_0 \cdot w_0 = \sum_{i=0}^n x_i \cdot w_i, \quad (2.5)$$

где  $S$  – взвешенная сумма входных сигналов нейрона;  $x_i$  - значение на  $i$ -м входе нейрона;  $w_i$  - вес  $i$ -го синапса;  $n$  - количество входов;  $x_0$  и  $w_0$  - соответственно значения дополнительного входного сигнала ( $X_0=1$ ) и его веса.

Выходное значение нейрона является функцией его состояния:

$$Y = f(S), \quad (2.6)$$

где  $f(S)$  - функция активации.

Все слои нейронной сети можно условно разделить на три группы:

- первый слой нейронов в многослойной нейронной сети называется входным. В нем обычно не выполняются никакие вычислительные операции, т.к. он состоит из нейронов, которые служат для получения данных (сигналов) и дальнейшей передачи на входы скрытого слоя ИНС;
- скрытые (промежуточные) слои являются основными, т.к. чаще всего составляют большую часть структуры ИНС. Вычисления в них производятся по формулам (2.6) и (2.7);
- выходной слой – результат работы сети.

Выбор сигмоиды в качестве активационной функции определен тем, что она дифференцируема на всей оси абсцисс и имеет очень простую производную. При

использовании алгоритма обратного распространения ошибки, это способствует ускорению процесса обучения сети.

Выходное значение нейрона, при сигмоидальной активационной функции, приобретает следующий вид:

$$Y = f(S) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha S}}, \quad (2.7)$$

На Рис. 2.1 графически схематически представлена модель искусственного нейрона, где количество входных сигналов обозначается  $X$ . Здесь множественные сигналы  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$  на соответствующих входах (в совокупности обозначаются вектором  $X$ ) имеют свои веса (которые отражают силу синаптической связи и их множество обозначается вектором  $W$ ). Произведение сигналов и соответствующих весов подается на суммирующий блок, который алгебраически складывает входы.

В результате суммирования, полученное значение является аргументом активационной функции, которая и создает выходное значение  $Y$ .

Исходя из теоретических проработок Хехт-Нильсеном вопроса об оптимальном количестве скрытых слоев, а также из анализа практической применимости ИНС для различных задач классификации, можно сделать вывод, что использование более двух скрытых слоев при проектировании сети чаще всего нецелесообразно.

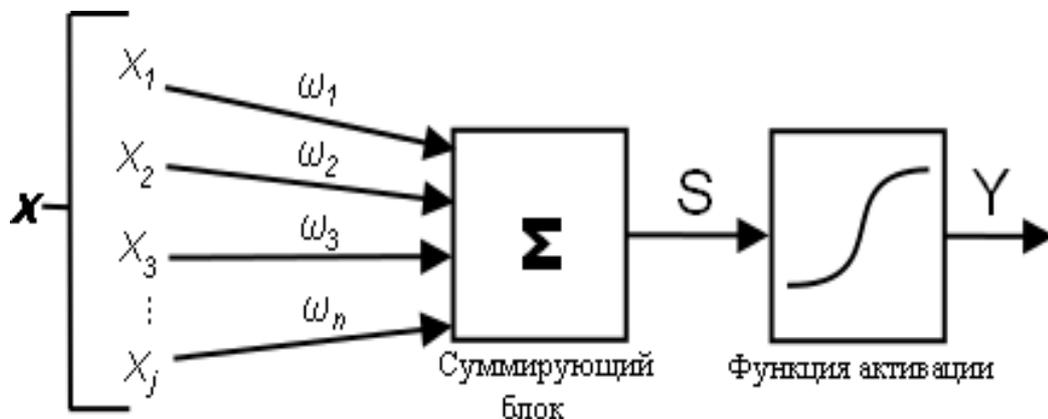


Рис. 2.1. Модель искусственного нейрона

По формулам (2.8) и (2.9), являющимся следствием из теорем Арнольда–Колмогорова–Хехт-Нильсена, можно рассчитать необходимое число нейронов для скрытого слоя.

Вначале происходит оценка необходимого числа весов синаптической связи [67,113]:

$$\frac{N_y \cdot Q}{1 + \log_2 Q} \leq N_w \leq N_y \cdot \left( \frac{Q}{N_x} + 1 \right) \cdot (N_x + N_y + 1) + N_y, \quad (2.8)$$

где  $N_y$  – число нейронов выходного слоя;

$Q$  – количество значений обучающей выборки;

$N_w$  – необходимое число синаптических весов;

$N_x$  – число нейронов входного слоя

После этого, число нейронов в скрытом слое будет определяться по формуле [67,113]:

$$L = \frac{N_w}{N_x + N_y} \quad (2.9)$$

Однако, как показывает практика построения ИНС, при таком подходе нельзя утверждать, что число нейронов в скрытом слое было оптимально подобрано под поставленную задачу, кроме того, обычно в результате получается большой размах интервала, в котором лежит значение  $L$ .

Поэтому, следствие из теорем Арнольда–Колмогорова–Хехт-Нильсена будет использовано лишь для определения верхнего предела значения нейронов ( $R$ ) в скрытом слое. Отбросив нижнюю границу интервала в формуле (2.8), приравняв  $N_w$  к оставшейся верхней границе и подставив формулу (2.9) в (2.8), получаем:

$$R = \frac{N_y \left( \frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y}{N_x + N_y} \quad (2.10)$$

В дальнейшем,  $R$  используется как верхний предел, до которого число нейронов будет наращиваться, пока не достигнет оптимального значения.

Как показывает опыт построения моделей на основе ИНС, наращивание нейронов в скрытом слое сверх полученного предела  $R$  в большинстве случаев является нецелесообразным.

### **2.3. Постановка задачи классификации агрегатов ремонтного фонда в зависимости от распознанных сочетаний дефектов**

Техническое состояние каждого из множества  $O = \{O_i: i = 1, 2, 3, \dots, M\}$  поступающих в ремонтный фонд агрегатов автомобилей характеризуется набором контролируемых параметров, значения которых определяются на этапе предремонтного диагностирования при ЦРТС. Определенные сочетания данных параметров и их значений означают наличие или отсутствие дефектов агрегатов.

Введем понятие «способность к обобщению» (от англ. Generalization ability) – это приобретенное в процессе обучения свойство нейронной сети выдавать верные результаты для любых новых входных сочетаний, которые не принимали участия в процессе обучения.

Если ИНС выдает высокий процент верных результатов не только для обучающей выборки, но и для новых, ранее неизвестных примеров, то считается, что она приобрела способность к обобщению.

В случае, когда высокий процент верных результатов обеспечивается только для обучающей выборки, а на тестовых примерах часто ошибается, то можно сделать вывод что у нейронной сети не появилась способность к обобщению.

Пусть количество комплексов ремонтных работ (КРР) при ЦРТС является заранее известным значением  $Z$ , а  $X$  – сочетание контролируемых параметров агрегатов, поступающих в ремфонд. Отклонения в значениях параметров от номинальных свидетельствуют о наличии дефектов агрегатов  $Y$ . В таком случае, задача нейросетевой классификации сводится к построению алгоритма  $\Theta$ , где на начальном этапе происходит классификация  $\Theta: X \rightarrow Y$ , основываясь на приобретенной, в процессе обучения, способности нейронной сети к обобщению, а далее происходит распределение совокупности агрегатов по КРР в зависимости от выявленных сочетаний дефектов:  $\Theta: Y \rightarrow Z$ , где  $y \in Y$  и  $z \in Z$ .

При построении нейросетевого классификатора, прежде всего, необходимо определить сложность разделения объектов на классы. Для упрощения задачи классификации, следует добиться линейного разделения объектов исследования.

Так как поставленная задача подразумевает более двух классов для распределения агрегатов между ними, то наиболее рациональным способом формирования выходных сигналов будет являться совокупность компонентов вектора. Иными словами, каждый возможный дефект будет иметь свой выходной сигнал, а о наличии дефекта или его отсутствии будет говорить 0 или 1 на соответствующем выходе. При этом очень важно добиться как можно более близких к 0 или 1 значений, для этого необходимо провести предварительную обработку входных данных.

#### **2.4. Алгоритм нормирования исходных данных при обучении математического аппарата ИНС**

Для повышения достоверности распознавания и уменьшения времени обучения математического аппарата искусственной нейронной сети, данные, поступающие на входной слой сети, должны быть типизированы и лежать в определенном диапазоне, поэтому необходимо выполнить масштабирование обучающего набора данных.

Обычно обучающий набор данных подается на входной слой в виде бинарных значений, целых чисел, чисел с плавающей запятой и т.д. Их разброс должен быть в определенном диапазоне, который зависит от вида применяемой функции активации. Однако, чаще всего, поступающие сигналы имеют большой разброс значений на каждом нейроне входного слоя, что значительно снижает способности ИНС к обучению и анализу.

Область значений сигмоидальной функции находится в диапазоне  $[0;1]$ , поэтому она является сжимающей (Рис. 2.2).

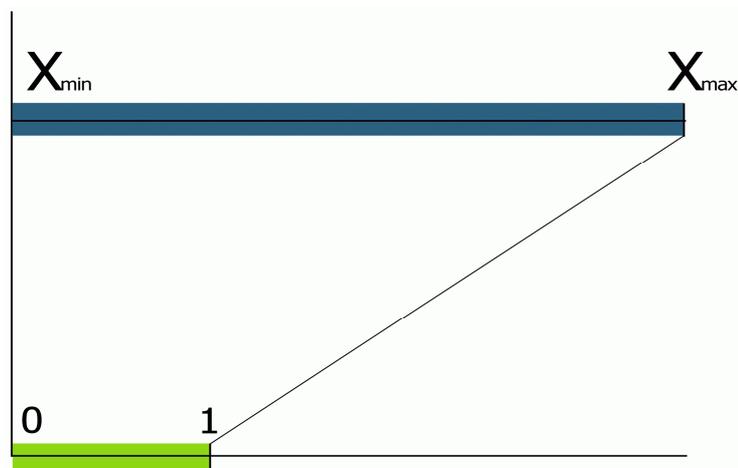


Рис 2.2. Масштабирование исходных данных в область значений сигмоидальной функции активации

На рис. 2.3 представлена блок-схема алгоритма нормирования исходных данных при обучении ИНС с сигмоидой в качестве активационной функции.

В процессе работы представленного алгоритма масштабирования исходных данных, передача на функцию активации осуществляется в оптимальном виде. Данный алгоритм является универсальным, поэтому при его применении для функции активации отличной от сигмоидальной, на шаге 3 меняется интервал масштабирования и, возможно, тип нормирования.

Линейная нормализация используется при плотном заполнении интервала переменной  $x_i$  значениями, т.к. ориентирована на граничные значения ( $x_{\min}$ ,  $x_{\max}$ ).

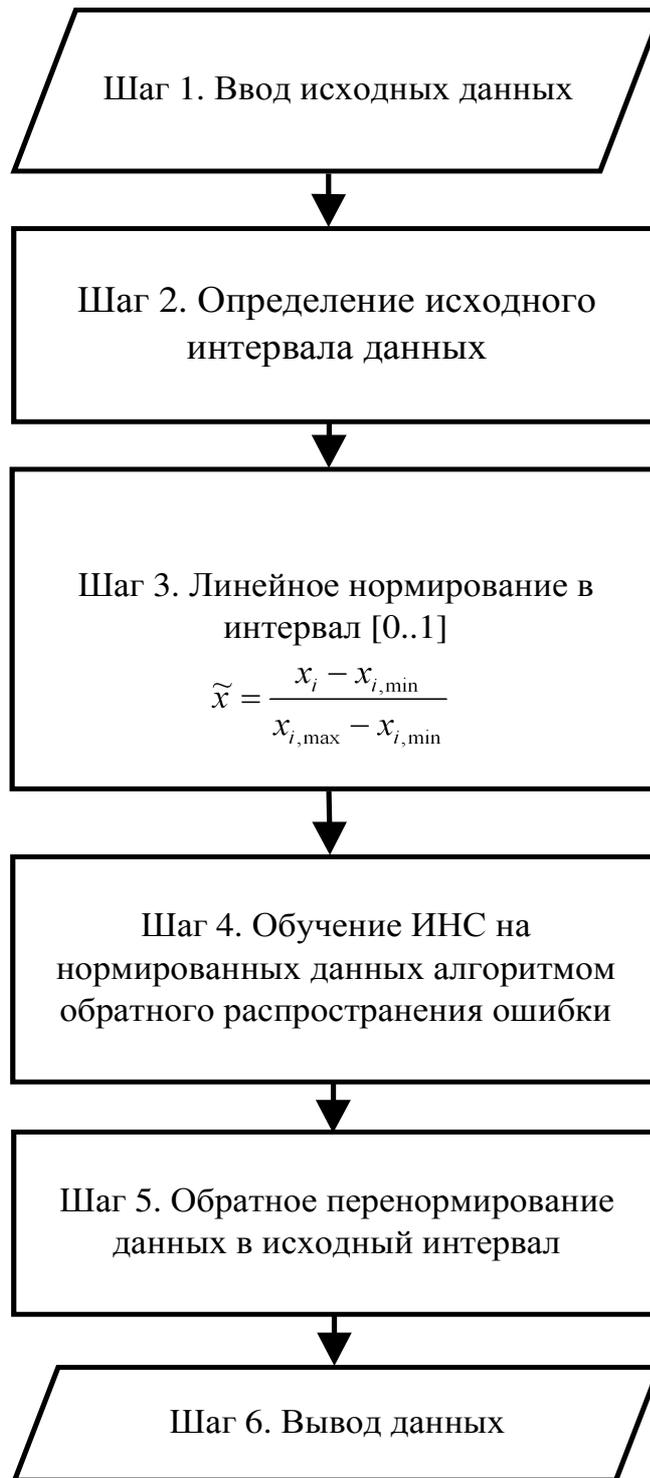


Рис. 2.3. Блок-схема алгоритма ИНС в рабочем интервале сигмоидальной активационной функции при линейном нормировании

Предварительная обработка данных является важным этапом при построении моделей искусственных нейронных сетей, т.к., например, неверно выбранный диапазон масштабирования исходных данных в область значений

функции активации в значительной степени повлияет на способность ИНС к обобщению после обучения (к примеру, способность ИНС выявлять сочетания дефектов, которых не было в обучающей выборке).

## **2.5. Алгоритм обучения ИНС методом обратного распространения ошибки**

При построении ИНС хотя бы с одним скрытым слоем, применение метода d-правила Розенблатта для обучения сети, ограничено, т.к. необходимо знать правильные значения на входах и выходах скрытых слоев, что является невозможным.

Одним из наиболее популярных методов обучения перцептрона, при наличии скрытых слоев, является метод градиентного спуска (от англ. Gradient descent), который заключается в том, что при каждом новом приближении (итерации) происходит корректирование каждого весового коэффициента  $\Delta w_{LL-1}$  в направлении, противоположном градиенту (антиградиент) функции ошибки (от англ. Error function)  $\mathcal{E}$ .

При данном методе на каждой итерации происходит корректирование весов. Например, при передаче сигналов с последнего скрытого слоя на выходной слой, корректирование производится по следующей формуле:

$$\Delta w_{LL-1} = -\eta \cdot \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial w_{LL-1}}, \quad (2.11)$$

где  $\eta$  - скорость обучения алгоритма.

Для оценки точности нейросетевой классификации после обучения, используется функция оценивания ошибки  $\mathcal{E}$ . Она зависит от весовых коэффициентов и является функцией от них.

Наиболее распространенной функцией оценивания ошибки являются квадратичная функция ошибок (от англ. Quadratic error function) [67, 98];

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_y} (y_L^{ж.} - y_L^{\phi.})^2, \quad (2.12)$$

где  $N_y$  – число нейронов выходного слоя;

$y_L^{ж.}$  - желаемый выходной вектор нейронной сети;

$y_L^{\phi.}$  - получаемый (фактический) выходной вектор нейронной сети;

Для уменьшения пространства поиска зависимости (2.6), при ограниченном наборе входных данных, и оценки качества обучения ИНС, ставится задача минимизации функции ошибки (погрешности). Тогда целевая функция имеет вид:

$$\varepsilon \rightarrow \min \quad (2.13)$$

Метод обратного распространения ошибки является итеративным градиентным алгоритмом, он представляет собой модификацию классического метода градиентного спуска, который используется для минимизации целевой функции (2.13).

При данном методе, в процессе обучения, веса нейронов нейронной сети корректируются с учетом сигналов, поступивших с предыдущего слоя, а также с учетом погрешностей при обработке слоев в обратном направлении начиная с последнего слоя (принцип обратного распространения). Кроме того, значение ошибки можно минимизировать за счет увеличения числа эпох (итераций) обучения сети. Главное требование для применения данного алгоритма – выбранная активационная функция должна быть дифференцируема.

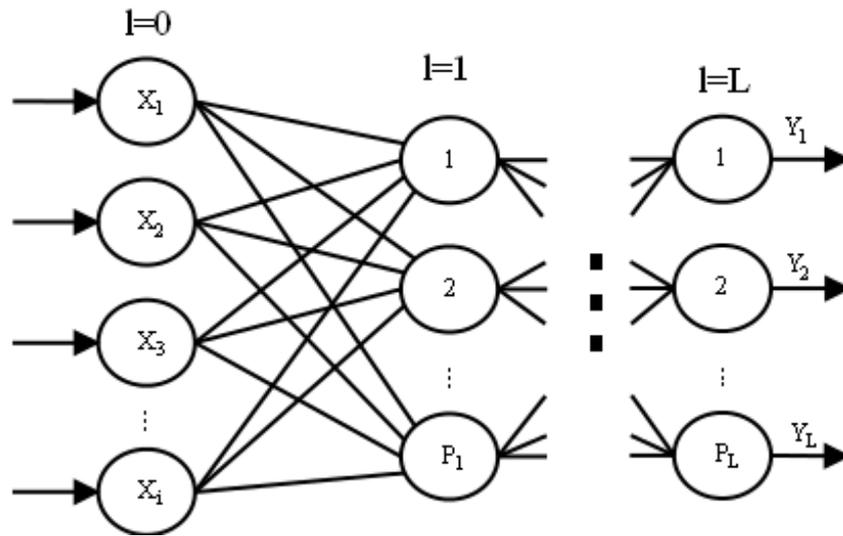


Рис. 2.4. Схема многослойного персептрона

На рис. 2.4 видно, что во входном слое  $l=0$  содержится  $X_i$  количество нейронов. В данном слое происходит лишь передача сигналов, без каких-либо математических операций, от входа на последующий слой, поэтому его обозначение отличается от остальных слоев. Первый скрытый слой  $l=1$ , каждый последующий обозначается  $l=2 \dots L-1$ . В скрытых слоях количество нейронов равно  $P_1, \dots, P_{L-1}$ . Последний слой  $L$  является выходным, количество нейронов в нем равно  $P_L$ .

Для перехода в цикле между слоями ( $l=0, 1, 2, \dots, L-1, L$ ) и нейронами в слоях введем дополнительные обозначения:

- $q$  – порядковый номер нейрона  $l-1$  слоя;
- $q'$  – порядковый номер нейрона  $l$  слоя;
- $q''$  – порядковый номер нейрона  $l+1$  слоя;
- $Q$  – последний нейрон  $l-1$  слоя;
- $Q'$  – последний нейрон  $l$  слоя;
- $Q''$  – последний нейрон  $l+1$  слоя.

Алгоритм обучения ИНС методом обратного распространения ошибки представлен на рис. 2.5 и состоит из следующих шагов.

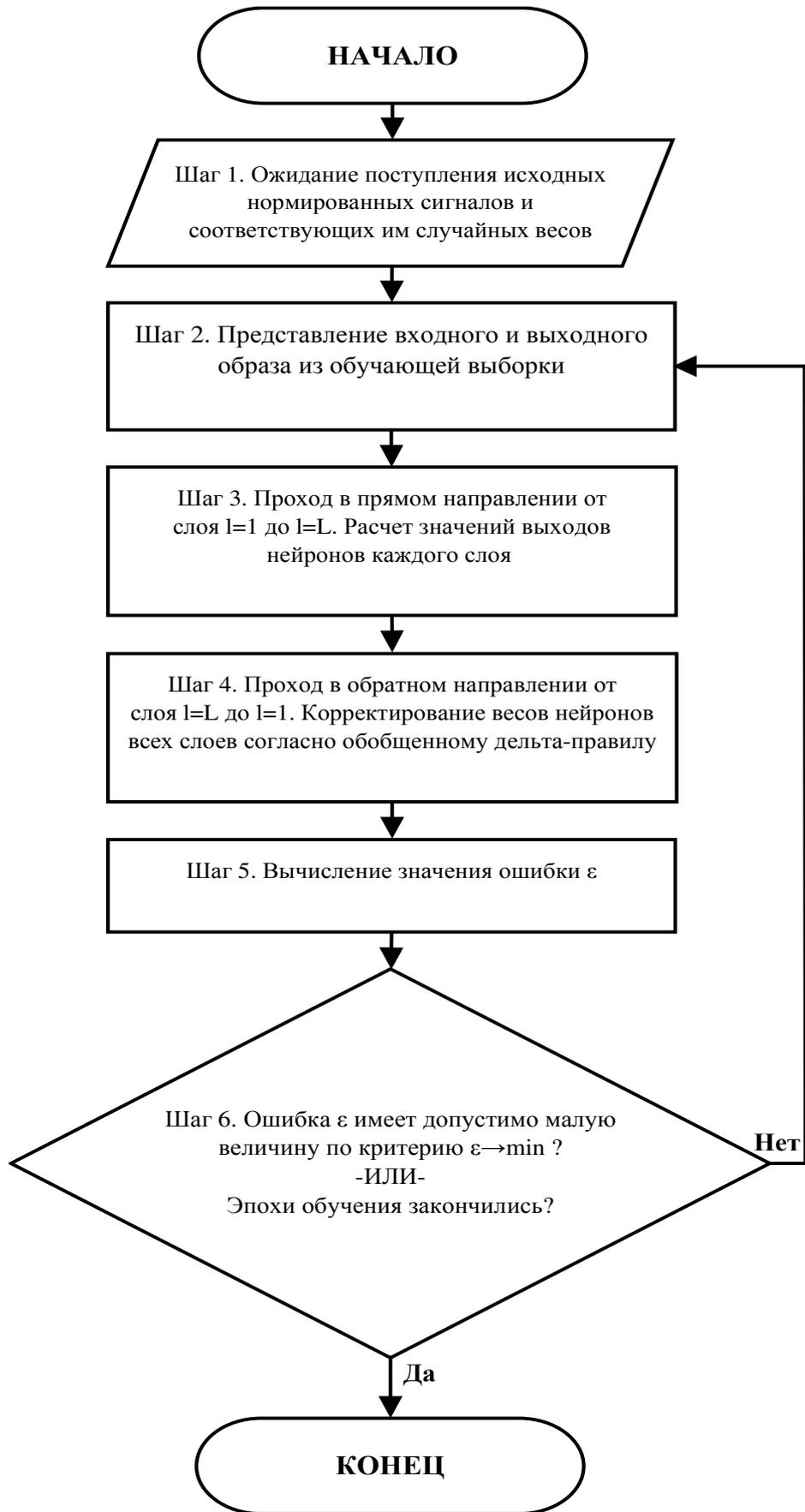


Рис. 2.5. Блок-схема алгоритма обучения ИНС методом обратного распространения ошибки

- Шаг 1. Входные сигналы поступают в нормированном виде (см. Рис. 2.3), а соответствующие им веса изначально задаются генератором случайных чисел из узкого диапазона, например  $[-1;1]$ .

- Шаг 2. Представление входного и выходного образа из обучающей выборки. Пусть  $h$  – номер примера в обучающей выборке,  $h = 1, 2, 3, \dots, N$ . Тогда, текущий входной образ -  $X_h = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_i\}_h$ , а текущий выходной -  $M_h = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_u\}_h$ .

- Шаг 3. Проход в прямом направлении от слоя  $l=1$  до  $l=L$ . При этом значения выходов нейронов каждого слоя рассчитывается как:

$$y_{q'}^{(l)} = f_{\sigma} \left( \sum_{q=0}^Q w_{q'q}^{(l)} y_q^{(l-1)} \right), \quad (2.14)$$

где  $\sigma$  - сигмоидальная активационная функция.

- Шаг 4. Проход в обратном направлении от слоя  $l=L$  до  $l=1$ . При этом происходит корректирование весов по формулам обобщенного дельта-правила (от англ. Generalized delta rule). Кроме того, введение дополнительного момента  $\mu$  позволило повысить эффективность обучения алгоритма.

$$w_{q'q}^{(l)}(t+1) = w_{q'q}^{(l)}(t) + \Delta w_{q'q}^{(l)}, \quad (2.15)$$

где

$$\Delta w_{q'q}^{(l)} = \eta \delta_{q'}^{(l)} y_q^{(l-1)} + \mu \Delta w_{q'q}^{(l-1)}, \quad (2.16)$$

где, для скрытых слоев:

$$\delta_{q'}^{(l)} = y_{q'}^{(l)} (1 - y_{q'}^{(l)}) \sum_{q''=1}^{Q''} \delta_{q''}^{(l+1)} w_{q''q'}^{(l+1)} \quad (2.17)$$

для выходного слоя:

$$\delta_{q'}^{(L)} = y_{q'}^{(L)} (1 - y_{q'}^{(L)}) (d_{q'} - y_{q'}^{(L)}). \quad (2.18)$$

- Шаг 5. Цикл  $h$  закрывается. Вычисление ошибки по формуле (2.25).
- Шаг 6. Если величина ошибки  $\varepsilon$  уменьшается при каждой новой итерации наращивания числа нейронов или количество эпох обучения еще не подошло к концу, то выполняем шаги 2-5 необходимое количество раз для корректирования весов обратно пропорционально величине ошибки.

Прекращение работы алгоритма происходит в случае, если величина ошибки будет отклоняться от желаемого на допустимо малую величину, либо если количество эпох обучения подойдет концу.

## **2.6. Разработка методики распределения агрегатов автомобилей по КРР с учетом сочетаний дефектов**

Методика нейросетевой классификации агрегатов при централизованном ремонте по техническому состоянию (ЦРТС) была разделена на два этапа.

- На первом этапе происходит распознавание дефектов агрегатов в зависимости от сочетаний контролируемых параметров, отклонения которых от допустимых значений указывают на наличие того или иного дефекта.

- На втором этапе агрегаты, по результатам выявленных сочетаний дефектов, распределяются по комплексам ремонтных работ.

Методика распределения агрегатов по комплексам ремонтных работ в зависимости от выявленных дефектов при ЦРТС приведена в виде блок-схем (Рис. 2.6 и 2.7).

### **2.6.1. Алгоритм применения ИНС для распознавания сочетаний дефектов агрегатов ремонтного фонда**

Для распознавания сочетаний дефектов агрегатов ремонтного фонда с использованием искусственной нейронной сети (ИНС) при ЦРТС, был сформирован алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 2.6.

- Шаг 1. База данных (БД) сочетаний контролируемых параметров (DB1) составляется на основе полученных экспериментальных данных. При этом БД следует разбить на две части, исходя из выбранного процентного соотношения: на обучающую выборку (на ее основе происходит обучение сети, поэтому данный набор имеет наибольшее количество примеров из БД) и тестовую выборку (на ее основе происходит оценка точности распознавания дефектов агрегатов).

- Шаг 2. Нормирование происходит согласно графику на рис. 2.2., а так же на основе алгоритма, представленного на рис. 2.3.

- Шаг 3. Изначально количество нейронов в скрытом слое = 2, для определения оптимального количества будем использовать метод постепенного наращивания их числа, пока не будет достигнуто оптимальное значения, при котором тестовый набор данных будет успешно распознан. Для определения верхнего предельного значения количества нейронов в скрытом слое используем формулу (2.10).

- Шаг 4. Если число нейронов в скрытом слое не достигло своего установленного предельного значения  $R$ , то происходит переход на следующий шаг. В противном случае, маловероятно, что дальнейшее увеличение числа нейронов повысит качество обучения ИНС, поэтому необходимо вернуться на шаг 1 и переформировать начальную базу данных сочетаний параметров (DB1).

- Шаг 5. Обучение ИНС происходит методом обратного распространения ошибки согласно блок-схеме алгоритма на рис. 2.5. Количество нейронов входного слоя берется равным количеству параметров, указывающих на наличие дефектов в определенных узлах агрегатов. Число нейронов выходного слоя равно количеству возможных дефектов рассматриваемого узла агрегата.

Все выходные сигналы последнего слоя сети имеет смысл переводить в логический тип данных, который принимает значения: 0 – отсутствие дефекта, 1 – наличие дефекта. Сочетание выходных сигналов  $Y_1 \dots Y_L$  будет основанием для утверждения о наличии того или иного дефекта.

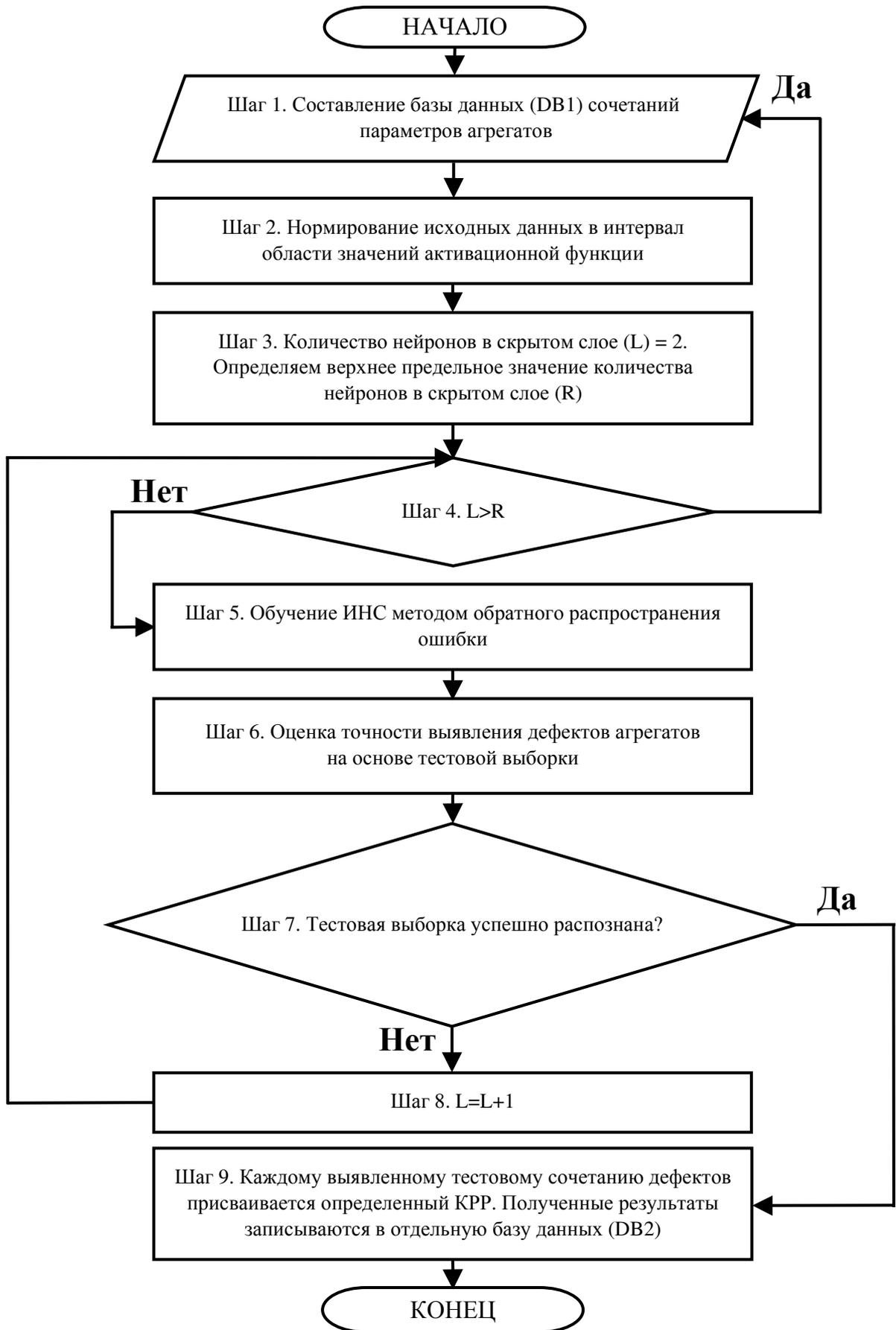


Рис. 2.6. Блок-схема алгоритма применения ИНС для решения задачи распознавания дефектов агрегатов автомобилей

- Шаг 6. Оценивается приобретенное, в процессе обучения, свойство нейронной сети выявлять ранее неизвестные ей дефекты (из тестовой выборки, которые не участвовали в процессе обучения), формируемые в результате различных сочетаний параметров согласно структурно-следственной модели взаимосвязи параметров агрегата.

- Шаг 7. Если тестовая выборка распознана полностью, то можно сделать вывод, что ИНС приобрела способность к обобщению. В таком случае происходит переход на шаг 9. В противном случае, ИНС либо не приобрела способность к обобщению, либо величина ошибки пока что еще высока, в таком случае происходит переход на шаг 8.

- Шаг 8. Происходит увеличение числа нейронов  $L=L+1$  и переход к началу шага 4.

- Шаг 9. По завершению работы алгоритма на выходе мы получаем тестовые сочетания дефектов агрегатов. Каждому такому сочетанию присваивается определенный комплекс ремонтных работ. Полученные результаты записываются в отдельную базу данных (DB2).

### **2.6.2. Алгоритм классификации агрегатов по КРР с учетом выявленных сочетаний дефектов**

Для распределения агрегатов ремонтного фонда по комплексам ремонтных работ (КРР) при ЦРТС используется сформированная в результате работы предыдущего алгоритма база данных (DB2), где перечислены все выявленные сочетания дефектов узлов агрегатов.

На рис. 2.7 в виде блок-схемы представлен алгоритм построения нейросетевого классификатора для решения задачи оптимального распределения агрегатов автомобилей по технологическим маршрутам ремонта в зависимости от распознанных дефектов агрегатов. Стоит отметить, что шаги, где выполняется нормирование входных данных, определение оптимального количества нейронов

в скрытом слое и процедура обучения методом обратного распространения ошибки аналогичны соответствующим шагам алгоритма на рис. 2.6.

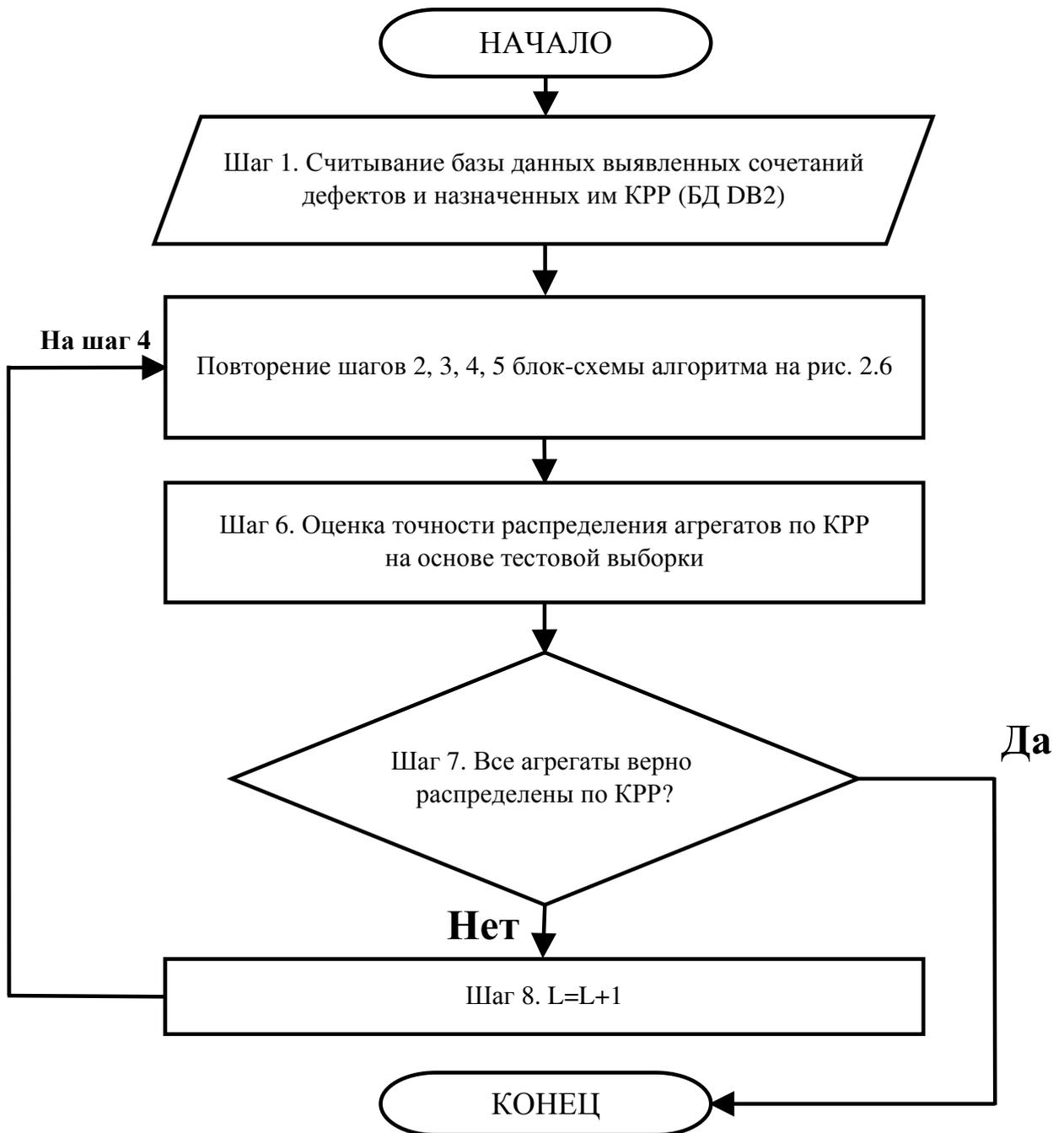


Рис. 2.7. Блок-схема алгоритма применения ИНС для решения задачи распределения агрегатов автомобилей по технологическим маршрутам ремонта

## 2.7. Выводы по второй главе

1. Анализ возможных производственных ситуаций при организованном на предприятии централизованном ремонте по техническому состоянию агрегатов автомобилей позволяет сделать вывод о том, что добиться снижения внутрипроизводственных потерь можно при снижении возникающих ошибок распознавания дефектов агрегатов и их распределения по КРР.

2. Выбор ИНС в качестве математического аппарата для решения задачи снижения ошибок распознавания дефектов агрегатов и их распределения по технологическим маршрутам ремонта при ЦРТС обоснован способностью данного математического аппарата к обучению, анализу и запоминанию результатов, а также высокой адаптации под решение поставленной задачи и др.

3. Условием применения алгоритма обратного распространения ошибки при обучении ИНС является то, что выбранная функция активации должна быть дифференцируема, поэтому используется сигмоидальная активационная функция, которая дифференцируема на всей оси абсцисс.

4. Уточненный алгоритм масштабирования исходных данных в область значений функции активации при обучении ИНС является универсальным и позволяет достичь повышения достоверности распознавания и уменьшения времени обучения данного математического аппарата.

5. Разработанный алгоритм распознавания дефектов в агрегатах с использованием математического аппарата ИНС применим к широкому спектру механических систем, обладающих достаточной конструктивной сложностью при их обслуживании и ремонте по фактическому техническому состоянию в различных отраслях народного хозяйства страны.

### **ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ИНС В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

#### **3.1. Задачи и структура процесса оптимизации числа и состава контрольно-диагностических параметров**

Состав параметров, составляющих модель подсистемы предремонтного диагностирования при ЦРТС агрегатов автомобилей (2.1), обладает различной природой. И, если определение значений параметров экономической составляющей (затрат) не вызывает особых затруднений, то для оценки параметров, характеризующих достоверность и однозначность распознавания дефектов ремонтируемых агрегатов, необходимо проведение экспериментальных исследований. При этом необходимо учесть, что все параметры модели (2.1) будут в дальнейшем использованы для обучения математической модели искусственной нейронной сети, что накладывает определенные требования к информативности измеряемых диагностических параметров агрегатов.

В настоящей диссертационной работе для формирования рациональной совокупности контрольно-диагностических операций (КДО) использованы результаты комплексных теоретико-экспериментальных исследований, выполненных с целью внедрения принципов организации и технологии ЦРТС агрегатов автомобилей.

В качестве примера объекта исследования были выбраны поступающие в ЦРТС двигатели ЯМЗ-238, которые являются штатным не только для многих грузовых автомобилей, но и для строительной, дорожной, нефтегазопромысловой спецтехники, а также применяется в качестве приводного оборудования агрегатов и механизмов навесного оборудования.

Экспериментальные исследования над объектом проводились в условиях Центральной базы производственного обслуживания по прокату и ремонту нефтепромысловой спецтехники и навесного оборудования (ЦБПО ПРНС и НО)

г. Сургута, являющаяся структурным подразделением ОАО «Сургутнефтегаз», с использованием ее производственно-технических возможностей.

Количество эксплуатируемых в ОАО «Сургутнефтегаз» двигателей марки ЯМЗ составляет более 6000 ед., среди которых преимущественно двигатели ЯМЗ-238 и различные модификации данной модели (более 58% от общего числа) [64].

Конструктивная сложность объекта исследования обуславливает большое число контролируемых параметров в процессе ремонта, а их различия указывают на необходимость нахождения между ними взаимосвязей.

Проведение эксперимента в реальных производственных условиях позволяет оценить возможность применения существующих методов и средств диагностирования объекта исследований. Но для получения статистически однородных и достоверных данных требуется провести разработку метрологического и методического обеспечения экспериментальных исследований.

Таким образом, для формирования рациональной подсистемы предремонтного диагностирования двигателей ЯМЗ-238, необходимо решение ряда задач.

1. Выполнить структурно-следственное моделирование взаимосвязей для основных ресурсных групп двигателей ЯМЗ-238 (ЦПГ, КШМ, ГРМ).
2. Выбрать технологическую последовательность операций разборки объекта контроля и согласовать ее с разработанными структурно-следственными моделями (ССМ).
3. Разработать методическое и метрологическое обеспечение эксперимента.
4. Провести в реальных производственных условиях экспериментальные исследования над объектом на этапе предремонтного диагностирования по определению технико-экономических показателей КДО и сбору данных для построения моделей искусственных нейронных сетей (ИНС).
5. Произвести обработку полученных экспериментальным путем данных с использованием методов математической статистики.
6. Выполнить анализ полученных результатов, сформировать априорную

совокупность контролируемых параметров на этапе предремонтного диагностирования и построить модели ИНС для реализации основной цели и задач исследования.

### **3.2. Моделирование причинно-следственных связей параметров для основных ресурсных групп двигателя ЯМЗ-238**

Для разработки методического обеспечения экспериментальных исследований проводился анализ нормативно-технической и научной литературы, а также конструкторской документации, в результате чего был обобщен опыт применения методов и контрольно-диагностических средств сложных технических систем [24, 25, 26, 65, 78, 86, 94, 95].

Для выявления причинно-следственных связей между конструктивными элементами двигателя ЯМЗ-238, которые характеризуют его фактическое техническое состояние, использовались ССМ взаимосвязей контролируемых параметров. Применяя метод декомпозиции к структуре объекта исследования, выделяют причинно-следственные связи между основными ресурсными группами объекта, их дефектами и контролируемыми параметрами (диагностические, структурные и размерные), характеризующими фактическое техническое состояние объекта исследования.

При разработке ССМ для основных ресурсных групп (ЦПГ, КШМ, ГРМ) двигателей ЯМЗ-238 использовалась информация о его конструкции и функционировании его отдельных механизмов и подсистем. Для определения номенклатуры структурных и диагностических параметров использовались рекомендации ГОСТ 27518-87.

Полученные структурно-следственные модели основных ресурсных групп механизмов двигателей ЯМЗ-238 (ЦПГ, КШМ, ГРМ) представляют собой многоуровневые направленные графы (Приложения В, Г, Д). На первом уровне находятся основные дефекты соответствующих узлов, вызывающие отклонения от номинальных значений конструктивных параметров двигателя. Второй, третий

и четвертый уровни занимают соответственно размерные, структурные и диагностические параметры объекта контроля, которые и являются определяющими его фактическое техническое состояние.

Разработанные структурно-следственные модели для основных ресурсных групп двигателей ЯМЗ-238 позволяют оценить его техническое состояние на этапах предремонтного диагностирования и операционного контроля (приремонтное диагностирование). Большое количество включенных в структурно-следственные модели параметров позволяет сформировать совокупность контрольно-диагностических параметров, используемых при ЦРТС объекта контроля на этапе предремонтного диагностирования.

### **3.3. Разработка технологической последовательности процесса разборки двигателя ЯМЗ-238**

Разработка технологической последовательности работ по разборке и сборке производилась, основываясь на анализе существующих схем разборочно-сборочных операций двигателей ЯМЗ-238, применяемых на различных авторемонтных предприятиях (АРП), при этом учитывая выявленные ранее особенности организации аналогичных технологических процессов при ЦРТС.

При выборе номенклатуры разборочных операций принимались во внимание не только поставленные цели и задачи экспериментального исследования, но и условие полного устранения возможных сочетаний дефектов, которые возникают в процессе эксплуатации двигателя. При этом, из-за отсутствия необходимости в детализации, разборочные операции можно сформировать укрупненно.

При формировании последовательности разборки двигателей ЯМЗ-238 также учитывался не формализованный характер данного процесса, поскольку при этом не преследуются цели оптимизации процесса разборки по какому-либо критерию.

При этом были учтены ограничения из-за объективно существующих

отношений между отдельно взятыми операциями, а также потребности в определенной ремонтной операции для обеспечения разрабатываемой схемы соответствия реальным производственным условиям. Например, операции  $i_1, \dots, i_6$  принадлежащие множеству всех операций по ремонту  $R = \{i: 1=1, R\}$ , имеют общий признак, который выражается соотношением:

$$k_1 = \dots = k_i = \dots = k_6 = 1, \quad (3.1)$$

где  $k_1$  - коэффициент ремонта по  $i$ -й ремонтной операции.

Таким образом, отдельные операции можно объединить в подмножество  $R = \{i: 1=1, 6\}$ , которые выполняются в начальной стадии технологического процесса разборки двигателя.

Разработанная структурно-технологическая схема разборки двигателей ЯМЗ-238 приведена в приложении А и способствовала упорядочиванию процесса проведения эксперимента, а также обеспечению полноты и статистической однородности полученных экспериментальных данных.

#### **3.4. Выбор средств контроля и определения технического состояния объекта исследования**

В настоящее время существует огромное множество оборудования для установления технического состояния карбюраторных и дизельных двигателей отечественного и зарубежного производства, основная масса которых предназначена для плановых или заявочных процессов диагностирования (Д-1, Д-2, Д<sub>тр</sub> и др.), выполняемых в условиях АТП без снятия двигателя с автомобиля.

Подсистема предремонтного диагностирования является наиболее важной частью ЦРТС, поэтому применение современного контрольно-диагностического оборудования (комплекты контрольно-диагностических средств, переносные приборы и др.), а также использование контрольно-испытательных и обкаточных

стендов для ремонтируемых агрегатов должно быть приоритетным направлением при организации предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей при их ЦРТС. Схема проведения работ при предремонтном диагностировании двигателей ЯМЗ-238 представлена в приложении Ж.

К примеру, для оценки и быстрой регистрации компрессии дизельного двигателя ЯМЗ-238 используется компрессограф Zeca 363 (Рис. 3.1). Помимо измерения компрессии, он предназначен для оценки степени износа цилиндров, а также состояния поршневых колец и клапанов. Идущие в комплекте карты (размером 50 мм.) имеют широкий диапазон шкалы измерения – 8-40 Бар, обладают легкой считываемостью и точностью определения.



Рис. 3.1. Внешний вид компрессографа Zeca 363 в комплекте

При предремонтном диагностировании, с помощью вакуум-анализатора КИ-28165 (Рис. 3.2) можно выявить техническое состояние деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) (например, выявление неплотностей в сопряжениях “кольцо-цилиндр”, “клапан-седло”) без установки двигателя на стенд. КИ-28165 наконечником вставляется в отверстие форсунки и, прокручивая коленчатый вал, отмечают максимальное разрежение в надпоршневом пространстве цилиндра.



Рис. 3.2. Вакуум-анализатор КИ-28165

Для измерения суммарного зазора в верхней головке шатуна и шатунном подшипнике использовалось приспособление КИ-11140.

Для этого в кривошипно-шатунном механизме (КШМ) при положении поршня в верхней мертвой точке (ВМТ) и при застопоренном коленчатом валу, устанавливают устройство в отверстие форсунки проверяемого цилиндра и закрепляют. После этого, к КИ-11140 присоединяют компрессорно-вакуумную установку (например, КИ-13907), создают давление в надпоршневом пространстве, до соприкосновения с днищем поршня вводят шток и устанавливают индикатор на нулевую отметку [40]. Далее медленно создают разрежение в надпоршневом пространстве и измеряют величины зазоров по индикатору КИ-11140 при двух остановках движения поршня.

По величине измеренных зазоров судят о состоянии каждой кривошипно-шатунной группы и всего двигателя. При превышении допустимых значений зазоров хотя бы в одном цилиндре необходим ремонт двигателя [40].

Применение устройства КИ-9918 ГОСНИТИ позволяет определить величину зазора между коромыслом и клапаном газораспределительного механизма (ГРМ) без необходимости установки поршня проверяемого цилиндра в ВМТ. Его принцип действия заключается в определении разности траекторий движений бойка коромысла и стержня клапана при прокручивании коленчатого вала.

Использование прибора К-272 позволяет диагностировать техническое состояние ЦПГ двигателя методом измерения утечки воздуха

(пневмотестирование), вводимого через отверстие форсунки в рассматриваемый цилиндр, при демонтированной головке блока цилиндров, что позволяет исключить влияние на контролируемые параметры дефектов клапанов и головки блока цилиндров.

Приспособления для непосредственного измерения структурных параметров двигателя представляют наибольший интерес для использования в процессе диагностирования, с позиции повышения однозначности и достоверности при оценке технического состояния отдельно взятых сопряжений двигателя, к числу которых можно отнести индикаторное устройство для замера осевого смещения коленчатого вала. Использование в конструкции данных приспособлений индикаторов часового типа моделей ИЧ-5, ИЧ-10, МИГ-1, МИГ-2 и др., позволяет достичь высокой точности при измерениях.

Кроме того, стоит отметить, что во время выполнения работ по разборке двигателя, можно выполнить непосредственно замеры размерных параметров, которые характеризуют фактическое техническое состояние отдельно взятых деталей двигателя. Например, снятая головка блока цилиндров позволяет определить состояние гильз цилиндров двигателя в верхней мертвой точке при помощи индикаторного нутромера, что позволяет уже в начале выполнения разборочных работ определить потребность в заменах гильз цилиндров двигателя.

По результатам проведенного анализа был составлен перечень контрольно-диагностических приспособлений, который представлен в приложении Б, для определения технического состояния объекта исследования на этапах предремонтного диагностирования (диагностические параметры) и приремонтного диагностирования (структурные и размерные параметры).

### **3.5. Методика выбора контрольно-измерительных средств**

Стандартные средства измерения линейных размеров применяются при определении большинства размерных параметров на этапе приремонтного

диагностирования, а также для микрометрирования деталей разобранного двигателя.

Выбор наиболее подходящих контрольно-измерительных средств (КИС) для обеспечения экспериментального исследования обусловлен их различными метрологическими характеристиками и обширным диапазоном КИС.

Выбор КИС должен осуществляться с учетом конструкторской, технологической и метрологической документации по объекту исследования.

Например, необходимо подобрать КИС для измерения наружного диаметра поршневого пальца, который составляет  $d = 50_{-0,008}$  мм, а допуск на размер равен  $T_d = 8$  мкм, исходя из технических условий [65, 86].

1. Допустимая погрешность измерений определяется либо случайной составляющей по формуле 3.2, либо по ближайшему, для соответствующего размера, наименьшему значению допуска. При этом случайная погрешность измерений не должна превышать 0,6 от допустимой погрешности измерений.

$$\Delta = 0,6\delta, \quad (3.2)$$

где  $\delta$  – значение допустимой погрешности измерений.

По таблицам, в соответствии с номинальным размером и допуском на размер, определяется значение  $\delta$ . В рассматриваемом примере квалитет следует выбирать по допуску на размер равному 8 мкм, в столбике соответствующий размерам от 30 до 80 мм. Для данного примера больше всего подойдет 5-й квалитет с допуском на размер равным 7 мкм, которым соответствует  $\delta = 3,0$  мкм и  $\Delta = 0,6 \cdot 3,0 = 1,8$  мкм [94, 95].

2. В соответствующей таблице, исходя из номинального размера и полученного значения  $\Delta$ , выбирается тип прибора и средства для его настройки. При выборе прибора, необходимо учитывать следующие факторы:

- измерительные стержни прибора должны соответствовать высоте и диаметру измеряемого изделия;
- предельная погрешность измерения прибора должна быть меньше или

равна рассчитанной допустимой погрешности измерений  $\Delta$ .

С учетом данных факторов, в рассматриваемом примере, подходят два прибора:

а) индикаторная стойка С-III с ценой деления 0,001-0,01 мм, пределами измерения по высоте 0...100 мм, диаметром отверстия под измерительную головку 8h8 мм и значением предельной погрешности измерения равным 1,5 мкм (используя концевые меры 2-го класса);

б) рычажный микрометр типа МР, либо МРИ, имеющий цену деления 0,001 и 0,002 мм, предназначен измерения линейных наружных размеров, пределами измерения 200 мм и значением предельной погрешности равным 3 мкм (используя концевые меры 1-го класса) [86].

Так как на предприятии, осуществляющем ремонт автомобильного транспорта, может отсутствовать индикаторная стойка повышенной точности, то выбирается рычажный микрометр.

3. Происходит подбор блока концевых мер под установочный размер  $L_y$  и определяется  $\Delta_{\text{lim}}^{\text{бл}}$  по формуле [94, 95]:

$$\Delta_{\text{lim}}^{\text{бл}} = \sqrt{\Delta_{\text{lim}}^1 + \dots + \Delta_{\text{lim}}^n}, \quad (3.3)$$

где  $n$  - число плиток в блоке.

В рассматриваемом примере  $L_y = 27,5$  мм, поэтому, по соответствующей таблице определяем, что блок концевых мер можно составить из двух плиток: концевой меры 20 мм с погрешностью для 2-го класса равной  $\pm 0,55_{\text{мкм}}$  и концевой меры 7,5 мм с погрешностью для 2-го класса равной  $\pm 0,35_{\text{мкм}}$  [65, 86].

Таким образом, получается:

$$\Delta_{\text{lim}}^{\text{бл}} = \pm \sqrt{0,55^2 + 0,35^2} = \pm 0,65 \text{ мкм.}$$

4. Определяется значение допустимого выхода за пределы поля допуска  $C$ .  
Для 5-го качества:  $C = 0,07 \cdot T_d = 0,07 \cdot 10 = 0,7 \text{ мкм}$ .

5. Производится проверка соотношения  $C \geq \Delta_{\text{lim}}^{\text{бл}}$ . В рассматриваемом примере получаем  $0,7 \text{ мкм} > 0,65 \text{ мкм}$ , поэтому необходимость в повышении класса точности концевых мер отсутствует.

### 3.6. Определение минимального количества измерений

На этапе планирования экспериментальных исследований возникает необходимость в априорном определении минимального объема выборки для всех измеряемых параметров, чтобы получить достоверные результаты и избежав больших затрат времени и труда [65]. При этом априорно принималась гипотеза о нормальном законе распределения величин измеряемых параметров.

Количество измерений определялось по формуле (3.4).

$$\delta = \frac{t_{\alpha} \sigma}{\sqrt{nM}}, \quad (3.4)$$

где  $t_{\alpha}$  - критерий Стьюдента, соответствующий заданной доверительной вероятности  $\alpha$ ;

$\sigma$  - среднеквадратическое отклонение измеряемой случайной величины;

$n$  - объем выборки;

$M$  - математическое ожидание измеряемой случайной величины.

Величина предельной относительной погрешности определялась по формуле (3.5).

$$\varepsilon^{\text{отн.}} = \frac{\varepsilon^{\text{абс.}}}{|a|} \quad (3.5)$$

где  $\varepsilon^{\text{абс.}}$  - предельная абсолютная погрешность измерения;

$a$  - точное значение случайной величины по модулю.

Доверительная вероятность  $\alpha$  принималась равной  $\alpha = 0,9$ , согласно рекомендациям для исследований подобного рода [66, 91].

Результаты определения минимального количества измерений каждого параметра, участвующего в экспериментальных исследованиях, приведены в приложении Е.

### **3.7. Формирование совокупности контрольно-диагностических параметров, характеризующих техническое состояние двигателей ремонтного фонда**

Формирование исходной совокупности параметров, которые характеризуют фактическое техническое состояние поступивших в ремонт двигателей на этапе предремонтного диагностирования, является основной целью эксперимента. Поэтому в процессе экспериментальных исследований выполнено следующее: были собраны исходные данные, чтобы определить стохастические связи между контрольно-диагностическими параметрами, которые характеризуют техническое состояние двигателей находящихся в ремонте; были собраны исходные данные, чтобы выполнить расчеты вероятностей появления ошибок 1-го («ложный дефект») и 2-го («пропуск дефекта») рода в процессе определения фактического состояния основных ресурсных групп (ЦПГ, КШМ, ГРМ) двигателя при его разборке.

Полученные экспериментальным путем значения контрольно-диагностических параметров, которые характеризуют техническое состояние узлов двигателей ЯМЗ-238, подвергались математико-статистическому анализу, а далее использовались в соответствии с целью и поставленными задачами исследования.

Участвующие в эксперименте двигатели ЯМЗ-238, после полного диагностирования и мойки, направлялись в разборочно-сборочный цех, где

устанавливались на стенды типа ЦКБ 2473 и подвергались разборке чтобы обеспечить дальнейшее микрометрирование деталей в соответствии с требованиями ГОСТ 8.061-80 и учетом задач исследования.

Согласно разработанной структурно-технологической схеме разборки (см. Приложение А) двигателя ЯМЗ-238, при выполнении отдельно взятых операций по разборке проводилось оценивание технического состояния элементов. Значения контролируемых параметров заносились в диагностические карты, которые и служили базой для определения фактического технического состояния ремонтируемого двигателя.

При отсутствии возможности измерения определенных структурных параметров, их значения определялись либо расчетным путем (основываясь на размерах деталей данного сопряжения), либо косвенно (основываясь связанных с ними значениях других структурных параметров).

Для повышения статистической однородности полученных экспериментальным путем данных и максимального исключения субъективного фактора при оценке результатов измерений, структурные и размерные параметры (как и на этапе предремонтного диагностирования) оценивались каждый по три раза разными операторами-диагностами. При этом участвующее в эксперименте контрольно-диагностическое оборудование в обязательном порядке подвергалось поверке и проходило метрологическую экспертизу в лаборатории метрологии и стандартизации на базе ЦБПО ПРНС и НО г. Сургута. Данные мероприятия практически полностью позволили исключить систематические погрешности измерений параметров.

### **3.8. Методика математической обработки эмпирических данных для построения моделей ИНС**

Разработка методики математической обработки полученных экспериментальным путем данных обоснована необходимостью исключения нарушений однородности выборки, отбора наиболее информативных

контролируемых параметров объекта исследования и др., т.к. полученные эмпирические данные в дальнейшем использовались для обучения моделей математического аппарата ИНС и оценке их точности при решении задач распознавания дефектов агрегатов автомобилей на этапе предремонтного диагностирования и их распределении по технологическим маршрутам ремонта.

Схема данной методики представлена на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Схема методики математической обработки эмпирических данных для построения моделей ИНС

### 3.9. Предварительная обработка полученных результатов измерений

Всего в эксперименте участвовало 42 двигателя ЯМЗ-238 с которых, на этапе предремонтного диагностирования, снимались показатели, характеризующие их техническое состояние. Так как полученные результаты использовались в качестве тестового набора данных для проверки адекватности построенной модели ИНС и точности обучения, то к ним предъявлялись повышенные требования в плане достоверности полученных результатов измерений.

Чтобы обеспечить требуемый уровень достоверности, необходимо исключить грубые ошибки (засорения данных), при которых происходит нарушение однородности выборки, полученных в результате измерений объектов исследований.

Для этой цели выбран критерий Титьена-Мура ( $E_k$  - критерий), являющийся обобщенным следствием из критерия Граббса, чтобы исключить наличие двух и более редких близлежащих выбросов данных.

Для максимальных значений выборки критерий имеет следующий вид:

$$E_k^{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} \left( x_i - \overline{x}_k^{\max} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.6)$$

где  $\overline{x}_k^{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} x_i}{n-k}$  – среднее арифметическое из наблюдений  $n-k$ , после отсеивания

$k$ -максимальных значений;

$\bar{x}$  – среднее арифметическое значение всей выборки.

Для удаления выбросов из минимальных значений выбор критерий принимает следующий вид:

$$E_k^{\min} = \frac{\sum_{i=k+1}^n \left( x_i - \overline{x_k^{\min}} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.7)$$

где  $\overline{x_k^{\min}} = \frac{\sum_{i=k+1}^n x_i}{n-k}$  – среднее арифметическое из наблюдений n-k, после отсеивания

k минимальных значений;

$\bar{x}$  – среднее арифметическое значение всей выборки.

Вычисленные значения  $T_k^{\max}$  и  $T_k^{\min}$ , при выбранном уровне значимости (для обеспечения высокой точности тестирующей выборки, уровень значимости принимался равным 0,01) сравниваются с таблицей критических значений Граббса. По результатам сравнений, принималось решение об исключении наблюдений из выборки.

### 3.10. Аппроксимация распределения эмпирических данных

Полученные эмпирические данные, как правило, подвергаются аппроксимации для предварительного подбора теоретического распределения (нормальное, логнормальное, экспоненциальное, Вейбулла и др.). На данном этапе выдвигалась гипотеза о теоретическом распределении данных по нормальному закону.

Для аппроксимации эмпирических данных с использованием программы STATISTICA 6 на ЭВМ IBM PC их диапазон разбивался на оптимальное число интервалов по правилу Стёрджесса:

$$d \cong 1 + 3,322 \ln N, \quad (3.8)$$

где  $d$  – получаемое число интервалов;

$N$  – общий объем выборки.

Следующим шагом была проверка гипотезы о принадлежности эмпирических данных нормальному закону распределению, используя критерий согласия Пирсона (критерий  $\chi^2$ ). Число степеней свободы для нормального закона распределения при этом определяется как:

$$k = d - 3 \quad (3.9)$$

Исходя из полученных расчетным путем значений  $\chi^2$  и сравнения их с табличными значениями при 5%-ом уровне значимости, сделан вывод о нормальном законе распределении для всех оцениваемых параметров.

### **3.11. Построение регрессионных моделей контролируемых параметров**

Полученное пространство, при построении структурно-следственных моделей основных ресурсных групп объекта исследования, выявленных контролируемых параметров обладает значительной неоднородностью с точки зрения предъявляемых требований к достоверности и однозначности определения с их помощью технического состояния объекта контроля. Таким образом, для формирования рациональной совокупности контрольно-диагностических параметров, была решена задача сокращения полученного пространства, элиминировав не существенные контролируемые параметры путем оценивания степени корреляционных связей между ним по полученным эмпирическим данным, используя аппарат регрессионно-корреляционного анализа [100, 114].

Построение регрессионных зависимостей и оценивание тесноты связей между контролируемыми параметрами двигателей ЯМЗ-238 являлся наиболее важным этапом математико-статистической обработки.

Проведенный анализ причинно-следственных связей между контролируемыми параметрами, учитывая физическую природу их взаимодействия, позволил предположить между ними зависимости линейного вида:

$$Z(k) = a_0(k) + \sum_{i=1}^n a_i(k) \cdot Y_i(k); \quad (3.10)$$

где  $k$  – линейная множественная регрессия контролируемого на этапе предремонтного диагностирования параметра  $Z$  (диагностический параметр) от  $n$ -го числа структурных параметров  $Y$ , где  $k = \overline{1, K}$ ;

$a_i$  – регрессионный коэффициент;

$a_0$  – свободный член регрессионного уравнения.

Проверка адекватности полученных множественных регрессионных моделей (3.10) осуществлялась путем сравнения вычисленных значений  $F$ -критерия Фишера с табличными при уровне значимости  $\alpha = 1\%$ .

Значимость регрессионного коэффициента  $a_i$  проверялась по  $t$ -критерию Стьюдента путем сравнения полученных эмпирических значений с табличными при уровне значимости  $\alpha = 1\%$ .

В дальнейшем из полученных регрессионных зависимостей осуществлялось исключение незначимых факторов, у которых  $t$ -критерий Стьюдента регрессионного коэффициента оказывался меньше табличного при выбранном уровне значимости. Затем производился пересчет данных регрессионных зависимостей с учетом исключенных факторов.

В результате, после множественных просчитанных на ПК эмпирических зависимостей контролируемых параметров и дальнейшего элиминирования незначимых факторов, было выявлено 19 регрессионных зависимостей диагностических параметров от структурных, значимость которых подтверждается соответствующими высокими значениями коэффициентов детерминации  $\overline{R^2}$  и результатами оценок по  $F$ -критерию Фишера с 1%-ным уровнем значимости. Полученные регрессионные модели представлены в приложении 3.

### 3.12. Критерий распределения агрегатов по КРР при ЦРТС

В настоящее время распределение по комплексу технологических процессов происходит по следующему принципу: каждый агрегат, после предремонтного диагностирования, сопровождается диагностической картой, где оператор-диагност отмечает выявленные дефекты. Далее диагностическая карта сравнивается с технологической картой каждого комплекса ремонтных работ для выбора подходящего ремонтного маршрута.

При данном подходе человеческий фактор является главной причиной появления ошибок 1-го (ложный дефект) и 2-го рода (пропуск дефекта).

Главное условие решения поставленной задачи – количество комплексов ремонтных работ должно охватывать все возможные дефекты основных узлов двигателя.

При подходе с точки зрения нейросетевой классификации, где на точность распознавания дефектов агрегатов и распределение их по КРР в меньше степени влияет человеческий фактор, а в основном оказывают влияние выбранная структура и алгоритмы построения и обучения ИНС, можно добиться снижения внутрипроизводственных потерь из-за возникающих на этапе предремонтного диагностирования ошибок и при дальнейшем распределении агрегатов по технологическим маршрутам ремонта. В качестве исходной совокупности технологических маршрутов для обучения ИНС принимаем число и состав КРР, разработанных к.т.н. В.В. Попцовым и к.т.н. В.Н. Красовским [65, 86].

Однако не исключены ситуации, когда ИНС на выходе будет выдавать принадлежность агрегата к нескольким КРР. В таком случае, имеет смысл провести дополнительный анализ результатов, который будет заключаться в представлении выходных данных в виде значений с плавающей запятой, вместо бинарного типа, и сравнения с разработанным критерием (3.11).

$$(Y' - Y'') \cdot 100\% \geq 40\% , \quad (3.11)$$

где  $Y'$  – наибольшее значение выхода ИНС, к соответствующему КРР которого был отнесен агрегат;

$Y''$  – следующее за  $Y'$  в сторону уменьшения значение выхода ИНС, к соответствующему КРР которого был отнесен агрегат.

Если же количество технологических маршрутов, к которым был определен агрегат, более 2-х, то выполняется пошаговая проверка каждой пары значений по критерию (3.11) от большего к меньшему.

В случае несоответствия критерию определенной пары, необходимо проверить качество представляемых данных для обучения по данной паре, перестроить базы данных и переобучить ИНС.

### **3.13. Построение моделей математического аппарата ИНС на основе эмпирических данных**

Важным этапом экспериментальных исследований при использовании математического аппарата искусственной нейронной сети, является определение объема обучающей выборки для качественного обучения ИНС. Недостаточное количество или противоречия данных в обучающем наборе отразится в большом количестве ошибок при классификации дефектов и распределения агрегатов по КРР на этапе тестирования.

На данный момент не существует обобщенного способа определения необходимого числа примеров для качественного обучения ИНС, поэтому данная задача до сих пор не имеет однозначного решения.

Исходя из гипотезы, что для обучения адекватной модели математического аппарата ИНС достаточно количество обучающих примеров  $P$  равно произведению числа нейронов входного и выходного слоев получим:

$$P = N_x \cdot N_y, \quad (3.12)$$

где  $N_x$  – число нейронов входного слоя;  $N_y$  – число нейронов выходного слоя.

На этапе экспериментальных исследований, построение моделей искусственных нейронных сетей осуществлялось в программном обеспечении Deductor Studio Academic 5.2. Выбор данного программного продукта обусловлен тем, что он является одним из лидеров на российском рынке аналитических платформ, который реализует большинство современных подходов к анализу и обработке данных.

Для построения нейронной сети использовались теоретические разработки, представленные во 2-ой главе данной работы.

### **3.13.1. Решение задачи распознавания сочетаний дефектов агрегатов ремонтного фонда с использованием ИНС**

Решение данной задачи будет выполняться в соответствии с разработанным алгоритмом, блок-схема которого приведена на рис. 2.6, в рамках общей методики исследования.

Каждый контролируемый параметр будет являться отдельным нейроном во входном слое ИНС, а каждый возможный дефект определенного узла двигателя будет являться отдельным нейроном в выходном слое ИНС. Совокупность сигналов нейронов выходного слоя будет образовывать определенное сочетание дефектов.

В приложениях В, Г и Д приведены взаимосвязи контролируемых параметров основных узлов двигателей ЯМЗ-238, которые участвовали в экспериментальных исследованиях, и выявляемые с их помощью дефекты. Для повышения качества обучения и точности распознавания, распознаваемые дефекты были сгруппированы по общим диагностическим признакам (параметрам). Результаты приведены в таблице 3.1. Распределение примеров между наборами данных для обучения и тестирования ИНС для основных ресурсных групп двигателя представлено на рис. 3.4.

Таблица 3.1. – Результаты группировки выявляемых дефектов

Обозначение	Наименование
1	2
<b>1. Дефекты цилиндро-поршневой группы (ЦПГ)</b>	
S <sub>1</sub>	Дефект канавки поршня под компрессионное кольцо
S <sub>2</sub>	Дефект компрессионного кольца
S <sub>3</sub>	Дефект юбки поршня
S <sub>4</sub>	Дефект гильзы цилиндра
<b>2. Дефекты кривошипно-шатунного механизма (КШМ)</b>	
S <sub>5</sub>	Дефект шатунных шеек коленчатого вала
S <sub>6</sub>	Дефект коренных шеек коленчатого вала
S <sub>7</sub>	Дефект задней коренной шейки
S <sub>8</sub>	Дефект верхней головки шатуна
<b>3. Дефекты газораспределительного механизма (ГРМ)</b>	
S <sub>9</sub>	Дефект стержня клапана
S <sub>10</sub>	Дефект кулачков распределительного вала
S <sub>11</sub>	Дефект распределительных шестерен
S <sub>12</sub>	Дефект седла клапана
S <sub>13</sub>	Дефект направляющих втулок стержня клапана
S <sub>14</sub>	Дефект опор распределительного вала

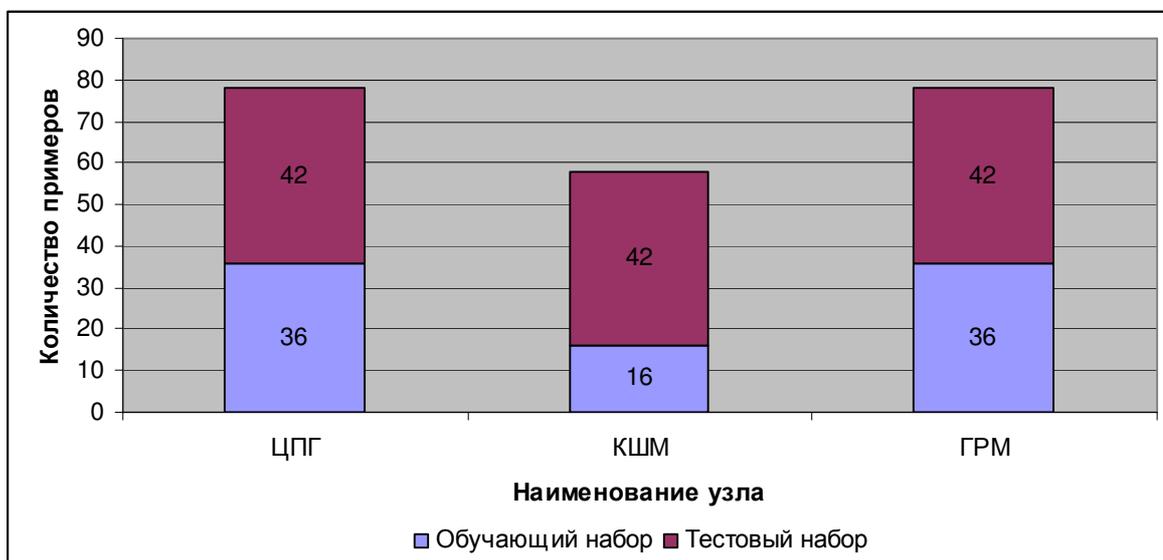


Рис. 3.4. Распределение примеров между обучающим и тестовым наборами

Обучающие наборы данных ( $P_{\text{ЦПГ}}$ ,  $P_{\text{КШМ}}$ ,  $P_{\text{ГРМ}}$ ) формировались путем случайных комбинаций базовых наборов обучающих примеров (см. приложение

К), которые были составлены на основе ССМ взаимосвязи контролируемых параметров.

Тестовые наборы были сформированы на основе полученных экспериментальным путем (в реальных производственных условиях на этапе предремонтного диагностирования двигателей ЯМЗ-238) значений данных параметров. Для рассматриваемых узлов двигателя процентное значение тестового набора более 50% от общего числа примеров, что является более чем достаточным (размер тестовой выборки обычно принимается равным 10...25% от общего числа примеров) для проверки адекватности построенной модели и качества обучения.

Полученные результаты работы алгоритма распознавания сочетаний дефектов для каждого узла двигателя ЯМЗ-238 методом итерационного наращивания числа нейронов в скрытом слое приведены в таблицах 3.2, 3.3 и 3.4, где L – число нейронов в скрытом слое, а также представлены в виде графиков на рис. 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10.

Таблица 3.2 - Значения ошибок при распознавании сочетаний дефектов ЦПГ в зависимости от количества нейронов в скрытом слое

<b>L</b>	<b>Распознанных обучающих примеров, %</b>	<b>Значение максимальной ошибки при обучении</b>	<b>Распознанных тестовых примеров, %</b>	<b>Значение максимальной ошибки при тестировании</b>
2	82	0,016	0	0,178
3	95	0,006	24	0,069
4	100	0,000	50	0,054
5	100	0,000	82	0,033
6	100	0,000	100	0,022
7	100	0,000	100	0,006
8	100	0,000	100	0,015
9	100	0,000	100	0,018
10	100	0,000	100	0,020

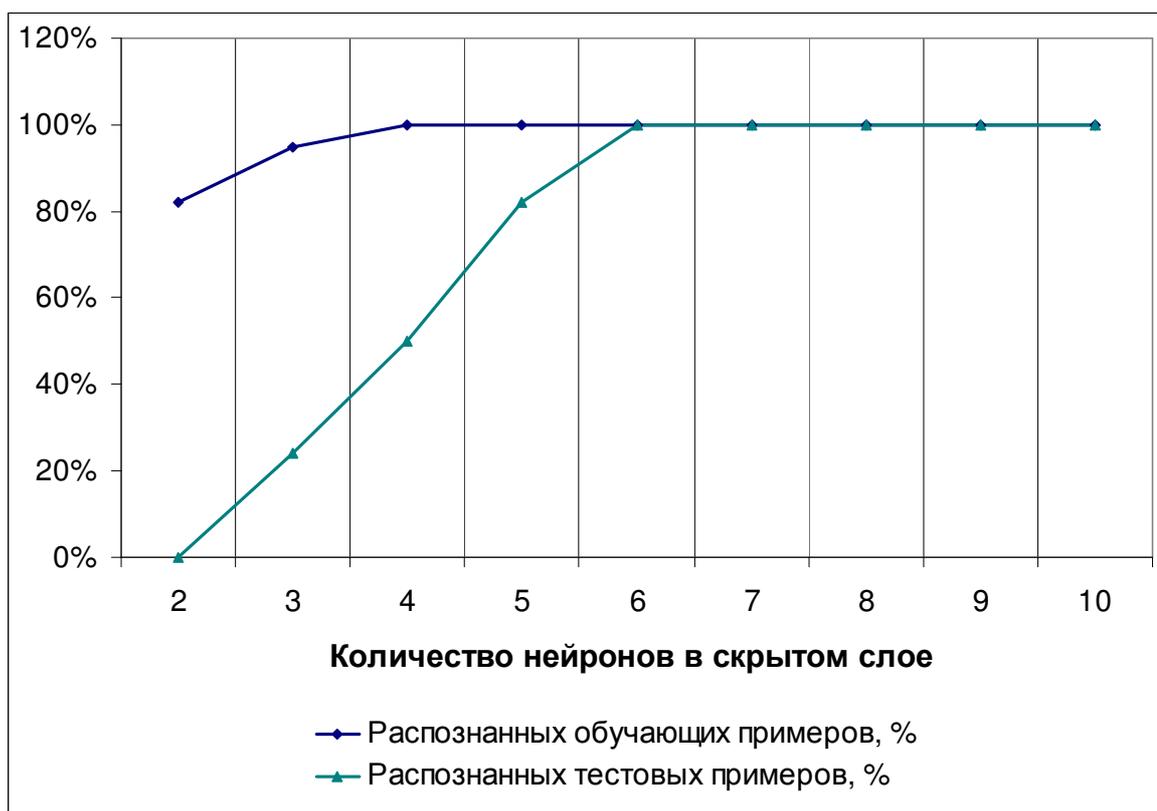


Рис. 3.5. График сходимости распознавания дефектов ЦПГ при обучении и тестировании ИНС

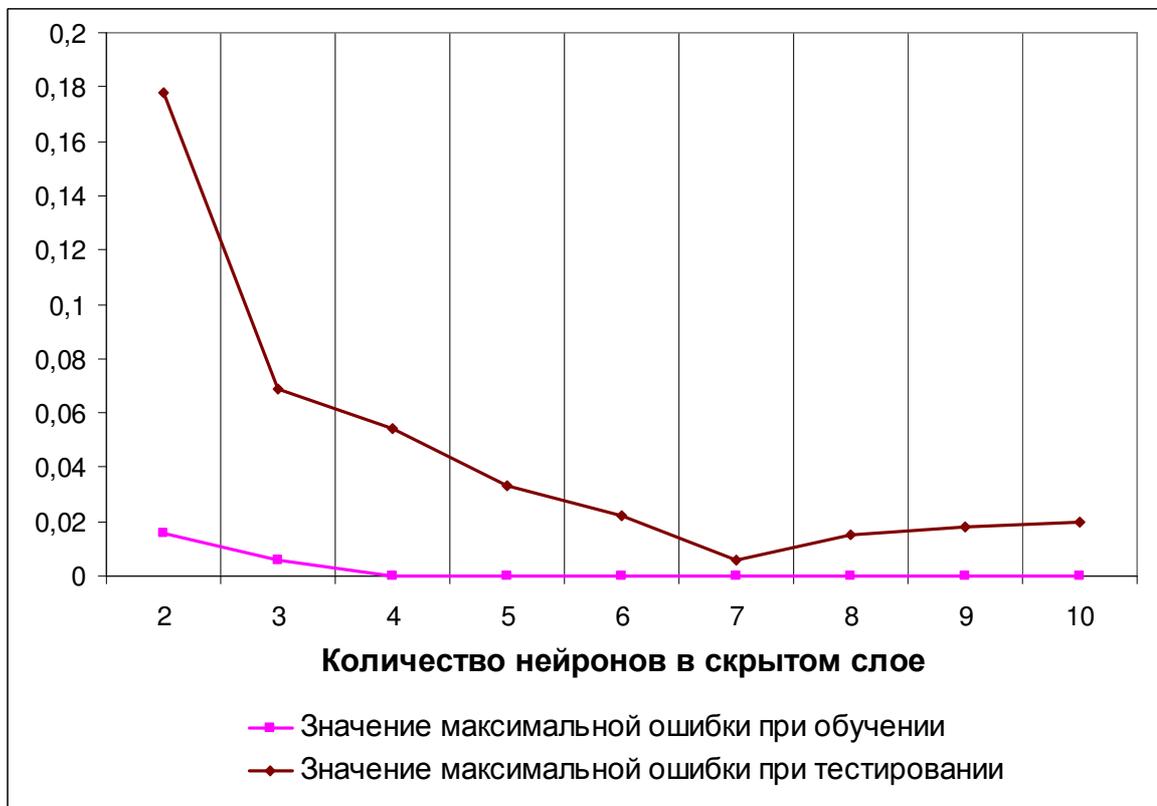


Рис. 3.6. График сходимости значений максимальной ошибки распознавания дефектов ЦПГ при обучении и тестировании ИНС

Таблица 3.3 - Значения ошибок при распознавании сочетаний дефектов КШМ в зависимости от количества нейронов в скрытом слое

<b>L</b>	<b>Распознанных обучающих примеров, %</b>	<b>Значение максимальной ошибки при обучении</b>	<b>Распознанных тестовых примеров, %</b>	<b>Значение максимальной ошибки при тестировании</b>
2	86	0,012	32	0,048
3	100	0,000	75	0,029
4	100	0,000	100	0,016
5	100	0,000	100	0,004
6	100	0,000	100	0,006
7	100	0,000	100	0,010
8	100	0,000	100	0,014

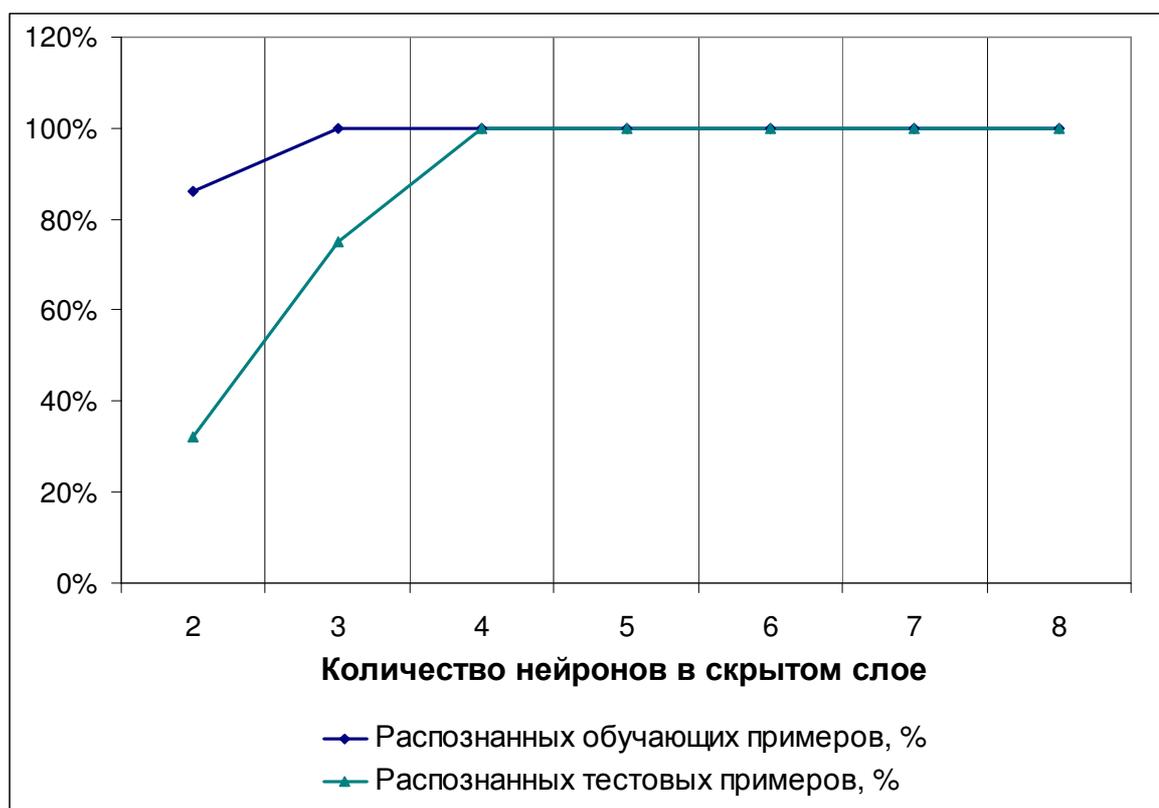


Рис. 3.7. График сходимости распознанных дефектов КШМ при обучении и тестировании ИНС

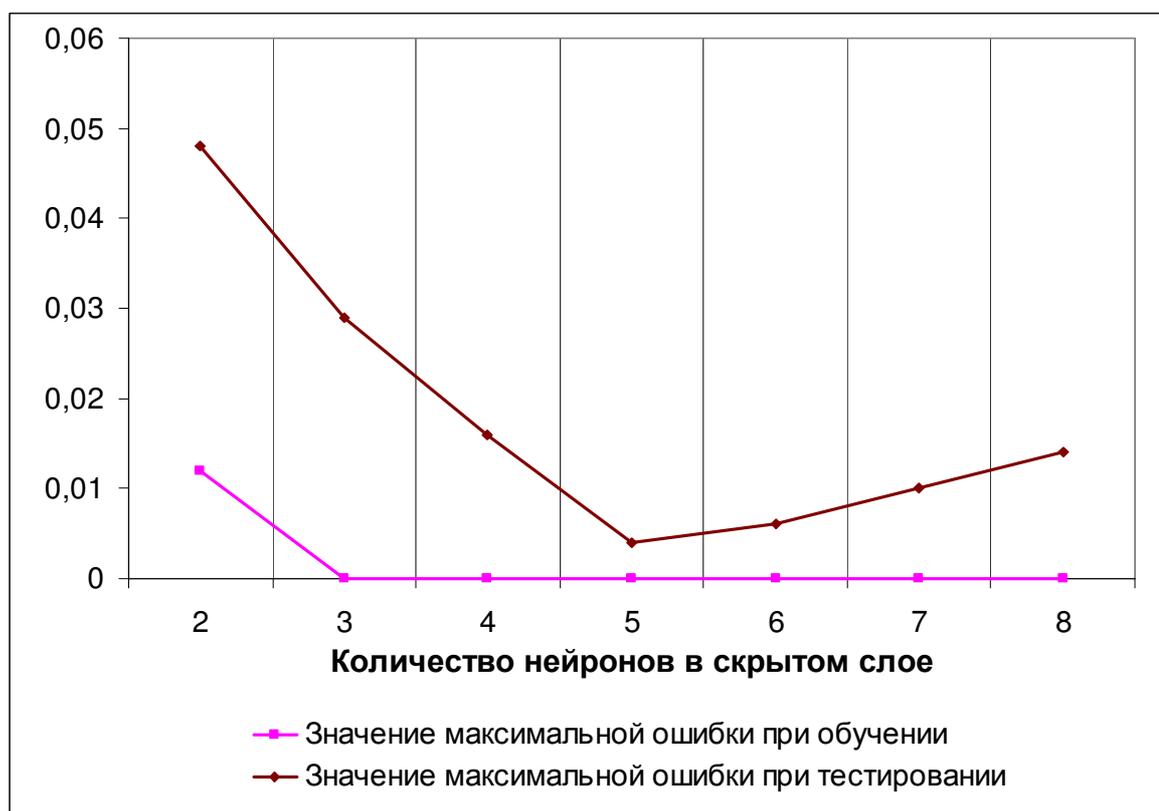


Рис. 3.8. График сходимости значений максимальной ошибки распознавания дефектов КШМ при обучении и тестировании ИНС

Таблица 3.4 - Значения ошибок при распознавании сочетаний дефектов ГРМ в зависимости от количества нейронов в скрытом слое

L	Распознанных обучающих примеров, %	Значение максимальной ошибки при обучении	Распознанных тестовых примеров, %	Значение максимальной ошибки при тестировании
2	84	0,022	0	0,179
3	100	0	28	0,082
4	100	0	56	0,045
5	100	0	94	0,031
6	100	0	100	0,018
7	100	0	100	0,008
8	100	0	100	0,014
9	100	0	100	0,016
10	100	0	100	0,021

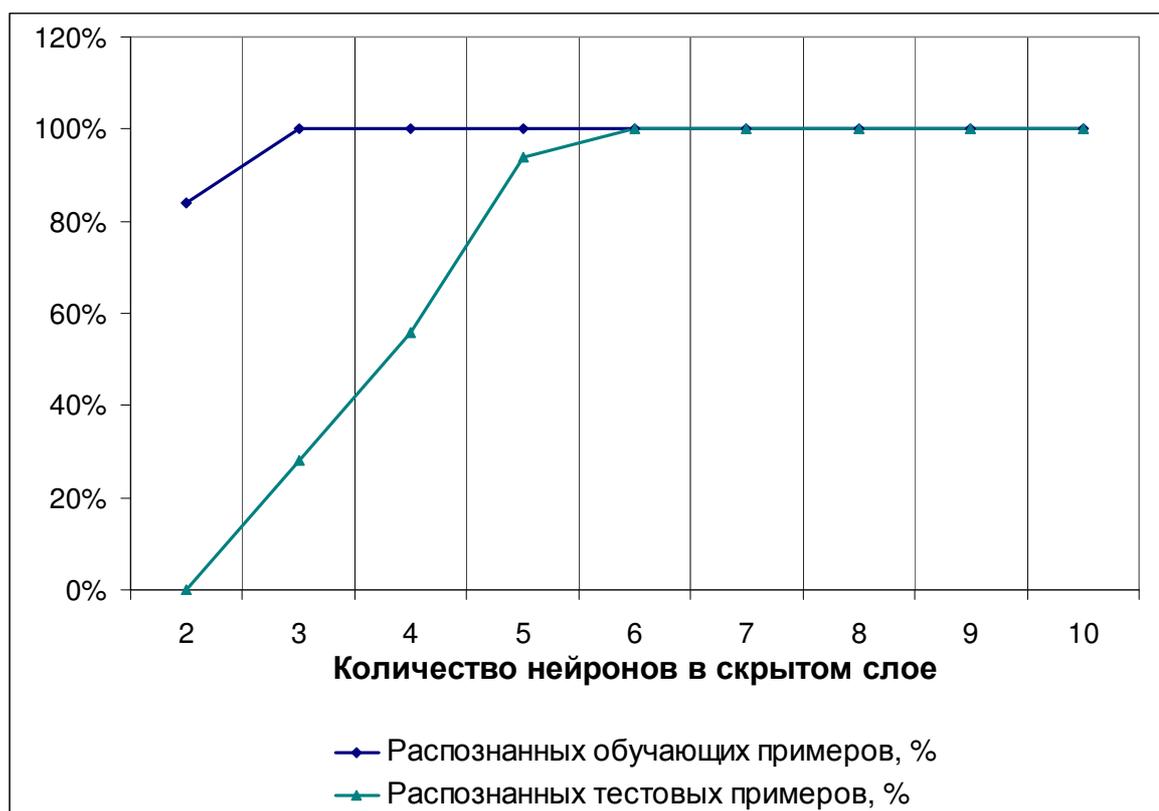


Рис. 3.9. График сходимости распознаваемых дефектов ГРМ при обучении и тестировании ИНС

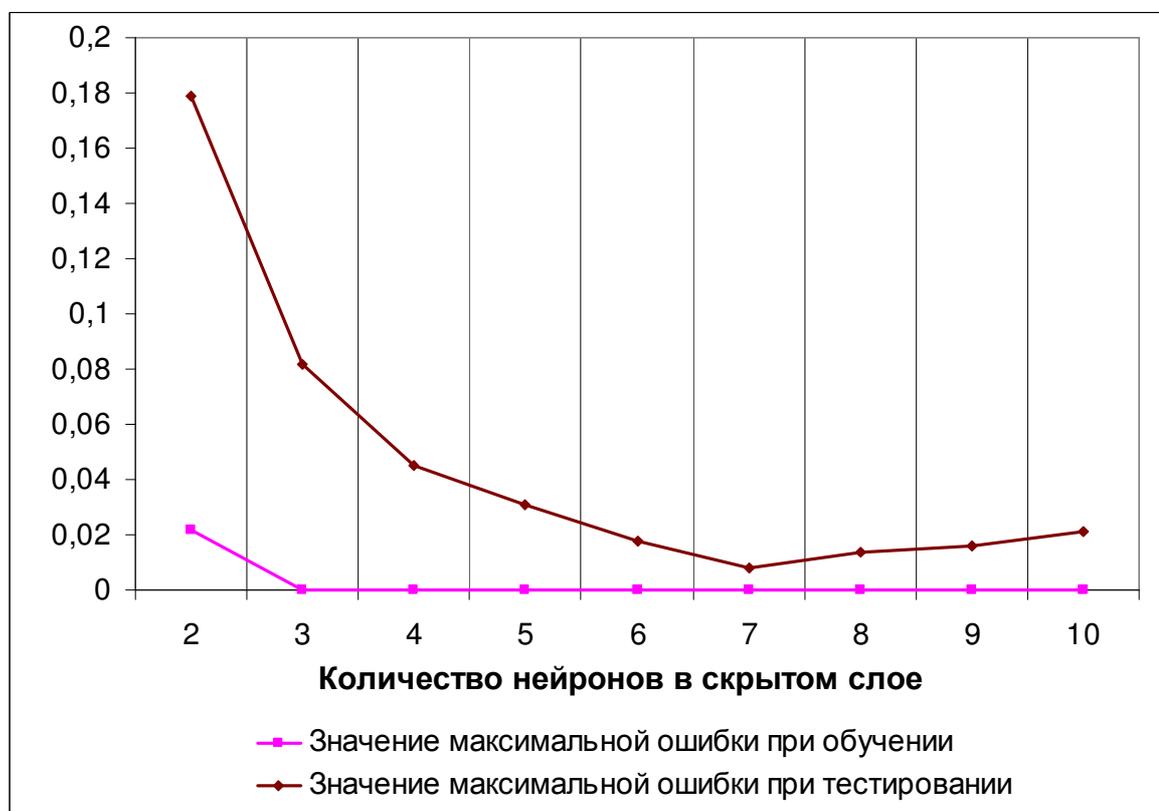


Рис. 3.10. График сходимости значений максимальной ошибки распознавания дефектов ГРМ при обучении и тестировании ИНС

На рис. 3.6, 3.8, 3.10, где представлены графики сходимости значений максимальной ошибки при распознавании дефектов, наглядно показано, что условие целевой функции  $\varepsilon \rightarrow \min$  выполняется при  $L=7$  для ЦПГ; для КШМ при  $L=5$ ; для ГРМ при  $L=7$ .

Полученные результаты представлены в сводной таблице 3.5, где число нейронов входного слоя ( $N_x$ ) равно количеству контролируемых параметров, а число нейронов выходного слоя ( $N_y$ ) – количеству возможных дефектов.

Таблица 3.5 - Результаты определения оптимального числа нейронов в скрытом слое для задачи выявления сочетаний дефектов

Наименование узла	$N_x$	$N_y$	Объем обучающей выборки	Максимальное количество нейронов в скрытом слое	Оптимальное количество нейронов в скрытом слое
ЦПГ	9	4	36	22	7
КШМ	4	4	16	23	5
ГРМ	6	6	36	46	7

Данные результаты также представлены на рис. 3.11, 3.12 и 3.13 в виде построенных граф-моделей искусственных нейронных сетей.

Таким образом, полученные сочетания дефектов для основных ресурсных групп двигателя ЯМЗ-238 формируют матрицу, общий вид которой приведен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Матрица сочетаний дефектов для основных узлов объекта исследований

№ двигателя	Сочетания дефектов													
	ЦПГ				КШМ				ГРМ					
1	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{1,3}$	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$	$S_{1,6}$	$S_{1,7}$	$S_{1,8}$	$S_{1,9}$	$S_{1,10}$	$S_{1,11}$	$S_{1,12}$	$S_{1,13}$	$S_{1,14}$
2	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$	$S_{2,3}$	$S_{2,4}$	$S_{2,5}$	$S_{2,6}$	$S_{2,7}$	$S_{2,8}$	$S_{2,9}$	$S_{2,10}$	$S_{2,11}$	$S_{2,12}$	$S_{2,13}$	$S_{2,14}$
3	$S_{3,1}$	$S_{3,2}$	$S_{3,3}$	$S_{3,4}$	$S_{3,5}$	$S_{3,6}$	$S_{3,7}$	$S_{3,8}$	$S_{3,9}$	$S_{3,10}$	$S_{3,11}$	$S_{3,12}$	$S_{3,13}$	$S_{3,14}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
N	$S_{N,1}$	$S_{N,2}$	$S_{N,3}$	$S_{N,4}$	$S_{N,5}$	$S_{N,6}$	$S_{N,7}$	$S_{N,8}$	$S_{N,9}$	$S_{N,10}$	$S_{N,11}$	$S_{N,12}$	$S_{N,13}$	$S_{N,14}$

В результате тестирования построенной модели ИНС на основе данных полученных в реальных производственных условиях, было сформировано 42 (по количеству двигателей ЯМЗ-238 участвующих в экспериментальных исследованиях) сочетания дефектов основных ресурсных групп (ЦПГ, КШМ, ГРМ) ЯМЗ-238, которые были занесены в базу данных DB2.

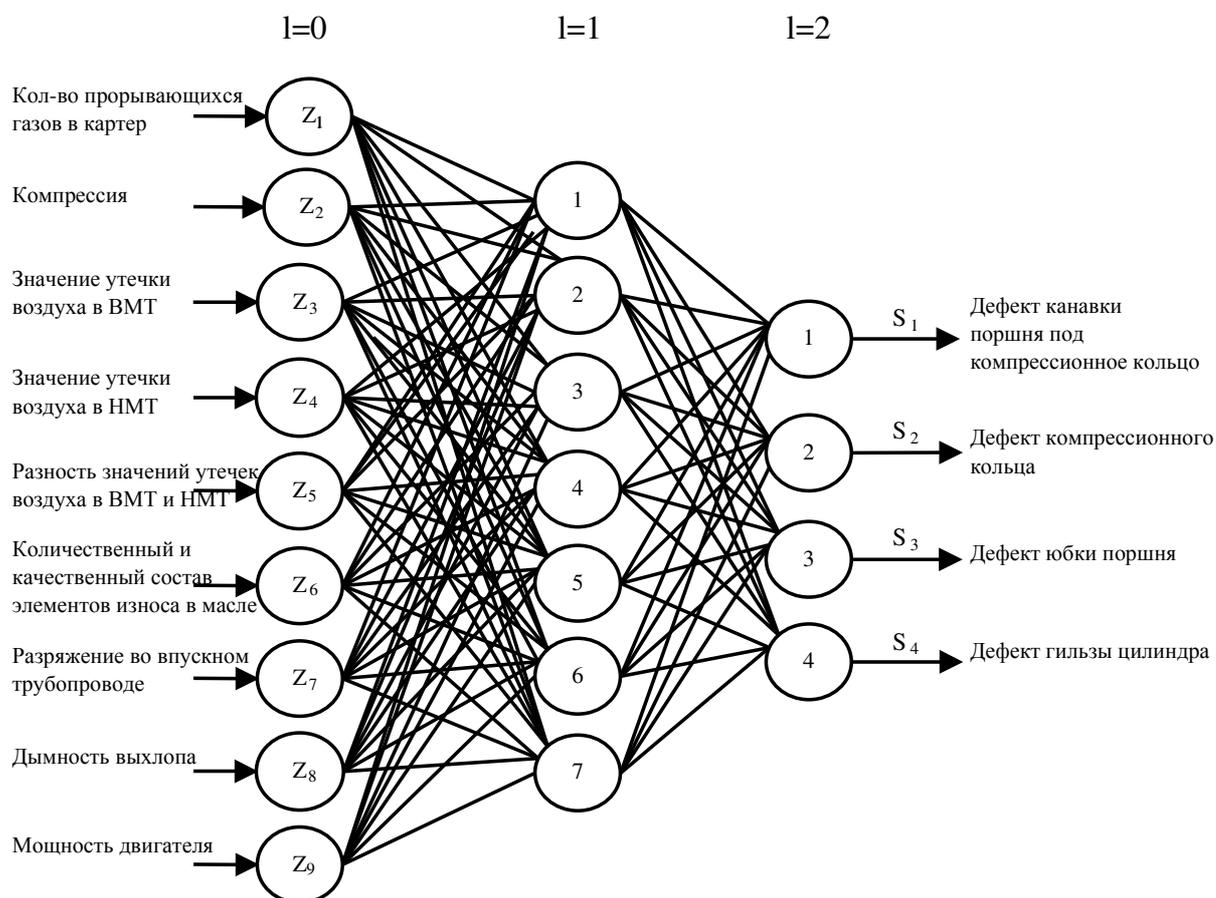


Рис. 3.11. Граф-модель ИНС для задачи распознавания дефектов ЦПГ

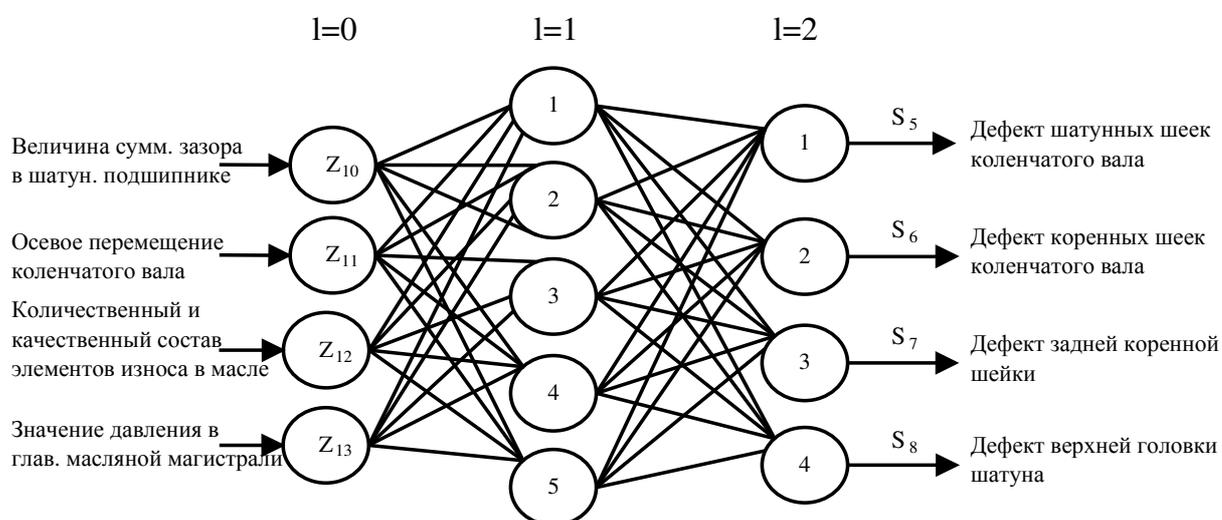


Рис. 3.12. Граф-модель ИНС для задачи распознавания дефектов КШМ

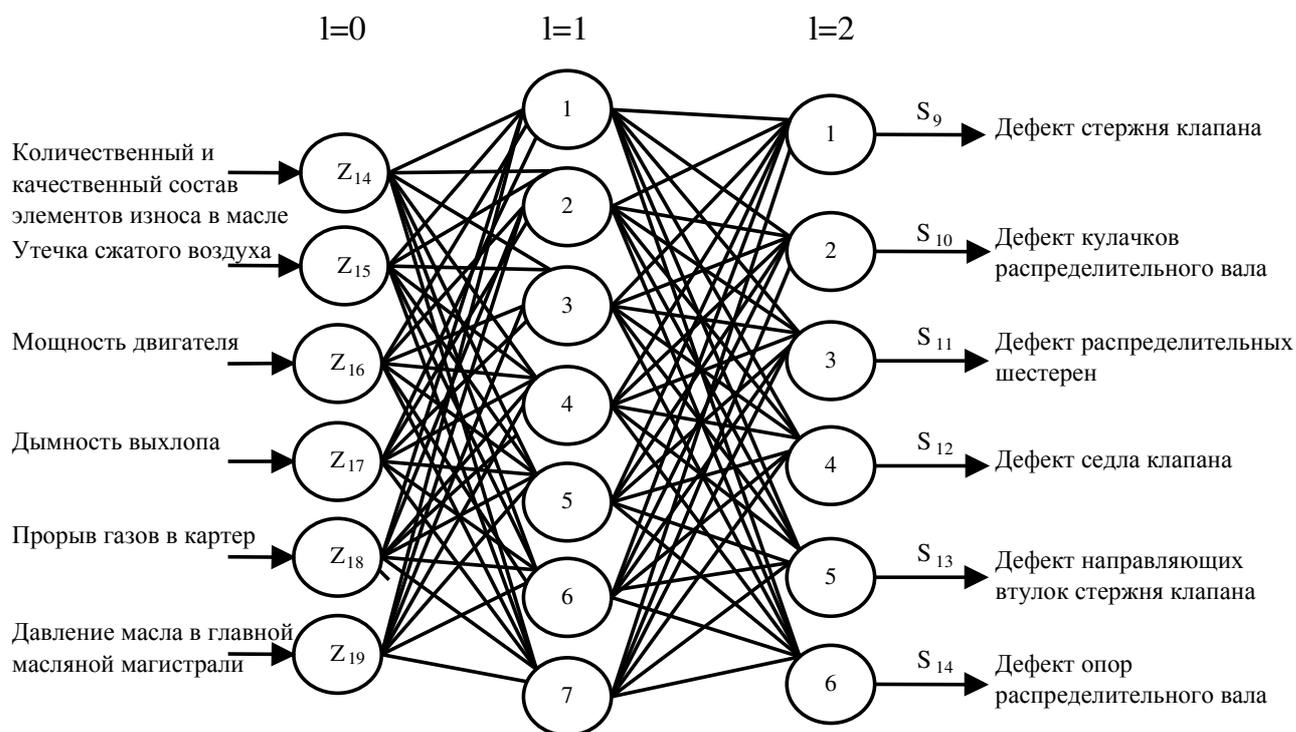


Рис. 3.13. Граф-модель полученной ИНС для задачи распознавания дефектов ГРМ

### 3.13.2. Решение задачи распределения агрегатов по КРР в зависимости от их фактического технического состояния

Полученные сочетания выявленных дефектов двигателей ЯМЗ-238 использовались в качестве тестового набора данных при решении следующей задачи, распределении агрегатов ремонтного фонда по КРР, согласно блок-схеме алгоритма на рис. 2.7, в рамках общей методики исследований.

В своей диссертации к.т.н. В.В. Попцов, используя метод многомерной таксономии, определил, что оптимальное количество комплексов ремонтных работ для двигателей ЯМЗ-238 равно 4 [86].

Обучающий набор данных для текущей задачи был сформирован на основе выборочных сочетаний из  $P_{ЦПГ}$ ,  $P_{КШМ}$ ,  $P_{ГРМ}$ , которым был назначен определенный технологический маршрут, основываясь на выводах к.т.н. Попцова В.В. об оптимальности числа и состава КРР [86], и согласно критерию распределения по КРР. Объем обучающей выборки был составлен исходя из гипотезы (3.12).

Каждый возможный дефект, из совокупности дефектов всех основных узлов объекта исследований, будет являться отдельным нейроном входного слоя искусственной нейронной сети.

Каждый нейрон выходного слоя будет соответствовать определенному КРР, которым будут присвоены сигналы 0 или 1 соответственно, в зависимости от выявленной принадлежности сочетаний дефектов к тому или иному КРР.

Полученные результаты работы алгоритма распределения агрегатов ремонтного фонда по КРР в зависимости от распознанных сочетаний дефектов основных узлов представлены в таблице 3.7, а также в виде графиков на рис. 3.14, 3.15.

Таблица 3.7 - Значения ошибок при распределении двигателей ЯМЗ-238 по технологическим маршрутам ремонта в зависимости от распознанных сочетаний дефектов основных узлов

<b>L</b>	<b>Распознанных обучающих примеров, %</b>	<b>Значение максимальной ошибки при обучении</b>	<b>Распознанных тестовых примеров, %</b>	<b>Значение максимальной ошибки при тестировании</b>
2	46	0,093	0	0,388
3	63	0,052	12	0,215
4	87	0,026	44	0,092
5	95	0,014	66	0,068
6	100	0,000	85	0,039
7	100	0,000	100	0,023
8	100	0,000	100	0,014
9	100	0,000	100	0,005
10	100	0,000	100	0,009
11	100	0,000	100	0,017
12	100	0,000	100	0,026

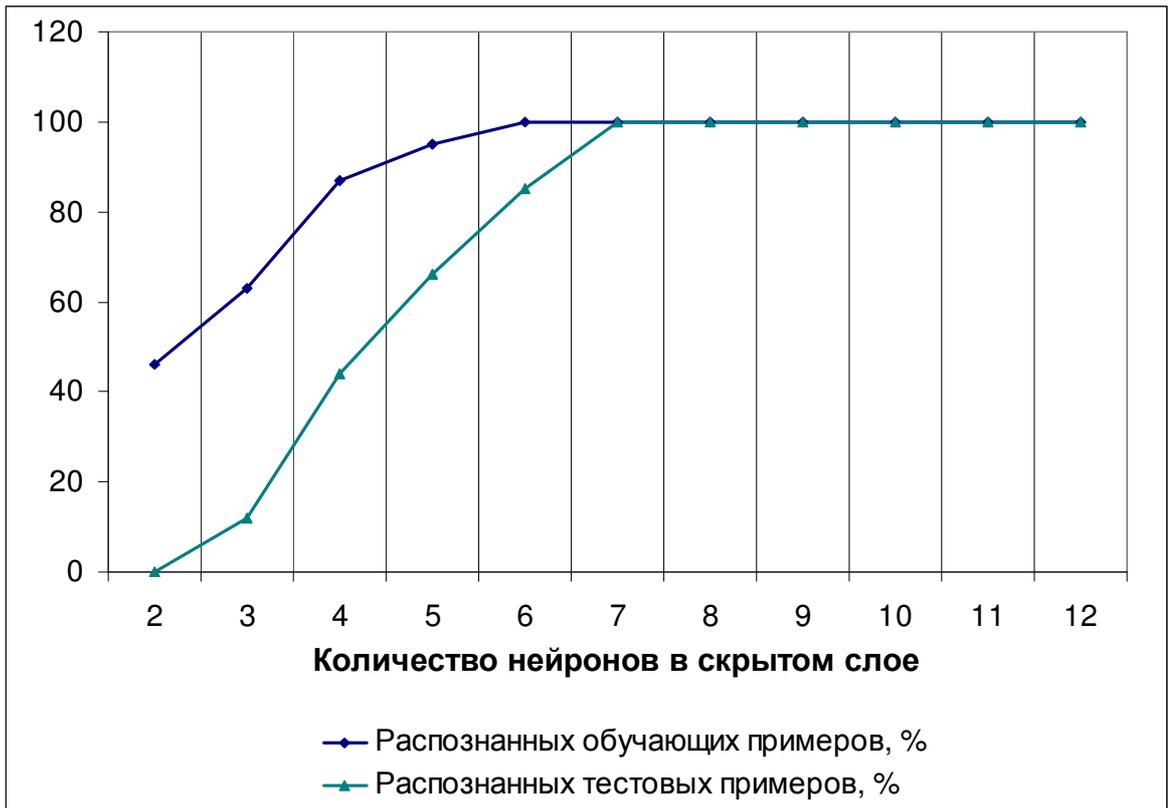


Рис. 3.14. График сходимости успешно распределенных двигателей ЯМЗ-238 по КРР при обучении и тестировании ИНС

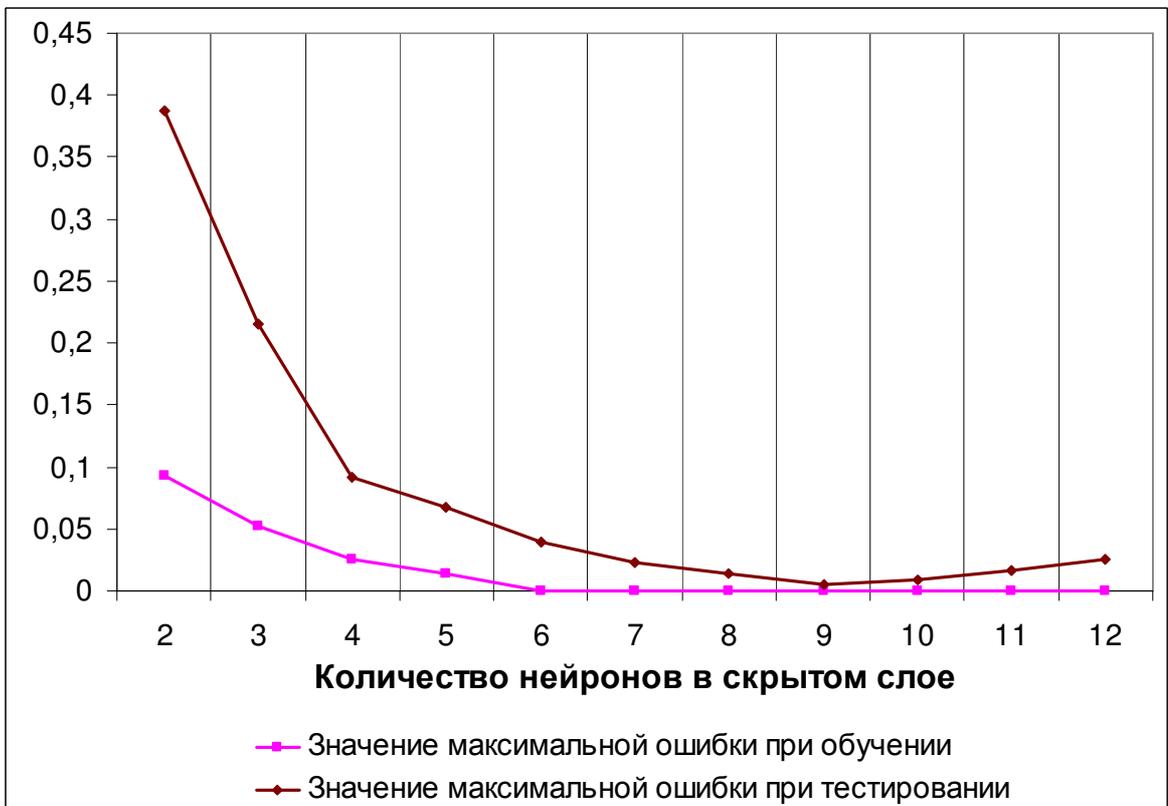


Рис. 3.15. График сходимости значений максимальной ошибки при распределении двигателей ЯМЗ-238 по КРР при обучении и тестировании ИНС

Таблица 3.8 содержит результаты определения оптимального количества нейронов в скрытом слое для данной задачи, выявленные методом итерационного наращивания числа нейронов согласно алгоритму на рис. 2.7.

Таблица 3.8 - Результаты определения оптимального числа нейронов в скрытом слое для задачи распределения двигателей ЯМЗ-238 по КРР

Наименование узла	$N_x$	$N_y$	Объем обучающей выборки	Максимальное количество нейронов в скрытом слое	Оптимальное количество нейронов в скрытом слое
Совокупность узлов (ЦПГ, КШМ и ГРМ)	14	4	56	21	9

Полученные результаты также представлены на рис. 3.16 в виде построенной граф-модели искусственной нейронной сети.

В таблице 3.8 количество нейронов входного слоя ( $N_x$ ) равно числу дефектов (согласно таблице 3.1), образующих сочетания, всех узлов объекта исследований, а число нейронов выходного слоя ( $N_y$ ) – количеству комплексов ремонтных работ, между которыми будут распределяться агрегаты ремонтного фонда в зависимости от выявленных сочетаний дефектов.

Таким образом, по результатам тестирования построенной модели ИНС для решения текущей задачи, все агрегаты (на примере двигателей ЯМЗ-238) были успешно распределены по технологическим маршрутам ремонта, в зависимости от распознанных сочетаний дефектов.

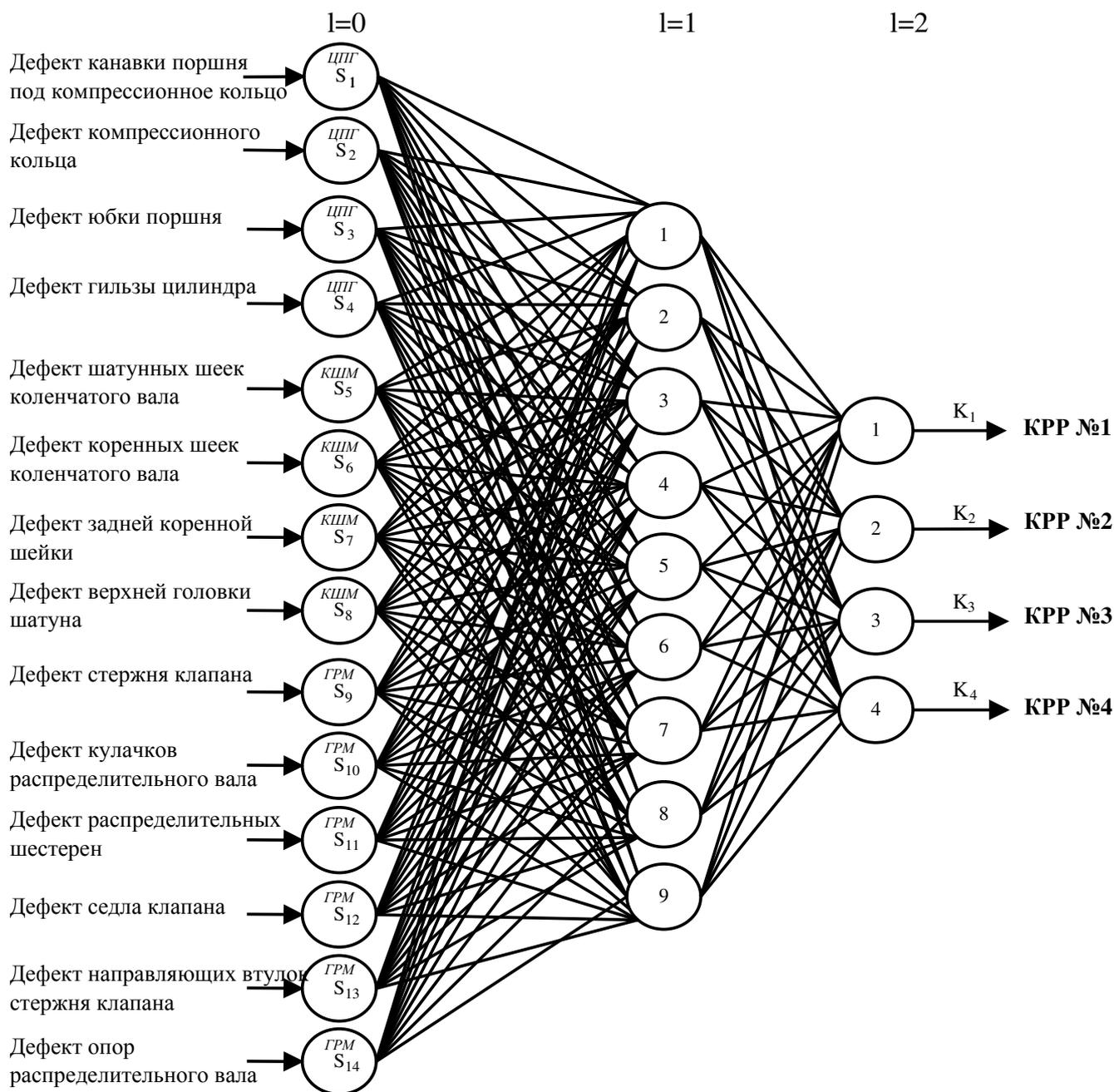


Рис. 3.16. Граф-модель ИНС для задачи распределения агрегатов по КРР

### 3.14. Выводы по третьей главе

1. Построение структурно-следственных моделей взаимосвязей контролируемых параметров для основных ресурсных групп двигателя ЯМЗ-238 осуществлялось на основе его конструкторской документации и информации о функционировании его отдельных механизмов и подсистем. Разработанные ССМ позволили оценить его техническое состояние на этапах предремонтного

диагностирования и операционного контроля (приремонтное диагностирование) при проведении экспериментальных исследований.

2. С привлечением аппарата регрессионно-корреляционного анализа и методов проверки статистических гипотез сформирована рациональная совокупность диагностических параметров для эффективной оценки технического состояния объекта исследования.

3. Из графиков сходимости распознанных дефектов (Рис. 3.5, 3.7, 3.9) и графика сходимости распределения ремонтного фонда по КРР (Рис. 3.14) видно, что все примеры из обучающих и тестовых выборок были полностью распознаны, что говорит об адекватности построенных моделей ИНС, а также о верности выдвинутой гипотезы относительно необходимого объема обучающей выборки.

4. На графиках сходимости максимальной ошибки при обучении и тестировании (Рис. 3.6, 3.8, 3.10, 3.15) четко выделяется оптимум целевой функции  $\varepsilon \rightarrow \min$ . Последующее повышение функции ошибки  $\varepsilon$  говорит о перегруженности структуры ИНС излишним количеством нейронов в скрытом слое.

5. Выбранный программный продукт Deductor Studio Academic 5.2 позволил построить модели ИНС в рамках обработки экспериментальных данных, однако данное программное обеспечение (ПО) не способно всецело охватить разработанную методику, которая представлена на рис. 2.6 и рис. 2.7, что говорит о необходимости разработки оригинального ПО, которое будет являться базой для организации автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора-диагноста.

## **ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ АРМ ОПЕРАТОРА-ДИАГНОСТА И РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

### **4.1. Общие положения**

Процесс перехода от планово-предупредительной системы к ЦРТС происходит на фоне общей тенденции к укрупнению ранее раздробленных автотранспортных и авторемонтных предприятий. Данный процесс, опираясь на принципы концентрации, специализации и кооперации производства, являющиеся эффективным стимулятором роста промышленности любой развитой общественно-политической системы.

Технология диагностирования технического состояния изделия состоит из выявления и локализации дефектов и их сочетаний. По мере усложнения технических систем и росту требований к безопасности и надежности, диагностирование неисправностей становится все более ответственной процедурой.

Все возможные комбинации ошибок на этапе предремонтного диагностирования и при распределении агрегатов по технологическим маршрутам ремонта (комплексам ремонтных работ) приведены в таблице 4.1.

Появление ошибок I-го рода характеризуется выполнением излишних ремонтных работ, что ведет к увеличению себестоимости ремонта двигателя, а ошибок II-го рода – невыполнением нужных ремонтных работ, что может сказаться на надежности агрегата после ремонтных воздействий.

Ошибки I-го и II-го рода, как в совокупности, так и по отдельности чаще всего приводят к неверному назначению технологического маршрута ремонта, что характеризуется излишними разборочно-сборочными работами, а также потери при перенаправлении на другой комплекс ремонтных работ.

Таблица 4.1 - Возможные комбинации возникновения ошибок I-го и II-го рода, а также ошибки маршрутизации

№	Ложный дефект (1-го рода)	Пропуск дефекта (2-го рода)	Ошибки назначения КРР
1	–	–	–
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	–
5	+	–	+
6	–	+	+
7	–	–	+
8	+	+	+

#### 4.2. Структурная схема АРМ оператора-диагноста

Разработанная структурная схема АРМ оператора-диагноста в укрупненном виде состоит из трех частей:

- инструментально-метрологическое и техническое обеспечение (ИМиТО);
- программное обеспечение;
- информационно-методическое обеспечение.

Базой данного АРМ является разработанное оригинальное программное обеспечение (ПО) (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614299), которое основывается на результатах диссертационного исследования, что позволяет оператору-диагносту на этапе предремонтного диагностирования поступающих в ЦРТС агрегатов с высокой степенью достоверности отнести конкретный агрегат к конкретному комплексу ремонтных работ из числа заранее сформированных на данном предприятии.

Разработка оригинального программного обеспечения (ПО) осуществлялась согласно алгоритмам на рис. 2.3, 2.5, 2.6, 2.7 под задачи настоящего исследования на языке программирования Delphi в одноименной среде разработки версии 7.0.

Данное ПО (Рис. 4.1) является программной составляющей автоматизированного рабочего места, при работе с которым оператор-диагност становится квалифицированным пользователем. Для корректной работы данного ПО в таблице 4.2 приведены минимальные системные требования.

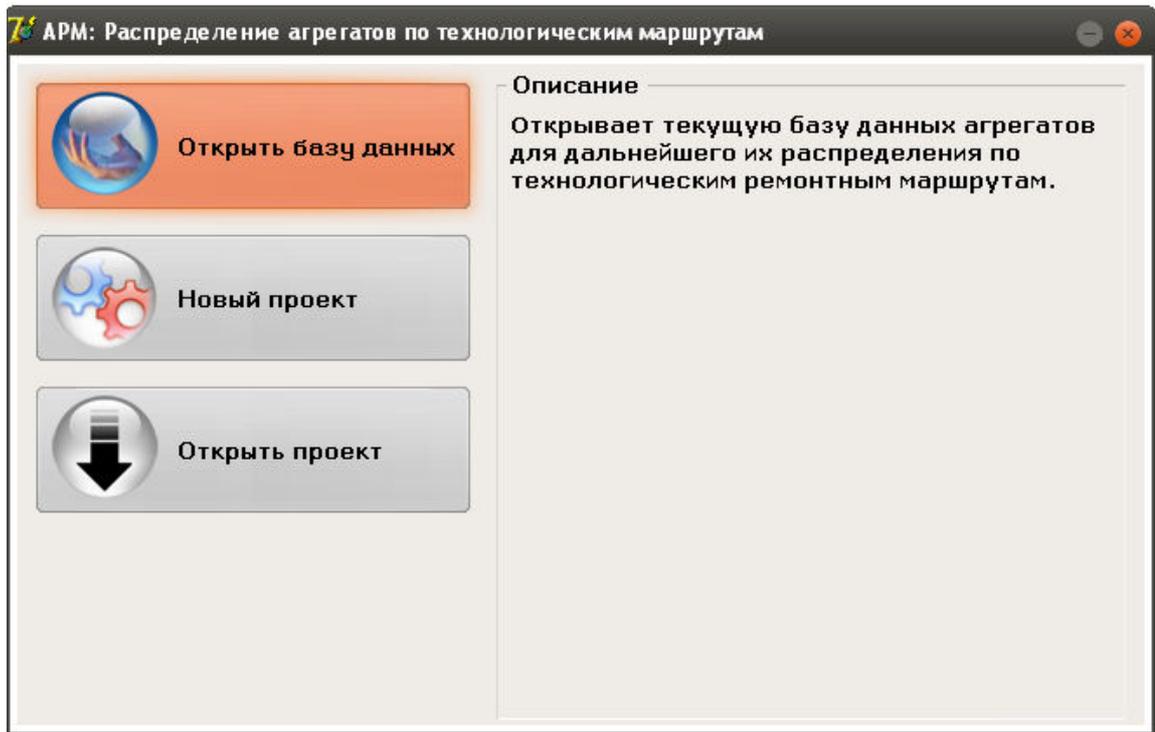


Рис. 4.1. Главное окно разработанного ПО, являющееся ядром АРМ оператора-диагноста

Таблица 4.2 - Минимальные системные требования для работы программы

Наименование требования	Минимальное значение
1	2
Операционная система	Microsoft Windows XP с пакетом обновления 2 (SP2) или более поздняя версия
Компьютер, процессор, ОЗУ	ПК с процессором 1 ГГц или более, 512 Мб ОЗУ или более
Жесткий диск	10 Мб или более свободного места
Разрешение экрана	Минимум 800x600 точек; рекомендовано 1024x768 или более

В укрупненном виде программа выполнена в виде трех взаимосвязанных модулей:

1. “Модуль работы с базами данных” – модуль просмотра баз данных, которые формируются для решения поставленных задач.

База данных DB1, согласно рис. 2.6, содержит параметры агрегатов, которые используются в качестве входных векторов при использовании математического аппарата ИНС для распознавания дефектов различных узлов агрегатов.

База данных DB2, формируется по результатам работы алгоритма, блок-схема которого представлена на рис. 2.6, в виде прямоугольной матрицы с размерностью  $m \times n$ , где  $m$  – число строк, равное числу контролируемых агрегатов;  $n$  – число столбцов, равное суммарному количеству распознаваемых дефектов по всем узлам рассматриваемого агрегата.

База данных DB3 является результатом работы алгоритма на рис. 2.7 и содержит в себе выходную информацию о полученных параметрах и ошибках при обучении ИНС.

2. “Модуль нового проекта” – модуль, отвечающий за пошаговое построение ИНС под текущие задачи исследования, делится на два подмодуля:

- решение задачи распознавания сочетаний дефектов агрегатов;
- решение задачи распределения агрегатов по технологическим маршрутам ремонта.

На рис. 4.2. и 4.3 представлены окна модуля нового проекта по созданию модели искусственной нейронной сети для обучения решению задачи распознавания дефектов ЦПГ и дальнейшего распределения по КРР соответственно.

В программе используются следующие типы полей:

- поля с входным значением – данные поля будут использоваться в качестве входного слоя искусственной нейронной сети;
- поля с выходным значением – данные поля будут использоваться в качестве выходного слоя искусственной нейронной сети;

- не использованные поля – данные поля не будут использованы при обучении и тестировании ИНС.

Рис. 4.2. Окно создания нового проекта

Для нормализации полей доступны следующие виды масштабирования:

- $(X-MIN)/(MAX-MIN)$  – линейная нормализация, согласно блок-схеме алгоритма на рис. 2.3.
- $1/(1+\exp(-ax))$  – экспоненциальная нормализация.
- Автоматическая – применяется при необходимости нормализовать основываясь на характеристиках выборки.
- Без нормализации – масштабирование текущего поля в область значений сигмоидальной функции активации не будет выполняться.

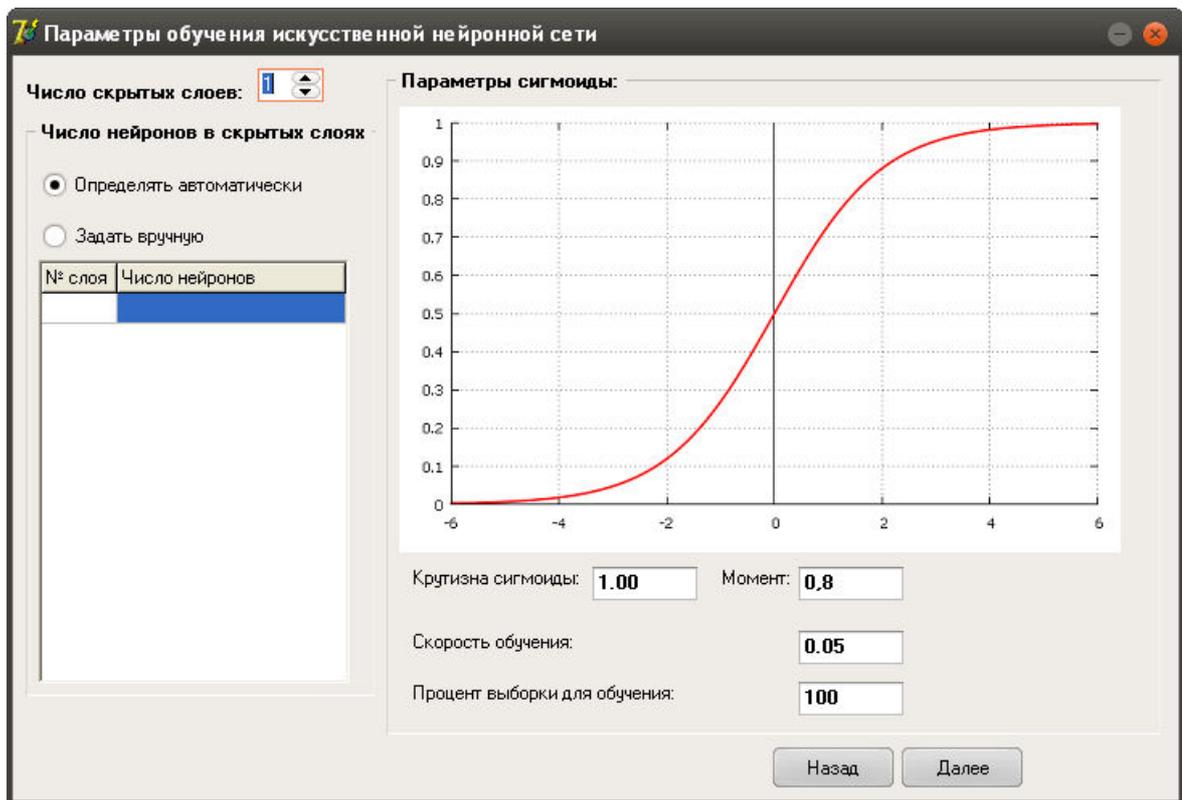


Рис. 4.3. Окно параметров обучения ИНС

Число нейронов в скрытых слоях находится либо автоматически, согласно блок-схемам алгоритмов на рис. 2.9 и 2.10, и результатам обработки экспериментальных данных в главе 3 настоящей диссертации, либо задается вручную.

3. “Модуль восстановления проекта” – восстановление сеанса ранее созданного проекта для продолжения работы с ним.

На рис. 4.4 схематично представлена внутренняя структура организации и взаимодействия между модулями разработанного программного обеспечения и их взаимодействие с другими элементами АРМ.

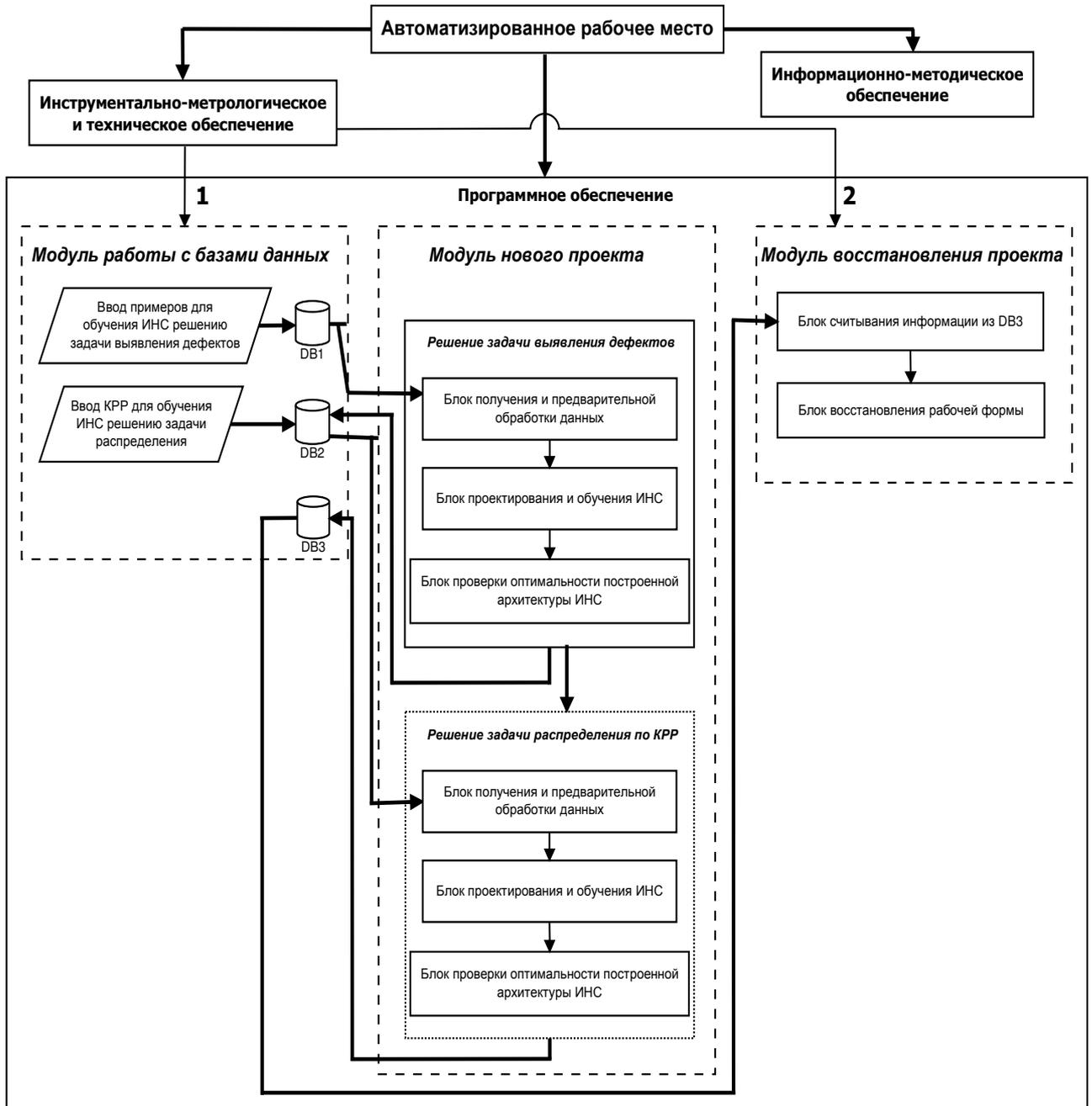


Рис. 4.4. Разработанная структура организации и взаимодействия между элементами автоматизированного рабочего места оператора-диагноста, где: 1 – элемент АРМ ИМиТО взаимодействует с модулем работы с базами данных ПО при поступлении в ремонтный фонд новой модели агрегата; 2 – элемент АРМ ИМиТО взаимодействует с модулем восстановления проекта при работе с моделями агрегатов, сведения о которых уже имеются в базах данных ПО

### 4.3. Расчет сравнительного экономического эффекта результатов исследования

Оценить экономический эффект предлагаемых методических разработок можно путем сравнения результатов проведенных в рамках данного исследования экспериментов с результатами, опубликованными в работах аналогичной тематики [48, 63, 86, 94].

Сравнение полученных результатов с технологиями КР нецелесообразно, так как при этом предремонтное диагностирование (ПД) поступающего ремонтного фонда лишено смысла по определению. Текущий ремонт является, как правило «заявочным» и не имеет индустриальной основы организации производства (отсутствие предметной специализации, небольшие объемы работ, отсутствие типовых технологий ремонта и т.д.).

Поэтому рассчитать ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанных методик совершенствования процесса определения технического состояния ремонтируемых агрегатов автомобилей на этапе ПД можно путем сравнения производственных потерь от ошибок распознавания дефектов ремфонда при типовой организации работ и при организации АРМ, в основе организации которого лежат результаты диссертационного исследования по применению математического аппарата ИНС в подсистеме ПД.

В целом для расчета ожидаемого экономического эффекта после внедрения АРМ на предприятии следует принять типовое выражение (4.1) аддитивной функции годовых приведенных затрат на существующий и предлагаемый способ организации ПД ремонтного фонда:

$$\mathcal{E} = \left\{ \left( C_{\Sigma}^{вн} (1) + E_n \cdot K_{(1)} / N_{(1)} \right) - \left( C_{\Sigma}^{вн} (2) + E_n \cdot K_{(2)} / N_{(2)} \right) \right\} \cdot N_{(2)}, \quad (4.1)$$

где  $C_{\Sigma}^{вн} (1)$  и  $C_{\Sigma}^{вн} (2)$  – обобщенные внутрипроизводственные потери от ошибок на этапе предремонтного диагностирования двигателя ЯМЗ-238, соответственно, по первому и второму вариантам, руб.;

$K_{(1)}$  и  $K_{(2)}$  – капиталовложения в создание производственной базы ПД, соответственно, по первому и второму вариантам, руб;

$E_H$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, который по отрасли в целом равен  $E_H = 0,15$ ;

$N_{(1)}$  и  $N_{(2)}$  – программы ПД двигателей, соответственно, по первому и второму вариантам в условиях ЦБПО ПРНС и НО (приняты условно по данным «Программы перспективного развития ЦБПО...»).

Учитывая, что единовременные затраты  $K_{(1)}$  и  $K_{(2)}$  по сравниваемым вариантам организации ПД различаются лишь затратами на приобретение во втором варианте оригинального программного обеспечения и формирование АРМ-а, размер которых в сравнении с капиталовложениями в ПТБ подсистемы ПД соизмеримо мал, из расчетов их можно исключить. Производственные программы  $N_{(1)}$  и  $N_{(2)}$  так же можно принять одинаковыми и исключить из расчетов.

Из текущих затрат следует исключить затраты на сырье, материалы, полуфабрикаты, топливо и энергию, используемые при предремонтном диагностировании ремонтируемых агрегатов.

Таким образом, учитывая разработанную ранее модель формирования технологических процессов ЦРТС агрегатов автомобилей (2.4), расчетное выражение для определения ожидаемого экономического эффекта после внедрения предлагаемого варианта организации предремонтного диагностирования в условиях ЦБПО ПРНС ОАО «Сургутнефтегаз» будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & \left\{ \left( C_{\Sigma}^{BH} (1) \right) - \left( C_{\Sigma}^{BH} (2) \right) \right\} = \left\{ \left( C_{\Sigma_{изл}} (1) + C_{\Sigma_{прон}} (1) + C_{\Sigma_{расп}} (1) \right) - \right. \\ & \left. \left( C_{\Sigma_{изл}} (2) + C_{\Sigma_{прон}} (2) + C_{\Sigma_{расп}} (2) \right) \right\} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Подставляя соответствующие значения из приложения Л в выражение (4.2), получаем эффект, выраженный в экономии затрат на один двигатель, на этапе предремонтного диагностирования которого были допущены ошибки 1-го и 2-го рода:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \left\{ (4194,42 + 4407,00 + 6921,81)_{(1)} - (1224,03 + 1312,18 + 2046,42)_{(2)} \right\} = \\ &= \left\{ (15523,25)_{(1)} - (4582,63)_{(2)} \right\} = 10940,62 \text{ руб. / двиг.} \end{aligned}$$

#### 4.4. Выводы по четвертой главе

1. Разработанное оригинальное ПО является базой для создания АРМ, которое позволит оператору-диагносту применять полученные результаты данных исследований для однозначного и достоверного отнесения конкретного агрегата к конкретному технологическому маршруту ремонта (КРР).

2. Из расчетов экономического эффекта результатов исследований были исключены единовременные затраты на организацию подсистемы предремонтного диагностирования как константные и для первого и для второго вариантов.

3. При расчете ожидаемого экономического эффекта (экономии затрат на один двигатель на этапе предремонтного диагностирования) минимизировалась аддитивная функция внутрипроизводственных потерь от ошибок I-го рода, ошибок II-го рода и ошибок маршрутизации.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. По результатам выполненного анализа влияния различных факторов на систему ЦРТС в целом установлено, что наиболее значимое влияние на эффективность ремонта оказывают ошибки оператора-диагноста на этапе предремонтного диагностирования, обусловленные причинами как объективного, так и субъективного (т. наз. «человеческий фактор») характера.

2. Разработана методика выявления дефектов агрегатов автомобилей с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей для их распределения по технологическим маршрутам ремонта (комплексам ремонтных работ – КРР), которая в отличие от известных значительно снижает влияние человеческого фактора на постановку верного диагноза и дальнейшее распределение по КРР.

3. Разработанное методическое и метрологическое обеспечение позволило упорядочить процесс экспериментального исследования над объектом исследования на этапе предремонтного диагностирования при ЦРТС. Для построения моделей математического аппарата ИНС с требуемым уровнем достоверности распознавания сочетаний дефектов агрегатов автомобилей и их распределения по КРР была разработана методика математической обработки эмпирических данных.

4. Была экспериментально подтверждена целесообразность применения разработанной методики при централизованном ремонте по техническому состоянию (ЦРТС) при выявлении дефектов агрегатов автомобилей на этапе предремонтного диагностирования и распределении их по КРР. Установлено, что внедрение данной методики в производственный процесс способствует снижению ошибок 1-го («ложный дефект») рода, 2-го («пропуск дефекта») для всех ресурсных групп двигателя объекта исследования и ошибок маршрутизации, вызванных человеческим фактором в среднем на 70%.

5. Разработана структурная схема АРМ оператора-диагноста, ядром которого является созданное оригинальное ПО на языке программирования

Delphi в одноименной среде разработке, позволяющее ему эффективно управлять процессами распознавания дефектов поступающих в ремонт агрегатов автомобилей и распределения их по КРР при ЦРТС.

6. Сравнительный экономический эффект при организации подсистемы предремонтного диагностирования по классическому и предлагаемому вариантам позволяет достичь экономии при внедрении результатов исследования в ЦБПО ПРНС и НО г. Сургута до 11 тыс. руб. на ремонт одного двигателя в год.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонькин, Ф.Н. Текущий ремонт автомобилей [Текст] / Ф.Н. Авдонькин. – М.: Транспорт, 1978. – 269 с.
2. Авдонькин, Ф.Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации [Текст] / Ф.Н. Авдонькин. – М.: Транспорт, 1993. – 350 с.
3. Апсин, В.П. Ремонтные комплекты агрегата [Текст] / В.П. Апсин, Л.В. Дехтеринский, С.Б. Норкин // Проблемы индустриального ремонта автомобилей и дорожных машин: сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 1996. – с. 4-18.
4. Аршинов, В.Д. Ремонт двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н, ЯМЗ-240Б [Текст] / В.Д. Аршинов, В.К. Зорин, Г.И. Созинов. – М.: Транспорт, 1978. – 310 с.
5. Баженов, Ю. В. Исследование некоторых вопросов формирования маршрутов восстановления деталей при капитальном ремонте машин [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук. / Баженов Юрий Васильевич. – М.: МАДИ, 1976. – 186 с.
6. Барзилович, Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем [Текст] / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
7. Барзилович, Е.Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию [Текст] / Е.Ю. Барзилович, В.Ф. Воскобоев. – М.: Транспорт, 1981. – 197 с.
8. Барзилович, Е.Ю. Организация обслуживания при ограниченной информации о надежности системы [Текст] / Е.Ю. Барзилович, В.А. Каштанов. – М.: Советское радио, 1975. – 136 с.
9. Барский, А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений [Текст] / А.Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
10. Барский, А.Б. Логические нейронные сети [Текст] / А.Б. Барский. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 352 с.
11. Бондаренко, Е.В. Методика размерного обоснования составных частей автомобильных двигателей при ремонте на основе обеспечения выходных

параметров [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Бондаренко Елена Викторовна. – Оренбург, 1996. – 129 с.

12. Бондаренко, Е.В. Сборочные процессы в ремонтном производстве [Текст]: учеб. пособие / Е.В. Бондаренко, В.К. Апсин, Е.Г.Кеян и др. – Оренбург: ФГБОУ ВПО ОГУ, 2011. – 152 с.

13. Боровиков, В.П. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных [Текст] / В.П. Боровиков. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2008. – 392 с.

14. Венкеманн, К. Система управления технологическим процессом на горнодобывающем предприятии [Текст] / К. Венкеманн // Уголь. – 1998. – № 6. – С. 64-67.

15. Волков, Д.П. Организация ремонта и технического обслуживания строительных машин в США [Текст] / Д.П. Волков, С.Н. Николаев // Механизация строительства, 1978. № 3. – С. 25-29.

16. Галушкин, А.И. Теория нейронных сетей [Текст]: учеб. пособ. для вузов / А.И. Галушкин. – М.: ИПРЖР, 2000. – 416 с.

17. Говорущенко, Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Н.Я. Говорущенко. – Харьков: Вища школа, 1984. – 312с.

18. Говорущенко, Н.Я. Новая тактика управления техническим состоянием автомобилей [Текст] / Н.Я. Говорущенко // Автомобильный транспорт, 1980. – № 4. – С. 22-24.

19. Говорущенко, Н.Я. Основы управления автомобильным транспортом [Текст] / Н.Я. Говорущенко. – Харьков: Вища школа, 1978. - 223 с.

20. Горовой А.И. Структура ремонтного цикла горного и транспортного оборудования [Текст] / А.И. Горовой // Добыча угля открытым способом. – 1971. – № 12. – С. 12-13.

21. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта. Термины и определения.

22. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.

23. ГОСТ 21571-76. Система технического обслуживания и ремонта техники. Методы определения допускаемого отклонения параметра технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов машин. М.: Изд-во стандартов. 1976. 28с.

24. ГОСТ 23435-79. Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров.

25. ГОСТ 25044-81. Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин. Основные положения.

26. ГОСТ 25176-82. Техническая диагностика. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Классификация. Общие технические требования.

27. ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения.

28. Груздева, Е.Н. Как правильно организовать техническое обслуживание сложного оборудования [Текст] / Е.Н. Груздева // Электроцех. – 2006, октябрь. – С. 5-8.

29. Данилов, И.К. Повышение эффективности использования ресурса автотракторных двигателей систематизацией эксплуатационно-ремонтного цикла на основе диагностирования [Текст]: дис. ... док. техн. наук.: 05.20.03 / Данилов Игорь Кеворкович. – Саратов, 2005. – 366 с.

30. Данилов, О.Ф. Проблемы взаимной адаптивности производства по ремонту специальной нефтегазопромысловой техники и выпускаемой продукции [Текст] / О.Ф. Данилов, В.Н. Красовский, В.В. Попцов // сб. научн. трудов “Проблемы транспорта в Западно-Сибирском регионе России” – Тюмень: ТюмГНГУ, 2001.

31. Дехтеринский, Л.В. Проектирование авторемонтных предприятий [Текст]: учеб. пособие / Л.В. Дехтеринский, Л.А. Абелевич, В.И. Карагодин. – М.: Транспорт, 1981. – 218 с.

32. Дехтеринский, Л.В. Ремонт автомобилей [Текст]: учебник для вузов / Л.В. Дехтеринский, К.Х. Акмаев, В.П. Апсин и др. – М.: Транспорт, 1992. – 295 с.

33. Дехтеринский, Л.В. Концентрация и специализация ремонтного производства [Текст]: учеб. пособие / Л.В. Дехтеринский, В.И. Карагодин. – М.: МАДИ, 1980. – 82 с.

34. Дехтеринский, Л.В. Проектирование технологических процессов восстановления деталей с применением ЭВМ [Текст]: учеб. пособие / Л.В. Дехтеринский, Т.Д. Артемьева. – М.: МАДИ, 1985. – 63 с.

35. Дехтеринский, Л.В. Ремонт автомобилей и общие закономерности, определяющие эффективность его применения [Текст] / Л.В. Дехтеринский, В.А. Зорин // Проблемы индустриального ремонта автомобилей и дорожных машин – М.: МАДИ, 1996. – с. 116-121.

36. Дехтеринский, Л.В. Некоторые вопросы технологии ремонта машин [Текст] / Л.В. Дехтеринский. – М.: Высшая школа, 1970. – 196 с.

37. Дехтеринский, Л.В. Распознавание маршрутов восстановления деталей при капитальном ремонте машин [Текст] / Л.В. Дехтеринский, В.П. Крюков, Ю.В. Баженов // Труды МАДИ. Вып. 82: Ремонт автомобилей и дорожных машин. – М.: МАДИ, 1974. – С. 4-8.

38. Дехтеринский, Л. В. Определение минимального количества контролируемых параметров капитально отремонтированных машин [Текст] / Л. В. Дехтеринский, И. Кадыров // Труды МАДИ. Вып. 82: Ремонт автомобилей и дорожных машин. – М.: МАДИ, 1974. – С. 16-25.

39. Дехтеринский, Л. В. О методе выявления факторов, определяющих надежность отремонтированных агрегатов [Текст] / Л. В. Дехтеринский, Г. Н. Доценко, А. А. Бояркин // Труды МАДИ. Вып. 82: Ремонт автомобилей и дорожных машин. – М.: МАДИ, 1974. – С. 150-153.

40. Диагностика строительных машин: средства и технологии диагностирования строительных машин [Электронный ресурс] // Каталог строительной техники и оборудования - Режим доступа: <http://ex-kavator.ru/diag.php?r=tech>, свободный.

41. Некипелов, Н. Метод сопряженных градиентов – математический аппарат [Электронный ресурс] / Н. Некипелов // Официальный сайт компании

<http://www.basegroup.ru/library/analysis/neural/conjugate/>, свободный.

42. Дорошев, Ю.С. Повышение технологической надежности карьерных экскаваторов [Текст] / Ю.С. Дорошев, С.В. Нестругин. – Владивосток: ДВГТУ, 2009. – 194 с.

43. Дюмин, И.Е. Ресурс автомобильных двигателей и повышение эффективности его использования [Текст] / И.Е. Дюмин // Автомобильный транспорт, № 2. – М., 1983. – С. 34-37.

44. Дюмин, И.Е. Повышение эффективности ремонта автомобильных двигателей [Текст] / И.Е. Дюмин. – М.: Транспорт, 1987. – 176 с.

45. Дюмин И.Е. Совершенствование и повышение эффективности ремонта автомобилей и их агрегатов [Текст] / И.Е. Дюмин // Автомобильный транспорт, № 4. – М., 1979. – С. 29-32.

46. Евстафьев, И.Н. Организация сбора данных для выбора оптимальной стратегии управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования [Текст] / И.Н. Евстафьев // Metallurg, № 3. – 2009. – С. – 30-33.

47. Казанский, Д.Л. Системы управления основными фондами – прогрессивные методы в техобслуживании [Текст] / Д.Л. Казанский, Е.В. Леонтьева // ИСУП, № 3. – 2006.

48. Карагодин, В.И. Формирование и теоретическое обоснование основных направлений эффективного развития системы фирменного ремонта автомобилей [Текст]: автореферат на соискание ... докт. техн. наук / Карагодин Виктор Иванович. – М.: МАДИ. – 1998. – 40 с.

49. Карагодин, В.И. Выбор средств входного контроля агрегатов автомобилей, ремонтируемых по техническому состоянию [Текст] / В.И. Карагодин // Повышение эффективности и качества ремонта автомобилей и дорожных машин. – М.: МАДИ, 1978. – с. 27-34.

50. Карагодин В.И. Ремонт автомобилей и двигателей [Текст] / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – М.: Издательский центр “Академия”, 2003. – 496 с.

51. Карагодин, В.И. Конспект лекций по курсу “Фирменный ремонт автомобилей и их составных частей”. Часть 1 [Текст] / В.И. Карагодин, В.Н. Красовский, С.А. Скрипников. – М.: МАДИ-ТУ, 1997. – 32 с.

52. Карагодин, В.И. Конспект лекций по курсу “Фирменный ремонт автомобилей и их составных частей”. Часть 2 [Текст] / В.И. Карагодин, В.Н. Красовский, С.А. Скрипников. – М.: МАДИ-ТУ, 1997. – 72 с.

53. Карагодин, В.И. Методика выявления типовых сочетаний ремонтных работ по обеспечению работоспособности автомобилей [Текст] / В.И. Карагодин, А.В. Малахов // Повышение эффективности и качества ремонта автомобилей и дорожных машин. – М.: МАДИ, 1978. – С. 27-34.

54. Карагодин, В.И. Использование информационных технологий при централизованном ремонте автомобильных двигателей по техническому состоянию [Текст] / В.И. Карагодин, В.Н. Красовский, С.А. Скрипников // Проблемы создания информационных технологий. – Минск: МАИТ, 1999. – С. 81-90.

55. Карагодин, В.И. Особенности оценки технического состояния двигателей при их разборке в условиях централизованного ремонта по техническому состоянию [Текст] / В.И. Карагодин, В.Н. Красовский // Моделирование технологических процессов и систем ремонта автомобилей: сборник научных трудов. – М.: МАДИ, 1987. – С.14-23.

56. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи [Текст]: учебник / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 94 с.

57. Комова, Г.А. Система W.D.S. на основе ЭВМ для обработки данных и информации в авторемонтном предприятии [Текст] / Г.А. Комова // Автомобильный транспорт: Экспресс-информ, Сер. Техн. Эксплуатация и ремонт автомобилей за рубежом, вып. 2. – М.: ЦБНТИавтотранс, 1991. – С. 33-35.

58. Консон, А.С. Экономика ремонта машин [Текст] / А.С. Консон. – Д.: Машиностроение, 1970. – 164 с.

59. Корчагин, В.А. Когнитивные технологии в решении организационно-технологических задач предприятий автомобильного транспорта [Текст] / В.А. Корчагин, В.Н. Красовский // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1; – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 34-37.
60. Кошкин, К. Т. Маршрутная технология ремонта деталей автомобиля [Текст] / К. Т. Кошкин. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 216 с.
61. Крамаренко, Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Г.В. Крамаренко. – М.: Транспорт, 1984. – 398с.
62. Красавин, А.Н. Новое в авторемонтном производстве (Из зарубежного опыта) [Текст] / А.Н. Красавин и др. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 6. – 1980. – С. 57-62.
63. Красовский, В.Н. Особенности оценки технического состояния двигателей при их разборке в условиях централизованного ремонта [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Красовский Валентин Николаевич. – М., 1987.
64. Красовский, В.Н. Состояние и перспективы совершенствования ремонта специальной нефтегазопромысловой техники [Текст] / В.Н. Красовский, М.М. Иванкив, В.А. Корчагин // Сборник научных трудов SWorld. Материалы Международной научно-практической конференции “Современные направления теоретических и прикладных исследований 2012”. Выпуск 1. Том 1. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – С. 77-82.
65. Красовский, В.Н. Централизованный ремонт по техническому состоянию агрегатов автомобилей и специальной нефтегазопромысловой техники фирмами-изготовителями [Текст] / В.Н. Красовский. – Тюмень: Вектор-Бук, 2009. – 164 с.
66. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента [Текст] / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: БГУ, 1982. – 302 с.
67. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика [Текст]: науч. изд. / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

68. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст] / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 221 с.
69. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст]: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, Болдин А.П., Власов В.М. и др. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
70. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами [Текст]: учеб. пособие / Е.С. Кузнецов. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 247 с.
71. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей в США [Текст] / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1978. – 168 с.
72. Кузнецов, Е.С. Производственная база автомобильного транспорта: Состояние и перспективы [Текст] / Е.С. Кузнецов, И.П. Курников. – М.: Транспорт, 1988. – 231 с.
73. Мак-Каллок, У. С. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности [Текст] / У.С. Мак-Каллок, В. Питтс // В сб.: «Автоматы» под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. – М.: Изд-во иностр. лит.. – 1956.
74. Малкин, В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.С. Малкин. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
75. Малков, С.Н. Организация централизованного ремонта агрегатов самолетов [Текст] / С.Н. Малков. – М.: Транспорт, 1974. – 179 с.
76. Малышев, В.И. Ремонт машины при ограниченной разборке её элементов [Текст] / В.И. Малышев, В.С. Милованцев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, № 11. – 1982. – С. 53-56.
77. Митков, В. Система автоматизированного контроля геометрических параметров деталей автомобилей [Текст] / В. Митков, И. Иванов // Автомобильный транспорт: Экспресс-информ, Сер. Техн. Эксплуатация и ремонт автомобилей за рубежом, вып. 1. – М.: ЦБНТИавтотранс, 1991. – С. 17-19.
78. Мирошников, Л.В. Диагностика технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях [Текст] / Л.В. Мирошников. – М.: Транспорт, 1977. – 224 с.

79. Михлин, В.М. Исследование и разработка правил определения ремонтных работ по результатам диагностирования основных агрегатов машин [Текст] / В.М. Михлин, М.Н. Зуль // Труды ГОСНИТИ, вып. 64. – М., 1981. – с. 42-53.

80. Некипелов, Н. Метод сопряженных градиентов – математический аппарат [Электронный ресурс] / Н. Некипелов // Официальный сайт компании “BaseGroup” – Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/neural/conjugate/>, свободный.

81. Носенко, Е.С. Совершенствование технической эксплуатации теплообменных аппаратов судовой дизельной установки с их переводом на обслуживание по фактическому состоянию [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Носенко Сергей Егорович. – Новороссийск, 2004.

82. Организация авторемонтного производства за рубежом [Текст]: обзорная информация. – М.: МАДИ, 1979. – 36 с.

83. Осипов, Д.Л. Базы данных и Delphi. Теория и практика [Текст] / Д.Л. Осипов. – СПб: БХВ-Петербург, 2011. – 752 с.

84. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации [Текст] / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

85. Петросов, В.В. Ремонт автомобилей и двигателей [Текст] / В.В. Петросов. – М.: Академия, 2005. – 224 с.

86. Попцов, В.В. Применение технологий централизованного ремонта агрегатов автомобилей по техническому состоянию в условиях мелкосерийного производства [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Попцов Виктор Вадимович. – Тюмень, 2002.

87. Придвижкин, В.А. Расширение системы услуг фирменного технического сервиса корпорации «Объединенные машиностроительные заводы» [Текст] / В.А. Придвижкин, С.Г. Бабин, Е.И. Смирнов // Горные машины и автоматика, № 10. – 2004. – С. 13-15.

88. РД-200-РСФСР-15-0150-81. Руководство по диагностике технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта [Текст]. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1981.

89. Румянцев, С.И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей [Текст]: учебник / С.И. Румянцев, А.Ф. Синельников, Ю.Л. Штоль. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.

90. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

91. Сидняев, Н.И. Введение в теорию планирования эксперимента [Текст]: учеб. пособие / Н.И. Сидняев, Н.Т. Вилисова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 463 с.

92. Силкин, А.С. Современные методы организации ремонта автомобилей [Текст] / А.С. Силкин, А.Н. Клейнер. – Киев: Техника, 1977. – 238 с.

93. Синягин, Н.Н. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики [Текст] / Н.Н. Синягин, Н.А. Афанасьев, С.А. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

94. Скрипников, С.А. Обоснование диагностических параметров и выбор средств предремонтного диагностирования при централизованном ремонте двигателей автомобилей по техническому состоянию [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук. – М.: 1986. – 215 с.

95. Скрипников, С. А. Формирование наборов диагностических параметров и комплектов средств предремонтного диагностирования [Текст] / С. А. Скрипников // Моделирование технологических процессов и систем ремонта автомобилей: сборник научных трудов. – М.: МАДИ, 1987. – С. 24-30.

96. Смирнов, Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию [Текст] / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

97. Смирнов, Н.Н. Основные принципы методов технического обслуживания и ремонта авиационной техники по состоянию [Текст] / Н.Н.

Смиронов, А.А. Ицкович, А.А. Овсянников // Труды ГОСНИИГА, вып. 114. – М., 1975. – С. 3-15.

98. Стариков, А. Нейронные сети – математический аппарат [Электронный ресурс] / А. Стариков // Официальный сайт компании “BaseGroup”– Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/neural/math/>, свободный.

99. Стариков, А. Применение нейронных сетей для задач классификации [Электронный ресурс] / А. Стариков // Официальный сайт компании “BaseGroup”– Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/neural/classification/>, свободный.

100. Тамразов, А.М. Планирование и анализ регрессионных экспериментов в технологических исследованиях [Текст] / А.М. Тамразов. – Киев: Наукова думка, 1987. – 176 с.

101. Татузов, А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации [Текст] / А.Л. Татузов. – М.: Радиотехника, 2009. – 432 с.

102. Ульман, И.Е. Ремонт машин [Текст]: учебник / И.Е. Ульман, Г.А. Тонн, И.М. Герштейн и др. – М.: Колос, 1982. – 446 с.

103. Усков, А.А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика [Текст] / А.А. Усков, А.В. Кузьмин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 144 с.

104. Харазов, А.М. Диагностическое обеспечение технического обслуживания и ремонта автомобилей [Текст]: учеб. пособие / А.М. Харазов. – М.: Высшая школа, 1990. – 204 с.

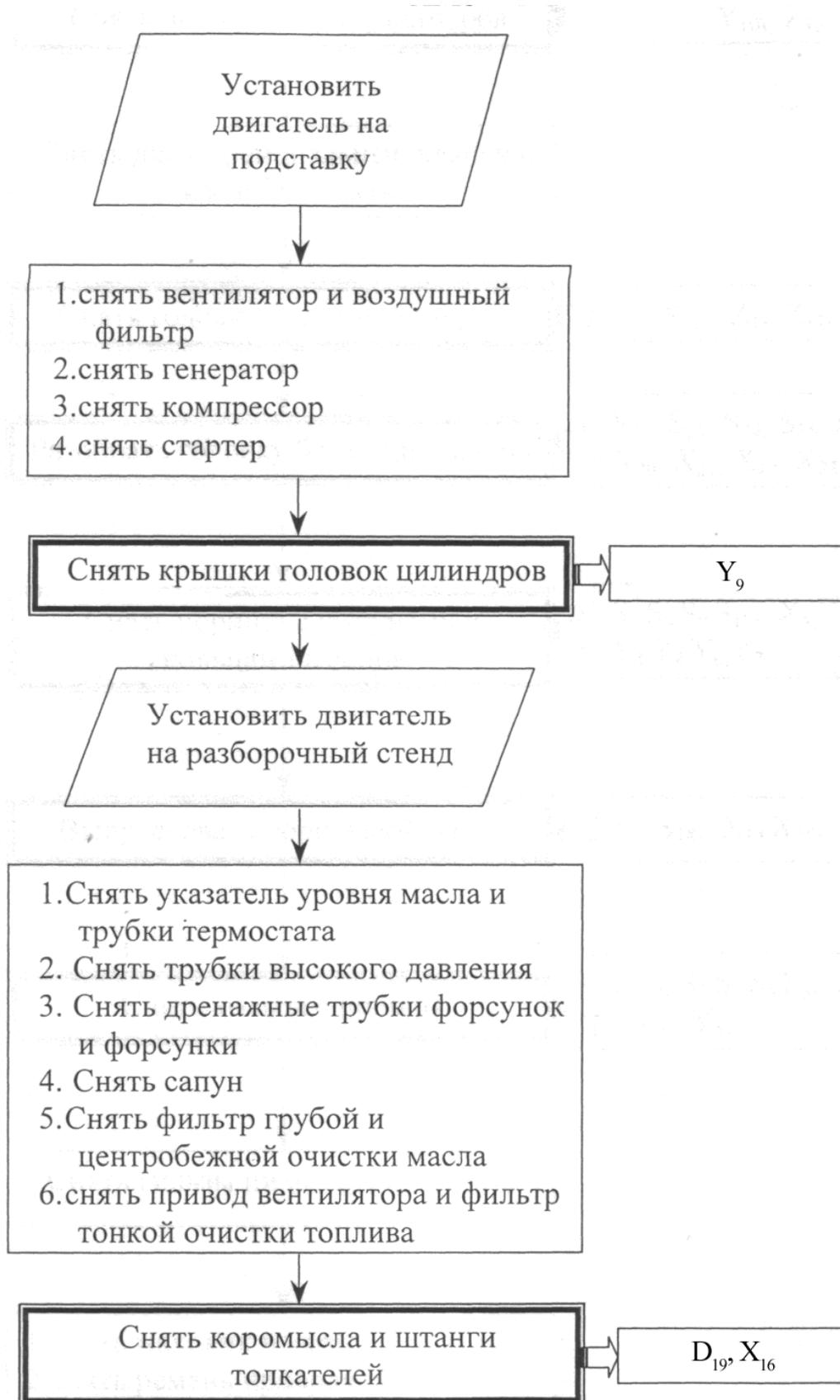
105. Харазов, А.М. Методы оптимизации в технической диагностике машин [Текст] / А.М. Харазов, С.Ф. Цвид. – М.: Машиностроение, 1983. – 132 с.

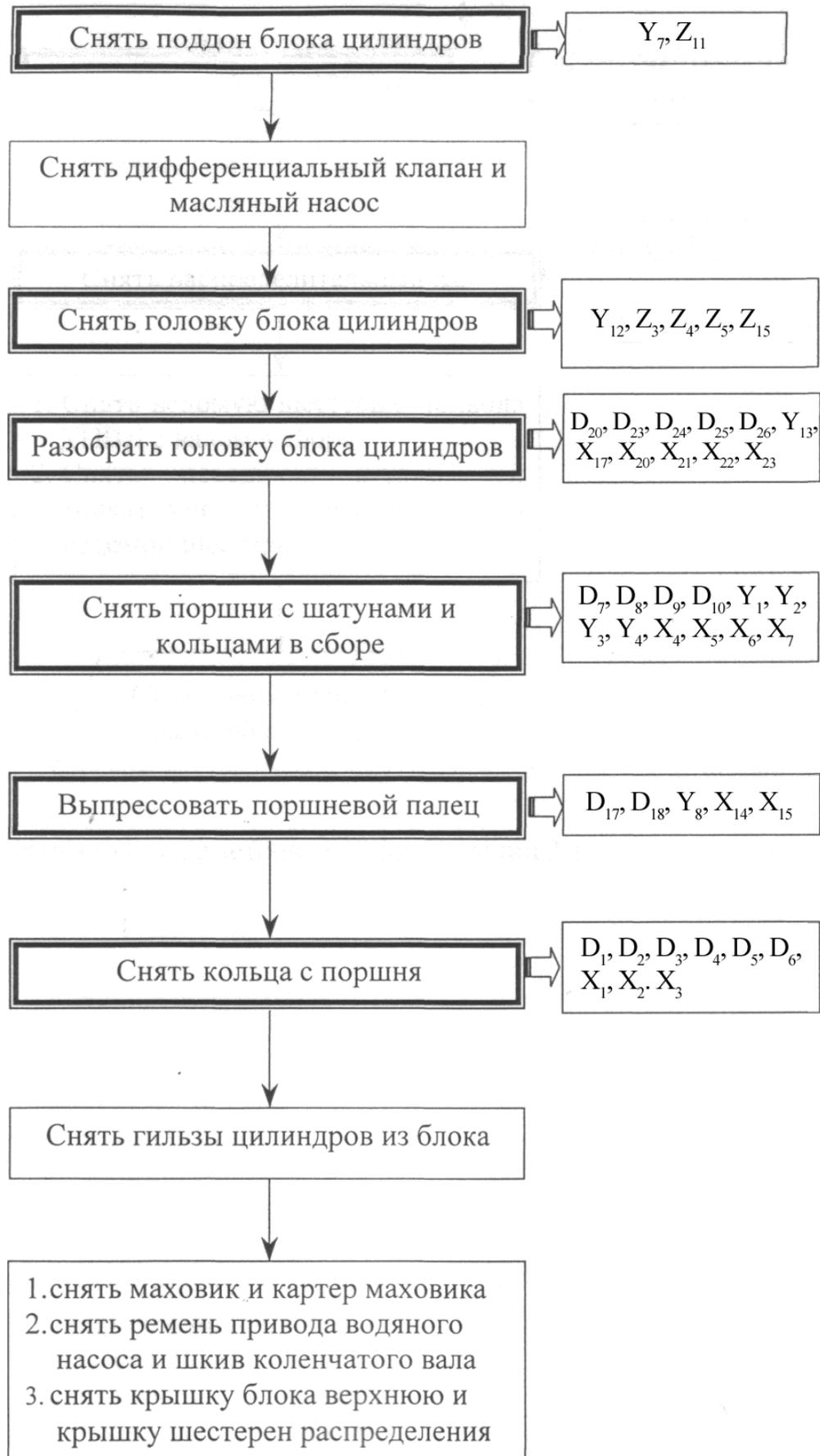
106. Хомоненко, А.Д. Delphi 7 [Текст] / А.Д. Хомоненко, В. Гофман, Е. Мещеряков. – СПб: БХВ-Петербург, 2010. – 1120 стр.

107. Хорешков, А.А. Характеристика методов технического обслуживания горно-транспортного оборудования [Текст] / А.А. Хорешков, А.В. Кудреватых, В.В. Кузнецов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 5. – 2011. – С. 48-62.

108. Чернышев, Г.Д. Ремонт двигателей ЯМЗ [Текст] / Г.Д. Чернышев, В.Д. Аршинов, Г.И. Созинов и др. – М.: Транспорт, 1974. – 216 с.
109. Шахиди А. NeuralBase - нейросеть за 5 минут [Электронный ресурс] / А. Шахиди // Официальный сайт компании “BaseGroup” – Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/neural/fastneuralnet/>, свободный.
110. Шейнин, А.М. Методы управления надежностью автомобиля [Текст] / А.М. Шейнин // Надежность и диагностика агрегатов и систем автомобилей. Ч 2. – М.: МАДИ, 1969. – С.3-27.
111. Шейнин, А.М. Основные принципы управления надежностью машин в эксплуатации [Текст] / А.М. Шейнин. – М.: Знание, 1977. – 59 с.
112. Шибзухов, З.М. Конструктивные методы обучения сигма-пи нейронных сетей [Текст] / З.М. Шибзухов. – М.: Наука, 2006. – 160 с.
113. Ясницкий, Л.Н. Введение в искусственный интеллект [Текст] / Л.Н. Ясницкий. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр “Академия”, 2008. – 176 с.
114. Ящерицын, П.И. Планирование эксперимента в машиностроении [Текст] / П.И. Ящерицын, Е.И. Махаринский. – Минск: Высшая школа, 1985. – 286 с.
115. Cornak Stefan. Selected Methods of Vehicles Maintenance in Operation Stage [Текст] // Machines, Technologies, Materials, – Issue 2-3. – Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering, Bulgaria, 2007. – P. 14-16.
116. Cornak Stefan. Research of Heat Stress of Frictional Mechanisms [Текст] // TRANS & MOTAUTO'05. Twelfth international scientific – technical conference on transport, road-building and material handling technics, technologies and military – educational problems, 23 - 25 November 2005, Veliko-Tarnovo, ISBN 954-9322-10-6.
117. Dong, Dawei W. Neural Networks for Engine Fault Diagnostics [Текст] / Dawei W. Dong, John J. Hopfield, K.P. Unnikrishnan. – Pasadena, CA 91125, Computation and Neural Systems California Institute of Technology, 1997. – P. 635 – 644.
118. Frisk Erik. Residual Generation for Fault Diagnosis [Текст] // Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations №. 716, 2001. – 184 p.

119. Haasl D., Roberts N., Vesely W., and Goldberg F. Fault Tree Handbook [Текст] // U.S. Nuclear Regulatory Commission. -1981.
120. Lacher, R. C., Back-propagation learning in expert networks [Текст] / R.C. Lacher // IEEE Transaction on Neural Networks № 1(3), 1992. – P. 62-72.
121. Legát, V.: Trendy údržby v automobilovém průmyslu [Текст] / V. Legát, J. Pošta // AUTOSYMPO 2005 – sborník referátů. ČSVTS Praha, 2005. ISBN: 80-02-01735-8.
122. Patan K. Towards Robustness in Neural Network Based Fault Diagnosis [Текст] / K. Patan, M. Witczak, J. Korbicz // Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., 2008, Vol. 18, № 4. – P. 443–454
123. Perlovsky, Leonid I. Neural Networks and Intellect: using model-based concepts [Текст] / Leonid I. Perlovsky. – Oxford University Press, 2001. – 496 p.
124. Rodriguez, C.A modular neural network approach to fault diagnosis [Текст] / C. Rodrigues // IEEE Trans On Neural Networks № 7(2), 1996. – P. 326-340.
125. Stamatis, D. Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution [Текст] // ASQQualityPress. – 1995.
126. Svärd C. Residual Generation Methods for Fault Diagnosis with Automotive Applications [Текст] // Linköping Studies in Science and Technology Thesis No.1406. – 2009.
127. Wang Lipo. Data Mining with Computational Intelligence (Advanced Information and Knowledge Processing) [Текст] / Lipo Wang. – Springer, 2005. – 276 p.

СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАЗБОРКИ ДВИГАТЕЛЯ  
ЯМЗ-238 И СПЕЦИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ



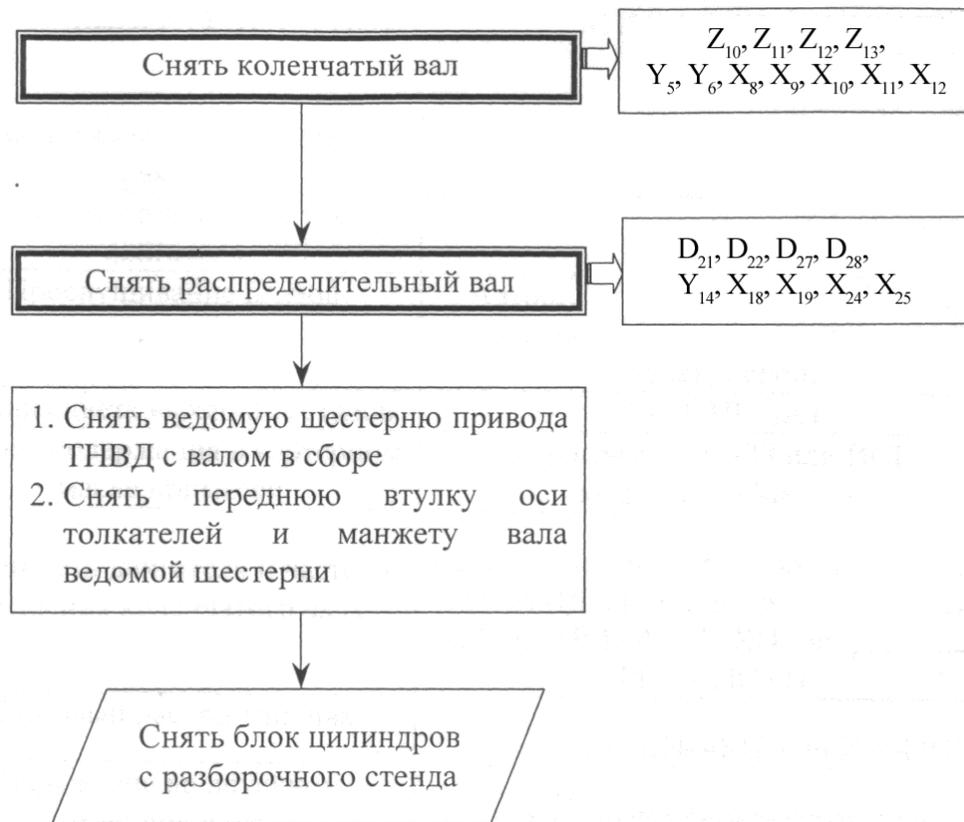


Таблица А – Спецификация параметров

Обозначение	Наименование
1	2
<b>Цилиндро-поршневая группа</b>	
<b>1. Диагностические параметры</b>	
$Z_1$	Количество газов прорывающихся в картер
$Z_2$	Компрессия
$Z_3$	Значение утечки воздуха в ВМТ
$Z_4$	Значение утечки воздуха в НМТ
$Z_5$	Разность значений утечки воздуха в ВМТ и НМТ
$Z_6$	Количественный и качественный состав элементов износа в масле
$Z_7$	Разряжение во впускном трубопроводе
$Z_8$	Дымность выхлопа
$Z_9$	Мощность двигателя
<b>2. Структурные параметры</b>	
$Y_1$	Зазор между поршнем и первым компрессионным кольцом
$Y_2$	Зазор между поршнем и вторым компрессионным кольцом
$Y_3$	Зазор между поршнем и третьим компрессионным кольцом
$Y_4$	Зазор между гильзой и юбкой поршня

1	2
<b>3. Размерные параметры</b>	
$X_1$	Высота первого компрессионного кольца
$X_2$	Высота второго компрессионного кольца
$X_3$	Высота третьего компрессионного кольца
$X_4$	Диаметр юбки поршня
$X_5$	Диаметр гильзы цилиндра в верхнем пояске
$X_6$	Диаметр гильзы цилиндра в нижнем пояске
$X_7$	Диаметр гильзы в поперечной плоскости
<b>4. Дефекты ЦПГ</b>	
$D_1$	Износ канавки поршня под первое компрессионное кольцо
$D_2$	Износ первого компрессионного кольца
$D_3$	Износ канавки поршня под второе компрессионное кольцо
$D_4$	Износ второго компрессионного кольца
$D_5$	Износ канавки поршня под третье компрессионное кольцо
$D_6$	Износ третьего компрессионного кольца
$D_7$	Износ юбки поршня
$D_8$	Износ гильзы цилиндра
$D_9$	Конусность гильзы цилиндра
$D_{10}$	Овальность гильзы цилиндра
<b>Кривошипно-шатунный механизм</b>	
<b>1. Диагностические параметры</b>	
$Z_{10}$	Величина суммарного зазора в шатунном подшипнике
$Z_{11}$	Осевое перемещение коленчатого вала
$Z_{12}$	Количественный и качественный анализ элементов износа в масле
$Z_{13}$	Значение давления в главной масляной магистрали
<b>2. Структурные параметры</b>	
$Y_5$	Зазор “шатунная шейка – вкладыш”
$Y_6$	Зазор “коренная шейка – вкладыш”
$Y_7$	Зазор в упорном подшипнике
$Y_8$	Зазор “поршневой палец – втулка”
<b>3. Размерные параметры</b>	
$X_8$	Высота шатунного вкладыша
$X_9$	Диаметр шатунной шейки
$X_{10}$	Высота коренного вкладыша
$X_{11}$	Диаметр коренной шейки
$X_{12}$	Ширина задней коренной шейки
$X_{13}$	Диаметр поршневого пальца
$X_{14}$	Диаметр втулки верхней головки шатуна

1	2
<b>4. Дефекты КШМ</b>	
D <sub>11</sub>	Износ шатунных вкладышей
D <sub>12</sub>	Износ шатунных шеек коленчатого вала
D <sub>13</sub>	Износ коренных вкладышей
D <sub>14</sub>	Износ коренных шеек коленчатого вала
D <sub>15</sub>	Износ задней коренной шейки по ширине
D <sub>16</sub>	Износ поршневого пальца
D <sub>17</sub>	Износ втулки верхней головки шатуна
<b>Газораспределительный механизм</b>	
<b>1. Диагностические параметры</b>	
Z <sub>14</sub>	Количественный и качественный анализ элементов износа в масле
Z <sub>15</sub>	Утечка сжатого воздуха
Z <sub>16</sub>	Мощность двигателя
Z <sub>17</sub>	Дымность выхлопа
Z <sub>18</sub>	Прорыв газов в картер
Z <sub>19</sub>	Давление масла в главной масляной магистрали
<b>2. Структурные параметры</b>	
Y <sub>9</sub>	Тепловой зазор в клапанном механизме
Y <sub>10</sub>	Фазы газораспределения
Y <sub>11</sub>	Зазор в шестернях привода механизма ГРМ
Y <sub>12</sub>	Нарушенная плотность клапанов, утопание тарелок клапанов в седло клапана
Y <sub>13</sub>	Зазор “стержень клапана – направляющая втулка”
Y <sub>14</sub>	Зазор “шейка распределительного вала – втулка опоры”
<b>3. Размерные параметры</b>	
X <sub>15</sub>	Высота носка коромысла
X <sub>16</sub>	Высота торца клапана
X <sub>17</sub>	Высота кулачка
X <sub>18</sub>	Толщина зубьев привода ГРМ
X <sub>19</sub>	Высота профиля фаски клапана
X <sub>20</sub>	Высота профиля фаски седла клапана
X <sub>21</sub>	Внутренний диаметр направляющих втулок
X <sub>22</sub>	Диаметр стержня клапана
X <sub>23</sub>	Диаметр втулок опор
X <sub>24</sub>	Диаметр шеек
<b>4. Дефекты ГРМ</b>	
D <sub>18</sub>	Износ бойка коромысла
D <sub>19</sub>	Износ торца стержня клапана
D <sub>20</sub>	Износ кулачков распределительного вала
D <sub>21</sub>	Износ распределительных шестерен

<b>1</b>	<b>2</b>
D <sub>22</sub>	Износ или выгорание рабочих фасок клапана
D <sub>23</sub>	Износ или выгорание рабочих фасок седла клапана
D <sub>24</sub>	Износ направляющих втулок
D <sub>25</sub>	Износ стержня клапана
D <sub>26</sub>	Износ втулок опор распределительного вала
D <sub>27</sub>	Износ шеек опор распределительного вала

**ТАБЛИЦЫ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-238 И  
СОСТАВ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Таблица Б.1 – Перечень диагностических параметров двигателя ЯМЗ-238 и  
состав диагностических средств

<b>Диагностические параметры</b>	<b>Приборы, приспособления, инструменты</b>
Прослушивание шумов	Автостетоскоп ТУМ Бео - 003 или “Экранес”, КИ-1154
Мощность двигателя и частота вращения коленчатого вала	Измеритель мощности двигателя ИМД- 2М (ИМД-Ц) или догрузатель ГДО- ЛСХИ, ГИМ-46-ЛСХИ или работомер РГО-ЛСХИ
Массовый расход топлива	Топливомер КИ-4818 или КИ-8940
Разряжение во впускном трубопроводе	U-образный мановакуумметр или тягомер ТМС-718, вакуум-анализатор КИ-28165
Количество газов прорвавшихся в картер	КИ-4887, СПГ ЭГКФ-8 и ГКФ-6
Компрессия	Вакуум-анализатор КИ-28165, Компрессограф Zeca 363
Утечка сжатого воздуха из цилиндров	К69М, К-272
Давление масла в системе смазки	КИ-5472 или КИ-4940-ГОСНИТИ
Суммарный зазор в верхней головке шатуна и шатунном подшипнике	Компрессорно-вакуумная установка КИ- 4942 и приспособление КИ-11140
Неплотность клапанов газораспределения	КИ-4887-II-ГОСНИТИ

Таблица Б.2 – Перечень структурных параметров двигателя ЯМЗ-238 и состав  
измерительных средств

<b>Структурные параметры</b>	<b>Приборы, приспособления, инструменты</b>
Зазор между торцом клапана и носком коромысла	Набор щупов № 2 или приспособление КИ-9918
Фазы газораспределения, град.	КИ-4849 вместе с КИ-13902
Утопание тарелок клапанов в гнездах головки цилиндров	Штангенглубиномер ШГ-160
Предельные значения неплотности закрытия клапанов газораспределения, л/мин.	КИ-4887

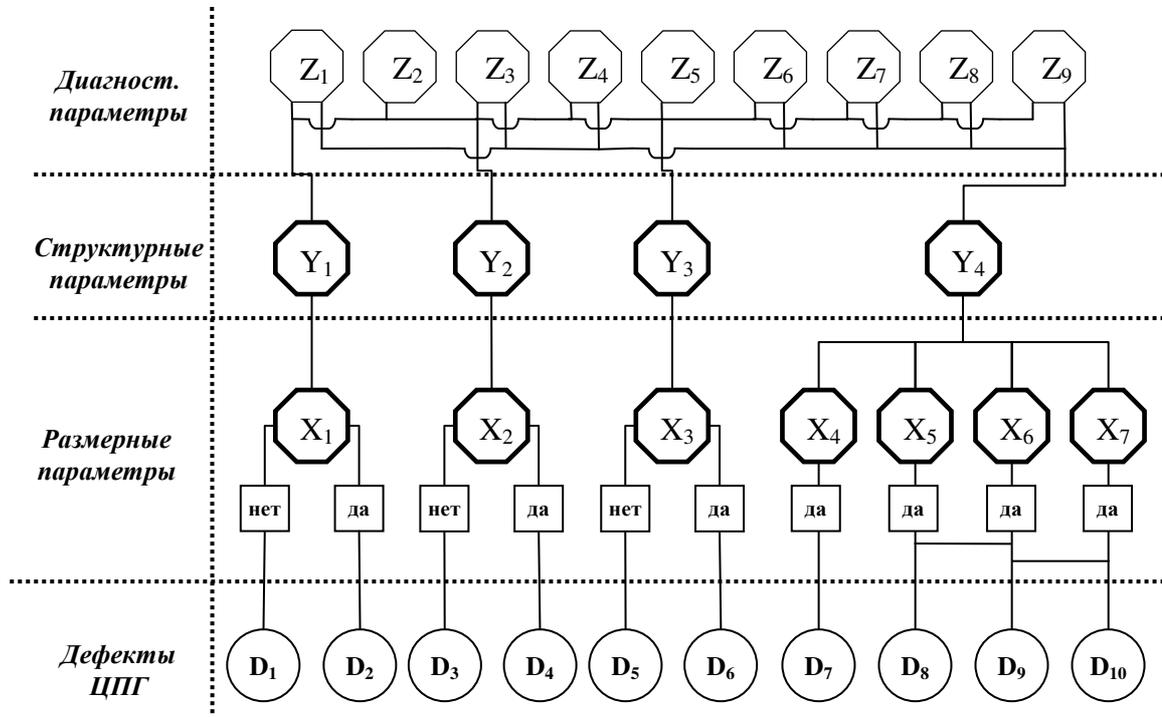
Зазор между гильзой цилиндра и наибольшим диаметром юбки поршня	Набор щупов № 2
Осевой зазор в упорном подшипнике коленчатого вала	Набор щупов № 2
Зазор между канавкой поршня и верхним компрессионным кольцом	Набор щупов № 2
Зазор между щекой коленчатого вала и торцом шатуна	Набор щупов № 2
Осевой люфт распределительного вала	Индикатор
Зазор в сопряжении «шейка коленчатого вала – коренной вкладыш»	Скоба рычажная СР-125, концевые меры 2-Н1, нутромер индикаторный НР-100, НР-160.
Зазор в сопряжении «шейка коленчатого вала – шатунный вкладыш»	Скоба рычажная СР-100, концевые меры 2-Н1, нутромер индикаторный НР-50, НР-100.
Зазор «поршневой палец – отверстие в верхней головке шатуна»	Нутромер индикаторный НР-50, микрометр МК-25
Зазор в стыке верхнего компрессионного кольца	Набор щупов № 2
Зазор в стыке маслосъемного кольца	Набор щупов № 2
Зазор «опорная шейка распределительного вала – отверстие во втулке»	Микрометр МК-75-2, нутромер индикаторный НИ 50-100-2, КИ-2320
Проверка зазора или натяга между бабышками поршня и пальцем	СР-50, НИ-50
Окружной зазор в зацеплении шестерен	Набор щупов № 2

Таблица Б.3 – Перечень размерных параметров двигателя ЯМЗ-238 и состав измерительных средств

<b>Размерные параметры</b>	<b>Приборы, приспособления, инструменты</b>
Диаметр поршневого пальца	Скоба рычажная
Овальность и конусность	СР-50, скоба рычажная
Диаметр отверстия нижней головки шатуна	Нутромер НР-100, ключ динамометрический
Ремонтный размер	ОР-8928.01
Диаметр поверхности втулки	Нутромер НР-100
Диаметр отверстия верхней головки шатуна	Нутромер НР-100

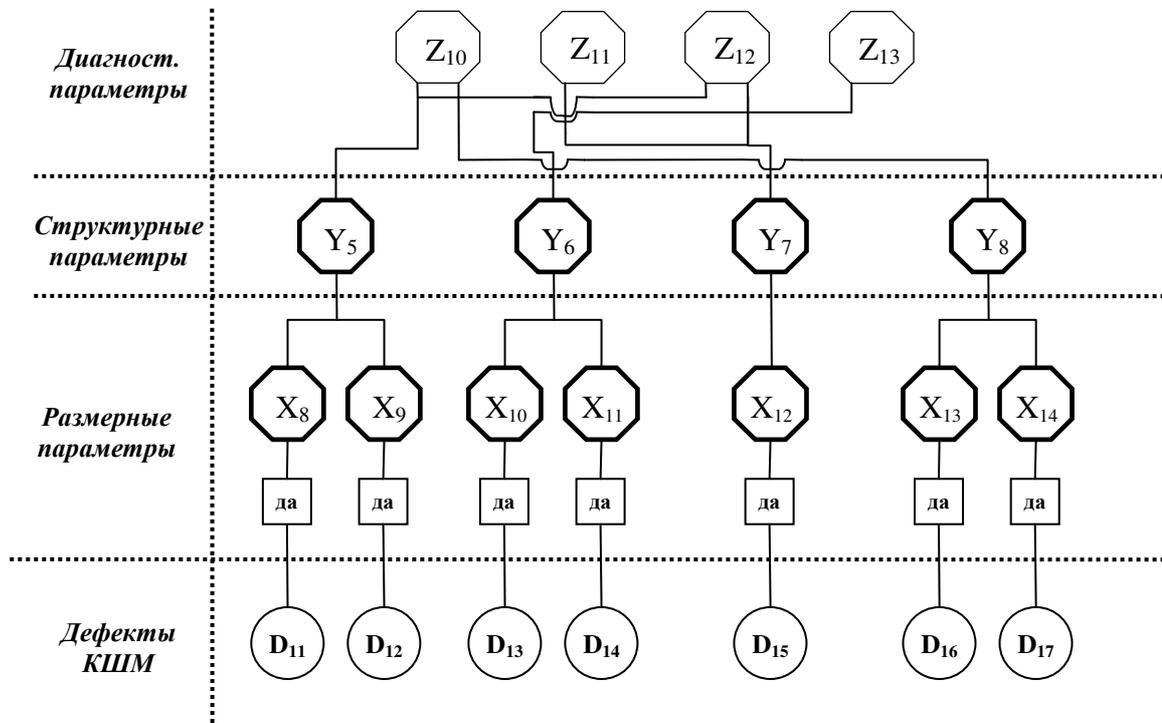
Диаметр коренных шеек коленчатого вала	Скоба рычажная СР-125, концевые меры 2-Н1
Диаметр шатунных шеек коленчатого вала	Скоба рычажная СР-100, концевые меры 2-Н1
Диаметр шейки вала под шкив	Скоба рычажная СР-75
Диаметр шейки вала под передний противовес	Скоба рычажная СР-75
Диаметр шейки вала под шестерню	Скоба рычажная СР-75
Ширина паза под шкив, передний противовес и шестерню	КИ-4921
Ширина задней коренной шейки	Нутромер индикаторный НИ 50-100-2
Биение промежуточных коренных шеек относительно крайних	Приспособление для контроля коленчатых валов 70-8735-1028
Расстояние от заднего торца последней коренной шейки до заднего торца вала	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
Диаметр отверстия противовеса под шейку вала	Нутромер НР-100
Ширина паза противовеса	Шаблоны КИ-4921
Радиальное биение распределительного вала относительно крайних опор	Индикатор ИЧ-10Б кл.1, плита поверочная 2-1-1000х630, призма поверочная П2-1-1, штатив Ш-ПН-8
Диаметр опорных шеек распределительного вала	Микрометр МК 75-2
Высота кулачков	Микрометр МК 50-2
Ширина шпоночного паза распределительного вала	Шаблоны КИ-4921
Диаметр шейки распределительного вала под шестерню	Микрометр 50-2
Диаметр стержня клапана	Микрометр 25-2
Диаметр рабочей поверхности оси коромысел	Микрометр 25-2
Диаметр отверстия втулки коромысла	Нутромер 18-50
Высота носка коромысла	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1
Длина штанги	Штангенциркуль ШЦ-III-630-0,1
Диаметр отверстия под ось ролика толкателя	Нутромер НР-18
Диаметр втулки под ось толкателей	Нутромер НИ-50-2
Диаметр оси толкателей	Микрометр МК-25-2
Внутренний диаметр гильзы	Нутромер НР-160
Наружный диаметр поршня	Скоба рычажная СР-150

ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-238 И  
ВЫЯВЛЯЕМЫХ ДЕФЕКТОВ



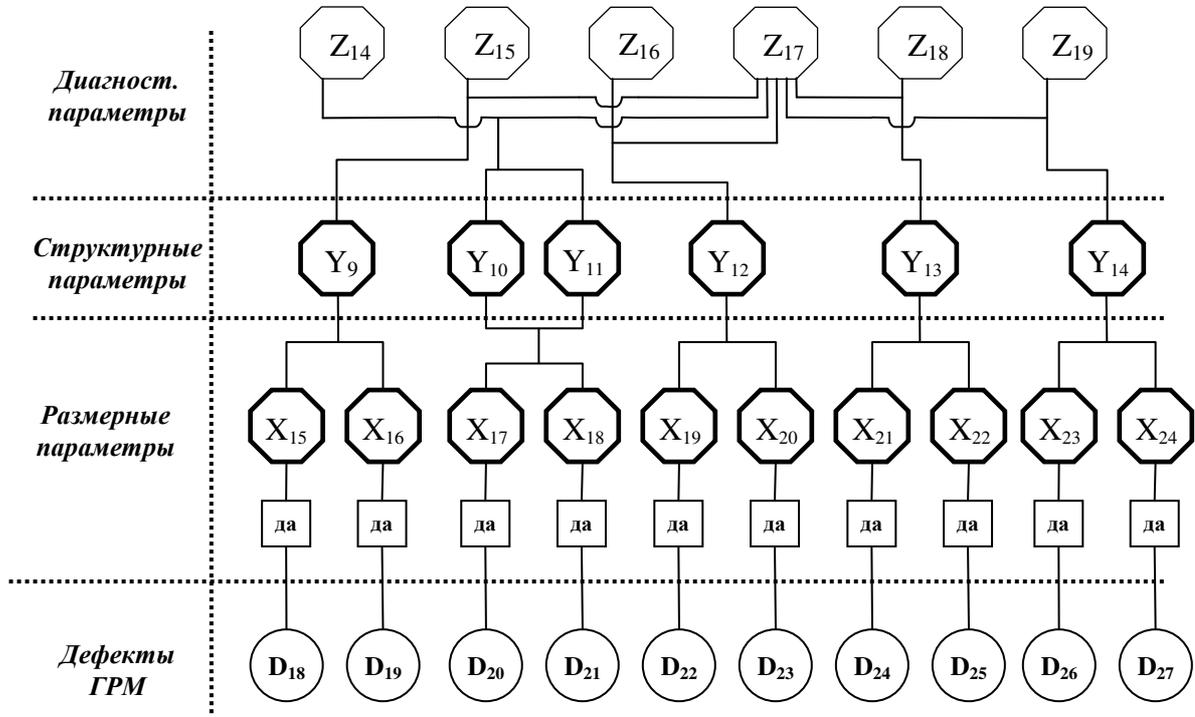
Спецификацию параметров см. в таблице Приложения А.

ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ  
КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-238 И  
ВЫЯВЛЯЕМЫХ ДЕФЕКТОВ



Спецификацию параметров см. в таблице Приложения А.

ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-238 И  
ВЫЯВЛЯЕМЫХ ДЕФЕКТОВ



Спецификацию параметров см. в таблице Приложения А.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЧИСЛА НАБЛЮДЕНИЙ

Параметр	Относительная предельная ошибка $\delta$	Коэффициент вариации	Значение	Число испытаний
1	2	3	4	5
<b>1. Цилиндро-поршневая группа</b>				
<i>1.1. Диагностические параметры</i>				
$Z_1$	0,093	0,488	0,191	65
$Z_2$	0,032	0,081	0,321	44
$Z_3$	0,026	0,138	0,188	68
$Z_4$	0,026	0,138	0,188	68
$Z_5$	0,041	0,075	0,245	59
$Z_6$	0,024	0,141	0,171	71
$Z_7$	0,063	0,342	0,433	20
$Z_8$	0,090	0,477	0,189	65
$Z_9$	0,029	0,131	0,221	62
<i>1.2. Структурные параметры</i>				
$Y_1$	0,029	0,085	0,341	40
$Y_2$	0,010	0,055	0,182	70
$Y_3$	0,100	0,200	0,500	11
$Y_4$	0,090	0,460	0,195	64
<i>1.3. Размерные параметры</i>				
$X_1$	0,0113	0,056	0,238	59
$X_2$	0,0159	0,056	0,284	51
$X_3$	0,089	0,450	0,198	64
$X_4$	0,071	0,313	0,226	60
$X_5$	0,089	0,452	0,196	64
$X_6$	0,250	1,090	0,229	54
$X_7$	0,630	2,020	0,312	38

1	2	3	4	5
<b>2. Кривошипно-шатунный механизм</b>				
<i>2.1. Диагностические параметры</i>				
Z <sub>10</sub>	0,476	0,520	0,232	71
Z <sub>11</sub>	0,100	0,358	0,451	18
Z <sub>12</sub>	0,092	0,226	0,192	68
Z <sub>13</sub>	0,677	0,152	0,335	65
<i>2.2. Структурные параметры</i>				
Y <sub>5</sub>	0,068	0,282	0,240	58
Y <sub>6</sub>	0,061	0,292	0,208	63
Y <sub>7</sub>	0,073	0,218	0,225	61
Y <sub>8</sub>	0,085	0,334	0,254	55
<i>2.3. Размерные параметры</i>				
X <sub>8</sub>	0,385	1,980	0,194	52
X <sub>9</sub>	0,217	1,069	0,203	58
X <sub>10</sub>	0,0246	0,121	0,209	64
X <sub>11</sub>	0,0235	0,113	0,207	65
X <sub>12</sub>	0,0253	0,137	0,210	64
X <sub>13</sub>	0,0235	0,113	0,207	65
X <sub>14</sub>	0,323	1,045	0,308	42
<b>3. Газораспределительный механизм</b>				
<i>3.1. Диагностические параметры</i>				
Z <sub>14</sub>	0,089	0,232	0,147	77
Z <sub>15</sub>	0,173	0,221	0,542	5
Z <sub>16</sub>	0,051	0,181	0,282	50
Z <sub>17</sub>	0,083	0,212	0,348	39
Z <sub>18</sub>	0,027	0,147	0,184	69
Z <sub>19</sub>	0,059	0,282	0,446	18
<i>3.2. Структурные параметры</i>				
Y <sub>9</sub>	0,061	0,291	0,210	62
Y <sub>10</sub>	0,476	1,067	0,446	21

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Y <sub>11</sub>	0,613	1,212	0,187	74
Y <sub>12</sub>	0,278	0,989	0,281	48
Y <sub>13</sub>	0,335	0,523	0,143	82
Y <sub>14</sub>	0,319	0,763	0,211	65
<b>3.3. Размерные параметры</b>				
X <sub>15</sub>	2,000	5,260	0,380	27
X <sub>16</sub>	0,209	0,458	0,405	29
X <sub>17</sub>	0,100	0,155	0,545	3
X <sub>18</sub>	0,385	0,215	0,580	6
X <sub>19</sub>	0,257	0,512	0,173	74
X <sub>20</sub>	0,243	0,421	0,279	55
X <sub>21</sub>	0,134	0,097	0,184	74
X <sub>22</sub>	0,252	0,820	0,242	55
X <sub>23</sub>	0,122	0,692	0,439	15
X <sub>24</sub>	1,415	0,963	0,157	114

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПРИ ПРЕДРЕМОНТНОМ  
ДИАГНОСТИРОВАНИИ (ПД) ДВИГАТЕЛЕЙ ЯМЗ-238**

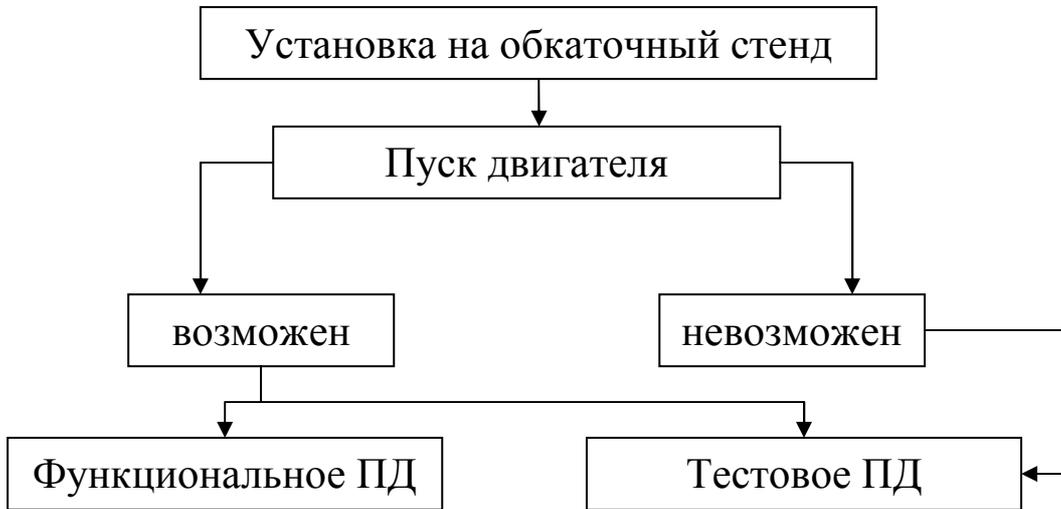


Таблица Ж – Перечень выполняемых работ

№	Измеряемые параметры	Функциональное ПД	Тестовое ПД
1	Определение состава отработавших газов	+	–
2	Прослушивание шумов	+	–
3	Мощность двигателя и частота вращения	+	–
4	Давление в системе смазки	+	–
5	Компрессия	+	+
6	Разряжение во впускном трубопроводе	+	–
7	Количество газов прорывающихся в картер	+	–
8	Пневмотестирование	–	+
9	Суммарный зазор в шатуне	–	+

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

№ п/п	Полученные регрессионные зависимости	Параметры проверки адекватности моделей и значимости регрессионных коэффициентов					
		F(a = 0,01)		R	R <sup>2</sup>	t (a = 0,01)	
		опытные	табличные			опытные	табличные
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$Z_1 = 45,2 \cdot Y_1 + 12,82 \cdot Y_2 + 51,35 \cdot Y_3 + 11,05 \cdot Y_4$	68,17	4,18	0,850	0,722	t <sub>1</sub> =5,31 t <sub>2</sub> =3,35 t <sub>3</sub> =3,12 t <sub>4</sub> =3,78	1,98 1,98 1,98 1,98
2	$Z_2 = 13,12 \cdot Y_1 + 24,91 \cdot Y_2 + 34,65 \cdot Y_3$	174,98	4,68	0,912	0,832	t <sub>1</sub> =3,52 t <sub>2</sub> =4,15 t <sub>3</sub> =6,73	1,98 1,98 1,98
3	$Z_3 = 9,51 \cdot Y_1 + 56,22 \cdot Y_2 + 64,31 \cdot Y_3 + 17,94 \cdot Y_4$	60,10	4,18	0,834	0,696	t <sub>1</sub> =4,64 t <sub>2</sub> =5,35 t <sub>3</sub> =4,23 t <sub>4</sub> =6,52	1,98 1,98 1,98 1,98
4	$Z_4 = 36,23 \cdot Y_1 + 5,13 \cdot Y_2 + 33,63 \cdot Y_3 + 53,73 \cdot Y_4$	62,73	4,18	0,840	0,705	t <sub>1</sub> =3,26 t <sub>2</sub> =3,53 t <sub>3</sub> =3,01 t <sub>4</sub> =4,28	1,98 1,98 1,98 1,98

## Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8
5	$Z_5 = 24,91 + 15,74 \cdot Y_1 + 53,88 \cdot Y_2 + 4,27 \cdot Y_3$	79,01	4,68	0,831	0,691	t <sub>1</sub> =3,31 t <sub>2</sub> =2,73 t <sub>3</sub> =3,60	1,98 1,98 1,98
6	$Z_6 = 24,04 \cdot Y_1 + 15,74 \cdot Y_2 + 35,30 \cdot Y_3 + 14,17 \cdot Y_4$	50,28	4,18	0,811	0,657	t <sub>1</sub> =4,67 t <sub>2</sub> =3,29 t <sub>3</sub> =3,16 t <sub>4</sub> =4,91	1,98 1,98 1,98 1,98
7	$Z_7 = 9,12 \cdot Y_1 + 1,51 \cdot Y_2 + 62,04 \cdot Y_3 + 6,63 \cdot Y_4$	108,37	4,18	0,897	0,805	t <sub>1</sub> =3,77 t <sub>2</sub> =3,23 t <sub>3</sub> =2,90 t <sub>4</sub> =4,01	1,98 1,98 1,98 1,98
8	$Z_8 = 37,3 \cdot Y_1 + 52,81 \cdot Y_2 + 4,1 \cdot Y_3 + 0,22 \cdot Y_4$	140,95	4,18	0,919	0,843	t <sub>1</sub> =3,01 t <sub>2</sub> =3,41 t <sub>3</sub> =2,87 t <sub>4</sub> =2,94	1,98 1,98 1,98 1,98
9	$Z_9 = -0,59 + 28,7 \cdot Y_1 + 0,018 \cdot Y_2 + 7,26 \cdot Y_3 + 0,063 \cdot Y_4$	59,25	4,18	0,832	0,693	t <sub>1</sub> =3,11 t <sub>2</sub> =2,83 t <sub>3</sub> =3,18 t <sub>4</sub> =2,87	1,98 1,98 1,98 1,98
10	$Z_{10} = -0,05 + 9,4 \cdot Y_5 + 2,52 \cdot Y_8$	143,19	5,07	0,853	0,728	t <sub>1</sub> =6,71 t <sub>2</sub> =3,12	1,98 1,98
11	$Z_{11} = 0,18 + 3,3 \cdot Y_7$	369,88	7,04	0,880	0,774	t <sub>1</sub> =6,23	1,98

Продолжение приложения 3

1	2	3	4	5	6	7	8
12	$Z_{12} = 9,51 + 12,02 \cdot Y_5 + 1,68 \cdot Y_6$	114,74	5,07	0,826	0,682	$t_1=5,59$ $t_2=4,22$	1,98 1,98
13	$Z_{13} = - 7,12 - 39,3 \cdot Y_6$	265,70	7,04	0,843	0,711	$t_1=7,12$	1,98
14	$Z_{14} = 0,34 - 9,17 \cdot Y_{10} + 2,11 \cdot Y_{11}$	88,03	5,78	0,789	0,622	$t_1=3,27$ $t_2=10,04$	1,98 1,98
15	$Z_{15} = - 12,53 + 82,01 \cdot Y_9$	237,05	7,05	0,829	0,687	$t_1=11,21$	1,98
16	$Z_{16} = 65,11 + 16,27 \cdot Y_{12}$	657,96	7,40	0,927	0,859	$t_1=3,32$	1,98
17	$Z_{17} = - 0,3 \cdot Y_9 + 15,92 \cdot Y_{10} + 1,13 \cdot Y_{11} + 5,82 \cdot Y_{12} + 22,4 \cdot Y_{13} + 0,67 \cdot Y_{14}$	33,77	3,81	0,814	0,663	$t_1=12,17$ $t_2=3,81$ $t_3=3,05$ $t_4=11,32$ $t_5=9,95$ $t_6=6,76$	1,98 1,98 1,98 1,98 1,98 1,98
18	$Z_{18} = - 15,98 + 3,29 \cdot Y_{13}$	626,69	7,72	0,924	0,853	$t_1=3,37$	1,98
19	$Z_{19} = 0,23 - 8,5 \cdot Y_{14}$	219,27	7,06	0,908	0,670	$t_1=5,49$	1,98

**ТАБЛИЦЫ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОШИБОК 1-ГО И 2-ГО РОДА ДЛЯ  
СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ЯМЗ-238 ДО И ПОСЛЕ  
ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ**

Таблица И.1 – Вероятности ошибок 1-го и 2-го рода для структурных параметров двигателя ЯМЗ-238 до внедрения предлагаемой методики

Обозначение	Наименование параметра	Вероятность ошибки I-го рода	Вероятность ошибки II-го рода
<b>1. Цилиндро-поршневая группа</b>			
Y <sub>1</sub>	Зазор между поршнем и первым компрессионным кольцом	0,08	0,03
Y <sub>2</sub>	Зазор между поршнем и вторым компрессионным кольцом	0,08	0,03
Y <sub>3</sub>	Зазор между поршнем и третьим компрессионным кольцом	0,08	0,03
Y <sub>4</sub>	Зазор между гильзой и юбкой поршня	0,25	0,12
<b>2. Кривошипно-шатунный механизм</b>			
Y <sub>5</sub>	Зазор “шатунная шейка – вкладыш”	0,22	0,08
Y <sub>6</sub>	Зазор “коренная шейка – вкладыш”	0,22	0,08
Y <sub>7</sub>	Зазор в упорном подшипнике	0,25	0,12
Y <sub>8</sub>	Зазор “поршневой палец – втулка”	0,05	0,01
<b>3. Газораспределительный механизм</b>			
Y <sub>9</sub>	Тепловой зазор в клапанном механизме	0,30	0,17
Y <sub>10</sub>	Фазы газораспределения	0,30	0,17
Y <sub>11</sub>	Зазор в шестернях привода механизма ГРМ	0,21	0,07
Y <sub>12</sub>	Нарушенная плотность клапанов, утопание тарелок клапанов в седло клапана	0,30	0,17
Y <sub>13</sub>	Зазор “стержень клапана – направляющая втулка”	0,15	0,06
Y <sub>14</sub>	Зазор “шейка распределительного вала – втулка опоры”	0,25	0,17

Таблица И.2 – Вероятности ошибок 1-го и 2-го рода для структурных параметров двигателя ЯМЗ-238 после внедрения предлагаемой методики

Обозначение	Наименование параметра	Вероятность ошибки I-го рода	Вероятность ошибки II-го рода
<b>1. Цилиндро-поршневая группа</b>			
Y <sub>1</sub>	Зазор между поршнем и первым компрессионным кольцом	0,04	0,01
Y <sub>2</sub>	Зазор между поршнем и вторым компрессионным кольцом	0,04	0,01
Y <sub>3</sub>	Зазор между поршнем и третьим компрессионным кольцом	0,04	0,01
Y <sub>4</sub>	Зазор между гильзой и юбкой поршня	0,07	0,04
<b>2. Кривошипно-шатунный механизм</b>			
Y <sub>5</sub>	Зазор “шатунная шейка – вкладыш”	0,06	0,02
Y <sub>6</sub>	Зазор “коренная шейка – вкладыш”	0,06	0,02
Y <sub>7</sub>	Зазор в упорном подшипнике	0,07	0,03
Y <sub>8</sub>	Зазор “поршневой палец – втулка”	0,00	0,00
<b>3. Газораспределительный механизм</b>			
Y <sub>9</sub>	Тепловой зазор в клапанном механизме	0,08	0,05
Y <sub>10</sub>	Фазы газораспределения	0,08	0,05
Y <sub>11</sub>	Зазор в шестернях привода механизма ГРМ	0,06	0,03
Y <sub>12</sub>	Нарушенная плотность клапанов, утопание тарелок клапанов в седло клапана	0,08	0,05
Y <sub>13</sub>	Зазор “стержень клапана – направляющая втулка”	0,05	0,02
Y <sub>14</sub>	Зазор “шейка распределительного вала – втулка опоры”	0,07	0,05



Таблица К.2 – Набор обучающих примеров для задачи распознавания дефектов КШМ

Параметры и дефекты	Базовые обучающие примеры						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Диагностические параметры							
Z <sub>10</sub>	1	1	0	0	0	1	1
Z <sub>11</sub>	0	0	0	0	1	0	0
Z <sub>12</sub>	1	1	0	0	1	0	0
Z <sub>13</sub>	0	0	1	1	0	0	0
2. Структурные параметры							
Y <sub>5</sub>	1	1	0	0	0	0	0
Y <sub>6</sub>	0	0	1	1	0	0	0
Y <sub>7</sub>	0	0	0	0	1	0	0
Y <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	1	1
3. Размерные параметры							
X <sub>8</sub>	1	0	0	0	0	0	0
X <sub>9</sub>	0	1	0	0	0	0	0
X <sub>10</sub>	0	0	1	0	0	0	0
X <sub>11</sub>	0	0	0	1	0	0	0
X <sub>12</sub>	0	0	0	0	1	0	0
X <sub>13</sub>	0	0	0	0	0	1	0
X <sub>14</sub>	0	0	0	0	0	0	1
4. Дефекты КШМ							
D <sub>11</sub>	1	0	0	0	0	0	0
D <sub>12</sub>	0	1	0	0	0	0	0
D <sub>13</sub>	0	0	1	0	0	0	0
D <sub>14</sub>	0	0	0	1	0	0	0
D <sub>15</sub>	0	0	0	0	1	0	0
D <sub>16</sub>	0	0	0	0	0	1	0
D <sub>17</sub>	0	0	0	0	0	0	1



**ДАННЫЕ О ПОТЕРЯХ ИЗ-ЗА ОШИБОК I-ГО РОДА, II-ГО РОДА И ОШИБОК  
МАРШРУТИЗАЦИИ СОБРАННЫЕ НА ЦБПО ПРНС И НО ДО И ПОСЛЕ  
ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ**

Таблица Л.1 – Годовые потери из-за ошибок 1-го рода, 2-го рода и ошибок маршрутизации в ЦБПО ПРНС и НО до внедрения предлагаемой методики

<b>№</b>	<b><math>C_i^{ош.1}</math>, руб.</b>	<b><math>C_i^{ош.2}</math>, руб.</b>	<b><math>C_i^{ош.р.}</math>, руб.</b>	<b>Сумма, руб.</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	0	5400	3220	8620
2	9020	2035	7040	18095
3	4280	3400	4280	11960
4	6520	8400	7540	22460
5	4720	0	0	4720
6	5400	0	12540	17940
7	0	7340	11450	18790
8	1625	6320	8325	16270
9	0	4350	0	4350
10	4280	5450	6750	16480
11	4995	7850	12400	25245
12	2450	0	0	2450
13	5060	4510	7800	17370
14	4070	2970	9120	16160
15	3670	5580	5540	14790
16	0	8590	6520	15110
17	3100	7190	8710	19000
18	5640	5645	10240	21525
19	5140	6155	4220	15515
20	4750	0	9200	13950
21	8320	5260	7760	21340
22	490	3860	0	4350
23	0	3500	0	3500
24	2980	6015	11580	20575
25	7160	2270	6625	16055
26	4020	0	8810	12830
27	4150	2690	10230	17070
28	2280	4530	6400	13210
29	570	3750	8240	12560
30	4930	0	7020	11950
31	3200	1715	0	4915

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
32	7540	3800	5550	16890
33	6535	1015	10810	18360
34	420	5100	12680	18200
35	5600	8430	7410	21440
36	3225	5650	7360	16235
37	6060	7655	14980	28695
38	5130	3240	8300	16670
39	4515	7015	5760	17290
40	565	4505	12280	17350
41	8420	3340	3920	15680
42	0	5540	7370	12910
43	1425	7240	15715	24380
44	5870	3240	0	9110
45	6730	4010	8050	18790
46	5530	3350	7325	16205
47	7820	6625	10350	24795
48	8850	4240	3900	16990
49	3220	9700	5760	18680
50	4100	0	6500	10600
51	0	4410	7710	12120
52	3540	1800	7120	12460
53	9300	6215	5540	21055
54	4100	3050	8030	15180
55	9230	7160	11020	27410
56	935	1060	7880	9875
57	1280	6710	0	7990
58	3430	5400	4540	13370
59	6655	6255	0	12910
60	8820	3890	7890	20600
<b>Ср.</b>	<b>4194,42</b>	<b>4407,00</b>	<b>6921,83</b>	<b>15523,25</b>

Таблица Л.2 – Годовые потери из-за ошибок 1-го рода, 2-го рода и ошибок маршрутизации в ЦБПО ПРНС и НО после внедрения предлагаемой методики

№	$C_i^{ош.1}$ , руб.	$C_i^{ош.2}$ , руб.	$C_i^{ош.р.}$ , руб.	Сумма, руб.
1	2	3	4	5
1	0	1608	952	2560
2	2635	605	2080	5320
3	1250	1012	1265	3527
4	1905	2500	2230	6635
5	1378	0	0	1378
6	1577	0	3707	5284
7	0	2185	3385	5570
8	475	1882	2461	4818
9	0	1295	0	1295
10	1250	1625	1995	4870
11	1458	2338	3665	7461
12	715	0	0	715
13	1477	1343	2306	5126
14	1190	885	2698	4773
15	1070	1660	1638	4368
16	0	2558	1930	4488
17	905	2140	2575	5620
18	1647	1680	3027	6354
19	1500	1835	1248	4583
20	1388	0	2720	4108
21	2430	1565	2295	6290
22	143	1150	0	1293
23	0	1044	0	1044
24	870	1790	3423	6083
25	2090	676	1959	4725
26	1175	0	2605	3780
27	1210	802	3024	5036
28	665	1350	1892	3907
29	168	1116	2436	3720
30	1440	0	2075	3515
31	935	510	0	1445
32	2201	1134	1640	4975
33	1910	302	3195	5407

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
34	123	1518	3750	5391
35	1635	2510	2190	6335
36	942	1682	2176	4800
37	1770	2280	4429	8479
38	1450	965	2454	4869
39	1318	2088	1703	5109
40	165	1341	3630	5136
41	2460	995	1160	4615
42	0	1650	2179	3829
43	416	2155	4646	7217
44	1714	965	0	2679
45	1965	1195	2380	5540
46	1615	998	2165	4778
47	2283	1972	3060	7315
48	2584	1262	1153	4999
49	940	2888	1703	5531
50	1197	0	1922	3119
51	0	1313	2279	3592
52	1034	536	2105	3675
53	2715	1850	1638	6203
54	1198	908	2374	4480
55	2695	2132	3258	8085
56	273	316	2330	2919
57	374	1998	0	2372
58	1001	1604	1342	3947
59	1943	1862	0	3805
60	2575	1158	2333	6066
<b>Ср.</b>	<b>1224,03</b>	<b>1312,18</b>	<b>2046,42</b>	<b>4582,63</b>

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ  
ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014614299

**АРМ: Распределение агрегатов автомобилей по  
технологическим маршрутам ремонта**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет» (ТюмГНГУ) (RU)*

Автор: *Корчагин Владислав Алексеевич (RU)*

Заявка № **2014611434**

Дата поступления **25 февраля 2014 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **22 апреля 2014 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

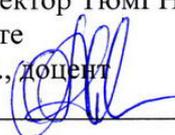


## АКТЫ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

УТВЕРЖДАЮ

проректор ТюмГНГУ по научной  
работе

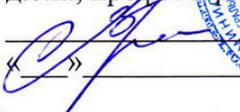
к.т.н., доцент

 О.А. Новоселов

«    »      2014 г.

УТВЕРЖДАЮ

проректор ТюмГНГУ по учебно-методической работе и инновационному развитию  
д.с.н., профессор

 В.В. Майер

«    »      2014 г.



АКТ

о внедрении в учебный процесс кафедры «Сервис автомобилей и технологических машин» результатов диссертационной работы  
Корчагина В.А. по теме «Организация подсистемы  
предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей при их  
централизованном ремонте по техническому состоянию».

Комиссия в составе начальника учебно-методического управления ТюмГНГУ, к.с.н., доцента Л.К. Габышевой, директора Института транспорта, к.т.н., доцента В.И. Бауэра, заведующего кафедрой «Сервис автомобилей и технологических машин» доктора технических наук, профессора Н.С. Захарова составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Корчагина Владислава Алексеевича, используются в учебном процессе:

1. Учебное пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основы технологии производства и ремонт автомобилей» для студентов всех форм обучения специальности 190601.65 «Автомобили и автомобильное хозяйство», направления 190600.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

2. Учебное пособие по дисциплине «Основы теории надежности и техническая диагностика» для студентов всех форм обучения специальности 190601.65 «Автомобили и автомобильное хозяйство», направления 190600.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Настоящий акт утвержден на заседании кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, протокол № 9 от «30» апреля 2014 г.

Председатель комиссии,  
начальник учебно-методического  
управления, ТюмГНГУ, к.с.н., доцент



Л.К. Габышева

Члены комиссии:  
директор Института транспорта,  
к.т.н., доцент



В.И. Бауэр

заведующий кафедрой САТМ  
д.т.н., профессор



Н.С. Захаров



МУНИЦИПАЛЬНОЕ КАЗЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ТЮМЕНЬГОРТРАНС»

ул. Республики 200, г. Тюмень, 625035

e-mail: info@tgt72.ru тел.: (3452) 68-84-38(100)

№ 11.11.2014 № 60-08-3104/4 на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**АКТ**

**об использовании результатов диссертационной работы  
Корчагина Владислава Алексеевича**

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы на тему «Организация подсистемы предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей при их централизованном ремонте по техническому состоянию» используются муниципальным казенным учреждением «Тюменьгортранс».

Предложенный в диссертационной работе способ организации предремонтного диагностирования позволяет снизить влияние оператора-диагноста при постановке диагноза и назначении дальнейшего маршрута ремонта автобусных агрегатов.

Директор  
МКУ «Тюменьгортранс»  
к.т.н., доцент



А.О. Санник