

*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**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**Красовский Валентин Николаевич**

Официальные оппоненты: **Карагодин Виктор Иванович**,  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО  
«Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет», кафедра  
«Производство и ремонт автомобилей и дорожных  
машин», профессор; декан заочного факультета

**Бондаренко Елена Викторовна**,  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО  
«Оренбургский государственный университет»,  
кафедра «Техническая эксплуатация и ремонт ав-  
томобилей», профессор

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный  
университет имени Александра Григорьевича и  
Николая Григорьевича Столетовых»**

Защита диссертации состоится 24 февраля 2015 года в 15<sup>00</sup> часов на заседа-  
нии совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д **212.223.02** при  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-  
строительный университет» (СПбГАСУ) по адресу: 190103, Санкт-Петербург,  
ул. Курляндская д. 2/5, ауд. 340-К

Тел./Факс: (812) 316-58-73, E-mail: [rector@spbgasu.ru](mailto:rector@spbgasu.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-  
Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и  
на сайте [www.spbgasu.ru](http://www.spbgasu.ru)

Отзывы на автореферат (в 2-х экземплярах, заверенные печатями) просьба  
отправлять по адресу СПбГАСУ: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноар-  
мейская, д. 4, диссертационный отдел (219 ауд.)

Автореферат разослан «   » \_\_\_\_\_ 2015 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук,  
доцент



Олещенко Елена Михайловна

## **I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**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 механиче-

ских 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 веду-

щих 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.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследования, отражена научная новизна и практическая значимость полученных автором результатов.

В первой главе рассмотрены теоретические основы ремонта по техническому состоянию агрегатов автомобилей, конкретизирована их специфика. Систематизированы факторы, оказывающие влияние на ЦРТС агрегатов автомобилей в целом; выявлено, что наиболее значимое влияние на результат, при определении фактического технического состояния агрегатов автомобилей и при их распределении по технологическим маршрутам ремонта, оказывает человеческий фактор, а также тип используемой информационной составляющей ЦРТС.

Во второй главе представлена разработанная на основе математического аппарата ИНС методика распределения агрегатов ремонтного фонда по технологическим маршрутам ремонта с учетом их распознанных сочетаний дефектов. Предлагаемая методика основывается на закономерностях влияния изменений структурных параметров на значения соответствующих диагностических параметров агрегата и представляет собой два последовательных алгоритма.

В третьей главе описано проведенное экспериментальное исследование, которое можно разделить на три этапа: – разработка методического и метрологического обеспечения предремонтного диагностирования; – сбор и обработка статистической информации о контролируемых параметрах объекта исследования; – построение моделей математического аппарата ИНС на основе полученных экспериментальным путем зависимостей параметров для дальнейшего распределения агрегатов по КРР.

В четвертой главе представлены результаты диссертационного исследования: разработана структура организации АРМ оператора-диагноста, которое базируется на созданном оригинальном программном обеспечении (ПО) для распределения агрегатов по заранее разработанным на предприятии технологическим маршрутам ремонта при ЦРТС с учетом их распознанных сочетаний дефектов; экономический эффект в условиях Центральной базы производственного обслуживания по прокату и ремонту нефтепромысловой спецтехники и навесного оборудования (ЦБПО ПРНС и НО) г. Сургута составил  $\approx 11$  тыс. руб. на ремонт одного двигателя ЯМЗ-238 в год.

## II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

**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.**

Проектирование технологических процессов ЦРТС агрегатов автомобилей связано с формированием наиболее эффективной производственно-технической базы, 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:

$$C_{\Sigma^{вн}} = \sum C_{\Sigma^{ош}} = (C_{\Sigma^{изл}} + C_{\Sigma^{прон}} + C_{\Sigma^{расп}}) N_2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

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.;  $C_{\Sigma^{прон}}$  – 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 (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.

Таким образом, снижение внутрипроизводственных потерь при функционировании системы ЦРТС агрегатов автомобилей – возможно лишь при решении задач снижения абсолютных значений ошибок на всех этапах производ-

ственного процесса ремонта.

Наиболее существенное влияние на эффективность постановки диагноза, т.е. определения объема и номенклатуры ремонтных и (или) регулировочных работ оказывают субъективные (рабочий разряд, возраст, образование, семейное положение и др.) и объективные факторы (рабочая смена, время суток и др.) операторов-диагностов.

Разработанная методика распределения агрегатов автомобилей по КРР при их ЦРТС в зависимости от их выявленного технического состояния способствует значительному снижению потерь от ошибок вызванных человеческими факторами операторов-диагностов и представляет собой два последовательно идущих алгоритма, ее основная идея состоит в следующем.

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 централизованном ремонте по техническому состоянию. Определенные сочетания данных параметров и их значений означают наличие или отсутствие дефектов агрегатов.

Предположим, что количество КРР при ЦРТС задается заранее известным значением  $Z$ , а  $X$  – сочетание контролируемых параметров агрегата, которое необходимо классифицировать. Отклонения в значениях параметров от допустимых свидетельствуют о наличии дефектов агрегатов  $Y$ . В такой постановке задача нейросетевой классификации сводится к построению алгоритма  $\Theta$ , где на начальном этапе происходит классификация  $\Theta: X \rightarrow Y$ , а далее происходит распределение совокупности агрегатов по КРР в зависимости от набора дефектов:  $\Theta: Y \rightarrow Z$ , где  $y \in Y$  и  $z \in Z$ .

В укрупненном виде методика формирования алгоритма распознавания дефектов и последующего распределения агрегатов по КРР с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) может быть представлена следующей последовательностью.

1. Составление базы данных (БД) различных сочетаний значений контролируемых параметров агрегатов. Разбиение примеров из БД на два набора данных: обучающая выборка и тестовая.

2. Нормирование исходных данных в интервал области значений активационной функции.

3. Расчет числа нейронов в скрытом слое по формуле (2).

$$R = \frac{N_y \cdot \left( \frac{Q}{N_x} + 1 \right) \cdot (N_x + N_y + 1) + N_y}{N_x + N_y}, \quad (2)$$

где  $N_y$  – число нейронов выходного слоя;  $Q$  – количество значений обучающей выборки;  $N_x$  – число нейронов входного слоя.

4. Обучение ИНС методом обратного распространения ошибки (от англ. Back propagation).

5. Оценка точности по количеству верно распознанных сочетаний дефек-

тов и числу верно распределенных по КРР агрегатов.

Для оценки качества обучения ИНС используется квадратичная функция оценивания ошибки  $\varepsilon$  (от англ. Quadratic error function) (3).

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_y} (y_L^{ж.} - y_L^{\phi.})^2, \quad (3)$$

где  $y_L^{ж.}$  – желаемый выходной вектор нейронной сети;  $y_L^{\phi.}$  – получаемый (фактический) выходной вектор нейронной сети.

Данная методика имеет обобщенный характер, поэтому для практической реализации была разбита на два алгоритма.

1. Алгоритм построения ИНС для распознавания дефектов агрегатов в зависимости от сочетаний значений контролируемых параметров. Блок-схема данного алгоритма приведена на рис. 1, где: 1 – составление базы данных сочетаний параметров агрегатов (БД DB1); 2 – нормирование исходных данных в интервал области значений активационной функции; 3 – количество нейронов в

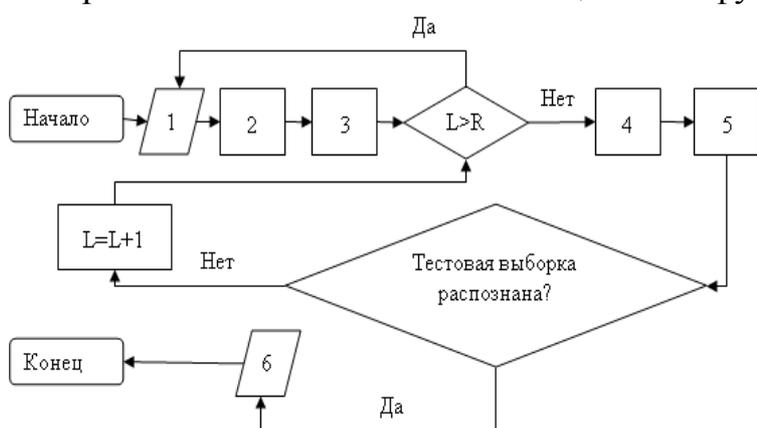


Рис. 1. Блок-схема алгоритма применения ИНС для решения задачи распознавания сочетаний дефектов агрегатов автомобилей

2. Алгоритм построения ИНС для распределения агрегатов по КРР в зависимости от распознанных сочетаний дефектов. Блок-схема данного алгоритма приведена на рис. 2, где: 1 – считывание базы данных распознанных сочетаний

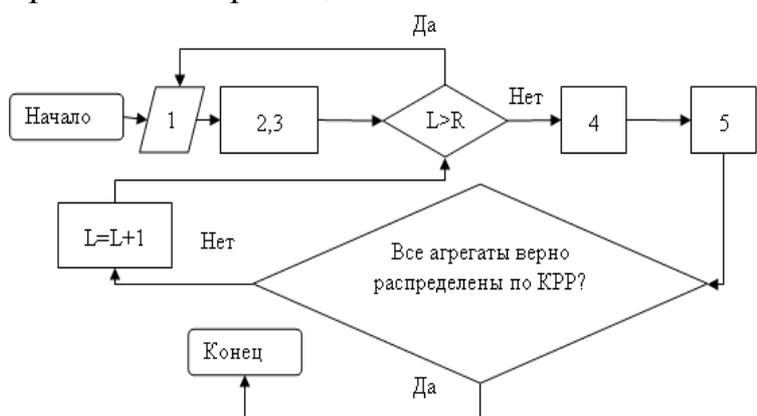


Рис. 2. Блок-схема алгоритма применения ИНС для решения задачи распределения агрегатов автомобилей по технологическим маршрутам ремонта

скрытом слое ( $L$ ) = 2. Определение верхнего предельного значения количества нейронов в скрытом слое ( $R$ ) по формуле (2); 4 – обучение ИНС методом обратного распространения ошибки; 5 – оценка точности распознавания дефектов агрегатов на основе тестовой выборки; 6 – присвоение каждому выявленному сочетанию дефектов определенный КРР и запись результатов в (БД DB2).

дефектов и назначенных КРР (БД DB2); 2 – нормирование исходных данных в интервал области значений активационной функции; 3 – количество нейронов в скрытом слое ( $L$ ) = 2. Определение верхнего предельного значения количества нейронов в скрытом слое ( $R$ ) по формуле (2); 4 – обучение ИНС методом обратного распространения ошибки; 5 – оценка верного распределения агрегатов

по КРР на основе тестовой выборки.

**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.**

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 при построении моделей математического аппарата ИНС, а также на этапе их обучения и оценки точности при решении задач распознавания дефектов агрегатов автомобилей на этапе предремонтного диагностирования и их распределения по технологическим маршрутам ремонта.

Схема данной методики представлена на рис. 3, а пример формируемой матрицы распознанных сочетаний дефектов объекта исследования в таблице 1.



Рис. 3. Схема методики математической обработки эмпирических данных для построения моделей ИНС

**Пример формируемой матрицы распознанных сочетаний дефектов для основных узлов**

№ двиг.	Сочетания дефектов													
	ЦПГ				КШМ				ГРМ					
1	S <sub>1,1</sub>	S <sub>1,2</sub>	S <sub>1,3</sub>	S <sub>1,4</sub>	S <sub>1,5</sub>	S <sub>1,6</sub>	S <sub>1,7</sub>	S <sub>1,8</sub>	S <sub>1,9</sub>	S <sub>1,10</sub>	S <sub>1,11</sub>	S <sub>1,12</sub>	S <sub>1,13</sub>	S <sub>1,14</sub>
2	S <sub>2,1</sub>	S <sub>2,2</sub>	S <sub>2,3</sub>	S <sub>2,4</sub>	S <sub>2,5</sub>	S <sub>2,6</sub>	S <sub>2,7</sub>	S <sub>2,8</sub>	S <sub>2,9</sub>	S <sub>2,10</sub>	S <sub>2,11</sub>	S <sub>2,12</sub>	S <sub>2,13</sub>	S <sub>2,14</sub>
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
N	S <sub>N,1</sub>	S <sub>N,2</sub>	S <sub>N,3</sub>	S <sub>N,4</sub>	S <sub>N,5</sub>	S <sub>N,6</sub>	S <sub>N,7</sub>	S <sub>N,8</sub>	S <sub>N,9</sub>	S <sub>N,10</sub>	S <sub>N,11</sub>	S <sub>N,12</sub>	S <sub>N,13</sub>	S <sub>N,14</sub>

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

Экспериментальное исследование над объектом проводилось в условиях 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).

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 было разработано метрологическое и методическое обеспечение экспериментального исследования.

Всего в эксперименте участвовало 42 двигателя ЯМЗ-238 с которых, на этапе предремонтного диагностирования, были сняты показатели, характеризующие их фактическое техническое состояние.

После полного диагностирования и мойки, двигатели 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.

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: собраны исходные данные, чтобы определить стохастические связи между контрольно-диагностическими параметрами, которые характеризуют техническое состояние двигателей находящихся в ремонте; собраны исходные данные для выполнения расчетов вероятностей появления ошибок 1-го («ложный дефект») и 2-го («пропуск дефекта») рода в процессе определения фактического состояния основных ресурсных групп двигателя при его разборке.

Полученные экспериментальным путем значения контрольно-диагностических параметров, которые характеризуют техническое состояние узлов двигателя, подвергались математико-статистическому анализу, а далее использовались для создания моделей ИНС, их обучения и тестирования.

Для повышения качества обучения и точности распознавания сочетаний дефектов, выявляемые дефекты были сгруппированы по общим диагностическим признакам (параметрам). Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты группировки выявляемых дефектов ЯМЗ-238

Обозначение	Наименование
1	2
<b>1. Дефекты цилиндра-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

На этапе экспериментального исследования построение моделей ИНС осуществлялось в программном обеспечении Deductor Studio Academic 5.2.

Полученные результаты работы алгоритма распознавания дефектов (рис. 1) представлены в виде графиков на рис. 4, 5, 6, 7, 8, 9.

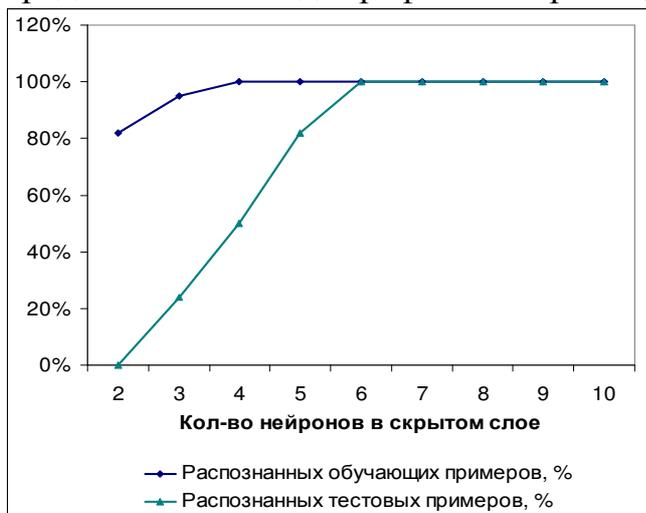


Рис. 4. График сходимости распознавания дефектов ЦПГ при обучении и тестировании ИНС

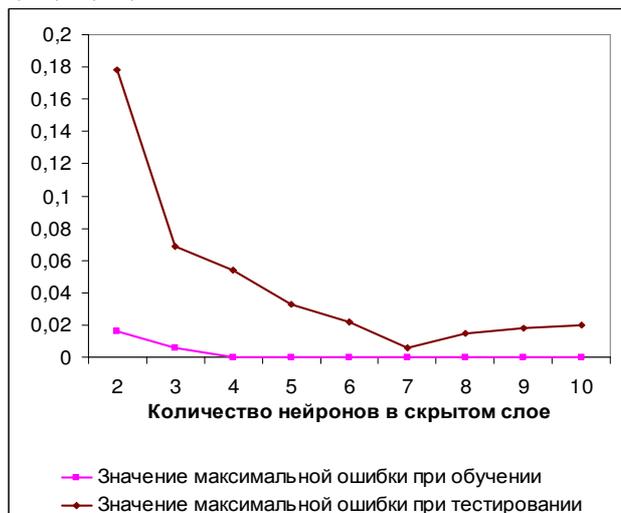


Рис. 5. График сходимости значений максимальной ошибки распознавания дефектов ЦПГ при обучении и тестировании ИНС

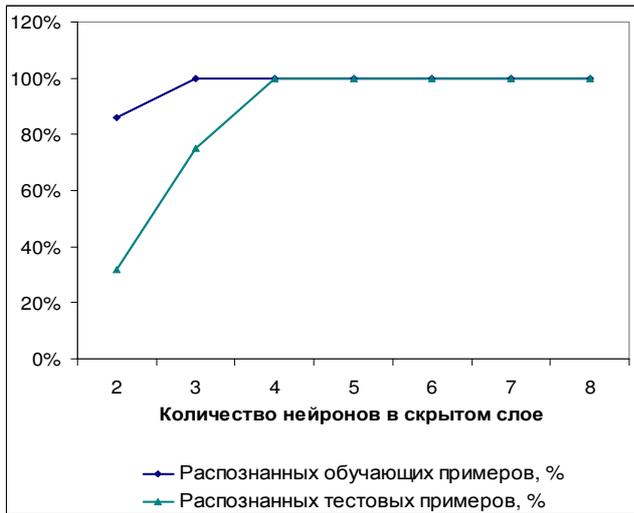


Рис. 6. График сходимости распознанных дефектов КШМ при обучении и тестировании ИНС

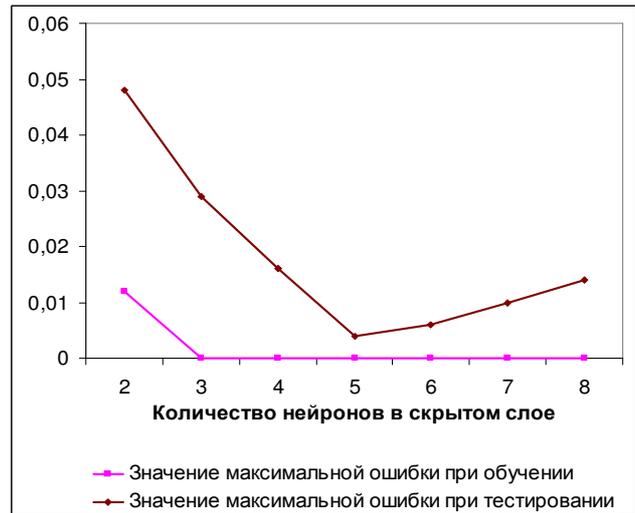


Рис. 7. График сходимости значений максимальной ошибки распознавания дефектов КШМ при обучении и тестировании ИНС

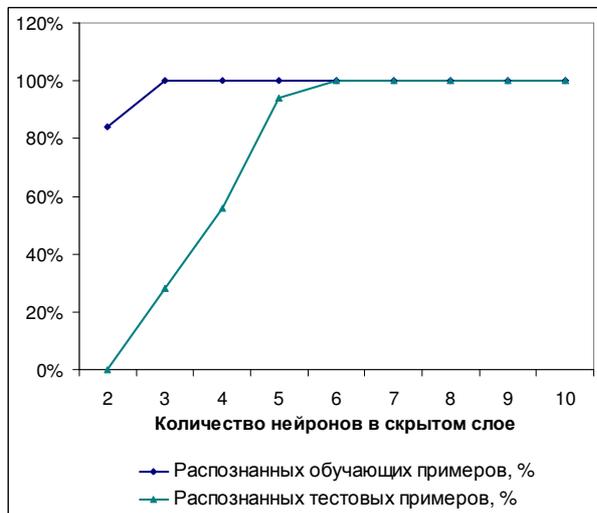


Рис. 8. График сходимости распознанных дефектов ГРМ при обучении и тестировании ИНС

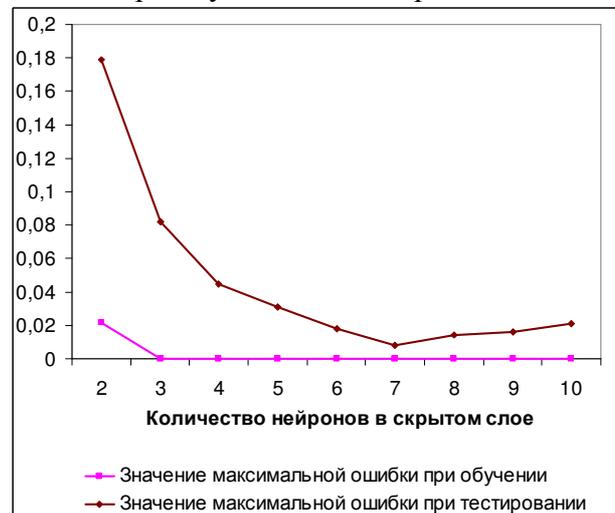


Рис. 9. График сходимости значений максимальной ошибки распознавания дефектов ГРМ при обучении и тестировании ИНС

Исходя из представленных графиков сходимости значений максимальной ошибки при распознавании дефектов, условие целевой функции  $\epsilon \rightarrow \min$  выполняется при  $L = 7$  для ЦПГ; для КШМ при  $L = 5$ ; для ГРМ при  $L = 7$ , где  $L$  – число нейронов в скрытом слое. Результаты также представлены в сводной таблице 3, где число нейронов входного слоя ( $N_x$ ) равно количеству контролируемых параметров; число нейронов выходного слоя ( $N_y$ ) – количеству групп дефектов;  $Q$  – объем обучающей выборки;  $R$  – верхнее предельное значение количества нейронов в скрытом слое, рассчитанное по формуле (1);  $L$  – полученное оптимальное число нейронов в скрытом слое;

Таблица 3

Результаты определения оптимальных параметров моделей ИНС для задачи распознавания сочетаний дефектов двигателей ЯМЗ-238

Наименование узла двигателя	$N_x$	$N_y$	$Q$	$R$	$L$
Цилиндро-поршневая группа (ЦПГ)	9	4	36	22	7
Кривошипно-шатунный механизм (КШМ)	4	4	16	23	5
Газораспределительный механизм (ГРМ)	6	6	36	46	7

Организованное количество КРР для ЯМЗ-238 в условиях ЦБПО ПРНС и НО равно 4, поэтому данное число технологических маршрутов будет использовано для распределения между ними ремонтного фонда двигателей ЯМЗ-238. Результаты представлены на рис. 10 и рис. 11, а также в виде граф-модели ИНС на рис. 12. Оптимум целевой функции  $\varepsilon \rightarrow \min$  для задачи распределения агрегатов по КРР при  $L = 9$ .

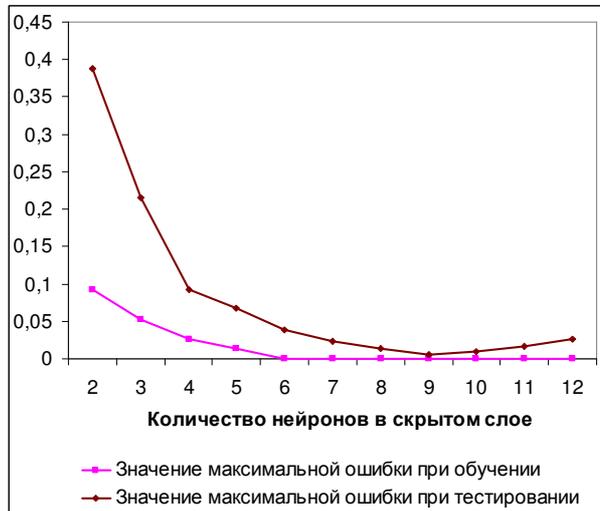
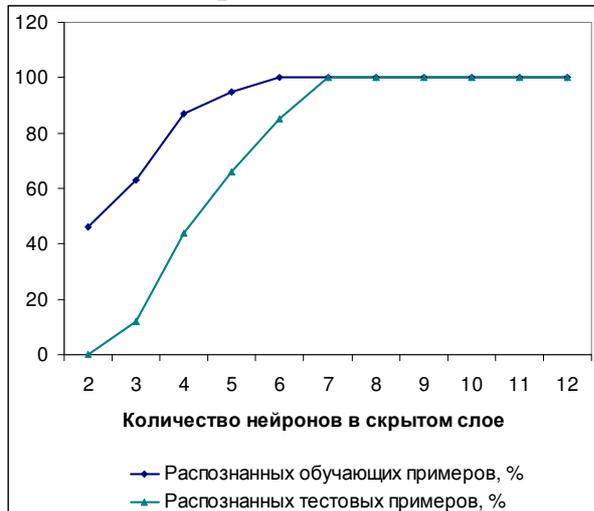


Рис. 10. График сходимости успешно распределенных двигателей ЯМЗ-238 по КРР при обучении и тестировании ИНС

Рис. 11. График сходимости значений максимальной ошибки при распределении двигателей ЯМЗ-238 по КРР

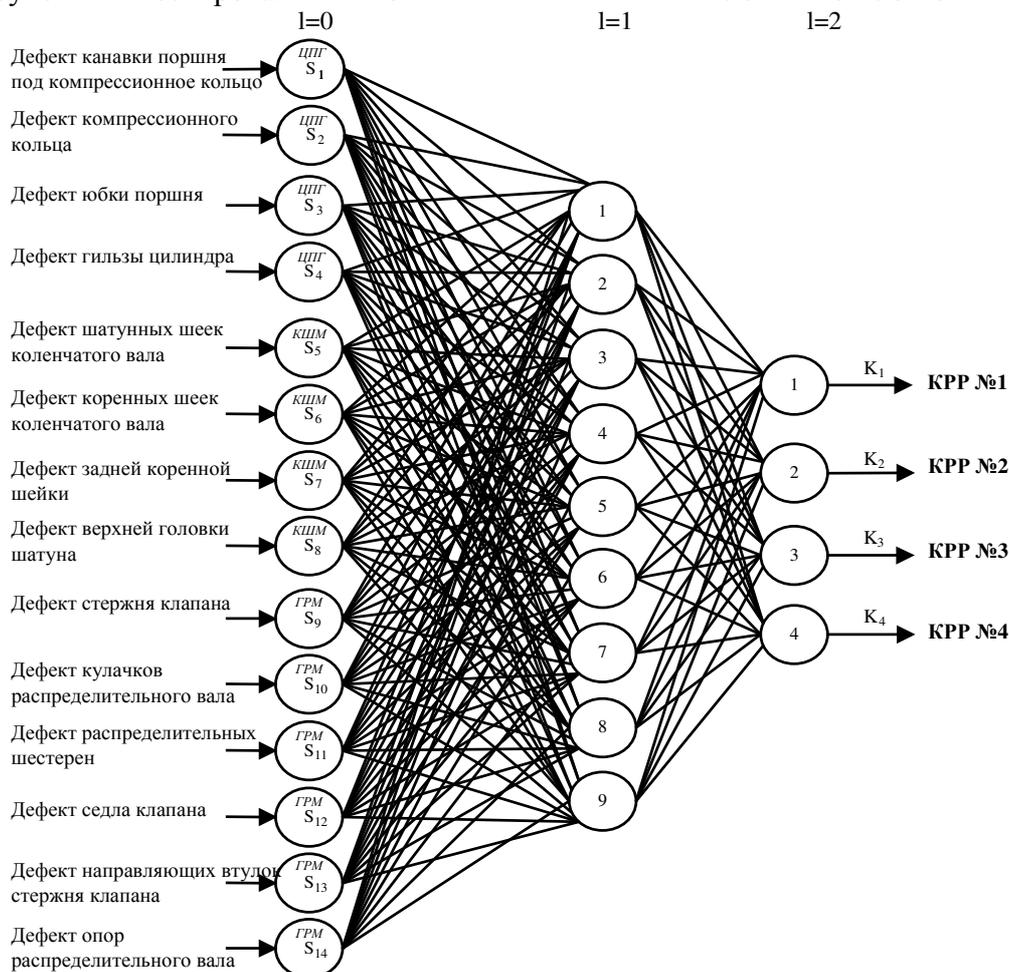


Рис. 12. Граф-модель ИНС для задачи распределения агрегатов по КРР

#### **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.**

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.

Оригинальное ПО было разработано согласно алгоритмам на рис. 1 и рис. 2 под задачи настоящего исследования на языке программирования Delphi в одноименной среде разработки версии 7.0.

На рис. 13 схематично представлена внутренняя структура организации и взаимодействия между модулями разработанного программного обеспечения и их взаимодействие с другими элементами АРМ.

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

База данных DB1, согласно рис. 1, содержит параметры агрегатов, которые используются в качестве входных векторов при нейросетевом подходе в вопросе выявления дефектов различных узлов агрегатов.

База данных DB2, формируется по результатам работы алгоритма, блок-схема которого представлена на рис. 1, в виде прямоугольной матрицы с размерностью  $m \times n$ , где  $m$  – число строк, равное числу контролируемых агрегатов;  $n$  – число столбцов, равное суммарному количеству выявляемых дефектов по всем узлам рассматриваемого агрегата.

База данных DB3 является результатом работы алгоритма на рис. 2 и содержит в себе выходную информацию о полученных параметрах и ошибках при обучении ИНС.

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

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

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

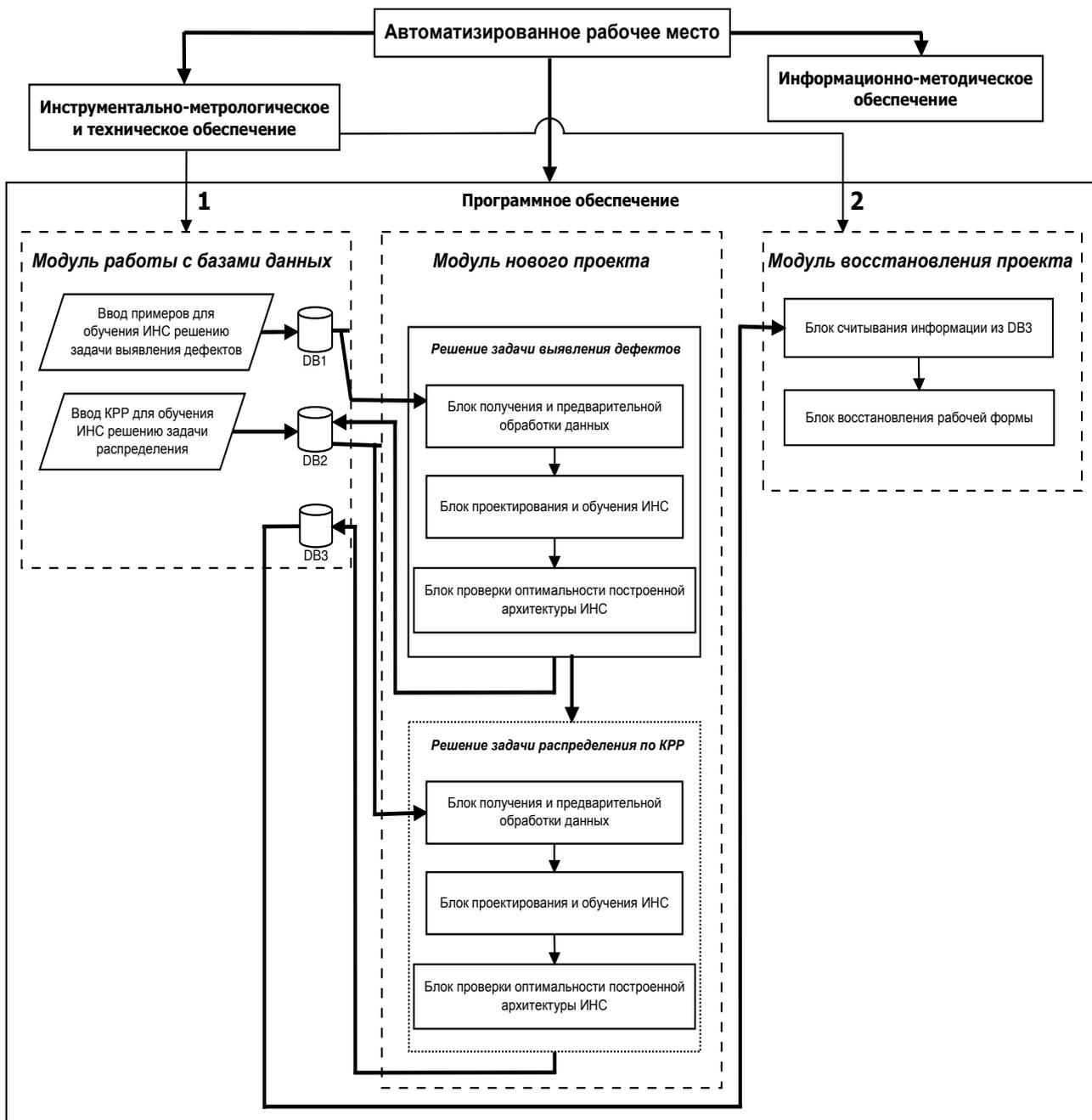


Рис. 13. Разработанная структура организации и взаимодействия между элементами автоматизированного рабочего места оператора-диагноста, где: 1 – элемент АРМ ИМиТО взаимодействует с модулем работы с базами данных ПО при поступлении в ремонтный фонд новой модели агрегата; 2 – элемент АРМ ИМиТО взаимодействует с модулем восстановления проекта при работе с моделями агрегатов, сведения о которых уже имеются в базах данных ПО

Ожидаемый экономический эффект при организации подсистемы предремонтного диагностирования с использованием АРМ оператора-диагноста при ЦРТС агрегатов автомобилей можно определить путем сравнения производственных потерь от ошибок распознавания дефектов ремонтного фонда при типовой организации работ и при предлагаемом способе организации.

При предлагаемом способе организации подсистемы предремонтного диагностирования средний процент снижения потерь от ошибок 1-го («ложный дефект») и 2-го («пропуск дефекта») рода, а также ошибок маршрутизации  $\approx 70\%$ . Соответствующие данные приведены в приложениях настоящей диссер-

тации.

Учитывая целевую функцию настоящего исследования (1), расчетное выражение для определения ожидаемого экономического эффекта после внедрения предлагаемого варианта организации предремонтного диагностирования в условиях ЦБПО ПРНС ОАО «Сургутнефтегаз» будет выглядеть следующим образом:

$$\mathcal{E} = \left\{ \left( C_{\Sigma}^{вн} (1) \right) - \left( C_{\Sigma}^{вн} (2) \right) \right\} = \left\{ \left( C_{\Sigma^{изл}} (1) + C_{\Sigma^{прон}} (1) + C_{\Sigma^{расп}} (1) \right) - \left( C_{\Sigma^{изл}} (2) + C_{\Sigma^{прон}} (2) + C_{\Sigma^{расп}} (2) \right) \right\}, \quad (4)$$

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.;

Таким образом, ожидаемый расчетный эффект, выраженный в экономии затрат на один двигатель в год, на этапе предремонтного диагностирования которого были допущены ошибки:

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

### 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 пре-

дремонтного 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 разработки, 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.

### **III. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:**

**публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. **Корчагин, В.А.** Нейросетевая классификация в распределении ремонтного фонда агрегатов по результатам диагностирования [Текст] / В.А. Корчагин, В.Н. Красовский // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 5. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – С. 127-133 (0,44/0,40 п. л.).

2. **Корчагин, В.А.** Нейросетевой подход в формировании рациональной системы распределения двигателей ЯМЗ-238 по технологическим маршрутам ремонта [Текст] / В.А. Корчагин // Научно-технический вестник Поволжья. №3. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – С. 177-180 (0,25 п. л.).

3. **Корчагин, В.А.** Программное обеспечение АРМ оператора-диагноста с применением когнитивных технологий при централизованном ремонте по техническому состоянию [Текст] / В.А. Корчагин // Научно-технический вестник Поволжья. №5. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. – С. 216-220 (0,31 п. л.).

**публикации в зарубежных изданиях:**

4. **Корчагин, В.А.** Состояние и перспективы совершенствования ремонта специальной нефтегазопромысловых 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 (0,38/0,20 п. л.).

5. **Корчагин, В.А.** Применение когнитивных технологий в решении задач предремонтного диагностирования агрегатов автомобилей [Текст] / В.А. Корчагин, В.Н. Красовский, М.М. Иванкив // Сборник научных трудов SWorld. – Выпуск 3. Том 2. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2013. – С. 40-42 (0,19/0,14 п. л.).

**публикации в прочих изданиях:**

6. **Корчагин, В.А.** Оптимизация числа и состава комплексов ремонтных работ для централизованного ремонта двигателей ЯМЗ-238 [Текст] / В.Н. Красовский, М.М. Иванкив, В.А. Корчагин, С.Г. Пятов // Интеллектуальные транспортные системы: Всероссийский сб. науч. тр. – Тюмень: Издательство “Вектор Бук”, 2008. – С. 184-188 (0,31/0,11 п. л.).

7. **Корчагин, В.А.** Проектирование технологии централизованного ремонта специальной нефтегазопромышленной техники с учетом её технического состояния [Текст] / М.М. Иванкив, О.Ф. Данилов, В.А. Корчагин, В.Н. Красовский // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – С. 129-133 (0,25/0,10 п. л.).

8. **Корчагин, В.А.** Формирование рационального состава комплексов ремонтных работ для централизованного ремонта двигателей ЯМЗ-238 по техническому состоянию [Текст] / О.Ф. Данилов, В.Н. Красовский, М.М. Иванкив, В.А. Корчагин // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-практической конференции – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – С. 61-65 (0,31/0,12 п. л.).

9. **Корчагин, В.А.** Совершенствование организации и технологии централизованного ремонта специальной нефтегазопромышленной техники в ОАО “Сургутнефтегаз” [Текст] / М.М. Иванкив, О.Ф. Данилов, В.Н. Красовский, В.А. Корчагин // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-практической конференции – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – С. 89-94 (0,31/0,11 п. л.).

10. **Корчагин, В.А.** Методика выбора рационального комплекта средств для предремонтного диагностирования агрегатов при централизованном ремонте [Текст] / О.Ф. Данилов, В.Н. Красовский, М.М. Иванкив, В.А. Корчагин // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – С. 132-141 (0,56/0,22 п. л.).

11. **Корчагин, В.А.** Формирование подсистемы предремонтного диагностирования агрегатов спецтехники при их централизованном ремонте [Текст] / В.Н. Красовский, М.М. Иванкив, В.А. Корчагин, С.Г. Пятов // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – С. 213-217 (0,25/0,11 п. л.).

12. **Корчагин, В.А.** Принципы формирования методов обнаружения неисправностей при диагностике технических систем [Текст] / В.А. Корчагин, В.Н. Красовский // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-практической конференции – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 115-118 (0,25/0,19 п. л.).

13. **Корчагин, В.А.** Когнитивные технологии в решении организационно-технологических задач предприятий автомобильного транспорта [Текст] / В.А. Корчагин, В.Н. Красовский // Новые технологии – нефтегазовому региону: ма-

териалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1 / Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 34-37 (0,25/0,18 п. л.).

14. **Корчагин, В.А.** Применение когнитивных технологий в задачах управления сервисом транспортных средств [Текст] / В.А. Корчагин, В.Н. Красовский // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: материалы V Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. – С. 122-124 (0,19/0,12 п. л.).

15. **Корчагин, В.А.** Использование среды LabVIEW при оптимизации ремонтных работ автомобильной спецтехники [Текст] / В.И. Колесов, В.А. Корчагин, Д.А. Сорокин // Инженерные и научные приложения на базе технологий National Instruments – 2012: Сборник трудов XI международной научно-практической конференции, Москва 6-7 декабря 2012 г. – М.: ДМК-пресс, 2012. – С. 127-129 (0,19/0,06 п. л.).

16. **Корчагин, В.А.** Применение методов нейросетевой классификации в решении задач одноэтапного распределения ремонтного фонда агрегатов по комплексам ремонтных работ [Текст] / В.А. Корчагин, В.Н. Красовский // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – С. 89-92 (0,25/0,18 п. л.).

17. **Корчагин, В.А.** К вопросу организации технического обслуживания и ремонта на предприятиях автомобильного транспорта [Текст] / В.А. Корчагин, Д.С. Клопов // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1 – Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. – С. 201-203 (0,19/0,12 п. л.).

18. **Корчагин, В.А.** Моделирование технологии выполнения работ при централизованном ремонте агрегатов автомобилей по техническому состоянию [Текст] / В.А. Корчагин, В.Н. Красовский // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-практической конференции – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С. 129-132 (0,25/0,15 п. л.).