

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(РТУ МИРЭА)»**

*На правах рукописи*

**ГУСЕВ КИРИЛЛ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА  
НЕФТЕПРОДУКТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

Специальность 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами

Диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, доцент  
Красников С.А.

Москва 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава I. Анализ объекта исследования.....</b>	<b>12</b>
1.1. Обзор функционирования подсистемы контроля качества на нефтеперерабатывающих заводах в автоматизированном процессе производства нефтепродуктов .....	12
1.2. Автоматизация процессов .....	18
1.3. Методы испытания .....	20
1.4. Анализ инфракрасных спектров для контроля качества .....	21
1.5. Выводы к главе I .....	23
<b>Глава II. Технология построения интегрированной экспертно-нейросетевой системы для идентификации больших данных .....</b>	<b>25</b>
2.1. Внедрение экспертно-нейросетевой системы в функциональную схему автоматизации стабилизации и фракционирования бензиновых фракций .....	25
2.2. Обобщенная структура экспертно-нейросетевой системы .....	27
2.3. Модель идентификации макросостояний нефтепродуктов.....	31
2.4. Модель идентификации микросостояний .....	33
2.5. Меры сравнения инфракрасных спектров.....	41
2.6. Выводы к главе II .....	46
<b>Глава III. Практическая реализация экспертно-нейросетевой системы.....</b>	<b>47</b>
3.1. Методика работы экспертно-нейросетевой системы .....	47
3.2. Пошаговое описание работы экспертно-нейросетевой системы ..	48
3.3. Оценка повышения эффективности управления технологическим процессом.....	62
3.4. Выводы к главе III.....	68

<b>Глава IV. Программная и техническая реализации экспертно-нейросетевой системы в автоматизированном процессе оценки качества производимого сырья на нефтеперерабатывающих заводах</b>	<b>69</b>
4.1. Серверная часть экспертной системы.....	69
4.2. База данных.....	76
4.3. Пользовательский интерфейс .....	78
4.4. Выводы к главе IV .....	88
<b>Основные выводы и результаты работы.....</b>	<b>89</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>91</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>104</b>
Приложение 1. Описание процесса автоматизации стабилизации и фракционирования бензиновых фракций с внедрением экспертно-нейросетевой системы .....	104
Приложение 2. Описание и программный код экспертно-нейросетевой системы .....	125
Приложение 3. Акты о реализации диссертации и свидетельства о государственной регистрации программы .....	145

## ВВЕДЕНИЕ

### **Основное направление и актуальность исследования.**

Улучшение качества товаров нефтяной промышленности, а также повышение их конкурентоспособности на мировой арене являются ключевыми факторами для развития экономики страны и повышения безопасности использования нефтепродуктов. Модернизация технологий и процессов производства позволяет создавать нефтепродукты высокого качества и сохранять это качество на всех этапах производства. Это способствует укреплению позиций российских компаний на мировых рынках и повышению доверия потребителей к отечественной продукции.

Однако улучшение технологий неотделимо от совершенствования систем контроля качества как на этапе производства, так и в лабораторных условиях, с целью своевременного получения достоверных данных о качестве выпускаемой продукции. В процессе производства качество нефтепродуктов может изменяться, как и их значения физико-химических свойств. Этому способствует воздействие сторонних фактов. Возникает проблема минимизации таких изменений. Встаёт вопрос об автоматизации контроля качества нефтепродуктов, а также об актуальном и своевременном получении информации обо всех изменениях в процессе производства. Данную оперативную информацию можно получать при непрерывном автоматизированном процессе контроля качества нефтепродуктов.

Анализ системы контроля качества нефтепродуктов на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) в России выявил ряд недостатков, которые заключаются в:

- низком уровне автоматизации процессов контроля качества на этапах производства и использования нефтепродуктов;
- разрозненности процессов лабораторного, текущего и виртуального контроля качества нефтепродуктов на НПЗ, которая затрудняет его осуществление и точность проведения;
- неудовлетворительном уровне разработки и использования экспресс-методик тестирования нефтепродуктов на предприятиях НПЗ.

Следовательно, вопрос комплексного улучшения контроля качества

нефтепродуктов в процессе их производства и использования имеет важное экономическое значение.

В решение круга проблем, связанных с разработкой систем технологического (операционного) контроля нефтепродуктов, в том числе интеллектуальных систем, используемых для автоматизированного регулирования технологических процессов, существенный вклад внесли: Алаторцев Е.И., Большаков О.В., Благовещенский И.Г., Вагин В.А., Веретенников А.В., Егоров А.Ф., Жижин Г.Н., Краснов А.Е., Костогрызов А.И., Laurens van der Maaten и др.

На основании полученных данных были разработаны рекомендации по совершенствованию системы автоматизированного контроля качества автомобильного бензина и его компонентов. Эти рекомендации включают в себя использование современных датчиков и приборов, а также разработку новых алгоритмов обработки данных.

Предложено внедрить в технологический процесс экспертно-нейросетевую систему (ЭНС), использующую нейронные сети, искусственный интеллект и вычислительные системы в реальном масштабе времени.

Данное решение даёт возможность:

- производить автоматизированный контроль качества нефтепродуктов во время всех этапов технологического процесса их производства; в результате на выходе автоматически определяется качество производимого продукта, сравнивая его показатели со стандартными и задаваемыми;
- соблюдать непрерывность производства;
- снижать процент получения некондиционных нефтепродуктов и уменьшать финансовые затраты в технологический процесс их производства, о чём свидетельствуют Акты об использовании ЭНС в автоматизированном процессе контроля качества нефтепродуктов.

В диссертации разработаны, совершенствованы и внедрены алгоритмы и способы функционирования ЭНС для осуществления автоматизированного контроля качества нефтепродуктов на примере автомобильного бензина.

В связи с тем, что предлагаемое решение позволяет устранять недостатки применяемых систем контроля качества нефтепродуктов, тема «Автоматизация контроля качества нефтепродуктов для обеспечения эффективного управления технологическим процессом» является актуальной по научной специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

**Диссертация** полностью соответствует паспорту специальности 2.3.3, а именно его пунктам: «2. Автоматизация контроля и испытаний», «6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами», «11. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного информационного и программного обеспечения АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удалённую диагностику и мониторинг технологического оборудования, информационное сопровождение жизненного цикла изделия», «12. Методы создания специального математического и программного обеспечения, пакетов прикладных программ и типовых модулей функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включая управление исполнительными механизмами в реальном времени».

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности управления технологическим процессом в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**.

1. Произвести анализ действующих систем контроля качества и технических средств управления технологическим процессом производства нефтепродуктов для определения области внедрения ЭНС в функциональную схему автоматизации.

2. Построить структуру системы идентификации больших данных на основе объединения экспертного и нейросетевого подходов.

3. Адаптировать математические модели, содержащиеся в базе знаний, к параметрам показателей качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности (автомобильных бензинов) по их спектральным данным.

4. Разработать на языке высокого уровня программное обеспечение ЭНС автоматизированного контроля качества нефтепродуктов на примере автомобильных бензинов по их спектральным данным для системы усовершенствованного управления технологическим процессом.

5. Внедрить ЭНС в систему управления технологическим процессом для повышения эффективности в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества автомобильных бензинов.

**Объектом исследования** является автоматизация контроля и испытания показателей качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности (автомобильных бензинов).

**Предметом исследования** является методика построения ЭНС идентификации больших данных, основанная на совокупности моделей взаимодействия экспертных и нейросетевых технологий для автоматизированной системы контроля качества управления технологическим процессом.

**Методы и средства исследования.** Научные исследования по применению ЭНС в автоматизированном контроле качества нефтепродуктов проводились инфракрасными (ИК) Фурье-спектрометрами АФ-3 и ПФС-1, с помощью которых были получены спектральные данные автомобильных бензинов для их анализа в ЭНС.

Для решения поставленных задач применяли интеллектуальные системы управления и математические основы построения реляционных баз данных, искусственного интеллекта и нейронных систем. Программное обеспечение – Java. Графическая обработка выполнялась с применением табличного редактора, численная – с помощью методов математической статистики.

**Научная новизна работы.** В диссертационной работе впервые получены следующие научные результаты.

– Разработана функциональная схема автоматизации производства

автомобильного бензина с внедрением в неё ЭНС контроля качества.

– Разработана методика построения ЭНС автоматизированного контроля качества нефтепродуктов на НПЗ по спектральным данным автомобильных бензинов с объединением экспертной и нейросетевой технологий идентификации больших данных в системе усовершенствованного управления технологическим процессом.

– Разработана структура ЭНС идентификации больших данных в системе усовершенствования управления технологическим процессом.

– Проведена адаптация математических моделей, содержащихся в базе знаний, по параметрам показателей качества автомобильных бензинов.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в следующем.

– Разработано программное обеспечение ЭНС идентификации больших данных автоматизированного контроля качества нефтепродуктов системы усовершенствованного управления технологическим процессом на НПЗ в части её серверной и клиентской реализаций.

– Разработанная ЭНС идентификации больших данных автоматизированного контроля качества обеспечивает поддержку процессов производства нефтепродуктов на НПЗ, что способствует повышению эффективности производства в части оперативности и достоверности результатов технологического контроля качества производимых нефтепродуктов.

– Предложена и апробирована технология реализации ЭНС, функционирующей на персональных компьютерах и клиент-серверных структурах.

Научные и практические результаты, полученные в диссертации, внедрены в:

– учебном процессе кафедры математического обеспечения и стандартизации информационных технологий института информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», а именно в лекционных и практических занятиях по

дисциплинам «Структуры и алгоритмы обработки данных», «Технология разработки программных приложений», «Системная и программная инженерия» программ высшего образования бакалавриата по направлениям 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.03 Прикладная информатика, 09.03.04 Программная инженерия;

– ФГБУН Научно-технологическом центре уникального приборостроения Российской академии наук (НТЦ УП РАН);

– ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН) – специализированное предприятие, выполняющее проектирование в области разработки высокоэффективных процессов и катализаторов нефте- и газохимии, глубокой переработки традиционного и возобновляемого углеродсодержащего сырья в ценные продукты, в том числе полимерные;

– АО ИНСТИТУТ НЕФТЕХИМПЕРЕРАБОТКИ (АО «ИНХП»).

Разработанное программное обеспечение ЭНС защищено свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2023669036 от 07.09.2023 и № 2023669265 от 12.09.2023.

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

– Способ модификации системы контроля качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности для усовершенствования управления технологическим процессом.

– Методика построения ЭНС технологического контроля качества автомобильных бензинов по их спектральным характеристикам с объединением экспертной и нейросетевой технологий идентификации больших данных в системе усовершенствованного управления технологическим процессом.

– Программное обеспечение ЭНС технологического контроля качества нефтепродуктов на примере автомобильных бензинов по их спектральным данным для системы усовершенствованного управления технологическим процессом.

### **Личный вклад автора.**

Автор лично приводил исследования в 2021-2024 гг. Данная работа является итогом производимого исследования.

### **Степень достоверности результатов исследования.**

Достоверность научных положений и обоснованность представленных в диссертационной работе результатов научного исследования, сформулированных на их основе выводов и рекомендаций, обеспечиваются проработкой моделей исследуемого технологического процесса и применением математического аппарата.

### **Апробация работы.**

Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих научных форумах: Международной метрологической конференции «Актуальные вопросы метрологического обеспечения измерений расхода и количества жидкостей и газов. Качество углеводородного сырья (нефти и природного газа)», Казань, ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 2023 г.; XXII Международной конференции «Алгебра, теория чисел, дискретная геометрия и многомасштабное моделирование: современные проблемы, приложения и проблемы истории», Тула, ТГПУ им. Л.Н. Толстого, 2023 г.; II Международной научно-практической конференции «Цифровые международные отношения 2023», Москва, МГИМО МИД, партнерами являются институт Информационных технологий РТУ МИРЭА, Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, 2023 г.; Научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств», Москва, РОСБИОТЕХ, 2023 г.; XXVI Международной конференции «Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности», XXIV Международном конкурсе научных и научно-методических работ Регионального отделения Международной академии информатизации совместно с факультетом ИЗО и НР ФГБОУ ВО «ГУП», факультетом политических и социальных технологий ФГБОУ ВО «РГСУ» и ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», Москва 2023 г.; Национальной научно-практической конференции

«Фундаментальные, поисковые, прикладные исследования и инновационные проекты», Москва, РТУ МИРЭА, 2023 г.; XXVII Международной конференции «Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности» Регионального отделения Международной академии информатизации совместно с факультетом ИЗО и ИР ФГБОУ ВО «ГУП» ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», Москва, 8 - 9.02.2024 г.; X Всероссийской научно-технической конференции «Фундаментальные и прикладные аспекты компьютерных технологий и информационной безопасности», круглый стол на тему «ИТ-тренды 2024» ФГБОУ ВО РТУ МИРЭА, Москва, 18.04.2024 г.; V Международной конференции «ФАБРИКА БУДУЩЕГО: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям и роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности», ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», Москва, 26 апреля 2024 г.

Результаты исследования автор получал на протяжении трёх лет, с 2021 года. Данная научная работа неоднократно представлялась и получала одобрение на 8 расширенных заседаниях кафедры математического обеспечения и стандартизации информационных технологий Института информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российской технологическом университете» (РТУ МИРЭА).

#### **Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 6 работ в рецензируемых научных периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 2 тезиса в сборниках трудов конференций, и получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

#### **Структура и объём диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, двух приложений. Работа изложена на 152 страницах основного текста; она содержит 12 таблицу, 43 рисунков; список литературы включает 103 наименований, из которых 91 отечественных и 12 зарубежных авторов.

## **ГЛАВА I. АНАЛИЗ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ**

В настоящее время сложности выхода на зарубежные рынки сбыта присутствует острая необходимость в повышении контроля качества нефтепродуктов. Для решения данной задачи необходимо на нефтеперерабатывающих заводах ввести новые методы по технологическому контролю переработки нефти, включающие искусственный интеллект, нейронные сети, машинное обучение [1]. При этом при подготовке паспортов на товарные нефтепродукты заданного качества все параметры должны соответствовать Техническим регламентам и нормативным документам.

Требования к организации производства нефтепродуктов и проверке их качества устанавливаются на государственном и отраслевом уровне в виде технических регламентов и нормативных документов. В России были приняты нормативные акты [2 – 8], в которых четко указаны требования к качеству нефтепродуктов. При этом присутствуют разночтения между установленными требованиями и существующей ситуацией с проверкой качества.

### **1.1. Обзор функционирования подсистемы контроля качества на нефтеперерабатывающих заводах в автоматизированном процессе производства нефтепродуктов**

Для того, чтобы автоматизировать систему контроля качества нефтепродуктов, необходимо тщательно и подробно изучить методику оценки качества, которая использовалась в предыдущие годы.

Рассмотрены бизнес-процессы определения качества нефтепродуктов на НПЗ. Они связаны с управлением производством и эффективной логистикой предприятия.

На рисунке 1.1 приведена схема функции оценки контроля качества на НПЗ в заданной подсистеме. Выделим её основные элементы:

- система усовершенствованного управления технологическим процессом (СУУТП);
- лаборатория технического контроля (ЛТК);

- системы поточного анализа (СПА);
- автоматизированная система виртуального анализа (АСВА);
- лабораторная информационная менеджмент система (ЛИМС).

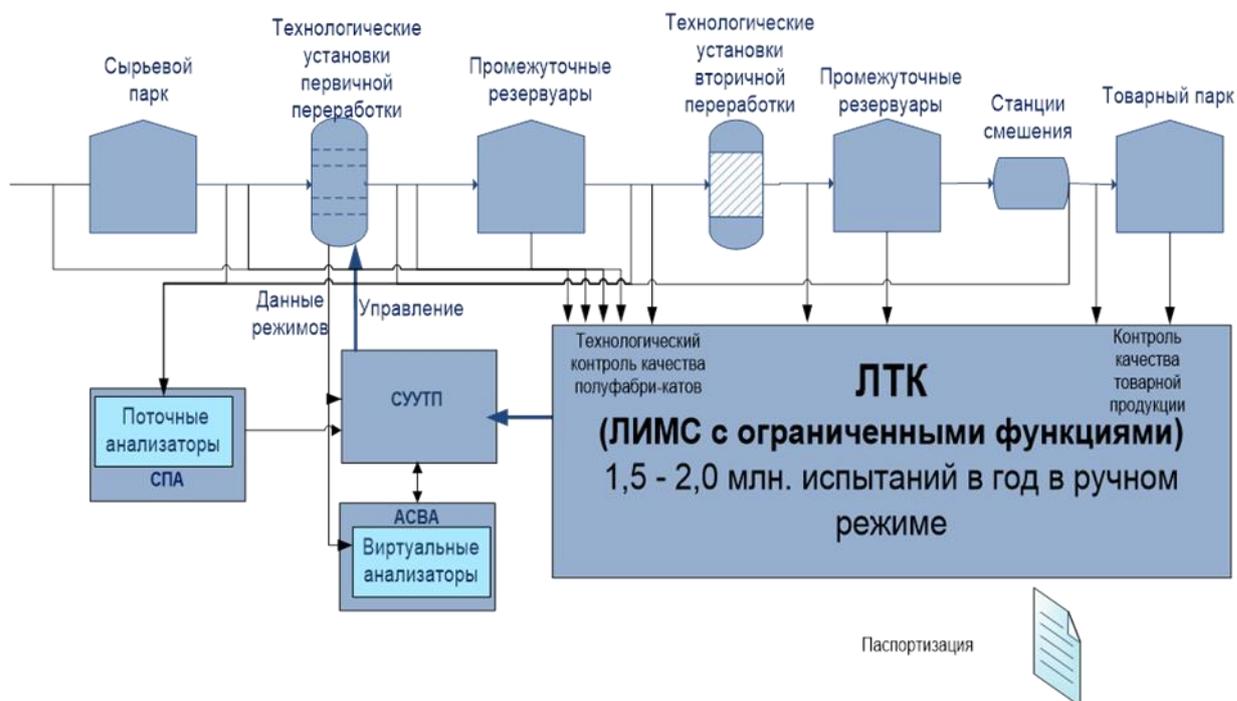


Рисунок 1.1 – Функции оценки контроля качества на НПЗ в заданной подсистеме

СУУТП внедряется в нефтехимической отрасли, ее функция заключается в автоматизации химических и производственных процессов. Такие системы служат для проведения таких операций, которые помогают измерять температуру, давление, расход и состав сырья.

Многие химические процессы непрерывно видоизменяются, что является основополагающей проблемой в данной отрасли, а это, в свою очередь, требует постоянного наблюдения и регулирования.

Приведём в качестве примера тот факт, что при переработке нефтепродуктов в разные фракции, существует необходимость поддержания ряда параметрических данных, которые позволяют добиться более эффективной работы НПЗ. СУУТП позволяют автоматически получать данные показателей этих параметров после проведённого анализа в ЛТК,

позволяя управлять ими, что значительно сказывается на временных затратах (см. рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Система СУУТП – это программно-аппаратный комплекс

Использование СУУТП позволяет структурировать гибкие процессы в нефтеперерабатывающей отрасли. Получается, что при внедрении СУУТП, мы снижаем энергетические затраты, что приводит к повышению развития мощностей предприятия, тем самым увеличивая стабильность и надежность работы производственных линий НПЗ.

Одним из основных преимуществ СУУТП является возможность онлайн регулировать процессы производства. Если происходят изменения заданных параметров состава нефтепродуктов, мы имеем возможность быстро внести изменения, которые помогут отрегулировать данную ситуацию.

При производстве нефтепродуктов необходимо учитывать огромное количество задаваемых параметров, а также лимитирование некоторых из них. СУУТП дает возможность поддержки ряда параметров, регулировку их согласованности и исключает возможность выхода за заданный диапазон. При этом данная система позволяет добиться оптимизации показателей состава продуктов, регулировки температуры, энергоэффективности, структуры сырья. При условии поддержки постоянных оптимальных показателей

прибыль предприятий существенно увеличивается (см. таблицу 1.1).

СУУТП исключает возможность влияния человеческого фактора на определенные процессы производства, тем самым минимизируя допущения ошибок и аварийных ситуаций. Благодаря данным процессам и применения облачных хранений на производстве, снижается риск допущения ошибок, которые мог бы совершить человек с определенной погрешностью.

Получается, что использование СУУТП обеспечивает стабильность работы нефтехимической промышленности увеличивает надежность и безопасность производства. Всё это дает возможность при производстве автомобильных бензинов, снизить убытки, более оптимально и своевременно перераспределять ресурсы, тем самым увеличивая доходность данной отрасли в нашей стране.

Таблица 1.1 – Эффекты после внедрения СУУТП

<b>Материальные</b>	<b>Нематериальные</b>
Увеличение выхода целевых продуктов	Более стабильное ведение процесса, меньший износ оборудования
Повышение производительности	Снижение нагрузки на оператора
Снижение потребления энергоресурсов	Повышение уровня автоматизации и безопасности производства

Для оценки контроля качества на НПЗ при протекающих технологических процессах присутствует необходимость лабораторных методов исследования. Существуют следующие виды технического контроля НПЗ в лабораториях: автоматического, полуавтоматического и в ручном режиме [9]. Разберем этапы данных проведений испытаний:

Технический персонал вручную производит отбор проб. В зависимости от цели исследования отбор производится с разным временным диапазоном от нескольких часов до нескольких месяцев. Временной диапазон строго регламентирован соответствующей технической документацией, в зависимости от происходящих технологических процессов. При ручном

способе отбора возникают проблемы, связанные с представительностью полученных проб и времени отбора. Данная проблема может изменить качество технологических процессов.

При этом, на сегодняшний день, поточный анализ нефтепродуктов с автоматическим отбором проб и ее переработки на НПЗ, не имеет повсеместного применения [12, 18, 19]. При автоматическом проведении испытаний пробы могут быть получены от нескольких секунд до часа. Показатели точности поточных анализаторов, регламентированные в паспортах, не всегда контролируются при проведении испытаний. Методы проведения испытаний, которые используются при поточном анализаторе, не всегда удовлетворяют стандартам, регламентированным в ЛТК. Если рассмотреть ГОСТ Р 5725 [61, 62, 68], то мы можем убедиться в том, что в настоящее время, правильность проведения испытаний поточными анализаторами путем сравнения с данными, которые прописаны в стандартах, не соответствуют временным параметрам. Как следствие, наступает ситуация, когда непонятно исправно ли работает поточный анализатор, что может не позволить, например, изолировать примеси или не дать возможность соблюдения требования.

В России на НПЗ стал применяться виртуальный анализ (ВА) с использованием искусственного интеллекта, нейронных сетей и математических моделей, в них отображается зависимость значений показателей качества от текущих параметров режима технологических установок. Математические модели строятся при помощи обработки статистических данных, которые получают из результатов лабораторных испытаний и аналитических моделей установок. Благодаря использованию ВА имеется возможность получения показателей контроля качества при заданном временном интервале от нескольких секунд до 16 минут и есть возможность получать среднюю выборку за несколько часов работы [9, 60].

Проведенное исследование системы контроля качества на НПЗ дают возможность определить «узкие» места и найти способы решения первой

задачи.

1. Для экономии времени проведения испытаний при ведении технологического контроля и контроля товарной продукции имеет смысл использовать автоматизированные системы контроля качества, искусственный интеллект, нейронные сети и облачные хранения данных, что позволяет при помощи использования поточных и «виртуальных» анализаторов, повысить безошибочность информации о качестве продукции, при этом можно это делать онлайн в управлении технологическими процессами переработки.

2. Для проверки качества продукции применяются лабораторные менеджмент-системы (ЛИМС). В России на НПЗ ЛИМС обладают ограниченными функциями. Если появится возможность расширить функционал ЛИМС, то можно оперативно следить не только за контролем качества в лабораториях, но и эффективнее управлять бизнес-процессами производства. Если получится добиться реализации всех функциональных возможностей ЛИМС, то появится возможность изменять качество переработки нефтепродуктов [20, 67].

3. Когда в лабораториях применяются системы поточного анализа (СПА) и виртуального анализа (СВА) для оценки контроля качества нефтепродуктов, полученная информация не отображается в ЛИМС. Нет возможности сопоставления полученных данных с данными результатов, полученных при проведении внутреннего контроля качества. Предлагается использовать применение виртуальных и поточных анализаторов во взаимосвязи, что даст возможность увеличить качество товарной продукции.

Все поставленные задачи необходимо решать только с учетом нормативно-правовых и технических блоков системы контроля, учитывая организационно-структурную систему оценки качества нефтепродуктов [1].

Нормативно-правовой блок состоит из законодательных актов и нормативной документации РФ в соответствии с требованиями [4, 6 – 8, 10].

При рассмотрении данного блока, была замечена тенденция постоянного изменения нормативных требований показателей качества одних видов

нефтепродуктов, а у других видов они были приняты не так давно. Например, требования к смазочным маслам были приняты недавно, а к моторным маслам изменяются периодически [4, 6]. Из-за этого производителям необходимо внедрять новую номенклатуру, которая будет учитывать недостающие требования к качеству нефтепродуктов [11]. Данная ситуация оказывает отрицательное влияние на качество.

Организационно-структурный блок-системы контроля качества нефтепродуктов представляет из себя многоуровневую иерархически построенную, включающую в себя множество элементов учета функционала, учитывающих все организационные мероприятия по контролю качества нефтепродуктов [1].

Если провести анализ зарубежного и отечественного опыта контроля качества нефтепродуктов, то для получения передовых позиций, более значимым блоком является методологический. Он подразделяется следующим образом [1]:

- перечень квалификационных и стандартных методов контроля качества в объеме требований Технических регламентов и нормативной документации на товарные нефтепродукты;

- набор исследовательских и экспресс-методов испытаний нефтепродуктов [3, 9].

На сегодняшний день на НПЗ присутствуют стандарты, которые содержат очень большой объем требований, что делает эти стандарты очень финансово затратными и при этом не позволяют получать анализ качества нефтепродуктов онлайн на всех этапах технологической линии.

## **1.2. Автоматизация процессов**

Методы исследований и контроля качества нефтепродуктов, которые были разработаны в прошлом, не дают возможность учитывать ограничения по времени и при этом они не учитывали корреляционных зависимостей. Данные факторы усложняют возможность отображения всесторонней информации о

качестве нефтепродуктов, которые исследователь может получить, при условии ограничения по времени. Для решения этой задачи предлагается внедрять и использовать автоматизированные и роботизированные инструментальные методы, например метод хроматографии и молекулярной спектроскопии [16], а также специальные математические модели, численные методы обработки результатов. Применение данных методов позволяет автоматизировать процесс контроля качества и получать более надёжные результаты [64 – 66].

На современных НПЗ существует острая необходимость проводить совершенствование методов и способов контроля качества нефтепродуктов. Это очень большая по объёму работа, которую предлагается выполнять систематически и поэтапно [12].

На сегодняшний день существуют трудности в составлении схемы контроля качества на НПЗ [12]. Данные проблемы возникают из-за того, что в схему входят независимые друг от друга процессы контроля качества:

- входной контроль – осуществляется перед началом технологического процесса, устанавливается контроль качественных показателей нефти и газового конденсата;
- технологический контроль – это процесс установления полного соответствия с технологическим регламентом и графиками, еще он носит название операционного контроля;
- приёмо-сдаточный контроль – производится проверка нефтепродуктов на соответствие требованиям Технических регламентов и нормативной документации. Такой контроль называют паспортизацией;
- внутренний контроль – производится установление достоверности полученных результатов, которые в свою очередь опираются на требования качества, регламентированные на данном НПЗ [10, 11].

Из всех видов контроля технологический считается самым трудоемким. Если произвести анализ по трудозатратам, то можно убедиться, что он составляет до 75 % от всей процедуры проверки качества [12].

Существуют три вида процессов испытаний с помощью приборов и

оборудования, которые применяются для контроля качества нефтепродуктов [69 – 71]:

- ручной вид – испытания проводит лаборант;
- полуавтоматический вид – некоторые операции проводит лаборант, а некоторые операции производятся в автоматическом режиме, при помощи специальных приборов или соответствующего оборудования;
- автоматические – все операции производятся без участия лаборанта.

Процесс полностью автоматизирован.

Для того, чтобы внедрить на НПЗ автоматизированные системы управления, необходимо оснастить НПЗ автоматическими средствами контроля качества нефтепродуктов [12, 19 – 21]. После проведенного анализа, предлагается использование на НПЗ поточных и виртуальных анализаторов. Но они, в свою очередь, имеют существенный недостаток, который связан с необходимостью разработки требований к поточным анализаторам и программного обеспечения, которое может автоматически, в режиме реального времени обрабатывать поступающие с них данные для применения в конкретных технологических схемах переработки нефти [12].

### **1.3. Методы испытания**

Для получения достоверных данных о качестве нефтепродуктов в настоящее время, используют стандартную методологию проведения испытаний. Это происходит в лабораторных условиях, и они опираются на международные методы. Данные методы имеют ряд недостатков: они трудоемки, занимают много времени, они подразумевают использование дорогостоящего и громоздкого оборудования, которое недостаточно автоматизировано [12].

Разработка и применение инфракрасных Фурье-спектрометров позволило выйти на более высокий уровень в области приборостроения и в других отраслях науки. В нашей стране созданы ИК Фурье-спектрометры, разработанные в НТЦ УП РАН [89].

Использование ИК-спектроскопии в области контроля качества нефтепродуктов, стала применяться в России и за рубежом.

Так, фирма PETROTEST INSTRUMENTS (Германия) разработала [58] анализатор топлива FOX (метод FTIR с применением спектрометра Фурье), он позволяет определить качественные и компонентный состав автомобильных бензинов по различным показателям, таким как содержание оксигенатов, содержание ароматических и олефиновых углеводородов и др.

Фирмой PERKIN ELMER (США) для ИК-спектрометров типа SYSTEM 2000 на основе факторного анализа разработано программное обеспечение QUANT+ [59], оно дает возможность по спектроскопическим данным проводить количественный анализ сложных смесей без интерпретации спектра, помогает установить такие показатели, как октановое число бензинов, ароматические углеводороды в дизельных топливах и др.

Фирма LUBRIZOL использует ИК-спектроскопию для идентификации моторных масел, анализа их химического состава, ухудшения эксплуатационных характеристик, загрязнения отработавшего масла, определения степени разжижения масла топливом, присутствия гликоля, срабатывания дитиофосфатов цинка, сульфонатных присадок детергентного типа, загущающих присадок, а также присутствия воды [47].

#### **1.4. Анализ инфракрасных спектров для контроля качества**

В описанных ранее методах не рассматривается процесс создания системы, позволяющей анализировать ИК-спектры. Под анализом подразумевается установление характеристик нефтепродуктов: октановое число, фракционный состав, степень загрязнения механическими частицами, компонентный состав, наличие воды (для топлива); определение марки основы, состояние присадок и т.п. Эффективными в данном вопросе показали себя портативные спектрометрические приборы и методы, которые работают для контроля инфракрасных спектров, например, в средней ИК-области [16, 39, 57, 69, 70, 78]. Средний инфракрасный диапазон (MIR) электромагнитного

спектра простирается от 3000 нм до 50000 нм (от  $4000\text{ см}^{-1}$  до  $450\text{ см}^{-1}$ ) и находится между дальней и ближней ИК-областями. Спектры MIR дают возможность проанализировать обертоны и комбинационные полосы молекулярных колебаний нефтепродуктов. Благодаря резкому уменьшению интенсивности высших обертонов MIR-спектры обычно подавляются перекрывающимися обертонами и комбинационными полосами структурно более легких групп нефтепродуктов (например, C–H, N–H и O–H). В пределах этих MIR-спектров содержится значительная информация о молекулярной структуре исследуемого образца, и эту информацию можно извлечь современными методами обработки данных. К преимуществам MIR-спектроскопии относятся: быстрота (обычно 5 – 10 с); не требуется предварительной подготовки образца; простота проведения измерений; высокая точность и воспроизводимость анализа; отсутствие загрязнений; возможность проведения измерений через стеклянную и пластиковую упаковку; автоматизация измерений; анализ физических и химических свойств (размер частиц, термическая и механическая предварительная обработка, вязкость, плотность и т.п.). С помощью MIR-спектроскопических методик можно быстро выполнять дистанционные измерения через высокоэффективное кварцевое оптическое волокно и, тем самым, осуществлять мониторинг технологического процесса online. Ослабление сигнала внутри таких волокон очень мало (например, 0,1 дБ/км), кроме того, оптоволоконные кабели и датчики прочные, относительно недорогие и широкодоступные. Они могут располагаться на расстоянии сотен метров от спектрометра, и к одному прибору могут быть подсоединены сразу несколько датчиков.

А в данной работе в качестве системы, позволяющей анализировать ИК-спектры предлагается использовать разработанную ЭНС, которая позволяет на основе ИК-спектров идентифицировать показатели качества автомобильного бензина [45, 46, 48 – 56].

На вход ЭНС поступают данные ИК-спектров, которые могут содержать

несколько тысяч отсчетов (в работе используются ИК-спектры с 4000 отсчетов), что можно интерпретировать как большие данные.

Для анализа больших данных с целью их идентификации применяют нейронные сети. Однако при нейросетевой реализации требуется значительное количество нейронных связей.

Для эффективной реализации нейросетевых структур как общей, так и специальных топологий необходимо применять кластеры универсальных и графических процессоров. Поэтому для идентификации таких данных используют специальные методы понижения их размерности, например, традиционный метод главных компонент, метод t-SNE визуализации данных, быстрый нейроподобный метод визуализации данных [44, 81].

В разработанной системе для понижения размерности используется экспертная система, результат работы которой в виде вектора принадлежности спектральных данных к классам (кластерам) подается на вход нейронной сети, которая повышает правдоподобие классификации.

## **1.5. Выводы к главе I**

Первая глава посвящена анализу предметной области.

1. Анализ состояния контроля качества нефтепродуктов на НПЗ в России показал следующие противоречия:

- недостаточен уровень автоматизации этапов контроля качества на всех уровнях производства и переработки, заключающийся в ручном отборе проб автомобильного бензина для проведения лабораторных испытаний;
- разнонаправленность при ведении лабораторного, поточного и виртуального контроля качества нефтепродуктов. Это, в свою очередь, влияет на точность проведения их контроля;
- низкий уровень экспресс-методов испытаний нефтепродуктов на НПЗ.

2. Сформулирована цель, заключающаяся в повышении оперативности и достоверности полученных данных при прохождении автоматизированного

контроля качества.

3. Для достижения данной цели, сформулированы научные задачи:

– провести анализ существующих систем контроля качества и технических средств управления технологическим процессом производства нефтепродуктов для определения области внедрения ЭНС в функциональную схему автоматизации.

– построить структуру системы идентификации больших данных на основе объединения экспертного и нейросетевого подходов.

– адаптировать содержащиеся в базе знаний математические модели микросостояний, позволяющие производить идентификацию марки бензина, и макросостояний, позволяющие оценивать физико-химические показатели качества бензинов по их спектральным данным.

– разработать на языке высокого уровня программное обеспечение ЭНС автоматизированного контроля качества нефтепродуктов на примере автомобильных бензинов по их спектральным данным для системы усовершенствованного управления технологическим процессом;

– для повышения эффективности в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества автомобильных бензинов внедрить ЭНС в систему управления технологическим процессом.

4. На сегодняшний день применяемые методы оценки показателей качества автомобильных бензинов занимают много времени: от нескольких десятков минут до нескольких часов, так как присутствует человеческий фактор в лице лаборантов, работающих на НПЗ.

Проведённый анализ доказывает, что существует необходимость в повышении эффективности управления технологическим процессом в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности. Была поставлена задача разработки ЭНС для контроля показателей качества в СУУТП. Изучен опыт применения экспертных систем и интеллектуальных технологий на НПЗ. Этот опыт учитывался при проведении данного исследования.

## ГЛАВА II. ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЭКСПЕРТНО-НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

### 2.1. Внедрение экспертно-нейросетевой системы в функциональную схему автоматизации стабилизации и фракционирования бензиновых фракций

В настоящей работе предложена методика построения ЭНС для автоматизированной системы контроля качества управления технологическим процессом в нефтеперерабатывающей промышленности.

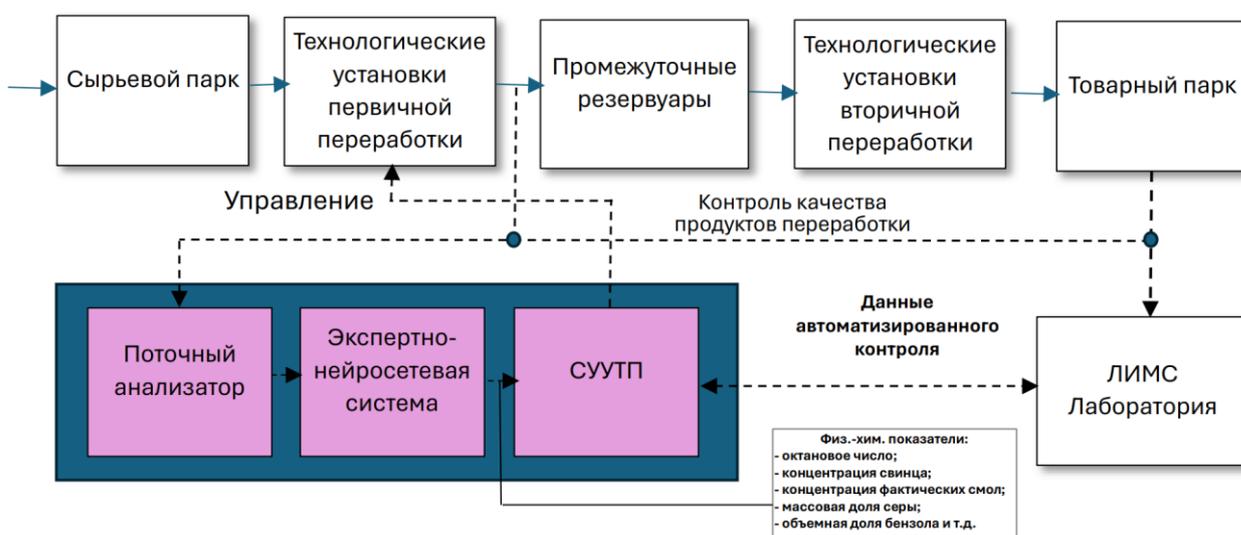


Рисунок 2.1 – Внедрение ЭНС в процесс функционирования подсистемы  
контроля качества на НПЗ

Предлагается внедрить разработанную ЭНС в состав системы поточного анализа (СПА), где на вход ЭНС подаются ИК-спектры, снятые поточным анализатором, а результат работы ЭНС поступает в СУУТП, что позволяет ей своевременно осуществлять автоматический контроль параметров нефтепродуктов и производить оптимальное оперативное управление, показанное на рисунке 2.1.

Описание процесса автоматизации стабилизации и фракционирования бензиновых фракций с внедрением ЭНС следующее.

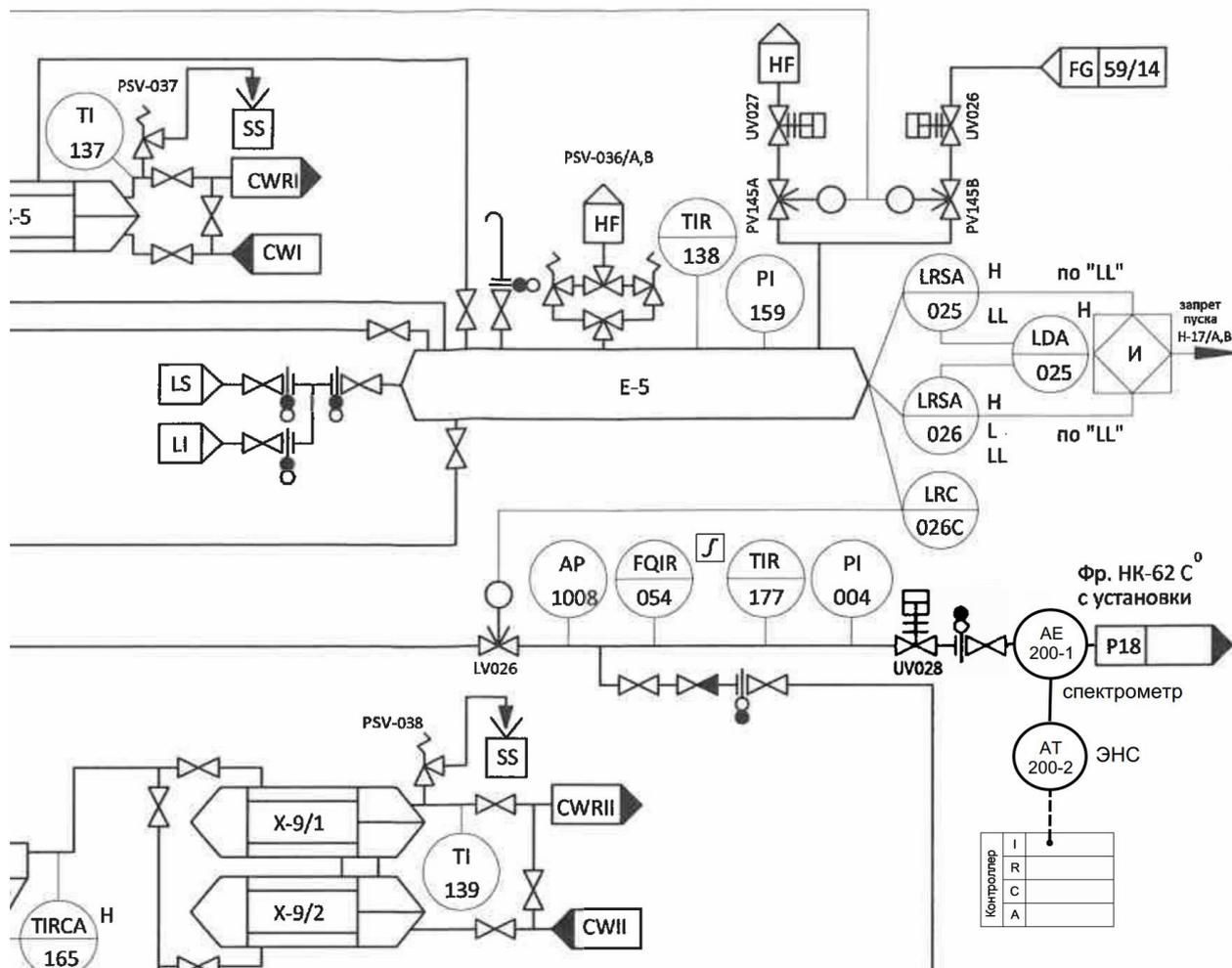


Рисунок 2.2 – Фрагмент функциональной схемы автоматизации с внедрением ЭНС системы фракционирования автомобильного бензина

Общий расход фр.НК-62°С с установки регистрируется прибором поз. FQIR054. Температура фр.НК-62°С с установки регистрируется прибором поз. TIR177, давление контролируется по манометру поз. PI004.

На линии вывода фр.НК-62°С на выходе с установки установлена арматура с пневмоприводом поз. UV028.

После арматуры с пневмоприводом поз. UV028 поток бензина проходит через поточный ИК Фурье-спектрометр AE200-1 который формирует спектральные данные поступающие на контроллер ЭНС AT200-2. Данный процесс определяется его физ.-хим. показатели. Например, если показатель октанового числа бензина не соответствует заданному, то циркуляцию прекращают и бензин отправляют в резервуар, где отбирают пробу бензина и осуществляют аналитический контроль по всем показателям (см. рисунок 2.2).

Боковой продукт колонны К-5 фр.70-110°C выводится с 46-ой тарелки и насосом Н-20А, Н-20В направляется в аппарат воздушного охлаждения ХВ-7, в межтрубное пространство водяного холодильника Х-9/1,2, где охлаждается оборотной водой 1-ой системы и выводится с установки. Температура оборотной воды 1-ой системы на выходе из Х-9/1,2 контролируется по прибору поз. ТП139 по месту.

Температура фр.70-110°C после аппарата воздушного охлаждения ХВ-7 регистрируется прибором поз. ТИРСА165, с сигнализацией по максимальному значению параметра и регулируется изменением частоты вращения вентилятора ХВ-7.

## **2.2. Обобщённая структура экспертно-нейросетевой системы**

Разработанная ЭНС представляет собой программный комплекс, включающий: интегрированную экспертную систему (ЭС); интегрированную нейронную сеть (НС); подсистему контроля. Общая схема функционирования интегрированной ЭНС представлена на рисунке 2.3.

Первый компонент, ЭС включает в себя: входной интерпретатор, необходимый для предварительной обработки спектральных данных; базу данных (БД); базу знаний (БЗ) и машину логического вывода (МЛВ). ЭС используется для интерпретации, кластеризации (с учителем или без учителя), классификации (распознавания) данных, снижения их размерности, а также оценивания по спектральным данным сопутствующие им показатели, соответствующих объектов/процессов, породивших эти данные [23, 24, 35 – 37, 41 - 43].

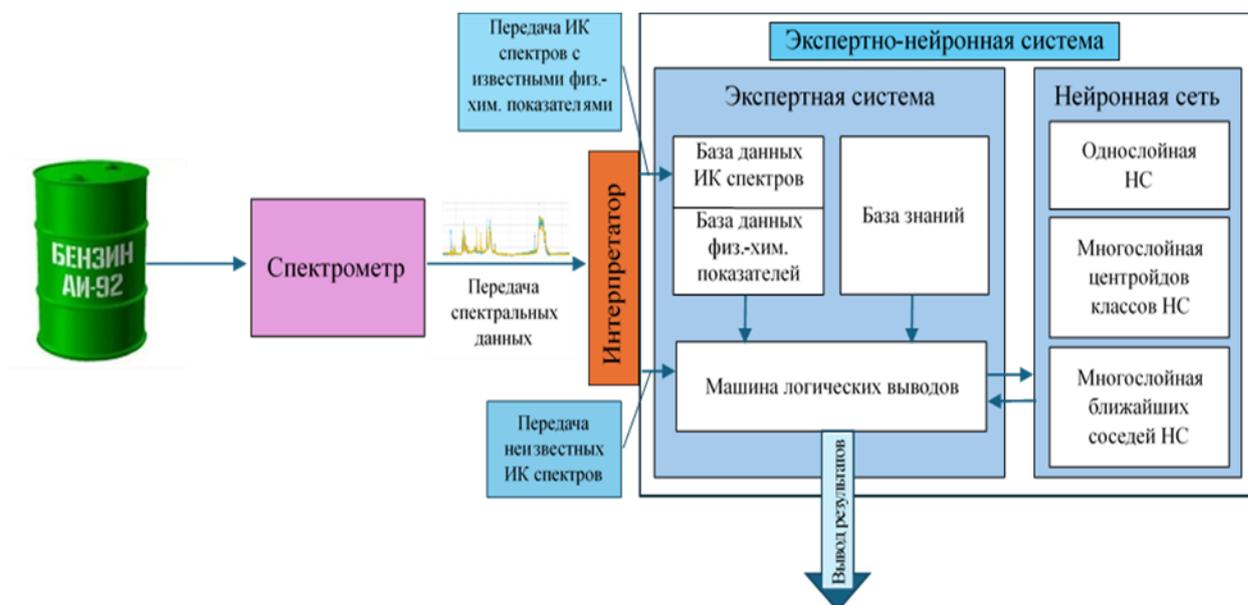


Рисунок 2.3 – Общая схема функционирования интегрированной ЭНС

При подаче на вход ЭС неизвестных данных на ее выходе формируются редуцированные данные – вектор принадлежности спектральных данных к классам (кластерам), который подается далее на вход нейронной сети для повышения надежности идентификации данных.

Второй компонент интегрированной нейронной сети включает следующие программные модули, по выбору эксперта:

- однослойную нейронную сеть;
- многослойную нейронную сеть центроидов классов;
- многослойную нейронную сеть ближайших соседей.

Во многих приложениях классы больших данных не описываются в многомерном пространстве компактными областями, т.е. их средними значениями (центроидами) и дисперсиями. Для классификации таких больших данных используются однослойная и многослойные нейронные сети, которые работают по методу определения ближайших соседей. В случае компактных кластеров для классификации больших данных целесообразно использовать как однослойную, так и многослойную нейронные сети центроидов классов.

На практике однослойная нейронная сеть обладает наибольшей универсальностью и простотой реализации. Она также не имеет ограничений на количество возможных классов больших данных и представителей каждого

класса.

Входными данными модуля однослойной нейронной сети является вектор принадлежности спектральных данных к классам (кластерам), реализованный непосредственно на выходе интегрированной экспертной системы. Для каждого класса рассчитываются пороговые функции, исходя из максимальных значений мер сходства.

В качестве таких пороговых функций могут быть использованы любые функции, применяемые для формирования нелинейных откликов формальных нейронов. Они обостряют отклик интегрированной экспертно-нейронной системы при классификации больших данных и повышают точность оценки правдоподобий их принадлежности к соответствующим классам.

Как и в однослойной, входными данными для многослойной нейронной сети является вектор принадлежности классов, сгенерированный в модуле машины логических выводов компонента интегрированной экспертной системы.

Разработана обобщенная структура ЭНС контроля качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности (автомобильных бензинов) по их спектральным данным на основе объединения экспертной и нейросетевой технологий идентификации больших данных для системы усовершенствованного управления технологическим процессом.

Обобщенная структура интегрированной ЭНС представлена на рисунке 2.4.

Интерфейс ЭНС с внешней средой поддерживает взаимодействие ЭНС с внешним миром на всех стадиях жизненного цикла системы и включает два компонента: интерфейс разработчика и интерфейс пользователя. Интерфейс разработчика используется на этапе разработки ЭНС, его основной функцией является поддержка процесса наполнения БЗ [14]. Обычно эта функция выполняется экспертом в предметной области во взаимодействии с инженером по знаниям.

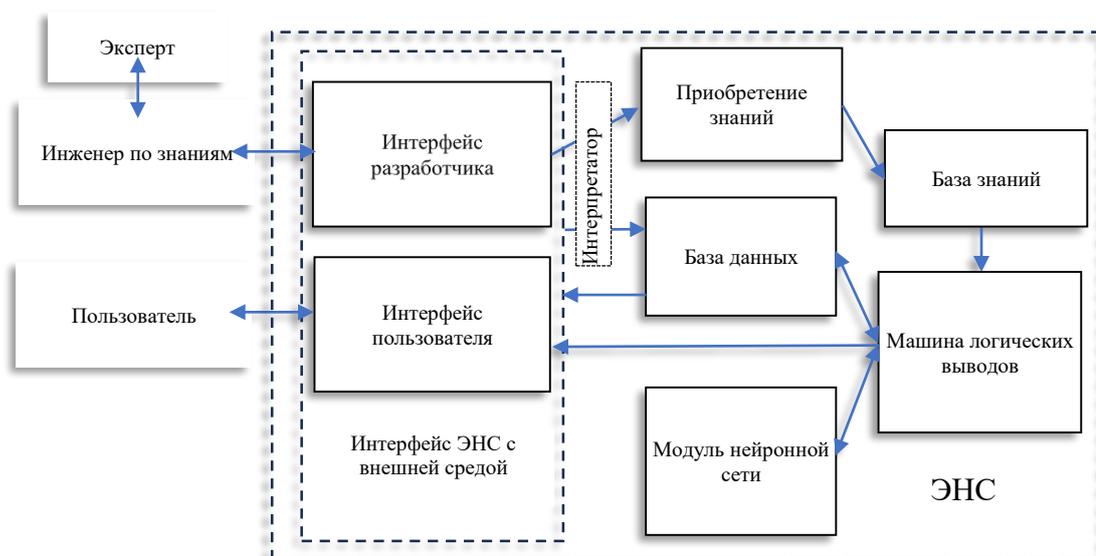


Рисунок 2.4 – Обобщенная структура интегрированной ЭНС

Интерфейс пользователя поддерживает общение пользователя с системой в режиме консультации или взаимодействие ЭНС с техническими средствами на этапе ее использования. Компонента приобретения знаний предназначена для занесения в БЗ новых знаний и модификации имеющихся, как на этапе начального обучения ЭНС, так и в режиме ее обучения в процессе эксплуатации. Ее задачей, в частности, является преобразование знаний в форму, позволяющую МЛВ использовать их в процессе работы. БД хранит факты о текущем состоянии предметной области, промежуточных и окончательных результатах вывода. БЗ служит для хранения знаний о проблемной области. Форма хранения соответствует выбранной модели представления знаний. МЛВ осуществляет взаимодействие с модулем нейронной сети, которая позволяет с высокой степенью надежности классифицировать входящие данные в присутствии значительных аддитивных помех, а также производит вывод решения задачи на основе имеющихся в системе знаний и фактов. БД, БЗ, модуль нейронной сети и МЛВ составляют ядро ЭНС.

Структура БЗ содержит в себе две модели:

– модель идентификации макросостояний нефтепродуктов, включающей в себя выбор ближайших соседей в многомерном пространстве спектральных

характеристик с использованием мер сходства;

– модель идентификации микросостояний, включающей в себя непараметрическое оценивание.

МЛВ для идентификации больших данных, предварительно обработанных в модуле «интерпретатор больших данных», реализует все основные методы:

– классификацию больших данных с использованием модели идентификации макросостояний нефтепродуктов;

– оценку значений показателей качества нефтепродукта с использованием модели идентификации микросостояний.

### 2.3. Модель идентификации макросостояний нефтепродуктов

Рассмотрим модель идентификации макросостояний нефтепродуктов, содержащуюся в базе знаний. Допустим, наблюдаемый спектр  $S(\nu)$  нефтепродукта неизвестной марки может быть описан моделью [38]

$$S(\nu) = S_m(\nu, k) + H_m(\nu, k), \quad (2.1)$$

где  $S_m(\nu, k)$  – спектры оптической плотности используемого диапазона волн, определенные для каждого волнового числа  $\nu$  для  $k$ -го образца ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) известного нефтепродукта  $m$ -ой марки ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $H_m(\nu, k)$  – неизвестные случайные спектральные функции, описываемые усеченными нормальными распределениями вероятностей, с нулевыми средними  $\overline{H_m(\nu, k)} = 0$  и неизвестными дисперсиями  $\sigma_{H_m}^2(\nu, k)$ .

Модель (2.1) характерна для измерения спектров оптической плотности образцов, помещенных в толстые кюветы ( $L \cong 100 \text{ мкм} \div 1000 \text{ мкм}$ ). В ней допускается, что наблюдаемый спектр  $S(\nu)$  является зашумленной версией какого-либо полностью известного спектра  $S_m(\nu, k)$ , измеряемого с известными дисперсиями  $\sigma_S^2(\nu)$ , определяемыми точностью  $\sigma_S(\nu)$  используемого инструментального средства при измерении спектра поглощения для данного волнового числа  $\nu$ .

При данных ограничениях идентификация неизвестного нефтепродукта возможна при использовании статистики в виде мер сходства наблюдаемого спектра  $S(\nu)$  с известными спектрами  $S_m(\nu, k)$

$$\mu[S, S_m(k)] = 1 / \left[ 1 + \sum_{\nu_{\min}}^{\nu_{\max}} \gamma_m(\nu) \frac{[S(\nu) - S_m(\nu, k)]^2}{\sigma_S^2(\nu)} \right], \quad 0 \leq \mu[S, S_m(k)] \leq 1, \quad (2.2)$$

где  $\gamma_m(\nu)$  – идентификационные значимости волновых чисел спектров  $m$ -ой марки, зависящие от амплитуд спектров. Например,  $\gamma_m(\nu) = 1$ , если  $S_m(\nu, k) < 1,5$  и  $\gamma_m(\nu) = 0$ , если  $S_m(\nu, k) \geq 1,5$ .

Идентификационные значимости  $\gamma_m(\nu)$  необходимы для фильтрации наблюдаемых спектральных значений, соответствующих аппаратным искажениям ИК-спектров, проявляющихся при больших оптических плотностях. При этом в (2.2) суммирование осуществляется по всем волновым числам выбранного диапазона волн, количество которых определяют отношением ширины диапазона к спектральной разрешающей способности  $\Delta\nu$

$$K_\nu = \frac{\nu_{\max} - \nu_{\min}}{\Delta\nu}. \quad (2.3)$$

При регистрации спектров оптической плотности нефтепродуктов, помещаемых в тонкие кюветы ( $L \cong 0,5 \text{ мкм} \div 10 \text{ мкм}$ ), наблюдаемый спектр  $S(\nu)$  образца нефтепродукта неизвестной марки описывается моделью

$$S(\nu) = \vartheta S_m(\nu, k) + H_m(\nu, k), \quad (2.4)$$

аналогичной модели (2.1) с той лишь разницей, что масштабный коэффициент  $\vartheta$  неизвестен.

В этих условиях идентификация возможна при использовании статистики в виде мер сходства наблюдаемого спектра  $S(\nu)$  с известными спектрами  $S_m(\nu, k)$

$$\mu[S, S_m(k)] = \frac{\left( \sum_{\nu_{\min}}^{\nu_{\max}} \gamma_m(\nu) \frac{S(\nu) S_m(\nu, k)}{\sigma_S^2(\nu)} \right)^2}{\sum_{\nu_{\min}}^{\nu_{\max}} \gamma_m(\nu) \frac{S^2(\nu)}{\sigma_S^2(\nu)} \sum_{\nu_{\min}}^{\nu_{\max}} \gamma_m(\nu) \frac{S_m^2(\nu, k)}{\sigma_S^2(\nu)}}, \quad 0 \leq \mu[S, S_m(k)] \leq 1. \quad (2.5)$$

Идентификацию неизвестной марки нефтепродуктов можно проводить методом «ближайшего соседа», относя испытуемый образец к той марке  $m$ , для которой мера сходства  $\mu[S, S_m(k)]$  принимает наибольшее значение, т.е.

$$m = \underset{m, k}{\operatorname{argmax}} \{ \mu[S, S_m(k)] \}.$$

## 2.4. Модель идентификации микросостояний

После идентификации марки нефтепродуктов проводится определение физико-химических показателей нефтепродуктов (показателей качества, далее ПК), приведенных в таблице 2.1 [75, 77].

Таблица 2.1 – Основные показатели качества бензинов (ГОСТ Р 51105 - 2020)

№ п/п	Основные показатели качества бензинов (ГОСТ Р 51105 - 2020)	Пороговые значения	Единицы измерения
1	Октановые числа по моторному методу, не менее по исследовательскому методу, не менее	83,0 92,0	у.е.
2	Концентрация свинца	отсутствие	г/дм <sup>3</sup>
3	Концентрация фактических смол, не более	5,0	мг/100 см <sup>3</sup>
4	Индукционный период бензина, не менее	360	мин
5	Массовая доля серы, не более	10	мг/кг
6	Объёмная доля бензола, не более	1,0	%
7	Плотность при температуре 15°С,	725,0-780,0	кг/м <sup>3</sup>
8	Фракционный состав при 70 °С при 100 °С при 150 °С	15,0-50,0 40,0-70,0 75,0	%

В ходе проведенных исследований [71 – 73] установлено, что параметризация зависимости оптической плотности спектра от показателя качества приводит к обратной нелинейной задаче – нелинейной связи определяемого показателя качества с оптической плотностью спектра. Поэтому при построении модели расчета ПК нефтепродуктов был использован метод непараметрической интерполяции [32 – 34, 63, 74, 84 – 86].

При рассмотрении любого нефтепродукта, состав которого полностью определяется заданием  $N$ -мерного вектора  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_N\}$  совокупности мольных долей  $M$  ее  $N$ -молекулярных компонентов ( $0 \leq M_n \leq 1$ ,

$\sum_{n=1}^N M_n = 1$ ). Каждое состояние нефтепродукта определяется множеством векторов  $M$  или множеством случайных комбинаций мольных долей компонентов нефтепродукта в зависимости от количества марок нефтепродукта (например, автомобильного бензина) и различными значениями компонентов структурного фактора.

Пусть  $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_r, \dots, \omega_R\}$  – конечное множество из  $R$  марок нефтепродукта. Проведем для нефтепродукта, находящегося в состоянии  $\omega_r$  серию совместных измерений какого-либо показателя качества  $Y$  и физически однородного спектра, например, спектра  $S = \{S(\nu_{\min}), \dots, S(\nu_{\max})\}$  оптической плотности молекулярного поглощения в ЖС, зарегистрированного в диапазоне волновых чисел ( $\nu_{\min} \leq \nu \leq \nu_{\max}$ ). При «достаточно большом» количестве испытаний в результате совместных измерений будут зарегистрированы случайные значения величин  $Y$  и  $S$  с совместной плотностью вероятности  $Prob_r(S, Y) = Prob_r(S|Y)Prob_r(Y)$ , где  $Prob_r(Y)$  – плотность вероятности показателя  $Y$  качества, а  $Prob_r(S|Y)$  – условная плотность вероятности спектрального вектора  $S$  (вектора, компоненты которого суть полученные значения оптической плотности спектра молекулярного поглощения для разных волновых чисел) для состояния (марки)  $\omega_r$  нефтепродукта.

Тогда плотность вероятности спектрального вектора  $S_r$  имеет вид

$$Prob_r(S) = \int_{\Omega_Y} Prob_r(S, Y) dY \quad (2.6)$$

где  $\Omega_Y$  – одномерная область значений  $Y$ .

В соответствии с формулой Байеса, или формулой обратной вероятности, может быть вычислена апостериорная вероятность  $Prob_r(Y|S)$  того, что при наблюдении спектрального вектора  $S$  измеряемый показатель качества нефтепродукта примет значение  $Y$

$$Prob_r(Y|S) = \frac{Prob_r(S|Y) Prob_r(Y)}{\int_{\Omega_Y} Prob_r(S|Y) Prob_r(Y) dY} = \frac{Prob_r(S, Y)}{\int_{\Omega_Y} Prob_r(S, Y) dY} \quad (2.7)$$

Средним по состоянию  $\omega_r$  нефтепродукта значением ПК будет условное математическое ожидание

$$\langle Y(S) \rangle_r = \int_{\Omega_Y} Y \text{Prob}_r(Y|S) dY = \int_{\Omega_Y} Y \frac{\text{Prob}_r(S, Y)}{\int_{\Omega_Y} \text{Prob}_r(S, Y) dY} dY \quad (2.8)$$

Определяемая с помощью формулы (2.8) величина называется функцией регрессии  $Y$  относительно  $S$ . Известно, что оптимальный стохастический прогноз случайной величины  $S$  в классе всех функций  $Y = f(S)$  по мере среднеквадратичной ошибки (СКО) совпадает с функцией регрессии (2.8),

$$\text{где СКО} = \int_{\Omega_Y} [Y - f(S)]^2 \text{Prob}_r(Y|S) dY \quad (2.9)$$

Дискретным аналогом данной функции будет величина

$$\langle Y(S) \rangle_r = \sum_{k=1}^K Y_r(k) \frac{\text{Prob}_r[S, Y(k)]}{\sum_{k=1}^K \text{Prob}_r[S, Y(k)]}, \quad (2.10)$$

где  $\text{Prob}_r[S, Y(k)]$  – совместная плотность вероятности спектрального вектора  $S$  и показателя  $Y$  качества, измеренных в  $k$ -ом испытании для нефтепродукта, находящейся в состоянии  $\omega_r$ .

Величина (2.10) является оценкой функции регрессии или условного математического ожидания показателя  $Y_r$  качества нефтепродукта относительно ее молекулярного спектра  $S_r$ .

В практическом отношении непосредственное использование формул (2.8) и (2.10) затруднительно ввиду невозможности определения совместной плотности вероятности  $\text{Prob}_r(S, Y)$  величин  $S$  и  $Y$ .

Однако можно упростить задачу, введя для (2.10) соотношение

$$\text{Prob}_r[S, Y(k)] = \text{Prob}_r[S|Y(k)] \text{Prob}_r[Y(k)] = \lambda \mu_{rk}(S), \quad (2.11)$$

где  $\lambda$  – нормировочный множитель;  $\mu_{rk}(S)$  – степень близости или принадлежности спектрального вектора  $S$ , измеренного для нефтепродукта, находящейся в состоянии  $\omega_r$ , к некоторой ограниченной многомерной области

$\Omega_S$  действительных значений, таких, что спектральные компоненты вектора  $S$  принимают значения  $S_{\min} S(v) \leq S_{\max}$  для любого  $v$ ,  $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$ .

Функцию  $\mu_{rk}(S)$  можно выбрать такой, что область ее значений  $\Omega_\mu = (0 \div 1)$ . Например, в качестве  $\mu_{rk}(S)$  могут быть использованы следующие функции принадлежности из теории нечетких множеств

$$\mu_{rk}(S) = \mu\left(\frac{|S - S_r(k)|}{\Delta_K}\right) = \exp\left(-\frac{|S - S_r(k)|^2}{\Delta_K^2}\right), \quad (2.12)$$

где  $|S - S_r(k)|^2 = \sum_{v_{\min}}^{v_{\max}} [S(v) - S_r(v, k)]^2$ .

Из (2.11) следует, что

$$\lambda = \frac{1}{\sum_{k=1}^K \int_{\Omega_S} \mu_{rk}(S) dS}. \quad (2.13)$$

Тогда, подставляя (2.11) в (2.10), получено

$$\langle Y(S) \rangle_r = \sum_{k=1}^K Y_k \frac{\mu\left(\frac{|S - S_r(k)|}{\Delta_K}\right)}{\sum_{k=1}^K \mu\left(\frac{|S - S_r(k)|}{\Delta_K}\right)}, \quad (2.14)$$

Обобщим выражение (2.14) и введём  $K$  действительных коэффициентов  $\alpha_k$ ,  $k = \overline{1, K}$ :

$$\langle Y(S) \rangle_r = \sum_{k=1}^K \alpha_k Y_k \frac{\mu\left(\frac{|S - S_r(k)|}{\Delta_K}\right)}{\sum_{k=1}^K \mu\left(\frac{|S - S_r(k)|}{\Delta_K}\right)}, \quad (2.15)$$

Заметим, что зависимость (2.15) является некоторым частным случаем непараметрической ядерной оценки условного функционала

$$J(S) = \frac{G_1(S)}{G_2(S)} = \frac{\int_Y g_1(Y) Prob(S, Y) dY}{\int_Y g_2(Y) Prob(S, Y) dY} \cong \frac{\sum_{k=1}^K g_1[Y(k)] \mu\left(\frac{|S - S(k)|}{\Delta_K}\right)}{\sum_{k=1}^K g_2[Y(k)] \mu\left(\frac{|S - S(k)|}{\Delta_K}\right)}, \quad (2.16)$$

где  $\{S(k), Y(k)\}, k = \overline{1, K}$  – выборка независимых и одинаково распределенных случайных величин объема  $K$ , характеризуемая плотностью распределения вероятностей  $Prob(S, Y)$ ;  $\mu\left(\frac{|S - S(k)|}{\Delta_K}\right)$  – ядро с параметром размытости  $\Delta_K$ ;

$$g_1[Y(k)] = \alpha_k Y(k), \quad g_2[Y(k)] = 1$$

Поскольку в качестве ядер в (2.14) и (2.15) использованы функции принадлежности (2.12) из теории нечетких множеств, то зависимости (2.14) и (2.15) назовем нечеткими непараметрическими оценками регрессий или нечеткими непараметрическими регрессионно-факторными зависимостями.

Рассмотрим далее ошибки оценивания, характерные для данных нечетких непараметрических регрессионно-факторных зависимостей при конечном объеме  $K$  выборок  $\{S(k), Y(k)\}, k = \overline{1, K}$ .

Ошибка оценивания для случая  $\alpha_k = 1$ . Для любого состояния  $\omega$ , жидкой среды СКО зависимости (2.14) равна

$$\begin{aligned} \text{СКО} &= \frac{1}{M} \sum_m^M [\langle Y(S_m) \rangle - Y_m]^2 = \\ &= \frac{1}{M} \sum_m^M \left[ \frac{\sum_{k \neq m}^K (Y_k - Y_m) \mu\left(\frac{|S_k - S_m|}{\Delta_K}\right)}{\sum_{k \neq m}^K \mu\left(\frac{|S_k - S_m|}{\Delta_K}\right)} \right]^2, \end{aligned} \quad (2.17)$$

где  $Y_m$  – отсчеты зависимости  $Y_m = Y(S_m)$ , аппроксимируемой по  $K$ -выборкам ( $m = 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, \dots, K; M \geq K$ ).

Применяя к (2.17) неравенство Коши-Буняковского, определим верхнюю границу СКО

$$\text{СКО}^* = \frac{1}{M} \left\{ \sum_m^M \left[ \sum_{k \neq m}^K (Y_k - Y_m)^2 \right] \right\}^{1/2} \left\{ \sum_m^M \left[ \sum_{k \neq m}^K \mu^2 \left( \frac{|S_k - S_m|}{\Delta_K} \right) \right] \right\}^{1/2} \quad (2.18)$$

В качестве верхней оценки суммы  $\left\{ \sum_m^M \left[ \sum_{k \neq m}^K (Y_k - Y_m)^2 \right] \right\}^{1/2}$  в (2.18)

можно взять величину

$$\delta Y^2 K^2 \sqrt{M} = (Y_{\max} - Y_{\min})^2 \sqrt{M}, \quad (2.19)$$

$$\text{где } \delta Y = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{K} \quad (2.20)$$

шаг разбиения шкалы  $Y$  на  $K$  значений.

В качестве верхней оценки суммы  $\left\{ \sum_m^M \left[ \sum_{k \neq m}^K \mu^2 \left( \frac{|S_k - S_m|}{\Delta_K} \right) \right] \right\}^{1/2}$

можно взять величину  $\Delta_K^4 K \sqrt{M} / (\min_{k \neq m} |S_k - S_m|)^4$ .

В этом случае верхняя граница СКО восстановления значений зависимости (2.14) будет определяться выражением

$$\text{СКО}^* = \left[ \Delta_K^4 K (Y_{\max} - Y_{\min})^2 / (\min_{k \neq m} |S_k - S_m|)^4 \right]. \quad (2.21)$$

Отсюда получим верхнюю оценку относительной СКО восстановления значений зависимости (2.14)

$$\overline{\text{СКО}}_{\text{отн}}^* = \frac{\text{СКО}^*}{K \Delta Y^2} = \frac{\Delta_K^4}{(\min_{k \neq m} |S_k - S_m|)^4} \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})^2}{\Delta Y^2}. \quad (2.22)$$

$$\overline{\Delta Y^2} = \frac{1}{(K-1)} \sum_{k=1}^K (Y_k - \bar{Y})^2, \quad \bar{Y} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K Y_k.$$

Определим  $\min_{k \neq m} |S_k - S_m|^2$  как

$$\min_{k \neq m} |S_k - S_m|^2 = \langle \sigma_S^2 \rangle = \frac{\Delta v}{(v_{\max} - v_{\min})} \sum_{v_{\min}}^{v_{\max}} \sigma_S^2(v), \quad (2.23)$$

где  $\sigma_S(v)$  – ошибки в измерениях спектральных значений  $S(v)$  для каждого волнового числа  $v$ , определяющие точность работы спектрометра.

Тогда

$$\text{СКО}^* = \frac{\Delta_K^4}{\langle \sigma_S^2 \rangle^2} K (Y_{\max} - Y_{\min})^2, \text{СКО}_{\text{отн}}^* = \frac{\Delta_K^4}{\langle \sigma_S^2 \rangle^2} \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})^2}{\Delta Y^2}. \quad (2.24)$$

На основании (2.23) минимальное значение  $\Delta_K^2$  оценим как

$$\Delta_{K \min}^2 = \langle \sigma_S^2 \rangle \frac{1}{K \sqrt{K}}. \quad (2.25)$$

При данном значении  $\Delta_K^2$  СКО при определении показателей качества жидкой среды с помощью нечеткой непараметрической регрессионной зависимости (2.14) не будет превышать величину  $\delta Y^2 = \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})^2}{K^2}$ .

Естественно, что нижней границей СКО будет дисперсия  $\sigma_Y^2$  значений показателя качества, связанная с погрешностью лабораторных методов его определения.

Ошибка оценивания для случая произвольных  $\alpha_k \neq 1$ . СКО зависимости (2.15) равна

$$\text{СКО} = \frac{1}{K} \sum_m^K \left[ Y_m - \sum_k^K \alpha_k Y_k \mu \left( \frac{|S_k - S_m|}{\Delta_K} \right) \right]^2. \quad (2.26)$$

Минимизируя СКО (2.16) по  $\alpha_r$ , получим их оптимальные значения

$$\alpha_m = \frac{1}{Z_{mm}} \frac{1 - 2 \sum_{k \neq m}^K \frac{Y_k Z_{mk}}{Y_m Z_{kk}}}{1 - 4 \sum_{k \neq m}^K \sum_{k \neq m}^K \frac{Z_{kn}}{Z_{mm}}},$$

$$\text{где } Z_{kk} = \frac{1}{1 + \sum_{n \neq k}^K \frac{\Delta_K^2}{\Delta_K^2 + |S_k - S_n|^2}},$$

$$Z_{mk} = \frac{1}{1 + \sum_{n \neq m}^K \left[ \frac{\Delta_K^2}{\Delta_K^2 + |S_m - S_n|^2} \right]} \frac{1}{1 + \frac{|S_m - S_k|^2}{\Delta_K^2}}, \quad (2.27)$$

$$\frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} = \frac{1 + \sum_{n \neq k}^K \frac{\Delta_K^2}{\Delta_K^2 + |\mathbf{S}_k - \mathbf{S}_n|^2}}{1 + \sum_{n \neq m}^K \left[ \frac{\Delta_K^2}{\Delta_K^2 + |\mathbf{S}_m - \mathbf{S}_n|^2} \right]} \frac{1}{1 + \frac{|\mathbf{S}_m - \mathbf{S}_k|^2}{\Delta_K^2}} \underset{\Delta_K \rightarrow 0}{\approx} \frac{\Delta_K^2}{|\mathbf{S}_m - \mathbf{S}_k|^2}.$$

Окончательно, на основании (2.17) получим

$$\alpha_m = \left( 1 + \sum_{k \neq m}^K \frac{\Delta_K^2}{|\mathbf{S}_m - \mathbf{S}_k|^2} \right) \frac{\left( 1 - 2 \sum_{k \neq m}^K \frac{Y_k}{Y_m} \frac{\Delta_K^2}{|\mathbf{S}_m - \mathbf{S}_k|^2} \right)}{1 - 4 \sum_{n \neq k}^K \sum_k^K \frac{\Delta_K^4}{|\mathbf{S}_n - \mathbf{S}_k|^4}}. \quad (2.28)$$

Для униполярных значений и близких значений показателей ( $Y_k \approx Y_m$ ) справедливо приближение

$$\alpha_m = 1 - \Delta_K^2 \sum_{k \neq m}^K \frac{1}{|\mathbf{S}_m - \mathbf{S}_k|^2}. \quad (2.29)$$

Тогда, с учетом (2.23), получим

$$\min \text{СКО} (\alpha_{k \neq 1}) = \left[ \Delta_K^4 K^2 \overline{Y^2} / \langle \sigma_S^2 \rangle^2 \right] + \sigma_Y^2, \quad (2.30)$$

$$\frac{\min \text{СКО} (\alpha_{k \neq 1})}{K \overline{Y^2}} = \left[ \Delta_K^4 K \overline{Y}^2 / \overline{Y^2} \langle \sigma_S^2 \rangle^2 \right] + \frac{\sigma_Y^2}{K \overline{Y^2}}.$$

На основании (2.30) минимальное значение  $\Delta_K^2$ , обеспечивающее СКО при определении показателей качества жидких сред на уровне  $\delta Y^2 = \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})^2}{K^2}$ , определяется выражением

$$\Delta_{K \min}^2 = \langle \sigma_S^2 \rangle \frac{1}{K} \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})}{(Y_{\max} + Y_{\min})}. \quad (2.31)$$

В дальнейшем в качестве основной модели нечеткого непараметрического оценивания будем брать модель (2.14) для  $\alpha_k = 1$ .

Тогда для определения показателей качества жидких сред на основе узлов интерполяции, получаемых для всех ее состояний (марок), будем

использовать следующую нечеткую регрессионно-факторную зависимость

$$Y_{\Sigma} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K_m} Y_m(k) G[S(v), S_m(v, k)]}{\sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^{K_m} G[S(v), S_m(v, k)]}, \quad (2.32)$$

$$G[S(v), S_m(v, k)] = 1 / \left[ 1 + \sum_{v_{\min}}^{v_{\max}} \gamma_m(v) \frac{[S(v) - S_m(v, k)]^2}{\Delta_{R \min}^2} \right], \quad (2.33)$$

$$\Delta_{R \min}^2 = \frac{1}{\sqrt{\sum_{m=1}^M K_m}} \frac{\sigma_Y}{(Y_{\max} - Y_{\min})} \langle \sigma_s^2 \rangle = \frac{1}{\sqrt{\sum_{m=1}^M K_m}} \frac{\sigma_Y}{(Y_{\max} - Y_{\min})} \frac{\Delta v}{v_{\max} - v_{\min}} \sum_{v_{\min}}^{v_{\max}} \sigma_S^2(v),$$

где  $\sum_{m=1}^M K_m$  – количество узлов интерполяции, определяемых количеством  $K_m$

эталонных образцов жидких сред для каждой  $m$ -ой марки;  $\sigma_Y$  – ошибка (стандартное отклонение) лабораторного измерения показателя качества  $Y$ ;  $Y_{\min}$  и  $Y_{\max}$  – его минимальное и максимальное значения соответственно;  $\Delta v$  – спектральное разрешение;  $\langle \sigma_s^2 \rangle$  – усредненная по используемому спектральному диапазону  $(v_{\min}, v_{\max})$  дисперсия спектра оптической плотности, определяемая точностью измерений оптических плотностей для различных волновых чисел  $v$ ;  $\gamma_m(v)$  – функция, определяющая значимости используемых волновых чисел в диапазоне  $v_{\min} \div v_{\max}$  и используемая для режекторной фильтрации аппаратных помех спектрометра.

Приведенные меры сходства не являются единственными возможными, т.к. существует целый класс мер сходств применимых для данной задачи [40].

## 2.5. Меры сравнения инфракрасных спектров

Как уже было упомянуто ранее, идентификация макросостояния нефтепродуктов производится с помощью расчёта мер сходства неизвестного и опорного векторов.

В зависимости от сравниваемых ИК-спектров необходимо провести выбор наилучшей меры сходства. Рассмотренные меры сходства, возможно использовать для сравнения различных ИК-спектров.

Будем описывать технологический процесс с помощью неизвестного  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, x_N\}$  и опорного  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n, \dots, s_N\}$  векторов состояний, заданных в  $N$ -мерном пространстве.

Рассмотрим пример различения шестимерных опорных  $S$  векторов состояний, хранящихся в базе данных, из шести различных опорных векторов состояний технологического процесса с помощью меры сходства [27 – 29, 90]

$$\mu(X, S_r) = X^+X / (X - S_r)^+(X - S_r) = [\sum_{n=1}^N x_n^2 / \langle h_n^2 \rangle] / [\sum_{n=1}^N (x_n - s_{rn})^2 / \langle h_n^2 \rangle], \quad (2.34)$$

где  $h_n$  – ошибка задания векторов.

Список опорных векторов представлен в таблице 2.2. Векторы заданы с вариацией (см. рисунок 2.5) в 13%, т.е.

$$Var = [\sum_{r=1}^R (S_r - \langle S \rangle)^+(S_r - \langle S \rangle)]^{1/2} / [\langle S \rangle^+ \langle S \rangle]^{1/2} = 0,13. \quad (2.35)$$

Таблица 2.2 – Список опорных векторов

Состояния	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$
$S_1$	19,00	10,00	5,00	20,00	7,00	15,00
$S_2$	17,00	13,00	9,00	18,00	11,00	13,00
$S_3$	16,00	14,00	3,00	21,00	6,00	16,00
$S_4$	20,00	9,00	7,00	22,00	8,00	11,00
$S_5$	19,00	11,00	5,00	17,00	11,00	15,00
$S_6$	21,00	11,00	6,00	19,00	8,00	13,00
$\langle s_n \rangle$	18,67	11,33	5,83	19,50	8,50	13,83

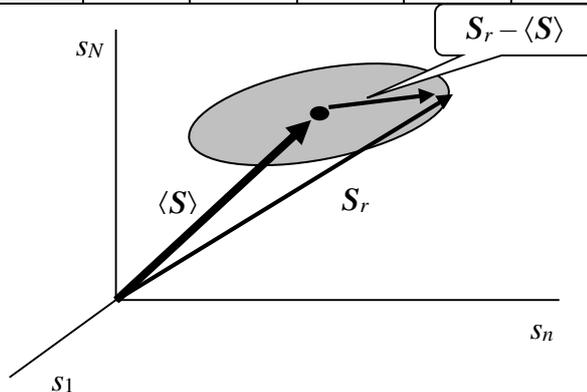


Рисунок 2.5 – Вариация опорных векторов

Зададим сначала компоненты всех опорных векторов состояний с 5%-й ошибкой, т.е.  $h_n = \pm 0,05 s_n$  для  $\forall n$ . Список ошибок задания опорных векторов представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Компоненты всех опорных векторов состояний с 5%-й ошибкой

Помехи	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$
$H_1$	0,95	0,50	0,25	1,00	0,35	0,75
$H_2$	0,85	0,65	0,45	0,90	0,55	0,65
$H_3$	0,80	0,70	0,15	1,05	0,30	0,80
$H_4$	1,00	0,45	0,35	1,10	0,40	0,55
$H_5$	0,95	0,55	0,25	0,85	0,55	0,75
$H_6$	1,05	0,55	0,30	0,95	0,40	0,65
$\langle h^2_n \rangle$	0,88	0,33	0,09	0,96	0,19	0,49
$\langle h^2_n \rangle^{1/2}$	0,94	0,57	0,31	0,98	0,44	0,70

Значения мер сходства  $\mu(S_{r'}, S_r)$  для всех опорных векторов состояний, вычисленные по формуле (2.34), представлены в таблице 2.4.

Из таблицы 2.4 видно, что меры сходства  $\mu(S_r, S_r) = 400,00$  опорных векторов самих с собой значительно превышают меры сходства  $\mu(S_{r'}, S_r)$  разных опорных векторов ( $r' \neq r$ ). Действительно,  $\max \{ \mu(S_{r'}, S_r) \} = 70,73$ .

Отношение сигнал/помеха

$$C/P = S_r + S_r / H + H \quad (2.36)$$

при этом  $C/P = \mu(S_r, S_r) = 400$ .

Таблица 2.4 – Меры сходства для всех опорных векторов состояний

Меры сходства $\mu(S_{r'}, S_r)$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$
$S_1$	400,00	8,25	17,59	21,20	10,38	46,32
$S_2$	7,76	400,00	4,02	8,32	13,35	15,08
$S_3$	17,86	4,84	400,00	6,28	9,31	10,58
$S_4$	23,77	13,41	6,12	400,00	13,36	46,80
$S_5$	23,42	12,47	9,26	13,64	400,00	29,69
$S_6$	70,73	13,36	10,64	46,82	26,74	400,00

Увеличим уровень помех до 10%, т.е.  $h_n = \pm 0,1 s_n$ , как показано в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Компоненты всех опорных векторов состояний с 10%-й ошибкой

Помехи	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$h_5$	$h_6$
$H_1$	1,90	1,00	0,50	2,00	0,70	1,50
$H_2$	1,70	1,30	0,90	1,80	1,10	1,30
$H_3$	1,60	1,40	0,30	2,10	0,60	1,60
$H_4$	2,00	0,90	0,70	2,20	0,80	1,10
$H_5$	1,90	1,10	0,50	1,70	1,10	1,50
$H_6$	2,10	1,10	0,60	1,90	0,80	1,30
$\langle h^2_n \rangle$	3,51	1,31	0,38	3,83	0,76	1,94
$\langle h^2_n \rangle^{1/2}$	1,87	1,15	0,61	1,96	0,87	1,39

Тогда получим значения мер сходства, представленные в таблице 2.6.

Как видно из таблицы 2.6, опорные векторы состояний по-прежнему уверенно различаются на фоне помех:  $C/P = \mu(S_r, S_r) = 100$ .

Таблица 2.6 – Меры сходства для всех опорных векторов состояний при 10%-м уровне помех

Меры сходства $\mu(S_r', S_r)$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$
$S_1$	100,00	6,73	14,74	16,45	8,31	29,40
$S_2$	8,23	100,00	4,02	8,13	13,42	16,08
$S_3$	5,35	4,21	100,00	5,63	7,97	9,12
$S_4$	1,24	10,34	5,71	100,00	11,31	33,59
$S_5$	2,35	9,94	8,76	12,28	100,00	25,04
$S_6$	6,16	10,31	9,77	33,62	20,35	100,00

В таблице 2.7 приведена зависимость отношения сигнал/помеха ( $C/P$ ) и процента различаемых опорных состояний (% ошибки) от уровня относительных помех  $h/s$  их компонентов.

Таблица 2.7 – Зависимость отношения сигнал/помеха и процента различаемых опорных состояний от уровня относительных помех их компонентов

<b>Уровень относительных помех (<math>h/s</math>) компонентов, %</b>	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Отношение сигнал/помеха (<math>C/P</math>)</b>	400	278	204	156	123	100	83	69
<b>Различаемые опорные состояния, % ошибки</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Уровень относительных помех (<math>h/s</math>) компонентов, %</b>	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Отношение сигнал/помеха (<math>C/P</math>)</b>	59	51	44	39	35	30	28	25
<b>Различаемые опорные состояния, % ошибки</b>	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Уровень относительных помех (<math>h/s</math>) компонентов, %</b>	21	22	23	24	25	26	27	28
<b>Отношение сигнал/помеха (<math>C/P</math>)</b>	23	21	19	17	16	15	14	13
<b>Различаемые опорные состояния, % ошибки</b>	3	3	3	3	3	3	3	100

Для наглядности зависимость процента различаемых опорных состояний от уровня относительных помех их компонентов приведена на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Зависимость процента различаемых опорных состояний от уровня относительных помех их компонентов

Отметим, что 3%-й уровень ошибок различения относится лишь к

данному числу опорных векторов – при его увеличении число ошибок будет также увеличиваться. Важно лишь то, что для 100%-го безошибочного различения состояний критический уровень помех соответствует значению  $h/s = 12\%$ . Это полностью согласуется с тем, что рассеяние опорных векторов задано со значением в 13%.

Применение различных мер сравнения состояний даёт возможность выбирать оптимальные варианты при сравнении ИК-спектров.

## 2.6. Выводы к главе II

Во второй главе предложена методика построения ЭНС для автоматизированной системы контроля качества управления технологическим процессом в нефтеперерабатывающей промышленности. Также представлена функциональная схема автоматизации с внедрением ЭНС системы фракционирования автомобильного бензина.

Разработана обобщенная структура интегрированной ЭНС с описанием входящих в нее модулей. Показано, что структура БЗ содержит в себе две модели: модель идентификации макросостояний нефтепродуктов, включающей в себя выбор ближайших соседей в многомерном пространстве спектральных характеристик с использованием мер сходства; модель идентификации микросостояний, включающей в себя непараметрическое оценивание.

Объединение экспертной системы и нейросети в одну ЭНС даёт синергетический эффект при идентификации больших данных, например, оптических спектральных данных: снижает их размерность до размерности, определяемой небольшим числом классов; повышает правдоподобие классификации.

## ГЛАВА III. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНО-НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ

### 3.1. Методика работы экспертно-нейросетевой системы

В данной главе рассматривается применение разработанной экспертно-нейросетевой системы для идентификации больших данных на конкретном примере.

Рассмотрим спектральные данные, а именно инфракрасные (ИК) спектры оптического поглощения таких важных нефтепродуктов, как автомобильные бензины, полученные с применением ИК Фурье-спектрометра. ИК-спектры, характерные для автомобильных бензинов разных марок с разным октановым числом. Все спектры снимались в полосе пространственных частот (волновых чисел) среднего ИК-диапазона ( $450 - 4000$ )  $\text{см}^{-1}$ , с разрешением  $0,964 \text{ см}^{-1}$  отечественным спектрометром АФ-3. Каждый из таких спектров содержит около 4000 отсчетов, что вполне может интерпретироваться как «большие данные».



Рисунок 3.1 – ИК-спектры автомобильных бензинов

Для наглядности на рисунке 3.1 приведено четыре ИК-спектра оптического поглощения (отн. ед.) различных марок автомобильных бензинов в диапазоне пространственных частот ( $450 - 4000$ )  $\text{см}^{-1}$ . Диаграмма показывает сложность идентификации различных ИК-спектров из-за почти полного перекрытия их характеристических полос поглощения.

ЭНС для идентификации марок автомобильных бензинов рассматривается с применением электронной таблицы.

Работа системы состоит из последовательности операций.

1. Определяется количество известных образцов, исходя из требуемой точности оценивания значений физико-химических показателей.

2. Измеряются спектры оптических плотностей известных образцов при различных условиях производства, обеспечивающих равномерное заполнение диапазонов значений их физико-химических показателей в максимальных границах, ГОСТИрованных для каждой марки автомобильного бензина.

3. Производится режекторная фильтрация спектров известных образцов каждой марки автомобильного бензина. Полученные спектральные данные и соответствующие им физико-химические показатели заносятся в базу данных экспертной системы.

4. Измеряется ИК-спектр неизвестного образца марки автомобильного бензина и производится его режекторная фильтрация. Отфильтрованный спектр поступает в машину логического вывода, где проводится предварительная классификация автомобильного бензина неизвестной марки методом «ближайшего соседа» на основе нечетких мер сходства, оцениваются его физико-химические показатели и формируются редуцированные данные – вектор принадлежности больших данных к классам (кластерам), который подается далее на вход нейронной сети.

5. Сжатые данные в виде вектора принадлежности больших данных к классам поступают на вход нейронной сети результатом работы которой является повышение правдоподобия классификации.

### **3.2. Пошаговое описание работы экспертно-нейросетевой системы**

Итак, рассмотрим работу системы на каждом шаге.

*Шаг 1.* Для определения количества известных образцов будем использовать результаты исследования, приведенного в работах [17, 40].

Пусть необходимо оценить октановое число проверяемого бензина при наличии известных образцов 4-х марок бензинов ( $M = 4$ ) с октановыми числами 82, 92, 95 и 98. Рассмотрим максимальное октановое число  $Y_{\max} = 100$ , а минимальное  $Y_{\min} = 80$ . Будем считать, что количество известных образцов в

каждой марке одинаково, т.е.  $K_{82} = K_{92} = K_{95} = K_{98} = K$ .

Определим ошибку  $\delta Y$  оценивания октанового числа  $Y$  как

$$\delta Y = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{\sum_{m=1}^M K_m} = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{MK} = \frac{20}{4K} = \frac{5}{K}.$$

Тогда для оценивания октанового числа  $Y$  с точностью  $\delta Y = 0.5$ , что соответствует  $\delta Y / Y \simeq 0,6\%$ , необходимо выбрать  $K = 10$  известных образцов в каждой марке бензина.

Для оценивания октанового числа с максимальной требуемой в промышленности точностью ( $\leq 0,1$  единицы октанового числа), например  $\delta Y = 0,1$ , необходимо выбрать  $K = 50$ .

Следовательно, в базу данных экспертной системы заносятся ИК-спектры не менее 50 образцов каждой из 4-х марок бензинов.

*Шаг 2.* Необходимо обеспечить равномерное заполнение диапазонов значений показателей октановых чисел, т.к. в противном случае увеличивается ошибка представления.

В качестве примера возьмем различные наборы измеренных значений  $Y_{95}(k)$  октановых чисел бензина марки 95 и соответствующие им спектральные значения  $S_{95}(k)$  оптических плотностей ( $k = 1, 2, \dots, 7$ ) для одного волнового числа, как показано в таблице 3.1 [17].

Эталонные (истинные) значения оптических плотностей известных образцов составляют величины 0,20; 0,25; 0,32; 0,34; 0,37; 0,45; 0,70.

Вычислим абсолютные и относительные ошибки представления. Для этого представим произвольный измеренный спектр  $S_m(\nu)$  нефтепродукта  $m$ -й марки в виде вириального ряда по степеням параметра  $q_m = Y_m - \overline{Y}_m$

$$S_m(\nu) = A_m(\nu) + q_m * B_m(\nu) + q_m^2 C_m(\nu) + q_m^3 * D_m(\nu) + H_m(\nu), \quad (3.1)$$

$$\overline{Y}_m = \frac{1}{K_m} \sum_{k=1}^{K_m} Y_m(k),$$

где  $A_m(\nu), B_m(\nu), C_m(\nu), D_m(\nu)$  – неизвестные детерминированные спектральные функции;  $H_m(\nu)$  – неизвестные случайные спектральные функции, определяемые как точностью представления (3.1), так и точностью измерения спектра  $S_m(\nu)$ .

Частный случай (3.1) выражается как

$$S_m(\nu) = Y_m B_m(\nu), \quad (3.2)$$

что соответствует, по закону Ламберта-Бера, зависимости оптической плотности образца от концентрации  $Y_m$  сильно разбавленного вещества, его молярной экстинкции  $\epsilon_m(\nu) = B_m(\nu)/L$  и оптического пути  $L$  [16].

Таблица 3.1

	Октановое число	Спектр плотности	Октановое число	Спектр плотности	Октановое число	Спектр плотности
№набора	1		2		3	
№п/п	$Y$	$S$	$Y$	$S$	$Y$	$S$
1	93,50	0,20	93,50	0,20		
2					94,00	0,25
3	94,50	0,32	94,50	0,32	94,50	0,32
4						
5	95,50	0,37	95,50	0,37	95,50	0,30
6			96,00	0,45	96,00	0,25
7	96,50	0,70	96,50	0,70	96,50	0,20
Средние значения	95,00	0,40	95,20	0,41	95,30	0,42
ОШ <sub>95</sub>	0,003	0,337%	0,016	2,774%	0,036	16,869%

Для общего случая зависимости (3.1) необходимо найти неизвестные детерминированные спектральные функции  $A_m(\nu)$ ,  $B_m(\nu)$ ,  $C_m(\nu)$ ,  $D_m(\nu)$ . Для этого подставим в (3.1) известные значения  $Y_m(k)$  и соответствующие им  $S_m(\nu, k)$ :

$$S_m(\nu, k) = A_m(\nu) + q_m(k) * B_m(\nu) + q_m^2(k) C_m(\nu) + q_m^3(k) * D_m(\nu) + H_m(\nu, k), \quad (3.3)$$

$$q_m(k) = Y_m(k) - \overline{Y_m} = Y_m(k) - \frac{1}{K_m} \sum_{k=1}^{K_m} Y_m(k).$$

Средняя ошибка представления (3.3) есть

$$\begin{aligned} \text{ОШ}_m(\nu) &= \frac{1}{K_m} \sum_{k=1}^{K_m} H_m^2(\nu, k) = & (3.4) \\ &= \frac{1}{K_m} \sum_{k=1}^{K_m} [S_m(\nu, k) - A_m(\nu) - q_m(k)B_m(\nu) - q_m^2(k)C_m(\nu) - q_m^3(k) * D_m(\nu)]^2. \end{aligned}$$

Оценки  $A_m(\nu), B_m(\nu), C_m(\nu), D_m(\nu)$  неизвестных детерминированных спектральных функций находятся путем минимизации вариации  $\delta \text{ОШ}_m(\nu)$  выражения (3.4) по вариациям  $\delta A_m(\nu), \delta B_m(\nu), \delta C_m(\nu), \delta D_m(\nu)$  детерминированных спектральных функций.

Из таблицы 3.1 видно, что при равномерном заполнении диапазона значений (набор 1) абсолютные и относительные ошибки представления малы и составляют 0,0030 и 0,0337% соответственно. При неравномерном заполнении диапазона значений (набор 2) и, тем более, при уменьшении разброса значений (набор 3) абсолютные и относительные ошибки представления возрастают и составляют 0,016 (2,774%) и 0,036 (16,869%) соответственно.

Отчетливо видно преимущество равномерного заполнения диапазона значений показателей октановых чисел при их максимально возможном разбросе.

*Шаг 3.* Прежде чем провести предварительную классификацию углеводородного соединения методом «ближайшего соседа», необходимо подготовить спектральные данные известных (эталонных) образцов, а именно провести режекторную фильтрацию.

Режекторная фильтрация необходима, т.к. она позволяет избавиться от лишних спектральных данных, снижающих достоверность полученных результатов.

В качестве режекторного фильтра могут выступать следующие.

1) Фильтр диапазонов, отвечающий нестабильной работе конкретного прибора. В [16, 40] показано, что информацию об устойчивости работы спектрометра к внешним условиям и шумам, возникающим в измерительном тракте, можно получить, измерив несколько раз какой-либо статический

тестовый образец и рассчитав возникающие ошибки.

В качестве такого тестового образца рассматривается пленка полистирола. На рисунках 3.2 и 3.3 приведены спектры оптической плотности полистирола и соответствующие им дисперсии ошибок измерений, снятые на переносном ПФС-1 (ООО «Интелкомтех») и стационарном АФ-1 (НТЦ УП РАН) спектрометрах соответственно.

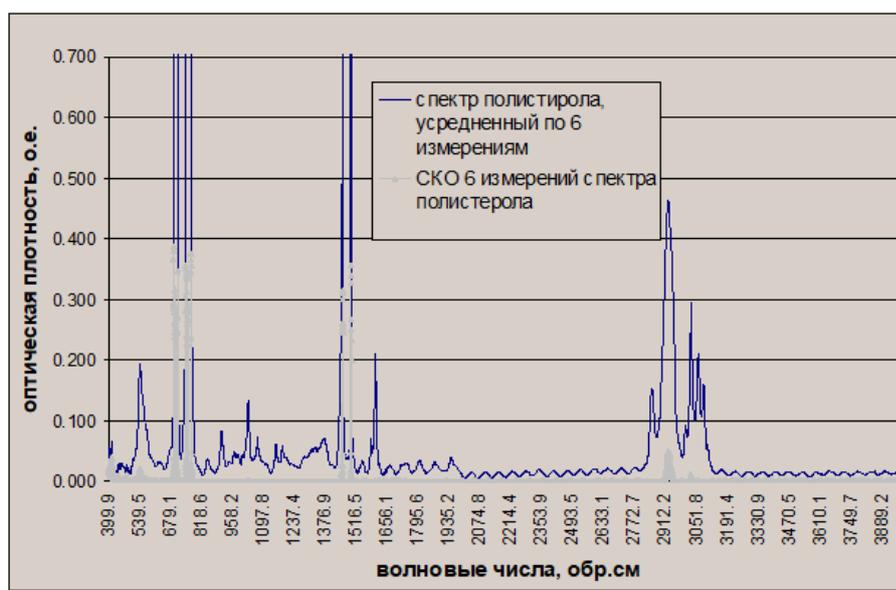


Рисунок 3.2 – График оптической плотности полистирола и среднее квадратическое отклонение, измеренные по 6 образцам на ПФС-1

Из полученных данных видно, что при работе с ПФС-1 можно использовать значения спектрального диапазона  $400...4000\text{ см}^{-1}$ , за исключением интервалов, содержащие нестационарные данные ( $\text{см}^{-1}$ ):  $692,0...695,0$ ;  $702,0...703,0$ ;  $707,3...707,7$ ;  $746,0...750,0$ ;  $752,6...757,0$ ;  $769,0...770,0$ ;  $1490,0...1492,0$ .

При работе на АФ-1 можно использовать для анализа весь спектральный диапазон  $400...4000\text{ см}^{-1}$ .

Различие в получаемых воспроизводимых интервалах измерений вызваны спектральными разрешениями и отношениями сигнал/шум для рассматриваемых приборов. Естественно, что в стационарном спектрометре АФ-1 эти параметры в 2 раза лучше, чем в переносном спектрометре ПФС-1.

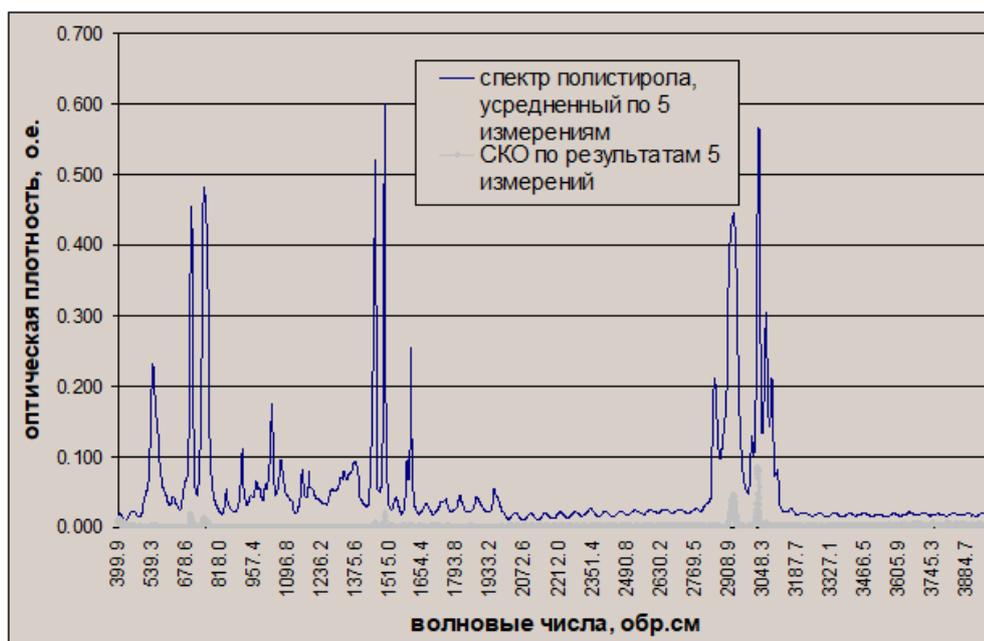


Рисунок 3.3 – График оптической плотности полистирола и среднее квадратичное отклонение, измеренные по 5 образцам на АФ-1

2) Фильтр диапазонов, отвечающий за поглощение паров воды. На рисунке 3.4 видно, что в исходном спектре с помощью режекторной фильтрации в районе  $1500\text{ см}^{-1}$  была вырезана полоса частот, соответствующая данному поглощению.



Рисунок 3.4 – Пример работы фильтра частот, соответствующих поглощению паров воды

3) Фильтр частот, соответствующих поглощению бензола. И другие.

Для хранения спектров оптических плотностей известных образцов и соответствующих им значений физико-химических показателей (октановых чисел) используется база данных экспертной системы (рисунки 3.5 и 3.6).

ОПТИЧЕСКИЕ ПЛОТНОСТИ		1	2	3	4	5	6	7	8	...	50
451,26	→	0,158655	0,113625	0,115958	0,097177	0,101908	0,193963	0,101908	0,128337	...	0,136140
452,23	ОБР СМ	0,165561	0,113485	0,114992	0,100215	0,103480	0,197317	0,103480	0,126621	...	0,139523
453,19		0,171740	0,111947	0,111956	0,105251	0,106729	0,204418	0,106729	0,120087	...	0,141844
454,15		0,176337	0,110163	0,108073	0,112466	0,112863	0,214034	0,112863	0,114875	...	0,143250
455,12	Шаг	0,180461	0,111187	0,107102	0,122895	0,123510	0,224878	0,123510	0,118382	...	0,145824
456,08	0,964	0,187426	0,119068	0,113953	0,138477	0,140312	0,237695	0,140312	0,135957	...	0,153247
457,05		0,201827	0,137773	0,132951	0,161889	0,164980	0,255839	0,164980	0,168862	...	0,169800
458,01	95_премиум	0,228417	0,170611	0,166975	0,196447	0,199862	0,283987	0,199862	0,214412	...	0,199514
458,98		0,271714	0,220280	0,217894	0,246116	0,248547	0,326448	0,248547	0,269159	...	0,245997
459,94		0,336408	0,289411	0,287871	0,315404	0,315699	0,386813	0,315699	0,332883	...	0,312910
460,90		0,427166	0,380535	0,379683	0,408183	0,405243	0,467890	0,405243	0,407995	...	0,403851
461,87		0,544722	0,492980	0,493070	0,522861	0,515043	0,567704	0,515043	0,491890	...	0,518851
462,83		0,673668	0,612971	0,613439	0,639691	0,625000	0,668077	0,625000	0,565956	...	0,643320
463,80		0,764306	0,699014	0,695923	0,706833	0,686533	0,724898	0,686533	0,595572	...	0,731660
464,76		0,755277	0,698365	0,686312	0,674648	0,656484	0,698658	0,656484	0,559286	...	0,726821
465,73		0,657101	0,614164	0,594057	0,566885	0,557166	0,608202	0,557166	0,474945	...	0,635633
466,69		0,534066	0,500352	0,477376	0,444006	0,442778	0,503248	0,442778	0,377806	...	0,517209
467,65		0,426792	0,396331	0,374327	0,340182	0,344972	0,414290	0,344972	0,292708	...	0,411562
468,62		0,346305	0,315213	0,295794	0,264106	0,272537	0,349570	0,272537	0,229737	...	0,330759
469,58		0,290762	0,257330	0,240605	0,213477	0,224003	0,306456	0,224003	0,188933	...	0,274046
470,55		0,254743	0,218899	0,204171	0,182516	0,194520	0,279036	0,194520	0,165427	...	0,236821
471,51		0,233100	0,195635	0,181996	0,165245	0,178808	0,261854	0,178808	0,153487	...	0,214368
472,47		0,222066	0,183967	0,170794	0,156847	0,172266	0,251072	0,172266	0,148671	...	0,203017
473,44		0,218754	0,180816	0,168046	0,153879	0,171213	0,244248	0,171213	0,148111	...	0,199785
474,40		0,220341	0,182976	0,171025	0,153953	0,172869	0,239982	0,172869	0,149941	...	0,201659
475,37		0,224079	0,187312	0,176692	0,155529	0,175442	0,237852	0,175442	0,152996	...	0,205696

Рисунок 3.5 – Пример хранения ИК-спектров в базе данных экспертной системы

БД (Октановые числа бензинов)		Октановые числа																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	...	50
80_нормаль		82,6	82,0	82,0	82,4	86,5	80,0	83,3	81,2	84,5	83,0	81,0	84,3	82,8	82,2	81,5	83,6	...	81,0
92_регуляр		93,0	93,1	93,3	93,5	93,7	93,6	92,0	92,0	92,8	92,8	92,8	92,5	92,9	92,9	92,6	93,7	...	93,1
95_премиум		95,6	95,0	95,0	95,1	96,5	96,2	96,5	96,2	95,0	95,0	95,0	95,6	95,6	95,4	95,8	95,8	...	96,4
98_супер		98,5	98,3	98,1	98,5	98,0	98,2	98,2	98,6	98,1	98,0	98,3	98,1	98,4	98,5	98,0	98,2	...	98,0

Рисунок 3.6 – Пример хранения значений октановых чисел в базе данных экспертной системы

Шаг 4. Измеряется ИК-спектр неизвестного образца марки автомобильного бензина и производится его режекторная фильтрация. Отфильтрованный спектр поступает в МЛВ, где проводится предварительная классификация автомобильного бензина неизвестной марки методом «ближайшего соседа».

Для достижения этой цели рассчитывают меры сходства  $SM(BD, BD_{k,m})$  неизвестного вектора  $BD$  со всеми векторами  $BD_{k,m}$  ( $k$ -ми представителями  $m$ -х классов):  $0 \leq SM \leq 1$ .  $SM(BD, BD_{k,m})$  вычисляется как некоторая  $2n$ -я степень косинуса угла между этими векторами:

$$SM(BD, BD_{k,m}) = \cos^{2n} \varphi(BD, BD_{k,m}), \quad n = 20.$$

Идентификация макросостояния (т.е. определение класса, к которому относится ИК-спектр неизвестного автомобильного бензина) производится с помощью расчета мер сходства неизвестного вектора  $BD$  и опорного вектора  $BD_{k,m}$ , представляющего  $k$ -й экземпляр (в нашем случае 50 экземпляров)  $m$ -го класса (в нашем случае 6 классов), вычисленная как некоторая  $2n$ -я степень косинуса угла между этими векторами. Так, например, классификация по методу ближайшего соседа осуществляется путем отнесения анализируемых данных к определенному классу, для которого мера сходства будет принимать наибольшую величину.

Идентификации микросостояний, т.е. оценивание значений физико-химических показателей (октановых чисел) автомобильных бензинов осуществляется с помощью нечеткого регрессионно-факторного анализа, в котором значение октанового числа, соответствующего  $m$ -му классу, вычисляется на основе их известных значений, хранящиеся в модуле базы данных.

Используются классы автомобильных бензинов различных марок. Меры сходства содержатся в базе знаний и могут быть выбраны исходя из предпочтений эксперта.

Среди полученных мер сходства для каждого класса бензина выбирается её максимальное значение. Результаты вычислений в виде вектор принадлежности больших данных к классам (кластерам)  $MAX[SM]$  выводятся машиной вывода.

Видно, что неизвестный многомерный вектор (4000 отсчетов) приводится к шестимерному вектору. В случае показанном на рисунке 3.7 это вектор  $MAX[SM] = (0,443; 1,000; 0,668; 0,156; 0,000; 0,000)^T$ .

Таким образом, осуществилось значительное сжатие информации, а также указание на то, что неизвестный вектор наиболее близок к классу АИ-92 [26, 82, 83].

БЗ (НЕЧЕТКИЕ РЕЗОНАНСНЫЕ МЕРЫ СХОДСТВА СПЕКТРА НЕИЗВЕСТНОГО УВС С ЭТАЛОННЫМИ СПЕКТРАМИ)											Интегрированная нейросеть "А1"			
Параметры мер сходства		Регуляризации				Резонансности				N = 40				
Меры сходства		макс	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	49
Отклики нейронов														
80_нормаль	0,443	0,30136	0,04909	0,24545	0,09506	0,43583	0,43314	0,26341	0,11173	0,44291	0,18735	...	0,10220	
92_регуляр	1,000	0,70868	0,27289	0,00108	0,08018	0,66969	0,99997	0,59398	0,67365	0,30483	0,34623	...	0,43861	
95_премиум	0,668	0,49944	0,35579	0,31861	0,36548	0,53468	0,66843	0,22329	0,31193	0,52956	0,39336	...	0,45528	
98_супер	0,156	0,13861	0,08586	0,14281	0,04982	0,12081	0,12866	0,14466	0,15559	0,10369	0,14789	...	0,12433	
Бензол	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	...	0,00000	
Толуол	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	...	0,00000	
На вход нейронной сети (НС)														
МВ (МАШИНА ВЫВОДА)														
макс(макс)		1,00					ЭС				НС		3-х Сл НС	
Результат идентификации		Марка УВС				92_регуляр				92_регуляр		92_регуляр!!!		
		Октановое число				92,2				93,1		93,0		
		Относительное содержание бензол				28%								
		Относительное содержание толуол				15%								

Рисунок 3.7 – Предварительная классификация углеводородного соединения методом «ближайшего соседа»

Также на этом этапе производится оценка физико-химических показателей (октанового числа) неизвестного спектра автомобильного бензина. Оценивание происходит с применением метода ядерного сглаживания Надарая-Ватсона или нечеткого регрессионно-факторного анализа, в котором значение октанового числа  $RI_m$ , соответствующее  $m$ -му классу, вычисляется на основе их известных значений  $RI_{k,m}$ , хранящиеся в модуле БД, а также рассмотренных в параграфе 2.5 мер сходства  $SM(BD, BD_{k,m})$  [8, 9]:

$$RI_m = \sum_k^K RI_{k,m} SM(BD, BD_{k,m}) / \sum_k^K SM(BD, BD_{k,m}). \quad (3.5)$$

В (3.5) значения  $SM(BD, BD_{k,m}) / \sum_k^K SM(BD, BD_{k,m})$ , вычисленные для каждого  $k$  и  $m$ , являются непараметрическими ядерными оценками нечетких степеней подобия векторов  $BD$  и  $BD_{k,m}$  [13].

Как видно из рисунка 3.7 в результате применения алгоритма, реализованного по формуле (3.5), мы оценили значение показателя октанового числа неизвестного образца равным 92,2.

*Шаг 5.* Этот шаг функционирования ЭНС относится к работе нейронной сети.

Применение нейронной сети позволит повысить правдоподобие классификации. Главное здесь заключается в том, что входное пространство нейронных сетей имеет малую размерность. В нашем случае входными данными для нейронной сети является шестимерный вектор принадлежности больших данных к классам (кластерам)  $MAX[SM]$ .

Фрагмент структуры топологии модуля трехслойной нейронной сети прямого распространения, реализованной в среде табличного процессора, показан на рисунке 3.8 [13].

Модуль рассчитан на работу с 6 классами (АИ-80, АИ-92, АИ-95, АИ-98, бензол, толуол). В синаптических блоках первого слоя регистрируются различные входные сигналы сети, соответствующие полю  $MAX_k[SM]$ , при последовательном предъявлении центроидов экспертной системы каждого из классов. В синаптических блоках последующих слоев записываются отклики нейронов предыдущих слоев.

На выходе модуля трехслойной нейронной сети формируются сигналы-индикаторы принадлежности исследуемых спектральных данных к соответствующему классу. Модуль трехслойной нейронной сети обладает высокой устойчивостью к аддитивным входным помехам [13].

Многочисленные эксперименты показали, что однослойная нейронная сеть и многослойная нейронная сеть центроидов классов классифицируют неизвестные ИК-спектры с высокой степенью правдоподобия. Так, например, при подаче на вход интегрированной ЭНС неизвестного оптического спектра однослойная нейронная сеть и многослойная нейронная сеть центроидов классов классифицируют его как ИК-спектр автомобильного бензина АИ-92 с вероятностью 99% и 100% соответственно (см. рисунок 3.8). Это говорит о том, что для многих задач идентификации больших данных вполне достаточно использования интегрированных экспертных систем и однослойных нейронных сетей [25, 31, 79, 80, 87, 88].



элементов. Входной слой формирует входные сигналы, распространяемые на коннекторы (синапсы) первого слоя. Все нечетные слои состоят из коннекторов (синапсов), а четные – из переключателей (нейронов). Количество синапсов и нейронов в каждом слое соответствует количеству эталонных сигналов – векторов обучающей выборки. На рисунке 3.8 показан пример уже обученной сети, в которой регистр памяти каждого разъема первого слоя содержит соответствующий опорный вектор обучающей выборки. Первый опорный сигнал без помех подается на входной слой. Таким образом, каждый четный уровень сети безошибочно, с мерой подобия 1, идентифицирует входной сигнал как сигнал 1.

Принцип обучения нейронной сети заключается в том, что каждый регистр памяти синапса нечетного слоя, начиная с третьего, записывает отклики всех нейронов-переключателей предыдущих слоев на эталонные сигналы, последовательно подаваемые на вход сети в процессе обучения. Реакция каждого нейрона любого слоя на входной сигнал – вектор  $Z$  на входе предыдущего синаптического коннектора – формируется как нечетная степень косинуса угла между входным вектором  $Z$  и вектором  $X$ , хранящегося в регистре коннектора:  $\mu(Z, X) = \cos^{2n+1}(Z, X)$ . В приведенном выше примере  $n = 20$ , что обеспечивает сильную нелинейность – резонансный отклик нейрона-коммутатора на входной сигнал.

Рассмотрим более подробно итерационный процесс обучения сети. На первом этапе обучения сети каждый сигнал эталонной обучающей выборки записывается в регистр памяти соответствующего синапса-коннектора первого слоя сети, как показано на рисунке 3.9.

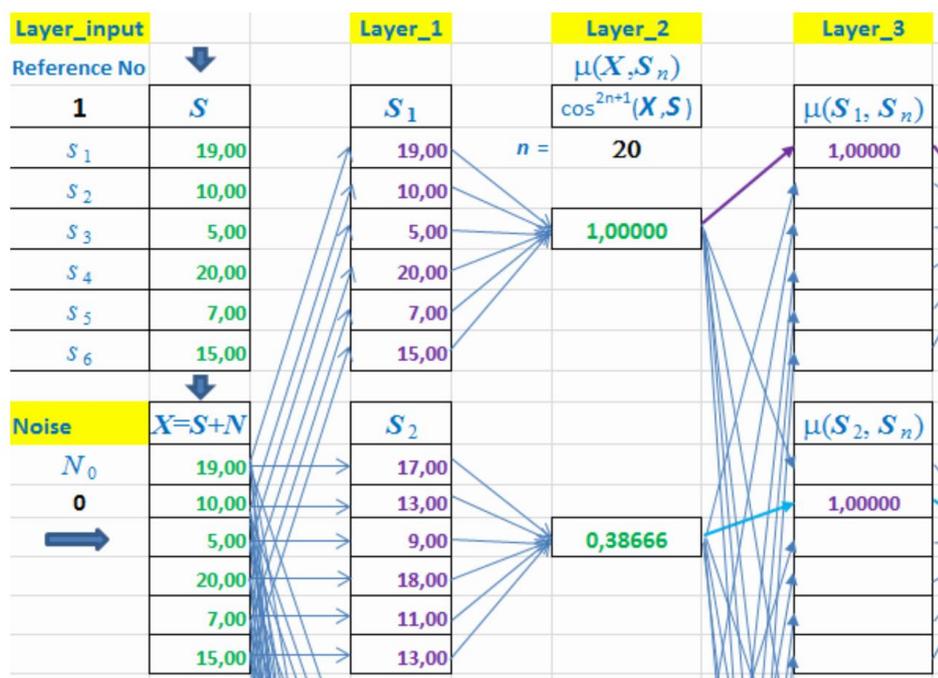


Рисунок 3.9 – Первый этап обучения сети

На втором этапе обучения сети (рисунок 3.10) все опорные сигналы обучающей выборки последовательно подаются на входной слой сети, и для каждого опорного сигнала (на рисунке 3.10 – сигнал 1) отклики всех свитч-нейронов второго слоя записываются в регистры коннектора третьего слоя.

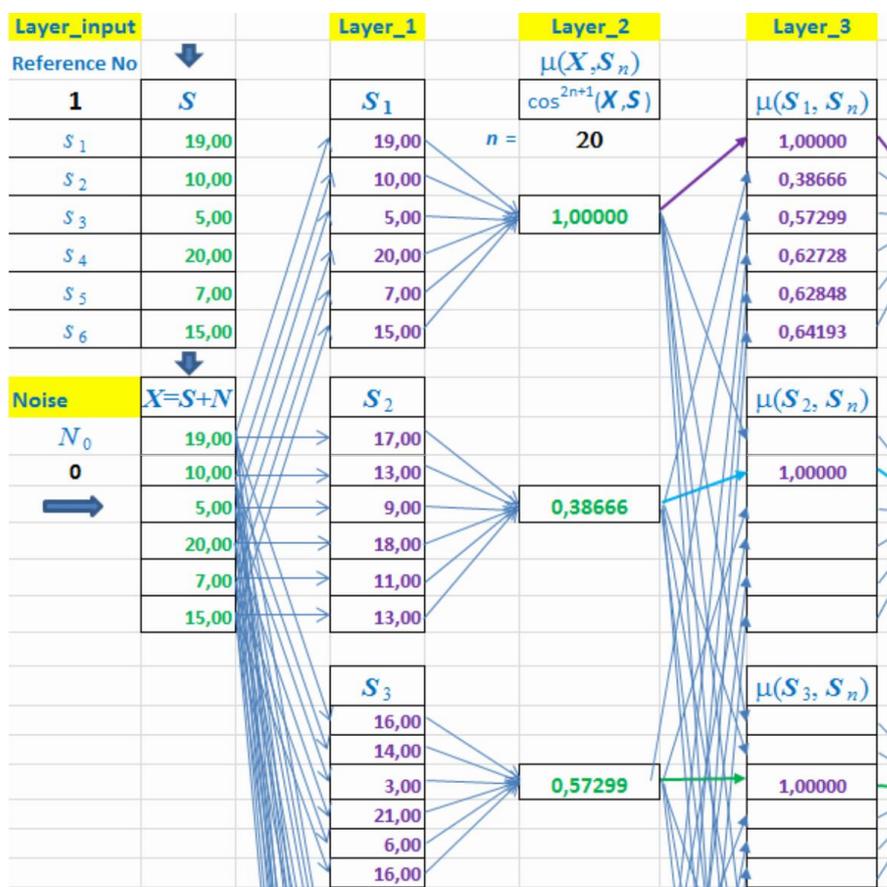


Рисунок 3.10 – Второй этап обучения сети

В результате в регистры разъемов третьего слоя записываются меры подобия  $\mu(\mathcal{S}_k, \mathcal{S}_n) = \cos^{2n+1}(\mathcal{S}_k, \mathcal{S}_n)$  всех векторов эталонной обучающей выборки (рисунок 3.11).

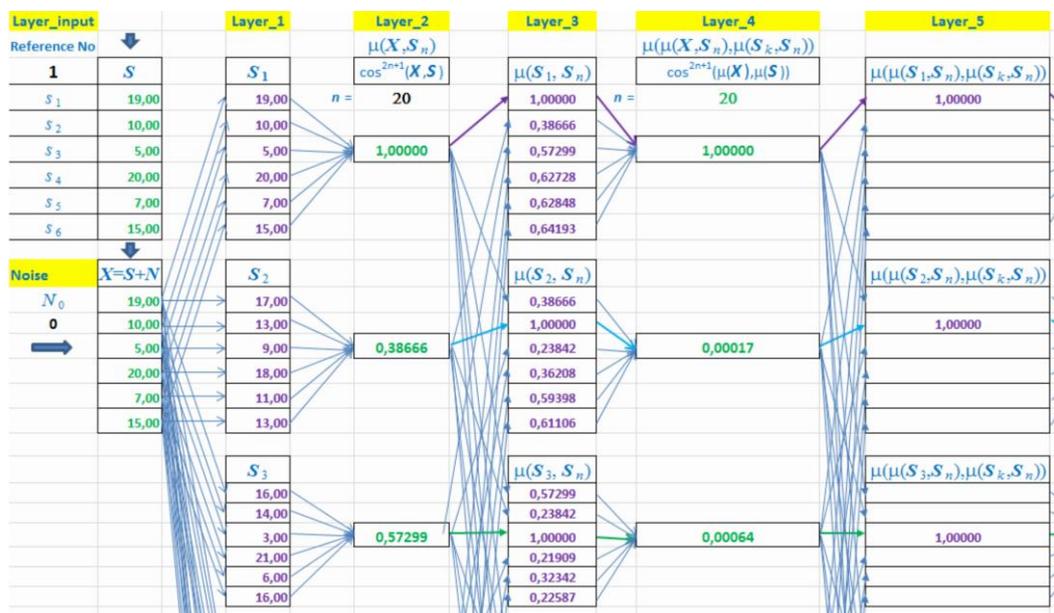


Рисунок 3.11 – Завершение второго этапа обучения сети

На третьем этапе обучения сети (рисунок 3.12) все опорные сигналы обучающей выборки последовательно подаются на входной слой сети, и для каждого опорного сигнала (на рисунке 3.12 – сигнал 3) в регистры коннектора пятого слоя записываются отклики всех свитч-нейронов четвертого слоя.

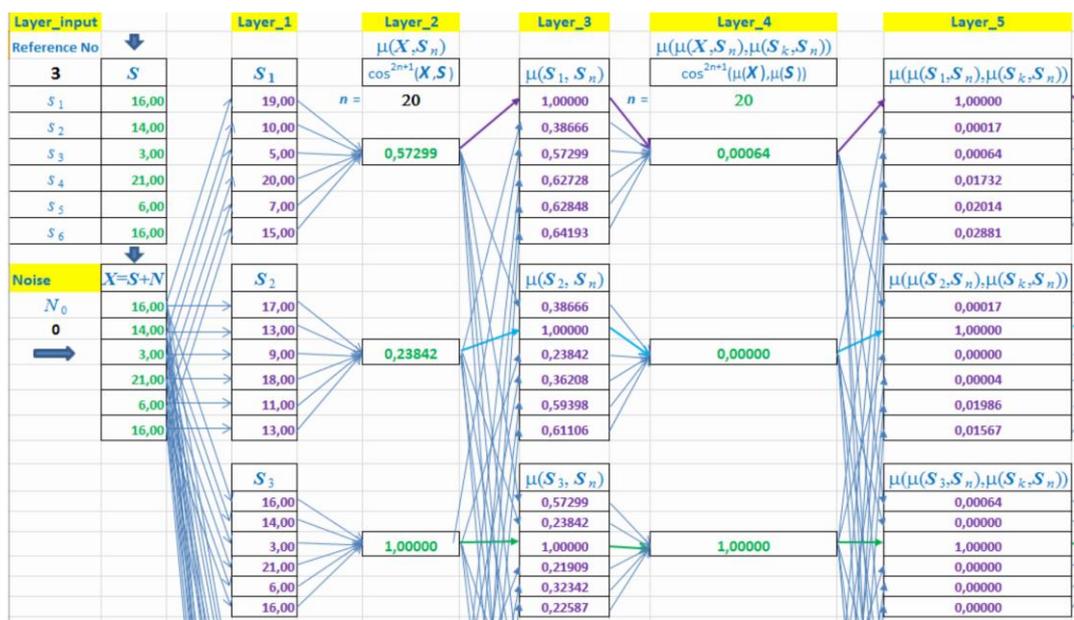


Рисунок 3.12 – Третий этап обучения сети

В результате в регистрах соединителей пятого слоя записываются меры

подобия по мерам подобия  $\mu(\mu(\mathbf{S}_k, \mathbf{S}_n), \mu(\mathbf{S}_l, \mathbf{S}_m)) = \cos^{2n+1}(\mu(\mathbf{S}_k, \mathbf{S}_n), \mu(\mathbf{S}_l, \mathbf{S}_m))$  всех векторов эталонной обучающей выборки (рисунок 3.12).

Проведенный анализ показал, что многослойная нейронная сеть центроидов классов дает преимущество при различении зашумленных опорных сигналов.

### **3.3. Оценка повышения эффективности управления технологическим процессом**

Эффективность внедрения разработанной ЭНС была проверена с помощью программно-вычислительного комплекса оценки качества производственных процессов «Своевременность». При введении в программно-вычислительный комплекс текущих значений таких как: интенсивность запросов на обработку данных, среднее время на обработку запросов и допустимое время реакции системы в автоматизированной системе качества на НПЗ (рисунок 3.13), были получены результаты вероятности своевременной обработки показателей качества до внедрения ЭНС (рисунок 3.14). Результаты показали, что при внесении в программно-вычислительный комплекс следующих показателей: забор образцов бензина с частотой раз в 4 часа, ожидаемая обработка образца в ЛИМС в течении 2 часов, допустимое время реакции системы 8 часов вероятность своевременной обработки показателей качества составила 72% при допустимой вероятности 90%. При внесении в программно-вычислительный комплекс следующих показателей: забор образцов бензина с частотой раз в 8 часов, ожидаемая обработка образца в ЛИМС в течении 3 часов, допустимое время реакции системы 8 часов вероятность своевременной обработки показателей качества составила 26% при допустимой вероятности 90%. Ни один результат не достиг уровня допустимой вероятности, что говорит о неэффективной работе автоматизированной системы контроля качества нефтепродуктов. [91]

Программно-вычислительный комплекс оценки качества производственных процессов

## СВОЕВРЕМЕННОСТЬ

Типы запросов (i): 1 2

Технологии обработки: БПО    БПМ    ОП    АП    Пак    Ком

Характеристика потоков	
Интенсивность запросов на обработку	6 сут.-1    3 сут.-1
Характеристика обработки запросов	
Среднее время обработки запросов	2 час.    3 час.
Загрузка системы запросами i-го типа	0,500000    0,375000
Временные ограничения	
Допустимое время реакции системы	8 час.    8 час.
Допустимая вероятность своевременной обра	0,9    0,9
Загрузка обслуживающего прибора запросами всех типов	0,875000000000

Результаты Сравнить Добавить Удалить Загрузить Сохранить Фото Выход

Рисунок 3.13 – Ввод данных в систему оценки качества производственных процессов до внедрения ЭНС

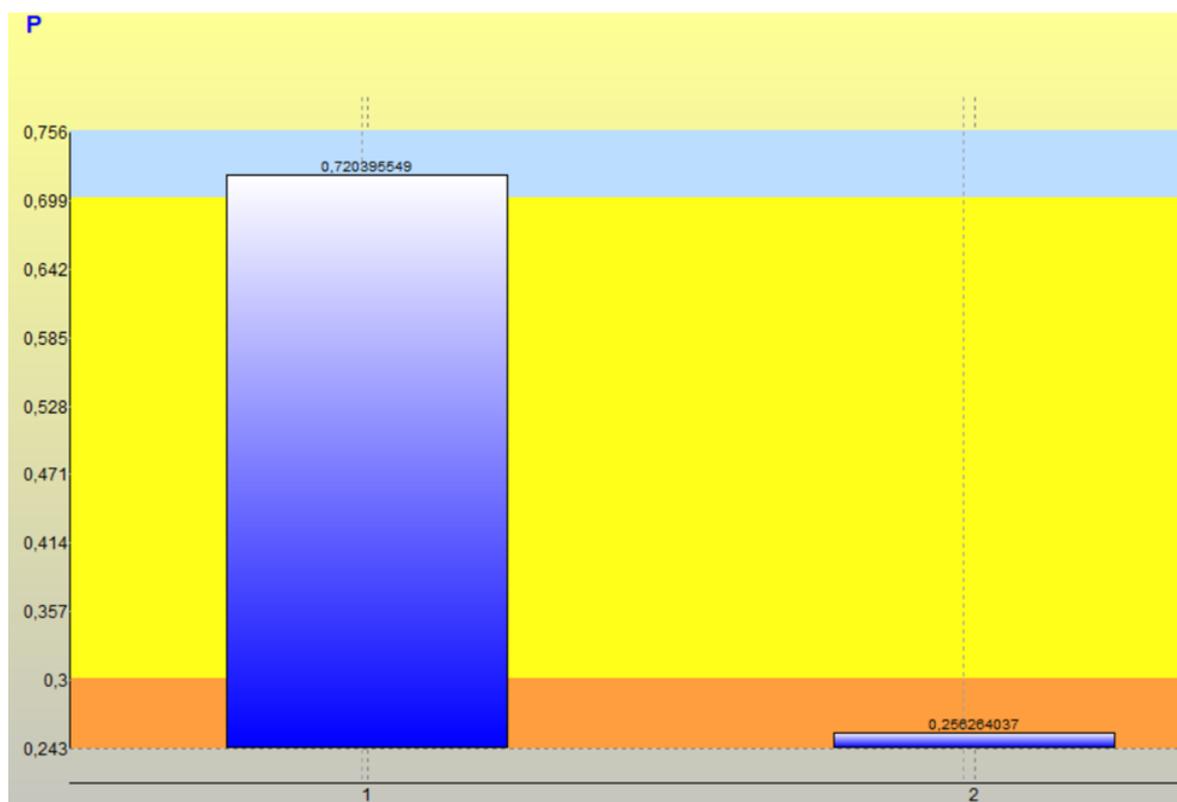


Рисунок 3.14 – Вероятность своевременной обработки показателей качества до внедрения ЭНС

В программно-вычислительный комплекс при использовании поточного анализатора с разработанной ЭНС внесены следующие данные: забор образцов бензина осуществляется непрерывно (с частотой раз в 30 секунд), ожидаемая обработка образца в ЭНС в течении 10 секунд, допустимое время реакции системы 1 минута (рисунок 3.15) вероятность своевременной

обработки показателей качества составила 94% при допустимой вероятности 90%. При изменении допустимого времени реакции системы до 1 часа вероятность своевременной обработки показателей качества возрастает до 100% (рисунок 3.16).

Программно-вычислительный комплекс оценки качества производственных процессов

**СВОЕВРЕМЕННОСТЬ**

Типы запросов (i): 1 2

Технологии обработки: БПО БПМ ОП АП Пак Ком

**Характеристика потоков**

Интенсивность запросов на обработку 2400 сут.-1 2400 сут.-1

**Характеристика обработки запросов**

Среднее время обработки запросов 10 сек. 10 сек.

Загрузка системы запросами i-го типа 0,277778 0,277778

**Временные ограничения**

Допустимое время реакции системы 1 мин. 1 час.

Допустимая вероятность своевременной обра 0,9 0,9

Загрузка обслуживающего прибора запросами всех типов 0,555555555556

Результаты Сравнить Добавить Удалить Загрузить Сохранить Фото Выход

Рисунок 3.15 – Ввод данных в систему оценки качества производственных процессов после внедрения ЭНС

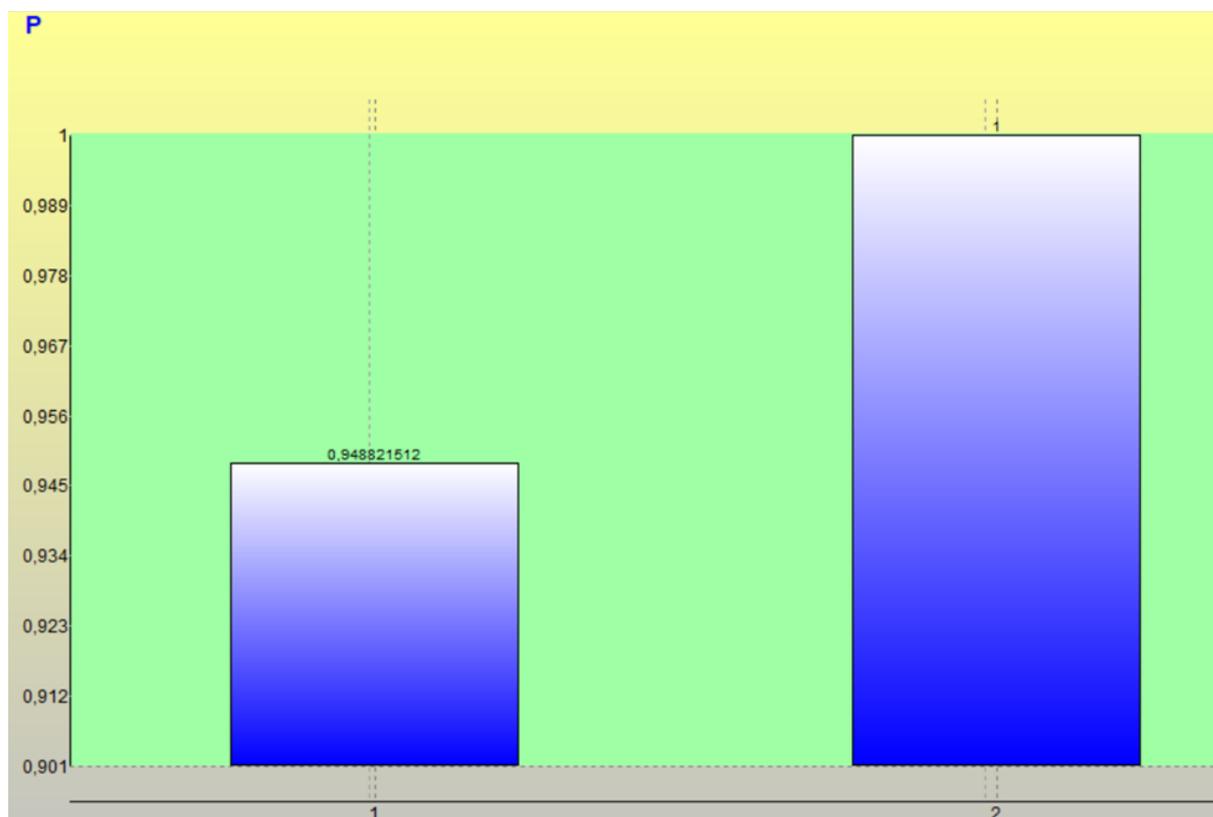


Рисунок 3.16 – Вероятность своевременной обработки показателей качества после внедрения ЭНС

Полученные результаты показывают, что внедрение в автоматизированный контроль качества нефтепродуктов разработанной ЭНС выводит управление технологическим процессом на новый уровень.

Далее приведем математический аппарат, который применяется в работе программно-вычислительного комплекса оценки качества производственных процессов «Своевременность».

Требуемая своевременность обработки запросов обеспечивается на основе выбора производительных средств обработки, технологий обработки запросов и рациональной настройки параметров (например, распределения информационных потоков по приоритетам).

Процессы обработки запросов в ИС, моделируемые как процессы массового обслуживания, представлены на рисунке 3.17.

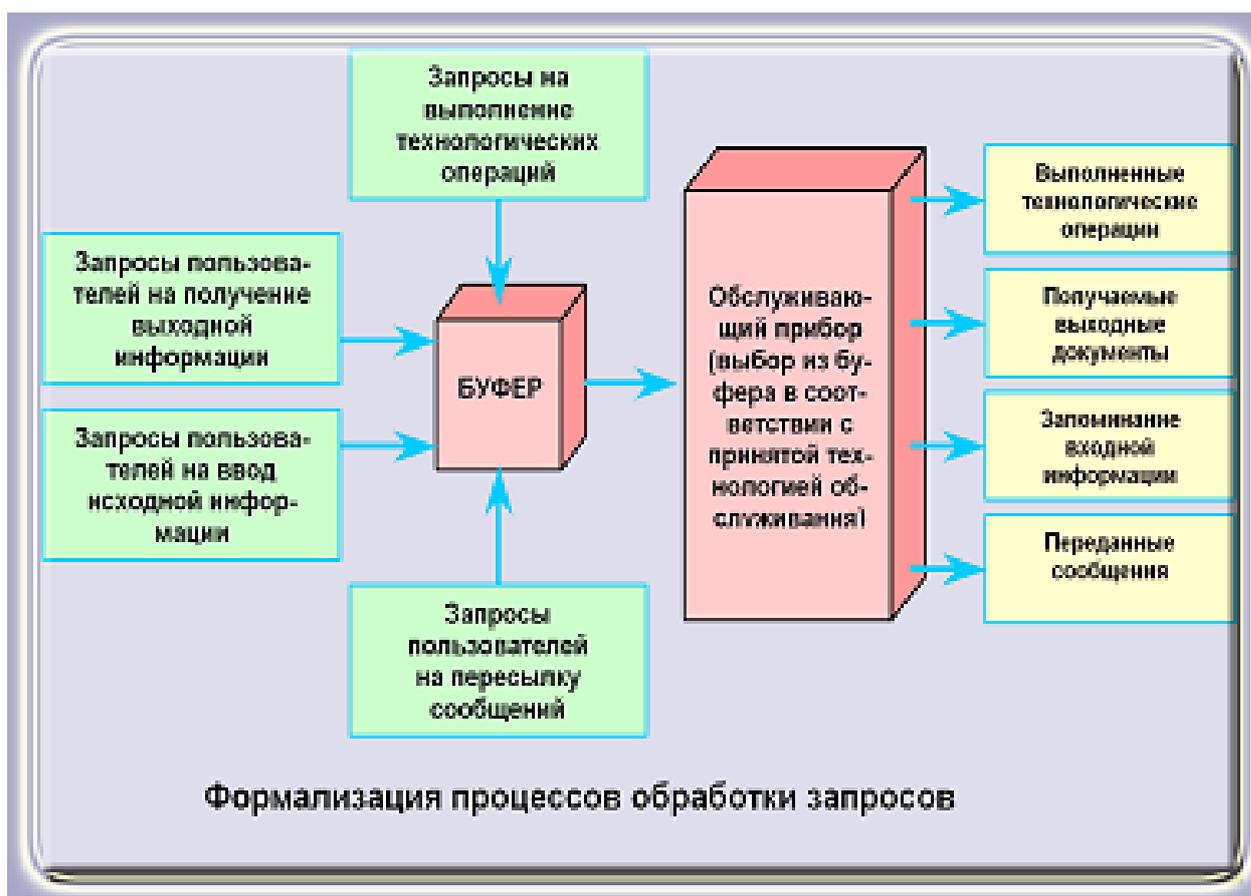


Рисунок 3.17 – Иллюстрация формальных процессов обработки запросов

Вероятность представления запрашиваемой информации  $i$ -типа  $P_{св\ i}(T_{зад\ i})$  за заданное время  $T_{зад\ i}$  определяют с помощью табулируемой неполной гамма-

функции по формуле:

$$P_{св\ i}(T_{зад\ i}) = \int_0^{\theta_i} \exp(-\tau) \tau^{\gamma_i} d\tau / \Gamma(\gamma_i), \quad (3.6)$$

где  $\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} \exp(-\tau) \tau^{\gamma} d\tau$  - гамма - функция;

$$\gamma_i = \frac{T_{полн\ i}}{\sqrt{T_{i2} - T_{полн\ i}^2}}, \quad \theta_i = T_{зад\ i} \cdot \frac{\gamma_i^2}{T_{полн\ i}};$$

$\gamma_i, \theta_i$  – рассчитываемые параметры неполной гамма-функции;

$T_{полн.i}$  и  $T_{i2}$  – рассчитываемые соответственно среднее время и 2-й момент времени реакции системы при обработке запросов  $i$ -го типа в системе (полного времени пребывания на обработке с учетом ожидания в очереди).

Исходными данными для оценки показателей своевременности представления информации для данной технологии обработки являются:  $I$  – общее количество относительных приоритетов;  $\lambda_i$  – интенсивность потока запросов  $i$ -го приоритета,  $i = 1, 2, \dots, I$ ;  $\beta_{ik}$  –  $k$ -й момент времени обработки запроса  $i$ -го приоритета в свободной системе,  $k = 1, 2, 3$ . При экспоненциальной аппроксимации времени обработки запросов достаточно оценки лишь среднего, т.е. 1-го момента  $\beta_{i1}$ , т.к.  $\beta_{i2} = 2\beta_{i1}^2$ ,  $\beta_{i3} = 6\beta_{i1}^3$ .

В частности, для стационарного режима функционирования однолинейной системы с относительными приоритетами, независимыми пуассоновскими потоками запросов и произвольным распределением времени их обработки:

$$T_{полн\ i} = T_{ож\ i1} + \beta_{i1}(1 - \rho_{1i-1})^{-1}; \quad (3.7)$$

$$T_{i2} = T_{ож\ i2} + 2T_{полн\ i} \beta_{i1}(1 - \rho_{1i-1})^{-1} + \beta_{i2}(1 - \rho_{1i-1})^{-2} + \beta_{i1}(1 - \rho_{1i-1})^{-3} \cdot \rho_{1i-1}^{(2)}, \quad (3.8)$$

где  $T_{ож\ i1} = \frac{\rho^{(2)}}{2(1 - \rho_{1i-1})(1 - \rho_{1i})}$ ,

$$T_{ож\ i2} = \frac{\rho^{(3)}(1 - \rho_{1i-1})(1 - \rho_{1i})/3 + \rho^{(2)} \rho_{1i}^{(2)}(1 - \rho_{1i-1})/2 + \rho^{(2)} \rho_{1i-1}^{(2)}(1 - \rho_{1i})/2}{(1 - \rho_{1i-1})^3(1 - \rho_{1i})^2},$$

$$\rho_{1i}^{(k)} = \sum_{j=1}^i \lambda_j \beta_{jk}, \quad \rho^{(k)} = \rho_{1I}^{(k)}, \quad \rho_{1i} = \rho_{1i}^{(1)}, \quad \rho_{10}^{(k)} = 0,$$

$T_{ож\ i1}$  и  $T_{ож\ i2}$  – соответственно 1-й и 2-й моменты времени ожидания начала обработки запроса  $i$ -го типа,  $\rho_{li}^{(k)}$  – загрузка запросами 1, 2, ...,  $i$ -го типов на уровне  $k$ -го момента времени обработки.

Для интегральных оценок эффективности сравнения различных технологий обработки и настройки их параметров используют следующие показатели:

а) количество своевременно обработанных запросов всех типов  $S_{св}$ , вычисляемое по формуле

$$S_{св} = \sum_{i=1}^I \lambda_i P_{св\ i}(T_{зад\ i}) / \sum_{i=1}^I \lambda_i; \quad (3.9)$$

б) количество своевременно обработанных в системе запросов лишь тех типов, для которых выполнены требования заказчика  $C_{св}$ , вычисляемое по формуле

$$C_{св} = \sum_{i=1}^I \lambda_i P_{св\ i}(T_{зад\ i}) [Ind(\alpha_1) + Ind(\alpha_2)] / \sum_{i=1}^I \lambda_i, \quad (3.10)$$

где  $Ind(\alpha)$  – индикаторная функция;  $Ind(\alpha) = \begin{cases} 0, & \text{если условие } \alpha \text{ ложно,} \\ 1, & \text{если условие } \alpha \text{ истинно,} \end{cases}$

$\alpha_1$  означает условие, когда «для  $i$ -го типа информации задан критерий своевременности по среднему времени реакции и  $T_{полн\ i} \leq T_{зад\ i}$ »;  $\alpha_2$  означает условие, когда «для  $i$ -го типа информации задан вероятностный критерий своевременности и  $P_{св\ i}(T_{зад\ i}) \geq P_{св\ зад\ i}$ ».

Необходимые для моделирования пределы исходных значений  $\lambda_i$ ,  $T_{зад\ i}$ ,  $P_{св\ зад\ i}$  задают в ТЗ или в постановках функциональных задач, технологию обработки и распределение запросов по приоритетам – в конструкторской документации, а значения среднего времени обработки запроса  $i$ -го приоритета в свободной системе  $\beta_{i1}$  (а при необходимости более точных оценок – еще 2-й  $\beta_{i2}$  и 3-й  $\beta_{i3}$  моменты) устанавливают в результате натуральных испытаний, экспериментов, дополнительного моделирования или сравнения с аналогами.

### 3.4. Выводы к главе III

Таким образом, объединение экспертной системы и нейросети в одну ЭНС даёт синергетический эффект при идентификации больших данных, например, оптических спектральных данных: снижает их размерность до размерности, определяемой небольшим числом классов; повышает правдоподобие классификации. Так, например, показана эффективность применения в интегрированной ЭНС даже простейшей однослойной нейронной сети, количество нейронов которой равно числу идентифицируемых классов.

Применение экспертной системы повышает гибкость и функциональность всей интегрированной ЭНС: позволяет интерпретировать исходные данные; оценивать по интерпретированным данным их сопутствующие показатели (в случае оптических спектральных данных – показатели многокомпонентных молекулярных соединений, порождающих эти данные, концентрации соединений с известными спектрами).

Различные структурные топологии интегрированной ЭНС могут быть использованы для реализации многослойных нейронных сетей ближайших соседей. Главное заключается в том, что входное пространство нейронных сетей в интегрированной нейронной сети имеет малую размерность за счёт редукции больших данных в интегрированной ЭС.

Были проведены экспериментальные исследования с использованием программно-вычислительного комплекса оценки качества производственных процессов «Своевременность», которые показали, что применение ЭНС в технологическом процессе повышает своевременную обработку показателей качества на 20 – 75%.

## **ГЛАВА IV. ПРОГРАММНАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНО-НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЦЕССЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДИМОГО СЫРЬЯ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДАХ**

Основной целью работы является повышение эффективности управления технологическим процессом в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества автомобильных бензинов за счёт внедрения ЭНС в функциональную схему автоматизации. Для осуществления такого управления необходимо разработать прототип ЭНС, обеспечивающей реализацию предложенных в работе концепций, моделей и методов.

### **4.1. Серверная часть экспертной системы**

В ходе реализации экспертно-нейросетевой системы был использован архитектурный стиль RESTful API, позволяющий создать легко масштабируемые и гибкие веб-сервисы, которые могут быть использованы различными клиентами, включая веб-приложения, мобильные приложения и другие сервисы [21].

Серверная часть экспертно-нейросетевой системы реализована при помощи фреймворка Express на языке JavaScript [92, 95, 102]. Данный фреймворк предоставляет небольшие и надежные инструменты для HTTP-серверов что делает его отличным решением для одностраничных приложений и HTTP API.

Для организации внутренней структуры ЭНС была использована типичная архитектура для разработки веб-приложений на основе фреймворка Express.js – самом известном веб-фреймворке, работающем в среде выполнения Node.js.

Архитектура системы основана на архитектурном шаблоне MVC (Model-View-Controller) (рисунок 4.1), идея которого состоит в том, чтобы разбить бизнес-логику на три компонента, каждый из которых несет свою

ответственность [30]:

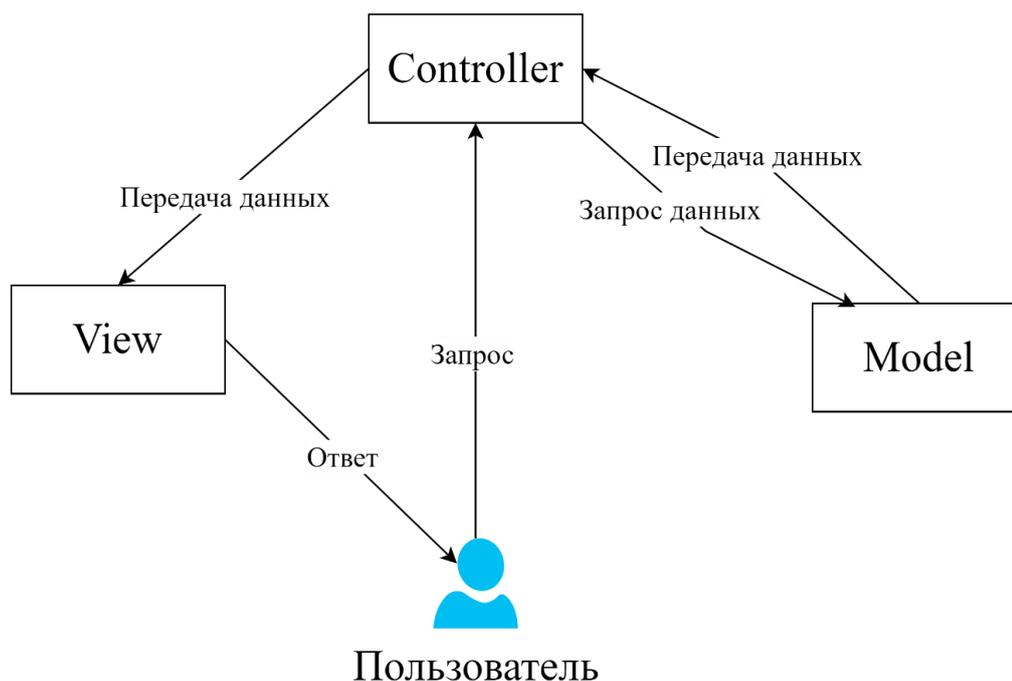


Рисунок 4.1 – Шаблон проектирования MVC

- **model:** представление структуры данных приложения. Функционал, связанный с данными, с которой имеют дело пользователи.
- **view:** отображение любых элементов и пользовательских интерфейсов, которые видит пользователь.
- **controller:** управление логикой приложения. Он соединяет часть view и model, отправляя запросы модели, обрабатывая ответ и отправляя ответ обратно в view.

Шаблон проектирования MVC удобен при разработке, предлагая модульность. Модульность снижает затраты на обслуживание, модификацию и расширение функционала. Более того, разделив представление, данные и бизнес-логику, команда разработчиков может одновременно работать над разными компонентами.

### ***Маршрутизация запросов.***

Сервер обрабатывающий входящий запрос, направляет этот запрос в нужную часть приложения. Фреймворк Express имеет встроенные функции для обработки входящих HTTP-запросов с указанным URI, который будет сопоставлен с обработчиком запросов. Например, входящий запрос GET

может быть явно обработан функцией `app.get(path, callback)`. Функция `get()` – это одна из функций `app.METHOD()`, где `METHOD` означает метод HTTP. Некоторые из наиболее важных методов – `get()`, `post()`, `put()` и `delete()`. С помощью этих методов экспресс-приложение может обрабатывать основные операции создания, чтения, обновления и удаления (CRUD). Аргументы `path` и `callback` обозначают URI и функцию промежуточного программного обеспечения, которая будут обрабатывать входящий запрос, соответственно. Обработчики запросов маршрутизатора приведены в таблице 4.1.

В листинге ниже маршрутизация работает только для URI `/getspectrums`. Любой другой входящий URI будет игнорироваться, поэтому необходимо создать обработчики для отдельных страниц и запросов, которые могут отправлять пользователи.

```
app.post('/getspectrums', async (_req, res) => {
  var values = await
  getSpectrums(JSON.parse(_req.body['referenceids']), false);
  res.status(200).json(values);
});
```

Маршрутизатор имеет следующие обработчики:

Таблица 4.1 – Обработчики запросов маршрутизатора

Запрос	Описание
GET /	Сервер возвращает пользователю одностраничное приложение, с помощью которого будет осуществляться дальнейшее взаимодействие.
GET /oiltable	Сервер запрашивает из базы данных все хранящиеся в ней спектры и возвращает пользователю их данные.

Продолжение таблицы 4.1

POST /checkfromfile	Сервер принимает от пользователя файл, содержащий данные неизвестного спектра и перечень известных спектров из базы данных, с которыми следует сравнить неизвестный. Сервер отправляет запрос модулю распознающей нейросети, получает в ответ информацию о степени схожести неизвестного спектра с одним из классов известных и направляет ответ пользователю.
POST /getspectrums	Сервер принимает от пользователя id спектров в базе данных и возвращает данные о них.
POST /oilupdate	Сервер принимает от пользователя id спектра, информацию о котором следует откорректировать в базе данных, и новую информацию и изменяет ее.
POST /oildelete	Сервер принимает от пользователя id спектра, информацию о котором следует удалить из базы данных и удаляет его.
POST /oilupload	Сервер принимает от пользователя файл, содержащий данные спектра, который следует внести в базу данных и записывает его.

### ***Модуль распознающей нейросети.***

Модуль для обработки данных в ЭНС при помощи нейронной сети на основе фреймворка Spring boot на языке Java [93, 94, 96, 97, 100, 101]. Данный фреймворк позволяет облегчить разработку, развертывание и управление программными продуктами, реализованных на языке Java, а также уменьшить их сложность, за счёт чего ускоряя процесс разработки.

Модуль придерживается архитектурного стиля RESTful API, реализованного в сервере Express.js, что позволяет серверу удобно общаться с модулем с помощью запроса на “/neural\_network”. Обработчик этого запроса

принимает на вход данные неизвестного спектра и перечень известных спектров из базы данных, а также перечень эталонных спектров, с которыми следует сравнить неизвестный (рисунки 4.2, 4.3).

Для соблюдения принципа инверсии управления (IoC), позволяющего сделать код более модульным, гибким и легким для тестирования, сервисы модуля разделены на компонент, содержащий интерфейсы, описывающие методы, доступные для взаимодействия с данными и компонент, содержащий конкретную реализацию интерфейсов сервиса (таблицы 4.2, 4.3).

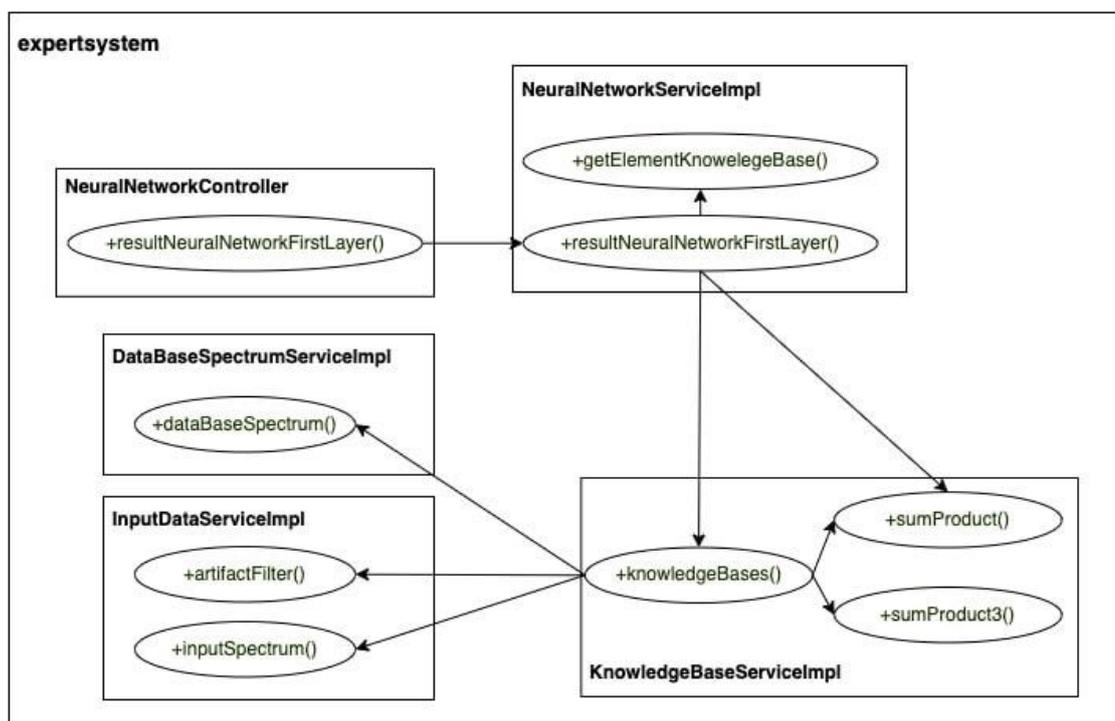


Рисунок 4.2 – Диаграмма вызова функций модуля

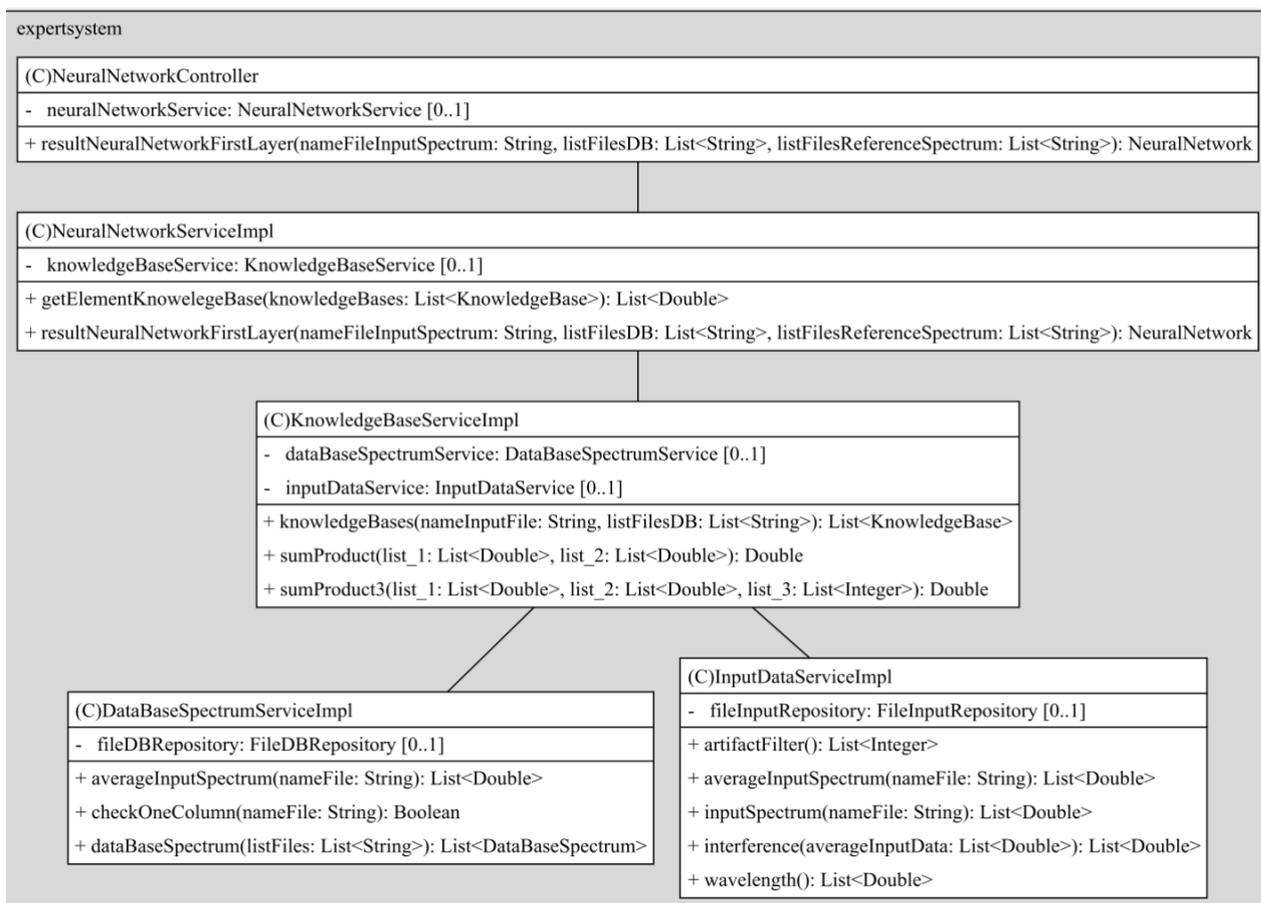


Рисунок 4.3 – Структура классов модуля

Таблица 4.2 – Компоненты Service и ServiceImpl серверной части ЭНС

Наименование сервиса	Наименование метода	Описание
DataBaseFuelService	dataBaseFuel	Метод, который формирует базу данных из списка файлов, поданных на вход, для проведения расчётов.
	checkOneColumn	Метод, проверяющий один ли столбец в файле с эталонным спектром.

Продолжение таблицы 4.2

	averageSpectrum	Метод, рассчитывающий среднее значение по всем столбцам файла с эталонным спектром для дальнейших расчетов.
FileService	findAllFilesDB	Метод, получающий список всех файлов с эталонными спектрами, которые есть на текущий момент в БД.
	findAllFilesInput	Метод, получающий список всех файлов с неизвестными спектрами, которые есть на текущий момент в БД.
	saveFileDB	Метод, позволяющий добавить новый файл в базу данных с эталонным спектром.
	saveFileInput	Метод, позволяющий добавить новый файл в базу данных с неизвестным спектром.
InputDataService	wavelength	Метод, формирующий список значений длины волны для корректной работы экспертно-нейросетевой системы.

## Продолжение таблицы 4.2

	artifactFilter	Метод, формирующий фильтр артефактов, который состоит из фильтра паров воды и фильтра рабочей зоны.
	interference	Метод, который формирует помеху для неизвестного спектра, зависящая от амплитуды.
	averageInputSpectrum	Метод, позволяющий рассчитать среднее значение по всем столбцам файла с неизвестным спектром для дальнейшего исследования.
	inputSpectrum	Метод, обрабатывающий входной файл с данными неизвестного спектра для проведения дальнейших расчётов.
KnowledgeBaseService	knowledgeBases	Метод, формирующий базу знаний, которая показывает нечеткие меры сходства неизвестного спектра относительно эталонных спектров, которые были добавлены в базу данных.

## Окончание таблицы 4.2

	sumProduct	Метод, реализующий сумму произведений двух массивов.
	sumProduct3	Метод, реализующий сумму произведений трёх массивов.
NeuralNetworkService	resultNeural NetworkFirstLayer	Метод, позволяющий получить результаты работы нейронной сети с одним слоем, позволяющей определить принадлежность неизвестного спектра относительно эталонных спектров.
	getElement	Метод, позволяющий получить перечень данных.

#### 4.2. База данных

База данных ЭНС построена на PostgreSQL – объектно-реляционной системе управления базами данных с открытым исходным кодом, поддерживающая большинство стандартов SQL и имеющая множество собственных расширений [15]. Группа разработчиков PostgreSQL известна быстрым устранением ошибок, которые делают PostgreSQL стабильной и безопасной системой баз данных. База данных содержит следующие сущности (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Компонент Model серверной части ЭНС

Наименование сущности	Поля	Описание
DataBaseFuel	nameFuel	Структура данных, содержащая информацию об эталонных спектрах для проведения расчётов
	dataFuelDb	
	listSigma	
DataCentroid	nameFuel	Структура данных, которая хранит информацию о центреиде нейронной сети
	listValues	
FileDB	id	Структура данных, описывающая таблицу БД, в которой хранится информация о файлах с эталонными спектрами
	fileName	
	dateUpload	
	path	
FileInput	id	Структура данных, описывающая таблицу БД, в которой хранится информация о файлах с неизвестными спектрами.
	fileName	
	dateUpload	
	path	
InputData	numberColumn	Структура данных, содержащая информацию о неизвестном спектре, который на вход подается в виде файла с расширением. xlsx
	inputSpectrum	
KnowledgeBase	nameSimFuel	Структура данных, содержащая информацию о базе знаний, которая определяет нечеткие резонансы неизвестного спектра относительно эталонного
	listResponse	
	maxCountResponse	
NeuralNetwork	nameFuel	Структура данных, хранящая результат работы нейронной сети, которая позволяет определить с каким из эталонных спектров наиболее схож неизвестный спектр, который подают на вход

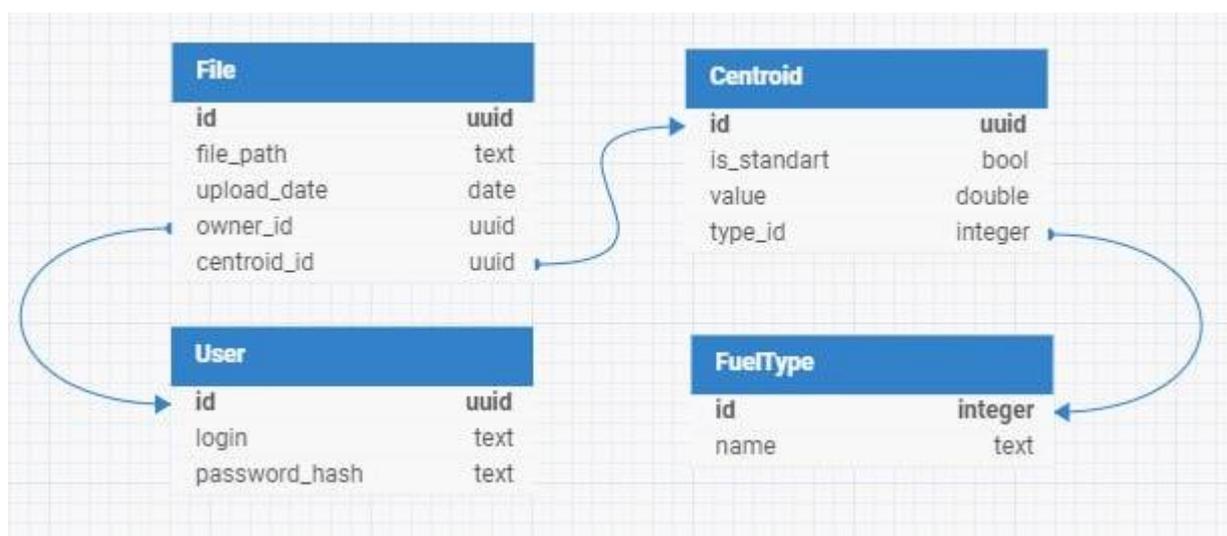


Рисунок 4.4 – Диаграмма сущностей модуля

File – хранит путь к входному файлу и сохраняет из него центроид, центроид можно пометить эталон или нет для какого-то типа топлива. User – хранит пользователя, а FuelType – тип топлива (рисунок 4.4).

### 4.3. Пользовательский интерфейс

Пользовательский интерфейс для взаимодействия с ЭНС построен на ReactJS (React), представляющим собой библиотеку JavaScript с открытым исходным кодом для создания пользовательских интерфейсов. Он используется для обработки уровня представления в одностраничных приложениях и при разработке мобильных приложений [22].

React стремится обеспечить скорость, простоту и масштабируемость. Некоторые из его наиболее примечательных функций – JSX, компоненты с отслеживанием состояния, Virtual DOM.

JavaScript XML (JSX) – это расширение синтаксиса ECMAScript без какой-либо определенной семантики. JSX является хорошим визуальным помощником при работе с пользовательским интерфейсом внутри JavaScript. Это также позволяет React отображать более полезные сообщения об ошибках и предупреждения.

React позволяет разделять пользовательский интерфейс на независимые, многократно используемые части, называемые компонентами React.

Компоненты React реализуют метод рендеринга, который принимает входные данные и возвращает то, что нужно отобразить. Каждый компонент на основе класса имеет свой собственный объект состояния. Всякий раз, когда состояние компонента изменяется, компонент и все его дочерние компоненты немедленно перерисовываются. Состояния хранят значения во всем компоненте и могут передаваться дочерним компонентам.

HTML DOM изначально предназначался для статических страниц и поэтому не был оптимизирован для создания динамического пользовательского интерфейса. Когда DOM обновляется, ему приходится обновлять каждый узел и перерисовывать страницу с использованием соответствующего CSS и макета. Обычно одностраничное приложение содержит тысячи динамически генерируемых узлов, к которым прикреплены обработчики событий. На динамических страницах HTML DOM должен регулярно проверять изменения в данных каждого узла. Это значительно снижает производительность приложений. Virtual DOM был изобретен как решение этой неэффективности [98, 99].

Основной сценарий использования пользователем экспертно-нейросетевой системы выглядит следующим образом. При открытии основной страницы приложения (рис. 4.5) пользователю предлагается выбрать файл с неизвестным спектром для его идентификации.

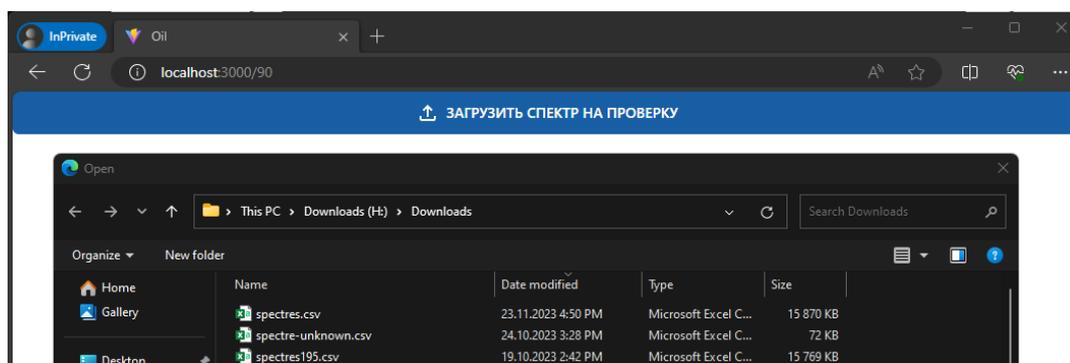


Рисунок 4.5 – Главная страница приложения, выбор файла

После загрузки файла с неизвестным спектром пользователю предоставляется возможность выбора класса и подклассов продукта, с которыми будет производиться сравнение. На рисунке 4.6 изображена

страница выбора спектров для проверки бензинов различных марок. Автоматизированная система позволяет выбирать либо весь класс или подкласс спектров для сравнения, либо конкретные подклассы входящие в класс рассматриваемого продукта.

Класс	Подкласс	ID	Имя спектра	О...	Описание
Отфильтро...	Отфильтро...	Отфиль...	Отфильтро...	Отфиль...	Отфильтровать по О...
Бензин (5)					
	AI-80 (49)				
	AI-92 (49)				
	AI-95 (49)				
	AI-98 (49)				
		148	AI-98 обр.1		98.3
		149	AI-98 обр.2		98.1
		150	AI-98 обр.3		98.5
		151	AI-98 обр.4		98
		152	AI-98 обр.5		98.2
		153	AI-98 обр.6		98.2
		154	AI-98 обр.7		98.6
		155	AI-98 обр.8		98.1
		156	AI-98 обр.9		98
		157	AI-98 обр.10		98.3
		158	AI-98 обр.11		98.1
		159	AI-98 обр.12		98.4
		160	AI-98 обр.13		98.5
		161	AI-98 обр.14		98
		162	AI-98 обр.15		98.2

Рисунок 4.6 – Страница выбора спектров для проверки

После выбора спектров и обработки запроса сервером, пользователь получает результат работы алгоритма автоматизированной системы. На представленном графике (рисунок 4.7) пользователь видит и может визуально оценить свой неизвестный спектр и наиболее похожие на него спектры из выбранных для сравнения подклассов. Рядом с названием каждого из наиболее похожих спектров пользователь видит степень сходства отображаемое в процентах, а у самого неизвестного спектра выводится показатель вычисленного октанового числа.



Рисунок 4.7 – Результаты работы алгоритма

Разработанный функционал позволяет приближать и направлять мышью на определенные области графика для большей наглядности полученного результата (рисунок 4.8). В процессе работы рядом с курсором отображается окно с точными значениями волновых чисел и оптических поглощений спектров в этой области.

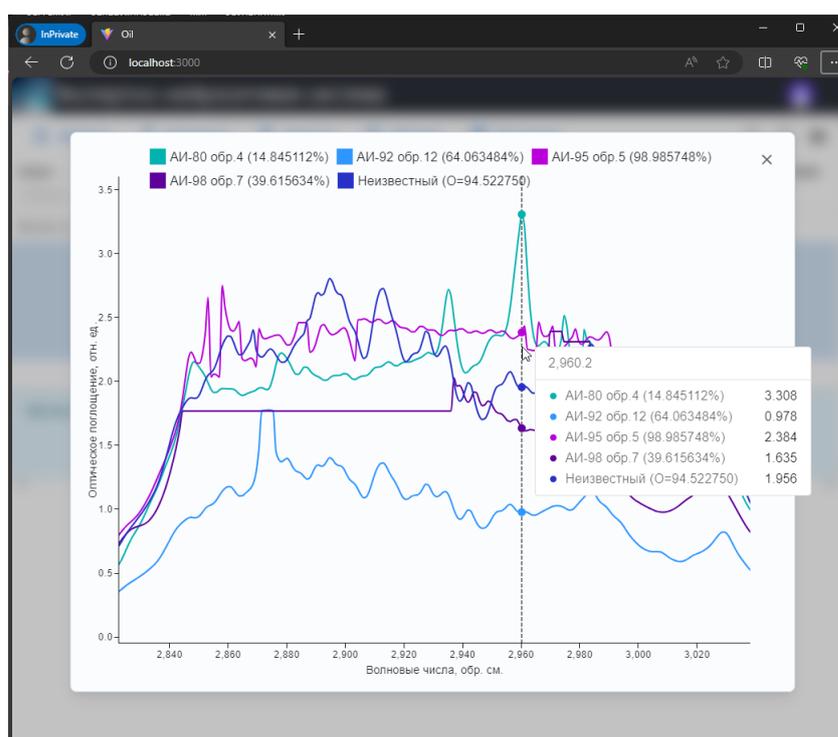


Рисунок 4.8 – Увеличенная область анализируемых спектров

В процессе создания автоматизированной системы, помимо пользовательского интерфейса, разработан и представлен интерфейс администратора экспертно-нейросетевой системы (рисунок 4.9), для доступа к которому требуется авторизация администратора. Интерфейс администратора основан на работе с базой данных загруженных спектров.

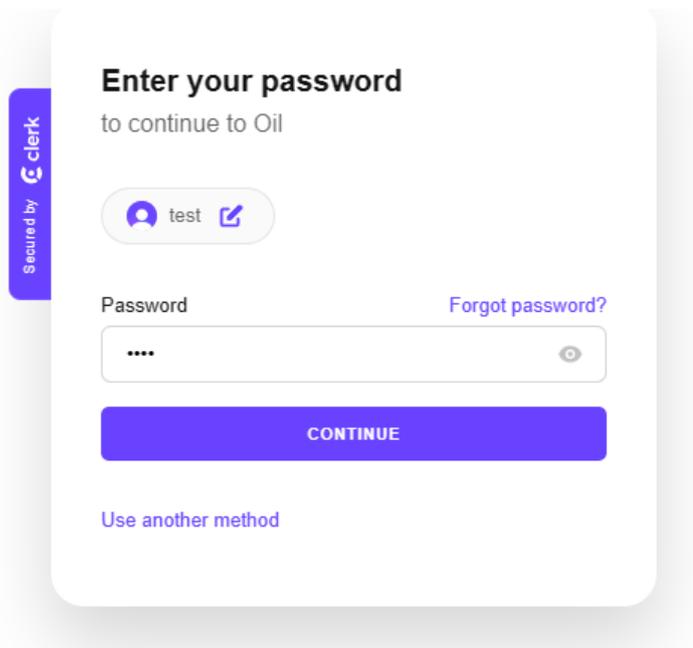


Рисунок 4.9 – Авторизация интерфейса администратора ЭНС

Класс	Подкласс	ID	Имя спек...	O...	Описание	Действия
Отфилт...	Отфилт...					
Бензин (4)						
АИ-80 (49)						
		1	АИ-80 обр.1	82		...
		2	АИ-80 обр.2	82		...
		3	АИ-80 обр.3	82.4		...
		4	АИ-80 обр.4	86.5		...
		5	АИ-80 обр.5	80		...
		6	АИ-80 обр.6	83.25		...
		7	АИ-80 обр.7	81.2		...
		8	АИ-80 обр.8	84.45		...
		9	АИ-80 обр.9	82.9666;		...
		10	АИ-80 обр.10	81		...
		11	АИ-80 обр.11	84.25		...
		12	АИ-80 обр.12	82.8333;		...
		13	АИ-80 обр.13	82.2		...
		14	АИ-80 обр.14	81.4666;		...
		15	АИ-80 обр.15	83.6333;		...
		16	АИ-80 обр.16	82.725		...

Рисунок 4.10 – Интерфейс администратора ЭНС

Интерфейс позволяет администратору просматривать загруженные в базу данных спектры, объединенные в классы и подклассы. Для удобства классы и подклассы можно свернуть, если нет необходимости работать с конкретными спектрами (рисунок 4.10).

Элементы в таблице можно сортировать и фильтровать по определенным колонкам. Также можно группировать отличным способом от заданного по умолчанию (класс, подкласс) (рисунок 4.11).

Интерфейс предоставляет администратору системы следующие основные функции, вызываемые кнопками сверху:

1. Добавление спектра в базу данных.

Функция позволяет администратору загрузить спектры из файла, предлагая ввести название новым спектрам и определить их класс, если он известен (рисунок 4.12). При загрузке спектры также можно подвергнуть фильтрации несколькими из предложенных фильтров.

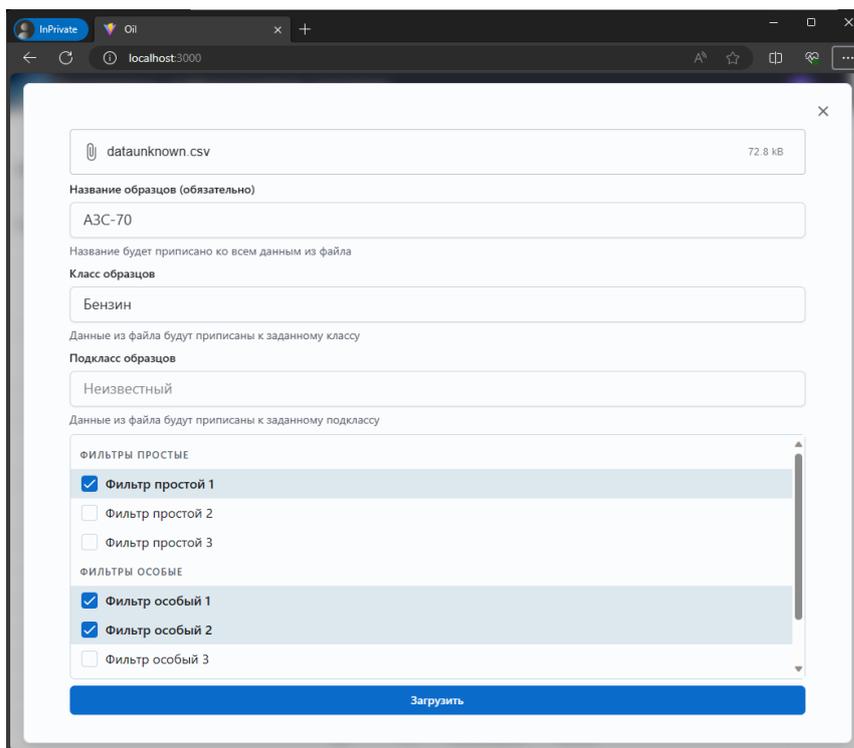


Рисунок 4.11 – Диалоговое окно с вводом информации о классе спектра

Функция позволяет загрузить как неизвестные спектры, так и определить новый класс или подкласс хранимых спектров.

Экспертно-нейросетевая система

Добавить | Определить | Загрузить | Обновить | Посмотреть

Класс	Подкласс	ID	Имя сп...	О...	Описание	Действия
Отфиль...	Отфиль...	Отфиль...	Отфиль...	Отфиль...	Отфильтровать ...	
Бензин (5)						
	АИ-80 (49)					
	АИ-92 (49)					
	АИ-95 (49)					
	АИ-98 (49)					
	Неизвестный (1)					
		209	АЗС-70			

Сгруппировать Класс, затем Подкласс

Рисунок 4.12 База данных с новыми загруженными спектрами

2. Определение неизвестного спектра из файла по имеющимся эталонным спектрам в базе данных.

Функция позволяет определить неизвестный спектр аналогично тому, как это происходит в пользовательском интерфейсе. Диалоговое окно позволяет выбрать меру сходства и фильтры (рисунок 4.13). В отличие от пользовательского интерфейса, интерфейс администратора не будет отображать отдельную страницу с выбором спектров для сравнения. Спектры необходимо выбрать в основной таблице перед нажатием кнопки.

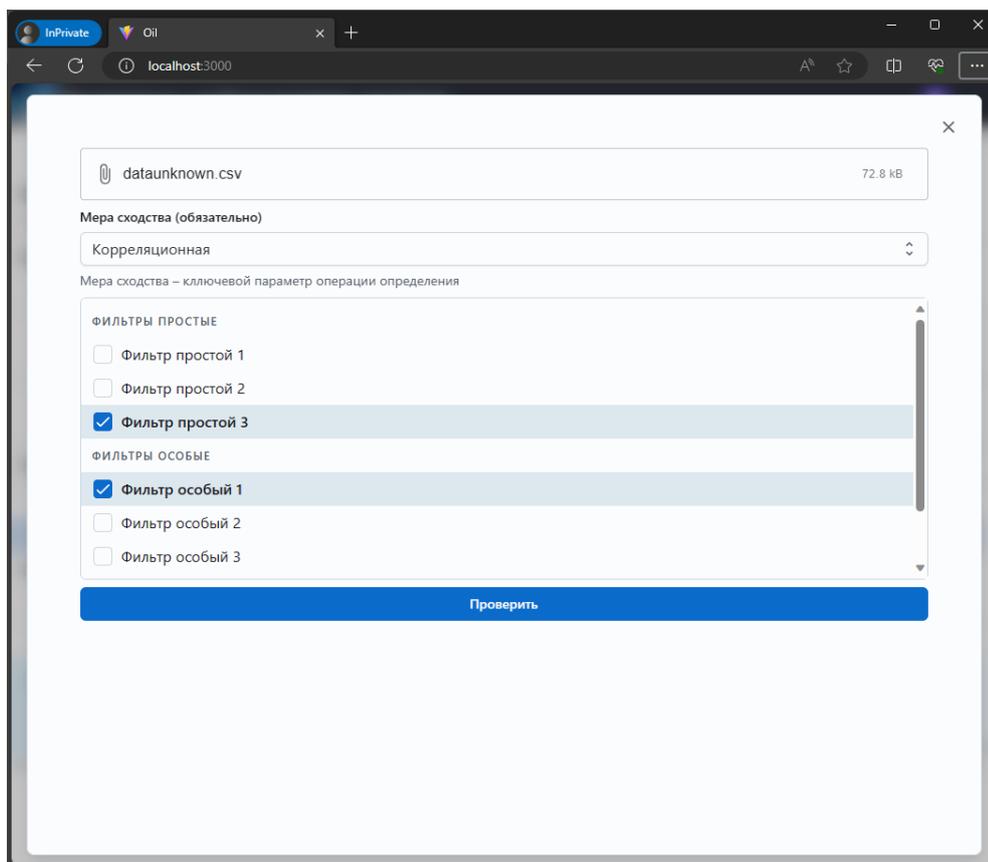


Рисунок 4.13 – Диалоговое окно с вводом данных для проверки

### 3. Загрузка спектров из базы данных.

Функция позволяет при необходимости сохранить резервную копию выбранных спектров в виде Excel-таблицы для хранения или использования в других системах.

### 4. Обновление таблицы.

Функция позволяет обновить данные в таблице на случай, если в базе данных появились новые спектры.

### 5. Просмотр значений спектров

Функция позволяет отобразить выбранные спектры для визуального анализа (рисунок 4.14)

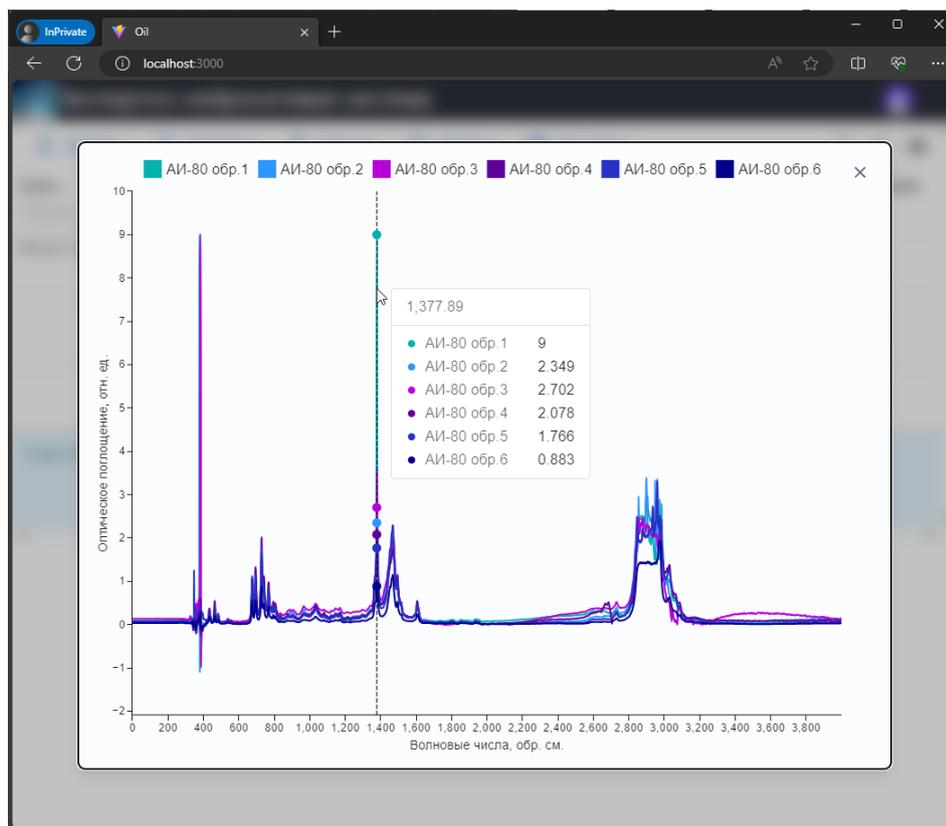


Рисунок 4.14 – Визуальное отображение выбранных спектров

В программе также предусмотрено контекстное меню для взаимодействия с конкретным спектром:

1. Изменение данных загруженного спектра.

Функция позволяет изменить название и описание загруженного в базу данных спектра (рисунок 4.15). После нажатия всплывет диалоговое окно с возможностью изменения разрешенных для изменения параметров. Изменения можно сохранить или отменить (рисунок 4.16).

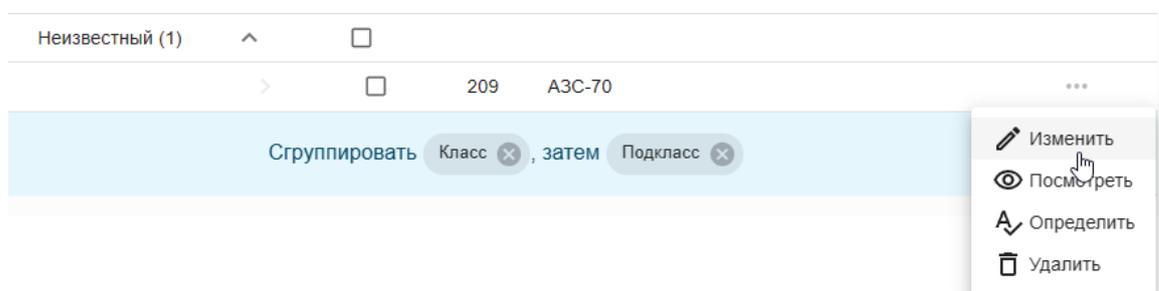


Рисунок 4.15 – Меню дополнительных действий над загруженным спектром

**Редактировать**

Класс  
Бензин

Подкласс  
Неизвестный

ID  
209

Имя спектра  
АЗС-70

Октановое число

Описание  
Спектр, загруженный для демонстрации

ОТМЕНИТЬ    СОХРАНИТЬ

Рисунок 4.16 – Изменение описания загруженного спектра

## 2. Просмотр спектра.

Функция позволяет отобразить спектр на графике для визуального анализа. Функция идентична функции отображения значений спектров таблицы, но избавляет от необходимости выбирать спектр, что в некоторых ситуациях может быть неудобно.

## 3. Определение спектра, загруженного в базу данных по имеющимся эталонным спектрам.

Функция позволяет при необходимости проверить уже загруженный в базу данных спектр аналогично тому, как это происходит с проверкой спектра из внешнего файла. Перед проверкой пользователю также необходимо выбрать в таблице эталонные спектры для сравнения. Отличие от основной функции определения в том, что вместо загрузки файла с неизвестным спектром, пользователь выбирает спектр для сравнения путем вызова его контекстного меню

## 4. Удаление спектра.

Функция позволяет удалить спектр из базы данных.

Таким образом, у администратора системы имеется полный контроль над базой данных для комфортного сопровождения системы на высоком уровне.

#### **4.4. Выводы к главе IV**

Рассмотренный прототип ЭНС разработан на основе клиент-серверной архитектуры. Серверная часть реализована на языке программирования JavaScript и обрабатывает запросы клиентов. Клиентская часть реализована в виде мобильного приложения и веб-клиента. Она обращается к серверной части для установки задачи на работу ЭНС и получения результатов. Таким образом, клиентская часть представляет собой так называемый «тонкий клиент» – клиент, который переносит большую часть задач по обработке информации на серверную часть.

Программная реализация интегрированной ЭНС автоматизированного контроля качества нефтепродуктов показала высокую производительность на практике при внедрении в систему управления технологическим процессом для повышения эффективности в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества автомобильных бензинов.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации содержатся новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны. Получены следующие основные результаты.

1. Разработана и внедрена в технологический процесс производства автомобильных бензинов экспертно-нейросетевая система (ЭНС) автоматизированного контроля качества по их спектральным данным, позволяющая учесть особенности функционирования сложной системы, такие как проведение периодического контроля, мониторинг и нарушение технологического процесса.

2. Разработан метод построения интеллектуальных систем управления технологическим процессом – объединены экспертная система и нейросеть в одну ЭНС, что даёт синергетический эффект при идентификации оптических спектральных данных: снижает их размерность до размерности, определяемой небольшим числом классов, и повышает правдоподобие классификации.

Показана эффективность применения в интегрированной ЭНС простейшей трехслойной нейронной сети, количество нейронов которой равно числу идентифицируемых классов: что повышает достоверность определения марки бензина до 100%.

3. Создано информационное и программное обеспечение автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) – применение экспертной системы повышает гибкость и функциональность всей интегрированной ЭНС: позволяет интерпретировать исходные данные; оценивать по интерпретированным данным их сопутствующие показатели (в случае оптических спектральных данных – показатели многокомпонентных молекулярных соединений, порождающих эти данные, концентрации соединений с известными спектрами).

4. Создано специальное программное обеспечение АСУТП в реальном времени. Прототип ЭНС разработан на основе клиент-серверной архитектуры: клиентская часть реализована в виде веб-клиента – она представляет собой т.н.

«тонкий клиент», т.е. клиент, который переносит большую часть задач по обработке информации на серверную часть; серверная часть ЭНС обрабатывает запросы клиентов.

5. Программная реализация интегрированной ЭНС автоматизированного контроля качества нефтепродуктов показала высокую производительность на практике при внедрении в систему управления технологическим процессом для повышения эффективности в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества автомобильных бензинов.

В результате экспериментальных исследований с использованием программно-вычислительного комплекса оценки качества производственных процессов «Своевременность», было показано, что применение ЭНС в технологическом процессе повышает своевременную обработку показателей качества на 20 – 75%.

7. Результаты исследования, а именно: ЭНС идентификации больших данных автоматизированного контроля качества автомобильных бензинов, предложенные алгоритмы, модели и методы, программное обеспечение – реализованы в научно-исследовательских работах научно-технологический центра уникального приборостроения РАН (НТЦ УП РАН) и в ИНХС РАН; в учебном процессе кафедры математического обеспечения и стандартизация информационных технологий института информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев, К. В. Автоматизированный контроль качества продукции в непрерывном цикле промышленных предприятий / К. В. Гусев, С. А. Красников, В. М. Образцов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 3. – С. 149-152.
2. Минэнерго России. Инструкция по контролю и обеспечению сохранения качества нефтепродуктов в организациях нефтепродуктообеспечения: Приказ об утверждении от 19.06.2003 г. №231.
3. Правительство РФ. Технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту»: Постановление от 27.02.2008 г. №118 (с изменениями от 25 сентября, 30 декабря 2008 г., 21 апреля 2010 г.).
4. Минэнерго РФ. Правила технической эксплуатации автозаправочных станций: Приказ от 1 августа 2001 г. № 229 (с изменениями от 17 июня 2003 г.)//РД 153-39.2-080-01.
5. Комиссия Таможенного союза. Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» (ТР ТС 013/2011): Решение от 18 октября 2011г. № 826.
6. Совет Евразийской экономической комиссии. Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям (ТР ТС 030/2012): Решение 20 июля 2012 г. № 59.
7. Правительство РФ. Об утверждении специального технического регламента «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ»: Постановление от 12 октября 2005 г. № 609 (с изменениями от 27 ноября 2006 г., 26 ноября 2009 г.).
8. Разработка концепции автоматизированной информационной

измерительной системы качества нефти и продуктов ее переработки на нефтеперерабатывающих предприятиях Компании»: итоговый отчет о НИР по договору с ОАО «Газпромнефть» № 2649/1200. / Алаторцев Е.И., Пугач И.А., Леонтьева С.А. и др. – М.: ОАО «ВНИИ НП», 2012. – 156 с.

9. Правительство Российской Федерации. Программа разработки технических регламентов: Распоряжение от 9 марта 2010 г. № 300-р.

10. ЛУКОЙЛ. Стандарт организации СТО 00044434-006-2005. Бензины автомобильные ЭКТО. Технические условия. – М.: 2006.

11. ЛУКОЙЛ. Стандарт организации СТО 00044434-007-2005. Топливо дизельное ЭКТО. Технические условия. – М.: 2006.

12. Гусев, К.В. Кластеризация многомерных спектральных данных с применением алгоритма уменьшения размерности / К. В. Гусев, С. В. Николаева, С. А. Красников, М. В. Сартаков [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 10. – С. 273-277.

13. Гусев, К.В. Технология интегрирования экспертных систем и нейронных сетей для автоматизации идентификации больших данных / К. В. Гусев, А. Е. Краснов, С. А. Красников, М. А. Овчинников // Информатизация образования и науки. – 2023. – № 3(59). – С. 70-80.

14. Гусев, К.В. Метод спектральной компьютерной квалиметрии / К. В. Гусев, С. А. Красников, С. В. Николаева, М. А. Овчинников // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 4. – С. 143-146.

15. Гусев, К.В. Архитектура модуля загрузки данных распределенного текстового хранилища / К. В. Гусев, Г. Е. Аввакумов, С. А. Красников // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 12. – С. 294-298.

16. Краснов, А.Е. Основы спектральной компьютерной квалиметрии жидких сред/ А.Е. Краснов, А.В. Воробьева, Ю.Г. Кузнецова и др. – М.: Юриспруденция, 2007. -264 с.

17. Гусев, К.В. Формирование системы булевых функций, используемых при оценке достоверности числовых показателей и выборе моделей прогнозирования их новых значений в базах данных большой размерности / К.

В. Гусев, А.С. Леонтьев // Журнал «Системы высокой доступности»  
Издательство «Радиотехника», Москва, Том 18 № 1. 2022.

18. Белянин, Б.В. Технический анализ нефтепродуктов и газа./ Б.В. Белянин, В.Н. Эрих. – 2-е изд. перераб. и доп. - Л.: Химия, 1970. - 344 с.

19. Белянин, Б.В., Эрих В.Н. Технический анализ нефтепродуктов и газа./ Б.В. Белянин, В.Н. Эрих. – 3-е изд. перераб. и доп. - Л.: Химия, 1975. – 338 с.

20. Саблина, З.А. Лабораторные методы оценки свойств моторных и реактивных топлив./ З.А. Саблина, Г.Б. Широкова, Т.И. Ермакова. - М.: Химия, 1978. - 240 с.

21. Гусев, К.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669265 Российская Федерация. Экспертно-нейронная система для идентификации больших данных (серверная часть) : № 2023668185 : заявл. 28.08.2023: опубл. 12.09.2023 / К. В. Гусев, М. А. Овчинников, С. А. Красников, А. Е. Краснов.

22. Гусев, К.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669036 Российская Федерация. Экспертно-нейронная система для идентификации больших данных (клиентская часть) : № 2023668219 : заявл. 28.08.2023: опубл. 07.09.2023 / К. В. Гусев, М. А. Овчинников, А. Е. Краснов, С. А. Красников.

23. Гусев, К. В. Технология интегрирования экспертных систем и нейронных сетей для автоматизации идентификации больших данных / К. В. Гусев // Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности: Сборник трудов XXVI Международной конференции, XXIV Международного конкурса научных и научно-методических работ, 09–10 ноября 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Экон-Информ", 2023. – С. 44-46.

24. Гусев, К.В. Новый подход к построению систем идентификации больших данных / К.В. Гусев, С.А. Красников // Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности: Сборник трудов XXVII Международная конференция; XXV Международный

конкурс научных и научно-методических работ, 08–09 февраля 2024 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Экон-Информ", 2024. – С. 26-29.

25. Макеева, О. В. Анализ методов и средств обработки векторных массивов данных в нейроструктурах / О. В. Макеева, С. А. Красников, С. В. Николаева // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2023. – № 5. – С. 84-87.

26. Красников, С. А. Метод сжатия и визуализации многомерных данных / С. А. Красников, Е. А. Чернов. – Москва: ООО "Издательство "Спутник+", 2022. – 115 с.

27. Филатов, А. С. Алгоритмы оптимального различения обобщённых спектральных данных / А. С. Филатов, С. В. Николаева, С. А. Красников // Информационно-аналитические и интеллектуальные системы для производства и социальной сферы : Сборник статей всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых учёных, Москва, 24 ноября 2022 года / Российский биотехнологический университет. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2022. – С. 5-12.

28. Краснов, А. Е. Различение спектральных данных / А. Е. Краснов, С. В. Николаева, С. А. Красников, А. С. Филатов // Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности : XXIII Международная конференция, XXI Международный конкурс научных и научно-методических работ, II Международный конкурс «Нейросетевой рисунок», Москва, 10–11 ноября 2022 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Экон-Информ", 2022. – С. 65-67.

29. Николаева, С. В. Использование мер сходства для анализа данных / С. В. Николаева, С. А. Красников, М. Л. Рысин // Естественные и технические науки. – 2022. – № 11(174). – С. 213-215.

30. Макеева, О. В. Технологии разработки программных приложений / О. В. Макеева, С. А. Красников, М. Б. Туманова, Е. А. Чернов // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 3. – С. 124-127.

31. Краснов, А. Е. Моделирование системы принятия решений в условиях нечеткой информации с помощью функций принадлежности различных видов / А. Е. Краснов, С. А. Красников, С. В. Николаева [и др.] // Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности : XII Международная конференция и X Международный конкурс научных и научно-методических работ, Москва, 15–16 февраля 2019 года. – Москва: ООО "Издательство "Спутник+", 2019. – С. 29-33.

32. Краснов, А. Е. Оценивание объёмных концентраций веществ с известными ИК-спектрами молекулярного поглощения в смесях с неизвестными молекулярными компонентами / А. Е. Краснов, С. А. Красников, С. В. Николаева [и др.] // Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности : Сборник научных трудов XIV Международной конференции и XII Международного конкурса научных и научно-методических работ, Москва, 01–02 ноября 2019 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Экон-Информ", 2019. – С. 59-63.

33. Красников, С. А. Интеллектуальная компьютерная квалиметрия бензинов по инфракрасным спектрам / С. А. Красников, С. В. Николаева, А. Е. Краснов, А. С. Мясоедов // Естественные и технические науки. – 2019. – № 12(138). – С. 307-311.

34. Николаева, С. В. Непараметрические методы оценивания функционально-технологических свойств жидких сред / С. В. Николаева, С. А. Красников, В. М. Образцов // Естественные и технические науки. – 2019. – № 12(138). – С. 342-345.

35. Мищенко, А.И. Модель экспертной системы для контроля качества жидких сред по их спектральным характеристикам / А.И. Мищенко, С.А. Красников, С.В. Николаева // Системный анализ в проектировании и управлении : сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 22–24 мая, 2018. – С. 147-151.

36. Красников, С. А. Информационная технология экспресс-

идентификации и контроля качества горюче-смазочных материалов / С. А. Красников, Ю. В. Боголюбская, Т. А. Костюкова [и др.] // Естественные и технические науки. – 2016. – № 1(91). – С. 67-71.

37. Краснов, А. Е. Метод спектральной компьютерной квалиметрии в системах контроля качества бензинов / А. Е. Краснов, С. А. Красников, А. В. Костров // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2013. – № 3(72). – С. 39-44.

38. Краснов, А. Е. Агрегированное параметрическое описание состояний сложных систем на разных уровнях иерархии / А. Е. Краснов, С. А. Красников, С. В. Николаева, Е. А. Чернов // Инновационные информационные технологии. – 2013. – № 2-2. – С. 278-285.

39. Красников, С. А. Методология построения систем контроля качества жидких сред по спектральным характеристикам : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Красников Степан Альбертович. – Владимир, 2012. – 244 с.

40. Краснов, А. Е. Анализ состояний веществ по их спектральным данным на основе метода параметрического оценивания / А. Е. Краснов, С. А. Красников // Технологии 21 века в легкой промышленности. – 2011. – № 5. – С. 199-210.

41. Красников, С. А. Информационная экспертная система идентификации и оценки качества углеводородных соединений по спектрам инфракрасного поглощения / С. А. Красников // Актуальные проблемы современной науки. – 2010. – № 1(51). – С. 156-158.

42. Красников, С. А. Информационно-измерительный комплекс для экспресс-анализа качества многокомпонентных сред / С. А. Красников, А. Н. Дроханов, Е. А. Чернов // Техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 23-25.

43. Краснов, А. Е. Патент № 2334971 С2 Российская Федерация, МПК G01N 21/35. Способ идентификации и контроля качества многокомпонентных соединений: № 2006128931/28: заявл. 09.08.2006: опубл. 27.09.2008 / А. Е.

Краснов, С. А. Красников, Д. Ю. Анискин, В. А. Вагин; заявитель ООО "Интеллектуальные Компьютерные Технологии".

44. Зубов, А. И. Новая информационная технология экспресс идентификации и контроля качества горюче-смазочных материалов / А. И. Зубов, А. Е. Краснов, С. А. Красников // Вестник авиации и космонавтики. – 2008. – № 1. – С. 45-47.

45. Краснов, А. Е. Информационно-измерительная система идентификации и оценивания качества углеводородных соединений по спектрам инфракрасного поглощения / А. Е. Краснов, С. А. Красников, А. А. Никитин // Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий. – 2008. – № 1. – С. 244-246.

46. Анискин, Д.Ю. Модели и численные методы оценки качества углеводородных соединений по их инфракрасным спектрам: специальность 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Анискин Дмитрий Юрьевич. – Москва, 2006. – 119 с.

47. Краснов, А.Е. Основы спектральной компьютерной квалиметрии жидких сред / А. Е. Краснов. – Москва: ИД "Юриспруденция", 2011. – 263 с.

48. Алаторцев, Е. И. К вопросу о методическом обеспечении контроля и сохранения качества нефти и нефтепродуктов / Е. И. Алаторцев // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2021. – № 10. – С. 33-36.

49. Алаторцев, Е.И. Применение методов испытаний нефти и нефтепродуктов в спорных ситуациях при реализации технических регламентов / Е. И. Алаторцев, В. А. Иванов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2020. – № 9. – С. 3-9.

50. Алаторцев, Е.И. Развитие системы контроля качества нефти и нефтепродуктов / Е.И. Алаторцев, С.А. Леонтьева, А.А. Ботин, Е.В. Подлеснова // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2018. – №

5. – С. 10-13.

51. Алаторцев, Е. И. Комплексное совершенствование контроля качества на НПЗ / Е.И. Алаторцев // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2016. – № 2. – С. 21-25.

52. Алаторцев, Е.И. К вопросу о достоверности методов испытаний нефтепродуктов / Е.И. Алаторцев, В.А. Иванов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2016. – № 4. – С. 31-33.

53. Алаторцев, Е. И. Системные основы и методология комплексного совершенствования контроля качества нефтепродуктов: специальность 05.17.07 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Алаторцев Евгений Иванович, 2015. – 346 с.

54. Алаторцев, Е. И. Автоматизация контроля качества нефтепродуктов / Е. И. Алаторцев // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2014. – № 8. – С. 47-49.

55. Страхов, А.Ф. Патент № 2187092 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/31. Способ контроля качества нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов: № 2001114143/28: заявл. 28.05.2001: опубл. 10.08.2002 / А. Ф. Страхов, И. В. Чечкенов, О. А. Страхов, Е. И. Алаторцев; заявитель Закрытое акционерное общество Московское конструкторское бюро "Параллель".

56. Алаторцев, Е.И. Автоматизированная система идентификации и контроля качества горючего на основе Фурье-спектрометра АФ-1 / Е.И. Алаторцев, А.А. Балашов, В.А. Вагин, А.В. Висковатых [и др.] // Оптический журнал. – 1999. – № 10. – С. 89-113.

57. Компьютерная оптика. / Под ред. Е.П. Велихова и А.М. Прохорова. – М.: МЦНТИ, 1989.

58. Анализатор топлива FOX, метод FTIR с применением спектрометра Фурье. Инструкция и технические условия. – 1998. – 35 с.

59. ИК Фурье-спектрометр Spectrum 2000. Приборы фирмы Perkin Elmer

для нефтехимии и нефтепереработки. – М.: 1997. - 23 с.

60. Клячкин В.Н. Многомерный статистический контроль технологического процесса. / Клячкин В.Н. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 192 с.

61. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 ÷ ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. – М.: Стандартиформ, 2006.

62. Дворкин, В.И. Внутрिलाбораторный контроль точности результатов измерений по стандартам ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 и ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. В.И. Дворкин. // Партнеры и конкуренты. - 2003. - № 1. - С. 26 - 39.

63. Заварин, А.Н. Использование априорной информации в непараметрических оценках функции регрессии./ А.Н. Заварин. // Автоматика и телемеханика. – 1985. - № 5. - С. 79 - 86.

64. Заварин, А.Н. О вероятностных моментах непараметрической оценки функции регрессии. / А.Н. Заварин. // Автоматика и телемеханика. - 1985. - № 4. - С. 57 ÷ 68.

65. Ту, Дж. Принципы распознавания образов./ Дж. Ту, Р. Гонсалес; перевод с англ. – М.: Мир, 1978. – 411 с.

66. Горев С.М. Автоматизация производственных процессов нефтяной и газовой промышленности. Курс лекций. / С.М. Горев. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2003. - Ч. 1. – 121 с.

67. ГОСТ Р 53798-2010 Стандартное руководство по лабораторным информационным менеджмент-системам (ЛИМС). - М.: Стандартиформ, 2010. -73 с.

68. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа. РМГ 76-2004. – М.: Стандартиформ, 2007. – 86 с.

69. Черников, А.Г. Разработка автоматизированной системы принятия решений по результатам анализа: отчет о НИР (шифр "Лаборатория"). /

А.Г.Черников, М.А.Егоров, Е.И.Алаторцев, С.А.Худынин. - Ульяновск: УВВТУ, 1994. - 60 с.

70. Чечкенов, И.В. К вопросу о применении ИК-спектроскопии для контроля качества нефтепродуктов. / И.В. Чечкенов, Е.И. Алаторцев. // Научно-технический сборник. – Ульяновск: УВВТУ, 1995. - № 25. – С.45-51.

71. Алаторцев, Е.И. Переносной анализатор качества бензинов. / Е.И. Алаторцев, С.И. Алексеев, Д.Ю. Анискин и др.// Фундаментальная наука в интересах развития критических технологий: конференция РФФИ. - Владимир: 2006.

72. Анискин, Д.Ю. Модели и численные методы оценки качества углеводородных соединений по их инфракрасным спектрам: дис. ...канд. техн. наук: 05.13.18/ Анискин Дмитрий Юрьевич. – М.: - 2006. – 115 с.

73. Красников, С. А. Методология построения систем контроля качества жидких сред по спектральным характеристикам: дис. ...д-ра техн. наук: 05.13.18/ Красников Степан Альбертович. - 2011. – 300 с.

74. Васильев, В.А. Непараметрическое оценивание функционалов от распределений стационарных последовательностей. / Васильев В.А., Добровидов А.В., Кошкин Г.М. // – М.: Наука, 2004. – 508 с.

75. Емельянов, В.Е. Все о топливе. Автомобильный бензин: Свойства, ассортимент, применение / Емельянов В.Е. – М.:Астрель-АСТ, Москва. 2003. – 80 с.

76. Кюрегян, С.К. Атомный спектральный анализ нефтепродуктов. / Кюрегян С.К. - М.: Химия, 1985.- 319 с.

77. Сафонов, А.С. Автомобильные топлива: Химмотология. Эксплуатационные свойства. Ассортимент. / Сафонов А.С., Ушаков А. И., Чечкенов И. В. - СПб.: Издательство «НПИКЦ», 2002.-264 с

78. Ту, Дж. Принципы распознавания образов. Перевод с англ. / Ту Дж., Гонсалес Р. – М.: Мир, 1978. – 411 с.

79. Krasnov, A.E. The model of the cybernetic network and its realization on the cluster of universal and graphic processors. Proceedings of the Scientific-

Practical Conference “Research and Development - 2016” / Krasnov A.E., Kalachev A.A., Nadezhdin E.N., Nikol'skii D.N. 2016. P. 117-128.

80. Хайдарова, Р.Р. Модель распределенной сверточной нейронной сети на кластере компьютеров с ограниченными вычислительными ресурсами. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики / Хайдарова Р.Р., Муромцев Д.И., Лапаев М.В., Фищенко В.Д. том 20, № 5, 2020, С. 739-746.

81. Laurens van der Maaten. Visualizing data using t-SNE. Journal of Machine Learning Research, Laurens van der Maaten № 9, 2008. P. 2579-2605. –URL:

82. Краснов, А.Е. Способ нейроподобного снижения размерности оптических спектров. / Краснов, А.Е., Никольский Д.Н., Калачев А.А. Патент РФ 2 635 331, 2016.

83. Krasnov, A.E. Fast Methods for Reducing Dimensionality of Spectral Data for their Visualization. Journal of Applied Spectroscopy / Krasnov A.E, Vagin V.A., Nikol'skii, D.N. Vol. 86, Issue 2, 2019. P. 369–369 (Russian Original Vol. 86, No. 1, pp. 101-105. January–February, 2019).

84. Nadaraya, E.A. On estimating regression. Theory of probability and its applications journal / Nadaraya, E.A. Volume 9, No. 1, 1964. P. 141-142.

85. Watson, G.S. Smooth regression analysis. Sankhyā. The Indian journal of statistics, series A/ Watson, G.S. Volume. 26, No. 4, 1964. P. 359-372.

86. Mamdani, E.H. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller. International Journal Man-Machine Studies, / Mamdani E.H., Assilia, S. Volume 7, Issue 1, 1975. P. 1–13.

87. Krasnov, A.E. Multilayered neural-like network of direct propagation with the adjustment according to similarity measures of vectors of the learning sample. In Proceedings of 2nd International Scientific Conference "Convergent Cognitive Information Technologies" / Krasnov A.E., Nadezhdin E.N., Nikol'skii D.N., Shmakova E.G Convergent 2017, Moscow, Russian Federation, 24 - 26 November, Volume 2064, 2017. P. 209-218. – URL:

88. Poznyak, A.S. Differential Neural Networks for Robust Nonlinear Control.

Identification / Poznyak A.S., Sanchez E.N., Yu W. State Estimation and Trajectory Tracking. – Singapore. World Scientific publishing, 2001. – 422 p.

89. Краснов, А.Е. Синтез нечетких мер оптимального различения зашумленных данных // Параллельные вычисления и задачи управления / Краснов А.Е., Красников С.А. М.: Институт проблем управления, 2001. С. 33 – 57.

90. Красников, С.А. Разработка мер сходства для различения векторов состояний на фоне помех. В сб.: «Технологии, научно-техническое и информационное обеспечение в образовании и производстве» / Красников С.А. – Материалы научно-практической конференции ВФ МГТА (Москва, 25 апреля 2001 г.). – Вязьма, 2001, с. 11 – 12.

91. Костогрызов, А.И. Основы противоаварийной устойчивости угольных предприятий / А. И. Костогрызов, В. Н. Костеренко, А. Н. Тимченко, В. Б. Артемьев. – Москва : Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2014. – 336 с.

92. Атенцио, Л. Функциональное программирование на JavaScript: как улучшить код JavaScript-программ / Л. Атенцио. - М.: Диалектика, 2018. - 304 с.

93. Блох, Дж. Java: эффективное программирование / Дж. Блох. - М.: Диалектика, 2019. - 464 с.

94. Васильев, А.Н. Java. Объектно-ориентированное программирование: Учебное пособие: для магистров и бакалавров. Базовый курс по объектно-ориентированному программированию / А.Н. Васильев. - СПб.: Питер, 2013. - 400 с.

95. Гарнаев, А. Web-программирование на Java и JavaScript / А. Гарнаев. - СПб.: ВHV, 2005. - 1040 с.

96. Герман, О.В. Программирование на Java и C# / О.В. Герман. - СПб.: ВHV, 2012. - 512 с.

97. Дашнер, С. Изучаем Java EE. Современное программирование для больших предприятий / С. Дашнер. - СПб.: Питер, 2018. - 384 с.

98. Курняван, Б. Программирование WEB-приложений на языке Java / Б. Курняван. - М.: Лори, 2014. - 880 с.
99. Машнин, Т.С. Web-сервисы Java. Профессиональное программирование / Т.С. Машнин. - СПб.: BHV, 2012. - 560 с.
100. Нимейер, П. Программирование на Java / П. Нимейер, Д. Леук. - М.: Эксмо, 2018. - 448 с.
101. Смоленцев, Н.К. MATLAB. Программирование на C++, C#, Java и VBA / Н.К. Смоленцев. - М.: ДМК, 2015. - 498 с.
102. Фримен, Э. Изучаем программирование на JavaScript / Э. Фримен. - СПб.: Питер, 2016. - 96 с.
103. Krasnov, A. E. Multilayered neural-like network of direct propagation with the adjustment according to similarity measures of vectors of the learning sample / A. E. Krasnov, E. N. Nadezhdin, D. N. Nikol'skii, E. G. Shmakova // CEUR Workshop Proceedings : Selected Papers of the 2nd International Scientific Conference "Convergent Cognitive Information Technologies", Convergent 2017, Moscow, 24–26 ноября 2017 года. Vol. 2064. – Moscow: Без издательства, 2017. – P. 209-218.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### **Приложение 1. Описание процесса автоматизации стабилизации и фракционирования бензиновых фракций с внедрением экспертно-нейросетевой системы**

Описание процесса автоматизации стабилизации и фракционирования бензиновых фракций с внедрением ЭНС следующее (рисунки 5.1 – 5.2).

Колонна К-4 оборудована 40 клапанными тарелками.

Бензин из емкости Е-1 насосами Н-6А, Н-6В через Т-23, Т-24/1÷4 направляется на 20-ю тарелку стабилизационной колонны К-4. Температура потока нестабильного бензина на входе в К-4 на выходе регистрируется прибором поз. ТИР119.

Температура на 20-й тарелке в колонне К-4 регистрируется прибором поз. ТИР120.

С верха колонны К-4 пары воды и пропан-бутановая фракция (ПБФ) поступают для охлаждения в аппарат воздушного охлаждения ХВ-4/1÷3 и далее в межтрубное пространство водяного холодильника Х-4, где охлаждается оборотной водой 2-й системы. Температура оборотной воды 2-й системы на выходе из Х-4 контролируется прибором поз. ТИ125.

Температура верхнего продукта колонны К-4 после аппаратов воздушного охлаждения ХВ-4/1-3 регистрируется приборами поз. ТИРСА155, поз. ТИРСА153, поз. ТИРСА151, соответственно, с сигнализацией по максимальному значению параметра и регулируется изменением частоты вращения вентиляторов ХВ-4/1÷3.

После конденсации и охлаждения ПБФ поступает в ёмкость Е-4.

Температура в емкости Е-4 регистрируется прибором поз. ТИР124. Давление в емкости Е-4 контролируется по манометру поз. ПИ138.

Для уменьшения коррозии в шлемовую трубу колонны К-4, перед аппаратом воздушного охлаждения ХВ-4/1÷3, подаются бензиновые растворы ингибитора коррозии и нейтрализатора. Растворы из емкостей Е-15 и Е-16 подаются насосом подачи реагентов Н-38.



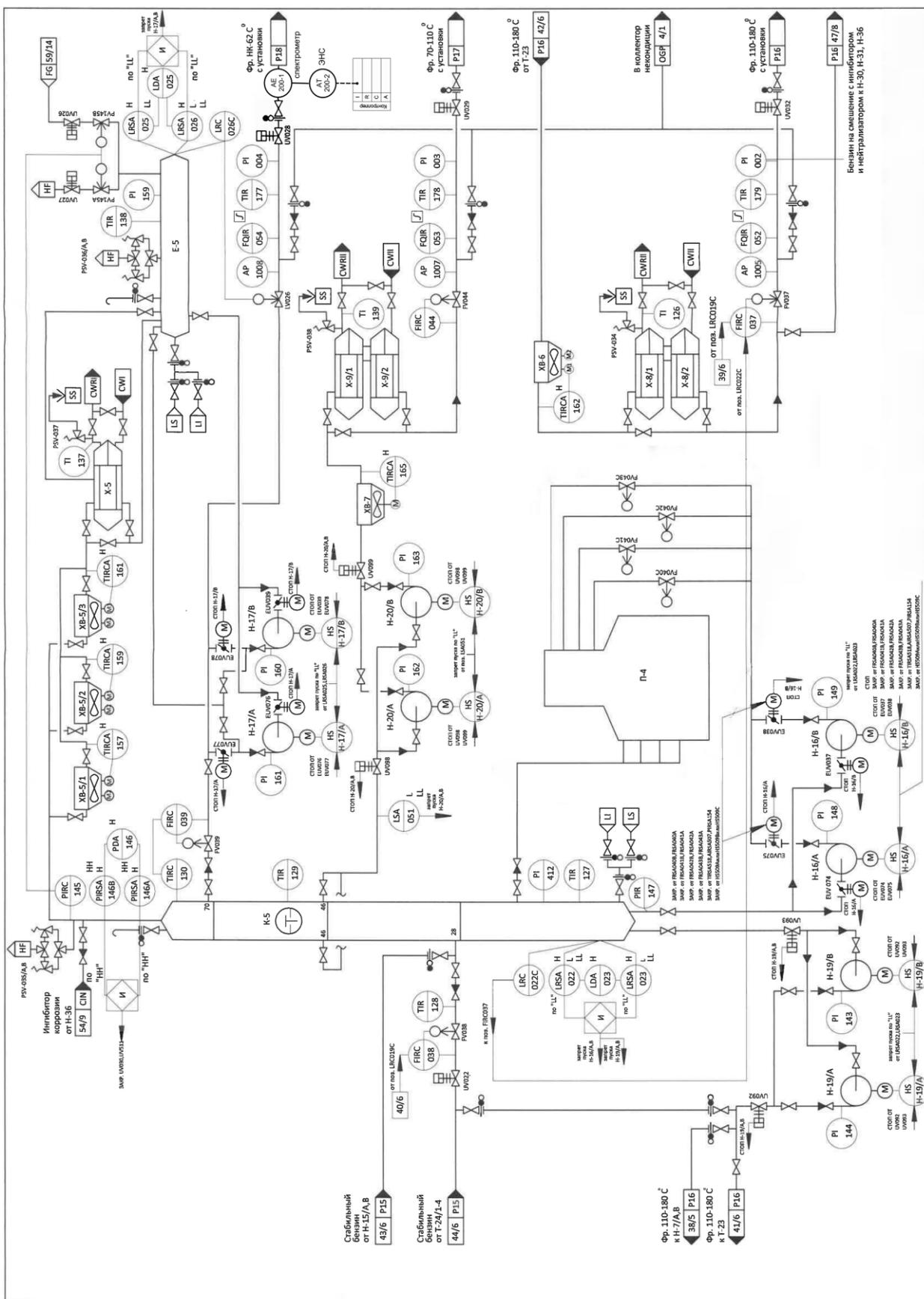


Рисунок 5.2 – Функциональная схема автоматизации с внедрением ЭНС системы фракционирования автомобильного бензина

Часть ПБФ из емкости Е-4 насосами Н-14А, Н-14В подается на орошение колонны К-4, балансовое количество охлаждается в водяном холодильнике ПБФ Х-7/1,2 (по межтрубному пространству), где охлаждаются оборотной водой 2-й системы и выводится с установки. Температура оборотной воды 2-й системы на выходе из Х-7/1,2 контролируется прибором поз. TI113. На приёмах и выкидах насосов Н-14А, Н-14В установлена арматура с электроприводом поз. EUV071, поз. EUV036 и поз. EUV072, поз. EUV073, соответственно. Давление на нагнетании насосов Н-14А, Н-14В контролируется по манометрам поз. PI141, поз. PI142 соответственно.

Общий расход пропан-бутановой фракции с установки регистрируется прибором поз. FQIR058, температура прибором поз. TIR180, давление контролируется по манометру поз. PI192. На линии вывода пропан-бутановой фракции с установки установлена арматура с пневмоприводом поз. UV023.

Расход орошения в колонну К-4 регистрируется прибором поз. FIRC036 и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV036, установленным на трубопроводе подачи орошения в колонну, с коррекцией температуры верха колонны К-4 по прибору поз. TIRC122.

Уровень в Е-4 регистрируется приборами поз. LIRCSA021 и поз. LISA020, с сигнализацией минимального и максимального значения уровня, блокировкой по низкому уровню (10%, два из двух) запрет пуска насосов Н-14А, Н-14В, и поддерживается клапаном-регулятором поз. LV021, установленным на линии вывода пропан-бутановой фракции с установки. Рассогласования показаний приборов поз. LIRCSA021 и поз. LISA020 контролируется по поз. LDA020, с сигнализацией по максимальному значению параметра.

Уровень раздела фаз в емкости Е-4 регистрируется прибором поз. LIRCA004 с сигнализацией по минимальному и максимальному значению параметра и поддерживается клапаном-регулятором поз. LV004, установленным на трубопроводе вывода кислой воды из Е-4 в сборник кислой воды Е-3. Емкость Е-4 оснащена местным уровнемером поз. LG050.

Давление в колонне К-4 регистрируется прибором поз. PIRCA129 с сигнализацией по максимальному значению параметра и поддерживается либо клапаном-регулятором поз. PV129А, установленным на шлемовой линии колонны К-4 перед воздушными холодильниками ХВ-4/1÷3, либо клапаном-регулятором поз. PV129В на линии сброса газа из емкости Е-4 на факел или в линию вывода газа на УОСГ. Выбор регулирующего параметра определяется со станции оператора электронным ключом HS129В в зависимости от технологического режима. Расход отдувочного газа с Е-4 в линию вывода газа на УОСГ контролируется и регистрируется по прибору поз. FQIR3006. На линии сброса газа с Е-4 на факел смонтирована арматура с пневмоприводом поз. UV021. На линии сброса газа с Е-4 в линию вывода газа на УОСГ смонтирована арматура с пневмоприводом поз. UV126.

Перепад давления между колонной К-4 и емкостью Е-4 регистрируется прибором поз. PDIC140 и поддерживается клапаном-регулятором поз. PDV140, установленного на линии байпаса помимо воздушного холодильника ХВ-4/1÷3 и водяного холодильника Х-4.

Давление в колонне К-4 регистрируется приборами поз. PIRSA137А и поз. PIRSA137В сигнализацией и блокировкой по максимальному значению. При подъеме давления в К-4 до блокировочного значения ( $14 \text{ кгс/см}^2$ ) срабатывает блокировка по закрытию клапанов поз. UV024, поз. UV510 на газообразном топливе к основным горелкам печи П-3. Рассогласование показаний приборов поз. PIRSA137А и поз. PIRSA137В контролируется по поз. PDA137, с сигнализацией по максимальному значению параметра.

Уровень в колонне К-4 контролируется по приборам поз. LRSA018 и поз. LRSA019, с сигнализацией по минимальному и максимальному значению уровня. При достижении минимального уровня по приборам поз. LRSA018 и поз. LRSA019 (два из двух) блокировочного значения (10%) срабатывает блокировка по запрету пуска насосов Н-15А, Н-15В. Рассогласование показаний приборов поз. LRSA018 и поз. LRSA019 контролируется по поз. LDA018, с сигнализацией максимального значения параметра. Постоянство

уровня в К-4 контролируется по прибору поз. LRC019C и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV038, установленным на линии загрузки К-5.

Давление в кубе колонны К-4 регистрируется прибором поз. PIR139.

Температура в кубе колонны К-4 регистрируется прибором поз. TIR121.

Стабилизированная бензиновая фракция НК-180 °С из куба К-4 под собственным давлением подается в трубное пространство теплообменников Т-24/3,4, Т-24/1,2, где охлаждается за счёт нагрева потока нестабильного бензина по межтрубному пространству и затем направляется во фракционирующую колонну К-5 на 28 тарелку. На трубопроводе откачки стабильного бензина после теплообменников Т-24/3,4, Т-24/1,2 установлены манометры поз. PI127, поз. PI128, соответственно.

Расход стабильного бензина в колонну К-5 регистрируется прибором поз. FIRC038 и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV038, установленным на трубопроводе подачи стабильного бензина в колонну К-5, с коррекцией по уровню в колонне К-4 по прибору поз. LRC019C. На линии подачи стабильного бензина в колонну К-5 перед клапаном-регулятором поз. FV038 смонтирована арматура с пневмоприводом поз. UV022.

При работе установки без колонны К-5 расход стабильного бензина с установки регистрируется прибором поз. FIRC037 и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV037, установленным на трубопроводе вывода фр.110-180°С с установки, с коррекцией по уровню в колонне К-4 по прибору поз. LRC019C.

Часть кубового продукта, выводимого из колонны К-4, поступает на прием насосов горячей струи Н-15А, Н-15В и далее четырьмя параллельными потоками направляется в печь П-3, нагрева горячей струи стабилизационной колонны К-4, где нагревается за счёт сжигания газообразного топлива. На приёмах и выкидах насосов Н-15А, Н-15В установлена арматура с электроприводом поз. EUV032, поз. EUV033 и поз. EUV034, поз. EUV035, соответственно. Давление на нагнетании насосов Н-15А, Н-15В контролируется по манометрам поз. PI131, поз. PI130, соответственно.

В период пуска, для заполнения колонны К-5 и регулирования уровня в колонне К-4, имеется пусковая линия с выкида Н-15А, Н-15В на 28-ую тарелку колонны К-5. Расход стабильного бензина с выкида Н-15А, Н-15В на 28-ую тарелку колонны К-5 регистрируется прибором поз. FIRC070 и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV070, установленным на трубопроводе подачи стабильного бензина с выкида Н-15А, Н-15В на 28-ю тарелку колонны К-5.

Расход горячей струи по каждому потоку печи П-3 контролируется по приборам поз. FRSA032А и поз. FRSA032В (по 1-му потоку), поз. FRSA033А и поз. FRSA033В (по 2-му потоку), поз. FRSA034А и поз. FRSA034В (по 3-му потоку), поз. FRSA035А и поз. FRSA035В (по 4-му потоку), с сигнализацией и блокировкой по минимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. FRSA032А и поз. FRSA032В контролируется по поз. FDA032, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. FRSA033А и поз. FRSA033В контролируется по поз. FDA033, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. FRSA034А и поз. FRSA034В контролируется по поз. FDA034, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. FRSA035А и поз. FRSA035В контролируется по поз. FDA035, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Постоянство расходов контролируется по приборам поз. FRC032С (по 1-му потоку), поз. FRC033С (по 2-му потоку), поз. FRC034С (по 3-му потоку), поз. FRC035С (по 4-му потоку) и поддерживается клапанами-регуляторами поз. FV032С, поз. FV033С, поз. FV034С, поз. FV035С, соответственно, расположенными на входе каждого из потоков в печь П-3.

При снижении расхода по приборам поз. FRSA032А и поз. FRSA032В (два из двух) или поз. FRSA033А и поз. FRSA033В (два из двух) или поз. FRSA034А и поз. FRSA034В (два из двух) или поз. FRSA035А и поз. FRSA035В (два из двух) до блокировочного значения ( $33 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) срабатывает

блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV024, поз. UV510 на топливном газе к основным горелкам П-3;

- клапан поз. UV025 на топливном газе к пилотным горелкам П-3.

– с задержкой 180 сек. закрываются:

- электроздвижки поз. EUV034 и поз. EUV035 на выкиде Н-15А, Н-15В;

- останавливается насос Н-15А, Н-15В.

– с задержкой 240 сек. открывается:

- электроздвижка поз. EUV043 на подаче пара в змеевики печи П-3.

Давление каждого потока продукта на входе в змеевики печи П-3 регистрируется приборами поз. PIR132, поз. PIR133, поз. PIR134, поз. PIR135, соответственно.

Температура горячей струи на выходе из змеевиков печи П-3 регистрируется приборами поз. TIRA114, поз. TIRA115, поз. TIRA116, поз. TIRA117, с сигнализацией по максимальному значению параметра.

На выходе из печи П-3 потоки объединяются и поступают в колонну К-4. Температура горячей струи на выходе из змеевика печи П-3 регистрируется приборами поз. TIRSA172А и поз. TIRSA172В, с сигнализацией и блокировкой по максимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. TIRSA172А и поз. TIRSA172В контролируется по поз. TDA172, с сигнализацией по максимальному значению параметра. При повышении температуры по приборам поз. TIRSA172А и поз. TIRSA172В (два из двух) до блокировочного значения (240°С) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапана поз. UV024, поз. UV510 на топливном газе к основным горелкам П-3;

- клапан поз. UV025 на топливном газе к пилотным горелкам П-3.

Температура горячей струи на входе в колонну К-4 из печи П-3 контролируется по прибору поз. TIRC118, работающим в каскадной схеме с

регулятором давления топливного газа поз. PIRCA544 (газ к основным горелкам печи) и поддерживается клапаном-регулятором поз. PV544, установленным на линии подачи топливного газа к основным горелкам П-3.

Давление общего потока горячей струи на выходе из печи П-3 регистрируется прибором поз. PIRSA136, с сигнализацией по минимальному значению давления.

Температура продуктов горения на «перевале» регистрируется прибором поз. TIRA514 и поз. TIRSA515, с сигнализацией по высокой температуре продуктов сгорания на «перевале».

Содержание кислорода в продуктах сгорания на «перевале» регистрируется прибором поз. AIRSA505, с сигнализацией по низкому содержанию кислорода в продуктах сгорания.

При одновременном достижении блокировочных значений параметров по приборам поз. PIRSA136 (снижении давления нефти на выходе из П-3 до 3,6 кгс/см<sup>2</sup>), поз. TIRSA515 (увеличение температуры продуктов горения на «перевале» печи П-3 до 1000°C), поз. AIRSA505 (снижении содержания кислорода в продуктах сгорания до 0,2 %об) срабатывает блокировка по прогару змеевика. При этом:

– закрываются:

- клапаны поз. UV024, поз. UV510 на топливном газе к основным горелкам П-3;

- клапан поз. UV025 на топливном газе к пилотным горелкам П-3;

- электроздвижки поз. EUV034 и поз. EUV035 на выкиде Н-15А, Н-15В.

– открываются:

- клапан поз. UV204 на подаче пара в камеру сгорания П-3;

- электроздвижка поз. EUV043 на подаче пара в змеевики П-3 (при PIR417 > PIRSA136);

- шибер поз. HV511 на байпасе дымовых газов к котлам-утилизаторам.

– останавливаются:

- дымососы Д-1А, Д-1В, насос Н-15А, Н-15В.

Содержание окиси углерода в продуктах сгорания регистрируется прибором поз. AIRA506, с сигнализацией по высокому содержанию углерода в продуктах сгорания.

Разрежение на «перевале» регистрируется приборами поз. PIRSA553A и поз. PIRSA553B, с сигнализацией и блокировкой по минимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. PIRSA553A и поз. PIRSA553B контролируется по поз. PDA553, с сигнализацией по максимальному значению параметра. При повышении давления по приборам поз. PIRSA553A и PIRSA553B (два из двух) до блокировочного значения (+1 мм вод. ст.) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV024, поз. UV510 на топливном газе к основным горелкам П-3;

- клапан поз. UV025 на топливном газе к пилотным горелкам П-3.

Температура дымовых газов на выходе из печи П-3 регистрируется прибором поз. TIR513.

Давление дымовых газов на выходе из печи П-3 до и после шибера регистрируется приборами поз. PIR552 и поз. PIR551, соответственно.

Для аварийного освобождения змеевиков печей предусмотрена подача водяного пара в каждый из потоков печей. На линии подачи пара на освобождение змеевиков печи установлена электрозаслонка поз. EUV043. Давление пара для освобождения змеевиков печи П-3 контролируется по прибору поз. PIR417.

Расход газа на печь П-3 контролируется по прибору поз. FQIR504.

Давление топливного газа к основным горелкам печи регистрируется приборами поз. PIRCA544, с сигнализацией по максимальному и минимальному давлению и поз. PIRSA546A и поз. PIRSA546B, с сигнализацией и блокировкой по максимальному и минимальному давлению. Давление топливного газа к основным горелкам по месту контролируется по манометру поз. PI545. При повышении или понижении давления по приборам

поз. PIRSA546A и поз. PIRSA546B (два из двух) до блокировочных значений ( $0,4 \text{ кгс/см}^2$  или  $0,01 \text{ кгс/см}^2$ ) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапана поз. UV024, поз. UV510 на топливном газе к основным горелкам

П-3.

Давление топливного газа к основным горелкам у печи П-3 контролируется по манометру поз. PI556 (переносной на все горелки).

Давление топливного газа к пилотным горелкам регистрируется приборами поз. PIRSA549A, поз. PIRSA549B, с сигнализацией и блокировкой по минимальному давлению. Рассогласование показаний приборов поз. PIRSA549A и поз. PIRSA549B контролируется по поз. PDA549, с сигнализацией по максимальному значению параметра. При понижении давления по приборам поз. PIRSA549A и поз. PIRSA549B (два из двух) до блокировочного значения ( $0,05 \text{ кгс/см}^2$ ) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV024, поз. UV510 на топливном газе к основным горелкам П-3;

- клапан поз. UV025 на топливном газе к пилотным горелкам П-3.

Топливный газ, поступающий к пилотным горелкам печи П-3, проходит через фильтры тонкой очистки. Перепад давления до и после фильтров на подаче газа контролируется по местному прибору поз. PDI547. Давление топливного газа к пилотным горелкам по месту контролируется по манометру поз. PI550.

Давление газа к пилотным горелкам регулируется редуцирующим устройством прямого действия поз. PCV548.

Печь П-3 оборудована 8 датчиками погасания пламени для пилотных горелок поз. BSA507A÷H и 8 датчиками погасания пламени для основных горелок поз. BSA508A÷H с сигнализацией по погасанию пламени. При одновременном отсутствии пламени на основной и пилотной форсунках у двух смежных горелок (одновременное погасание 4-х форсунок) срабатывает

блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV024, поз. UV510 на топливном газе к основным горелкам П-3;

- клапан поз. UV025 на топливном газе к пилотным горелкам П-3.

Бензиновая фр.НК-180°С подается в колонну К-5 на 28 тарелку. Температура питания стабильного бензина в К-5 регистрируется прибором поз. TIR128.

Колонна К-5 оборудована 70 клапанными тарелками.

С верха колонны К-5 выводятся пары фр.НК-62°С, охлаждаются в аппарате воздушного охлаждения ХВ- 5/1÷3, поступают в межтрубное пространство водяного холодильника Х-5, где охлаждаются оборотной водой 1-ой системы и собираются в емкости Е-5. Температура оборотной воды 1-ой системы на выходе из Х-5 контролируется прибором поз. TI137 по месту.

Температура верхнего продукта колонны К-5 после аппаратов воздушного охлаждения ХВ-5/1÷3 регистрируется приборами поз. TIRCA157, поз. TIRCA159, поз. TIRCA161, с сигнализацией по максимальному значению параметра и регулируется изменением частоты вращения вентиляторов ХВ-5/1÷3, соответственно.

Температура продукта в Е-5 регистрируется прибором поз. TIR138. Давление в Е-5 контролируется по манометру поз. PI159.

Для уменьшения коррозии в шлемовую трубу колонны К-5, перед аппаратом воздушного охлаждения ХВ-5/1÷3, подается бензиновый раствор ингибитора коррозии, подаваемого насосом Н-36 из емкости Е-15.

Часть фр.НК-62°С из емкости Е-5 насосами Н-17А, Н-17В подается на орошение колонны К-5, балансовое количество ее выводится с установки. Расход орошения в колонну К-5 регистрируется прибором поз. FIRC039 и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV039, установленным на трубопроводе подачи орошения в колонну, с коррекцией по температуре верха колонны К-5 по прибору поз. TIRC130. На приёмах и выкидах насосов Н-17А,

Н-17В установлена арматура с электроприводом поз. EUV076, поз. EUV039 и поз. EUV077, поз. EUV078, соответственно. Давление на нагнетании насосов Н-17А, Н-17В контролируется по манометрам поз. PI161, поз. PI160, соответственно.

Уровень в Е-5 контролируется по приборам поз. LRSA025 и поз. LRSA026, с сигнализацией по минимальному и максимальному значению уровня. При достижении минимального уровня по приборам поз. LRSA025 и поз. LRSA026 (два из двух) блокировочного значения (10%) срабатывает блокировка по запрету пуска насосов Н-17А, Н-17В. Рассогласование показаний приборов поз. LRSA026 и поз. LRSA025 контролируется по поз. LDA025, с сигнализацией максимального значения параметра. Постоянство уровня в Е-5 контролируется по прибору поз. LRC026С и поддерживается клапаном-регулятором поз. LV026, установленным на линии вывода фр.НК-62°С с установки.

Давление в колонне К-5 регистрируется прибором поз. PIRC 145 и поддерживается или клапаном-регулятором поз. PV145В, установленным на линии подачи топливного газа в емкость Е-5 (при малом давлении) или клапаном-регулятором поз. PV145А, установленным на линии сброса углеводородного газа из Е-5 на факел (при большом давлении). На линии сброса газа с Е-5 на факел смонтирована арматура с пневмоприводом поз. UV027. На линии подачи топливного газа в емкость Е-5 смонтирована арматура с пневмоприводом поз. UV026.

Давление в колонне К-5 регистрируется приборами поз. PIRSA146А и поз. PIRSA146В, с сигнализацией и блокировкой по максимальному значению параметра. При подъеме давления в К-5 по приборам поз. PIRSA146А и поз. PIRSA146В (два из двух) до блокировочного значения (5 кгс/см<sup>2</sup>) – срабатывает блокировка по закрытию клапанов поз. UV030, поз. UV511 на газообразном топливе к основным горелкам печи П-4. Рассогласования показаний приборов поз. PIRSA146А и поз. PIRSA146В контролируется по поз. PDA 146, с сигнализацией по максимальному значению параметра.

Общий расход фр.НК-62°C с установки регистрируется прибором поз. FQIR054. Температура фр.НК-62°C с установки регистрируется прибором поз. TIR177, давление контролируется по манометру поз. PI004.

На линии вывода фр.НК-62°C на выходе с установки установлена арматура с пневмоприводом поз. UV028.

После арматуры с пневмоприводом поз. UV028 поток бензина проходит через поточный ИК Фурье-спектрометр АЕ200-1 который формирует спектральные данные поступающие на контроллер ЭНС АТ200-2. Данный процесс определяется его физ.-хим. показатели. Например, если показатель октанового числа бензина не соответствует заданному, то циркуляцию прекращают и бензин отправляют в резервуар, где отбирают пробу бензина и осуществляют аналитический контроль по всем показателям.

Боковой продукт колонны К-5 фр.70-110°C выводится с 46-ой тарелки и насосом Н-20А, Н-20В направляется в аппарат воздушного охлаждения ХВ-7, в межтрубное пространство водяного холодильника Х-9/1,2, где охлаждается оборотной водой 1-ой системы и выводится с установки. Температура оборотной воды 1-ой системы на выходе из Х-9/1,2 контролируется по прибору поз. П139 по месту.

Температура фр.70-110°C после аппарата воздушного охлаждения ХВ-7 регистрируется прибором поз. TIRCA165, с сигнализацией по максимальному значению параметра и регулируется изменением частоты вращения вентилятора ХВ-7.

На общем приёме и выкиде насосов Н-20А, Н-20В установлена арматура с пневмоприводом поз. UV098, поз. UV099. Давление на нагнетании насосов Н-20А, Н-20В контролируется по манометрам поз. PI162, поз. PI163, соответственно.

Температура фр.70-110°C на 46-й тарелки К-5 регистрируется прибором поз. TIR129.

Заполнение общего приёмного трубопровода насосов Н-20А, Н-20В регистрируется прибором поз. LSA051, с сигнализацией и блокировкой по

минимальному значению параметра запрет пуска насосов Н-20А, Н-20В.

Расход фр.70-110°C регистрируется прибором поз. FIRC044 и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV044, установленным на трубопроводе вывода фр.70-110°C с установки.

Общий расход фр.70-110°C с установки регистрируется прибором поз. FQIR053. Температура фр.70-110°C с установки регистрируется прибором поз. TIR178, давление контролируется по манометру поз. PI003.

На линии вывода фр.70-110°C на выходе с установки установлена арматура с пневмоприводом поз. UV029.

Одна часть кубового продукта колонны К-5 фр.110-180°C насосом Н-19А, Н-19В направляется в трубное пространство теплообменника Т-23, где охлаждается за счёт нагрева потока нестабильного бензина (по межтрубному пространству), в аппарат воздушного охлаждения ХВ-6, в межтрубное пространство водяного холодильника Х-8/1,2, где охлаждается оборотной водой 1-й системы и выводится с установки. Температура оборотной воды 1-й системы на выходе из Х-8/1,2 контролируется по прибору поз. TI126 по месту.

Температура фр.110-180°C после аппарата воздушного охлаждения ХВ-6 регистрируется прибором поз. TIRCA162, с сигнализацией по максимальному значению параметра и регулируется изменением частоты вращения вентилятора ХВ-6. Давление после теплообменников Т-23 контролируется по манометру поз. PI123.

На общем приёме и выкиде насосов Н-19А, Н-19В установлена арматура с пневмоприводом поз. UV093, поз. UV092. Давление на нагнетании насосов Н-19А, Н-19В контролируется по манометрам поз. PI144, поз. PI143, соответственно.

Уровень в колонне К-5 контролируется по приборам поз. LRSA022 и поз. LRSA023, с сигнализацией по максимальному и минимальному значению уровня. При достижении минимального уровня по приборам поз. LRSA022 и поз. LRSA023 (два из двух) блокировочного значения (10%) срабатывает

блокировка по запрету пуска насосов Н-16А, Н-16В и Н-19А, Н-19В. Рассогласование показаний приборов поз. LRSA022 и поз. LRSA023 контролируется по поз. LDA023, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Постоянство уровня в К-5 контролируется по прибору поз. LRC022С и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV022, установленным на линии вывода фр.110-180°С с установки.

Расход фр.110-180°С с установки регистрируется прибором поз. FIRC037 и поддерживается клапаном-регулятором поз. FV037, установленным на трубопроводе вывода фр.110-180°С с установки, с коррекцией по уровню в колонне К-5 по прибору поз. LRC022С.

Общий расход фр.110-180°С с установки регистрируется прибором поз. FQIR052. Температура фр.110-180°С с установки регистрируется прибором поз. TIR179, давление контролируется по манометру поз. PI002.

На линии вывода фр.110-180°С на выходе с установки установлена арматура с пневмоприводом поз. UV032.

Давление в кубе колонны К-5 регистрируется прибором поз. PIR147.

Температура в кубе колонны К-5 регистрируется прибором поз. TIR127.

Другая часть кубового продукта, выводимого из колонны К-5, поступает на прием насоса горячей струи Н-16А, Н-16В и далее четырьмя параллельными потоками направляется в печь П-4, нагрева горячей струи фракционирующей колонны К-5, где нагревается за счёт сжигания газообразного топлива.

На приёмах и выкидах насосов Н-16А, Н-16В установлена арматура с электроприводом поз. EUV074, поз. EUV037 и поз. EUV075, поз. EUV038, соответственно. Давление на нагнетании насосов Н-16А, Н-16В контролируется по манометрам поз. PI148, поз. PI149, соответственно.

Расход горячей струи по каждому потоку печи П-4 контролируется по приборам поз. FRSA040А и поз. FRSA040В (по 1-му потоку), поз. FRSA041А и поз. FRSA041В (по 2-му потоку), поз. FRSA042А и поз. FRSA042В (по 3-му потоку), поз. FRSA043А и поз. FRSA043В (по 4-му потоку), с сигнализацией

по минимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. FRSA040A и поз. FRSA040B контролируется по поз. FDA040, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. FRSA041A и поз. FRSA041B контролируется по поз. FDA041, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. FRSA042A и поз. FRSA042B контролируется по прибору поз. FDA042, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. FRSA043A и поз. FRSA043B контролируется по поз. FDA043, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Постоянство расходов контролируется по приборам поз. FRC040C (по 1-му потоку), поз. FRC041C (по 2-му потоку), поз. FRC042C (по 3-му потоку), поз. FRC043C (по 4-му потоку) и поддерживается клапанами-регуляторами поз. FV040C, поз. FV041C, поз. FV042C, поз. FV043C, установленными на входе каждого из потоков в печь П-4, соответственно.

При снижении расхода по приборам поз. FRSA040A и поз. FRSA040B (два из двух) или поз. FRSA041A и поз. FRSA041B (два из двух) или поз. FRSA042A и поз. FRSA042B (два из двух) или поз. FRSA043A и поз. FRSA043B (два из двух) до блокировочного значения ( $35 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV030, поз. UV511 на топливном газе к основным горелкам П-4;

- клапан поз. UV031 на топливном газе к пилотным горелкам П-4.

– с задержкой 180 сек. закрываются:

- электрозадвижки поз. EUV038, поз. EUV075 на выкиде Н-16А, Н-16В;

- останавливается насос Н-16А, Н-16В.

– с задержкой 240 сек. открывается:

- электрозадвижка поз. EUV044 на подаче пара в змеевики печи П-4.

Давление продукта на входе в змеевики печи П-4 регистрируется

приборами поз. PIR153, поз. PIR152, поз. PIR151, поз. PIR150.

Температура горячей струи на выходе из змеевиков печи П-4 регистрируется приборами поз. TIRA132, поз. TIRA133, поз. TIRA134, поз. TIRA135, с сигнализацией по максимальному значению параметра.

На выходе из печи П-4 потоки объединяются и поступают в колонну К-5.

Температура горячей струи на выходе из змеевика печи П-4 регистрируется приборами поз. TIRSA173A и поз. TIRSA173B, с сигнализацией по максимальному значению параметра. Рассогласование показаний приборов поз. TIRSA173A и поз. TIRSA173B контролируется по поз. TDA173, с сигнализацией по максимальному значению параметра. При повышении температуры по приборам поз. TIRSA173A и поз. TIRSA173B (два из двух) до блокировочного значения (185°С) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV030, поз. UV511 на топливном газе к основным горелкам П-4;
- клапан поз. UV031 на топливном газе к пилотным горелкам П-4.

Температура горячей струи на входе в колонну К-5 из печи П-4 регистрируется прибором поз. TIRC136, работающим в каскадной схеме с регулятором давления топливного газа поз. PIRCA557 (газ к основным горелкам печи) и поддерживается клапаном-регулятором поз. PV557, установленным на линии подачи топливного газа к основным горелкам П-4.

Давление общего потока горячей струи на выходе из печи П-4 регистрируется прибором поз. PIRSA154, с сигнализацией по минимальному значению давления.

Температура продуктов горения на «перевале» регистрируется приборами поз. TIRA517 и поз. TIRSA518, с сигнализацией по высокой температуре.

Содержание кислорода в продуктах сгорания на «перевале» регистрируется прибором поз. AIRSA507, с сигнализацией по низкому содержанию кислорода в продуктах сгорания.

При одновременном достижении блокировочных значений параметров по приборам поз. PIRSA154 (снижении давления фр. 110-180°C на выходе из печи П-4 до 0,6 кгс/см<sup>2</sup>), поз. TIRSA518 (увеличении температуры продуктов горения на «перевале» печи П-4 до 1000°C), поз. AIRSA507 (снижении содержания кислорода в продуктах сгорания до 0,2%об) срабатывает блокировка по прогару змеевика. При этом:

– закрываются:

- клапаны поз. UV030, поз. UV511 на топливном газе к основным горелкам П-4;

- клапан поз. UV031 на топливном газе к пилотным горелкам П-4;

- электрозадвижки поз. EUV038, поз. EUV075 на выкиде Н-16А, Н-16В.

– открываются:

- клапан поз. UV207 на подаче пара в камеру сгорания печи П-4;

- электрозадвижка поз. EUV044 на подаче пара в змеевики печи П-4;

- шибер поз. HV511 на байпасе дымовых газов к котлам-утилизаторам.

– останавливаются:

- дымососы Д-1А, Д-1В, насос Н-16А, Н-16В.

Содержание окиси углерода в продуктах сгорания регистрируется прибором поз. AIRA508, с сигнализацией по высокому содержанию окиси углерода в продуктах сгорания.

Разрежение на «перевале» регистрируется приборами поз. PIRSA566А и поз. PIRSA566В, с сигнализацией и блокировкой по минимальному значению параметра на «перевале». Рассогласование показаний приборов поз. PIRSA566А и поз. PIRSA566В, контролируется по поз. PDA566, с сигнализацией по максимальному значению параметра. При повышении давления по приборам поз. PIRSA566А и поз. PIRSA566В (два из двух) до блокировочного значения (+1 мм вод. ст.) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV030, поз. UV511 на топливном газе к основным горелкам П-4;

- клапан поз. UV031 на топливном газе к пилотным горелкам П-4.

Температура дымовых газов на выходе из печи П-4 регистрируется прибором поз. TIR516.

Давление дымовых газов на выходе из печи П-4 до и после шиберы регистрируется приборами поз. PIR565 и поз. PIR564, соответственно.

Для аварийного освобождения змеевиков печей предусмотрена подача водяного пара среднего давления в каждый из потоков печей. На линии подачи пара на освобождение змеевиков печи установлена электрозаслонка поз. EUV044.

Расход газа на печь регистрируется прибором поз. FQIR505.

Давление топливного газа к основным горелкам печи регистрируется приборами поз. PIRCA557, с сигнализацией по максимальному и минимальному давлению и поз. PIRSA559A и поз. PIRSA559B, с сигнализацией и блокировкой по максимальному и минимальному давлению. Давление топливного газа к основным горелкам по месту контролируется по манометру поз. PI558. При повышении или понижении давления по приборам поз. PIRSA559A и поз. PIRSA559B (два из двух) до блокировочных значений ( $0,4 \text{ кгс/см}^2$  или  $0,015 \text{ кгс/см}^2$ ) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV030, поз. UV511 на топливном газе к основным горелкам П-4.

Давление топливного газа к основным горелкам у печи П-4 контролируется по манометру поз. PI569 (переносной на все горелки).

Давление топливного газа к пилотным горелкам регистрируется приборами поз. PIRSA562A и поз. PIRSA562B, с сигнализацией и блокировкой по минимальному давлению. Рассогласования показаний приборов поз. PIRSA562A и поз. PIRSA562B контролируется по поз. PDA562, с сигнализацией по максимальному значению параметра. При понижении давления по приборам поз. PIRSA562A и поз. PIRSA562B (два из двух) до блокировочного значения ( $0,05 \text{ кгс/см}^2$ ) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV030, поз. UV511 на топливном газе к основным горелкам П-4;

- клапан поз. UV031 на топливном газе к пилотным горелкам П-4.

Топливный газ, поступающий к пилотным горелкам печи П-4 проходит через фильтры тонкой очистки. Перепад давления до и после фильтров на подаче газа контролируется по прибору поз. PDI560 по месту. Давление топливного газа к пилотным горелкам по месту контролируется по манометру поз. PI563.

Давление газа к пилотным горелкам регулируется редуцирующим устройством прямого действия поз. PCV561.

Печь П-4 оборудована 8 датчиками погасания пламени для пилотных горелок поз. BSA509A÷H и 8 датчиками погасания пламени для основных горелок поз. BSA510A÷H, с сигнализацией по погасанию пламени. При одновременном отсутствии пламени на основной и пилотной форсунках у двух смежных горелок (одно временное погасание 4-х форсунок) срабатывает блокировка:

– закрываются:

- клапаны поз. UV030, поз. UV511 на топливном газе к основным горелкам П-4;

- клапан поз. UV031 на топливном газе к пилотным горелкам П-4.

## Приложение 2. Описание и программный код экспертно-нейросетевой системы

Точкой входа в приложения является файл `main.jsx`. Программа создает основное приложение с помощью `React` и использует библиотеку `react-dom/client` для рендеринга компонента в корневом элементе страницы.

`main.jsx`

```
import React from 'react';
import { createRoot } from 'react-dom/client';
import './globals.css';
import { App } from './App';

const container = document.querySelector('#root');
const root = createRoot(container);
root.render(<App tab="home" />);
```

Основным компонентом приложения является компонент `App`. Этот компонент представляет собой основную страницу приложения.

Здесь важно обозначить следующие компоненты:

`ClerkProvider`: Этот компонент используется для взаимодействия с сессиями.

`Login`: Этот компонент предназначен для проверки подлинности пользователя и предоставления доступа к защищенным данным.

`SignedIn` и `SignedOut`: Эти компоненты управляют отображением содержимого в зависимости от того, прошел ли пользователь аутентификацию или нет.

`UserButton`: Этот компонент позволяет пользователю просмотреть свою информацию или выйти из учетной записи.

`BrowserRouter`: Этот модуль используется для навигации по приложению и установления связи между компонентами.

`Routes`, `Route`: Эти компоненты используются для настройки маршрутизации в приложении и определения компонентов, которые будут отображаться в зависимости от заданного пути.

`OilTable`: Этот компонент представляет таблицу данных. Он содержит информацию о нефтепродуктах и других данных.

Button: Этот компонент используется для создания кнопок и других элементов управления пользовательского интерфейса.

Grid: Этот компонент позволяет создавать различные макеты и разместить компоненты на странице.

SnackbarProvider и closeSnackbar: Эти компоненты используются для управления отображением уведомлений в приложении.

## App.jsx

```
import React, { useState, useRef, forwardRef } from 'react';
import styles from './App.module.css';
import logo from './logo.png';
import { BrowserRouter, Routes, Route } from 'react-router-dom';
import OilTable from './components/OilTable/OilTable';
import { Button, Grid } from '@mui/joy';
import { SnackbarProvider, closeSnackbar, useSnackbar } from 'notistack';
import {
  ClerkProvider,
  SignedIn,
  SignedOut,
  UserButton,
  useUser,
  RedirectToSignIn,
  SignIn,
} from '@clerk/clerk-react';
import { ruRU } from "@clerk/localizations";

import Login from './components/Login/Login';

if (!import.meta.env.VITE_CLERK_PUBLISHABLE_KEY) {
  throw new Error('Missing Publishable Key');
}
const clerkPubKey = import.meta.env.VITE_CLERK_PUBLISHABLE_KEY;

function App() {
  const tableRef = useRef();

  return (
    <ClerkProvider publishableKey={clerkPubKey} localization={ruRU}>
      <SignedIn>
        <SnackbarProvider
          maxSnack={5}
          action={({snackbarId}) => (
            <Button color="neutral" onClick={() => closeSnackbar(snackbarId)}>
              X
            </Button>
          )}
          preventDuplicate={true}
        >
          <BrowserRouter>
            <Routes>
              <Route
                exact
                path="/"
                element={
                  <div>
                    <header className={styles['App-header']}>
                      <Grid
                        container
                        direction="row"
                        justifyContent="center"

```

```

        alignItems="center"
        spacing={1}
        height={50}
      >
        <Grid xs={1} height={50} width={50}>
          <img src={logo} width="50" height="50"></img>
        </Grid>
        <Grid xs={7} height={50}>
          Экспертно-нейросетевая система
        </Grid>
        <Grid xs> </Grid>
        <Grid xs={1}>
          <UserButton />
        </Grid>
      </Grid>
    </header>
    <div className={styles.App}>
      <OilTable ref={tableRef} />
    </div>
  </div>
}
/>

  </Routes>
</BrowserRouter>
</SnackbarProvider>
</SignedIn>
<SignedOut>
  { /* <SignIn path="/" afterSignInUrl="/" routing="path" /> */ }
  <RedirectToSignIn />
</SignedOut>
</ClerkProvider>
);
}

export { App };

```

Компонент `Login.jsx` позволяет пользователю войти в систему, введя свой логин и пароль, и передавая этой информации сервер, который проверяет корректность введенных данных и, при успешной аутентификации, возвращает токен, который используется для дальнейшей работы в приложении.

Функциональный компонент `Login` принимает один проп – `setToken`, который используется для передачи полученного токена в другие части приложения.

Асинхронная функция `loginUser` принимает объект `credentials` и выполняет запрос к серверу с помощью `fetch`. Она используется для авторизации пользователя и получения токена после успешной аутентификации.

В компоненте используются два состояния – `username` и `password`, которые

хранят значения введенных пользователем данных.

Функция `handleSubmit` вызывается при отправке формы. Она предотвращает обновление страницы при отправке формы, вызывает функцию `loginUser` с текущими значениями `username` и `password` и передает полученный токен в `setToken`, чтобы он мог использоваться другими частями приложения.

Внутри формы входа располагаются поля для ввода логина и пароля, а также кнопка для отправки данных на сервер.

## Login.jsx

```
import React, { useState } from 'react';
import PropTypes from 'prop-types';
import './Login.css';

async function loginUser(credentials) {
  return fetch('http://localhost:3001/login', {
    method: 'POST',
    headers: {
      'Content-Type': 'application/json'
    },
    body: JSON.stringify(credentials)
  }, {
    mode: 'no-cors'
  })
  .then(data => data.json())
}

export default function Login({ setToken }) {
  const [username, setUsername] = useState();
  const [password, setPassword] = useState();

  const handleSubmit = async e => {
    e.preventDefault();
    const token = await loginUser({
      username,
      password
    });
    setToken(token);
  }

  return (
    <div className="login-wrapper">
      <h1>Please Log In</h1>
      <form onSubmit={handleSubmit}>
        <label>
          <p>Username</p>
          <input type="text" onChange={e => setUsername(e.target.value)} />
        </label>
        <label>
          <p>Password</p>
          <input type="password" onChange={e => setPassword(e.target.value)} />
        </label>
        <div>
          <button type="submit">Submit</button>
        </div>
      </form>
    </div>
  )
}
```

```
Login.propTypes = {
  setToken: PropTypes.func.isRequired
};
```

Компонент OilTable – это основная часть веб-интерфейса системы. Собственно, компонент создан с использованием нескольких React-hooks и библиотеки Material-React-Table, которая обеспечивает функциональность таблицы. Интерфейс состоит из таблицы спектров с различными параметрами и функционалом:

- Добавление спектров. В компоненте есть возможность загрузить новые данные из файла в таблицу. Для этого предоставлена функция "Добавить", которая вызывается при нажатии на кнопку.
- Редактирование строк. Каждую строку таблицы можно отредактировать. Для этого при наведении курсора на строку появляется кнопка редактирования. Нажимая на кнопку, открывается форма редактирования.
- Удаление строк. Также возможно удалить строки из таблицы. Для этого надо нажать на соответствующую кнопку в конце строки.
- Определение спектра. Данный метод позволяет определить, сходен ли новый спектр с известным. Для этого предоставлена кнопка "Определить", которая вызывает определение сходства с помощью внешнего сервиса.
- Загрузка данных из сервера. Компонент имеет функцию "Загрузить", которая позволяет загрузить данные с удаленного сервера.
- Просмотр графика. В компоненте предоставлена кнопка "Показать график". Нажатие на нее показывает график для выбранных спектров.
- Предоставлены функции сортировки, поиска и пагинации.

### OilTable.jsx

```
import React, {
  useMemo,
  useEffect,
  useState,
  forwardRef,
  useRef,
  useImperativeHandle,
  useCallback,
} from 'react';
import PropTypes from 'prop-types';
import { MenuItem } from '@mui/material';
```

```

import {
  MaterialReactTable,
  useMaterialReactTable,
} from 'material-react-table';
import { MRT_Localization_RU } from 'material-react-table/locales/ru';
import { Tooltip, Button, Modal, Sheet, ModalClose, Input, IconButton, Stack, FormControl,
  FormLabel, FormHelperText, List, ListItem, Checkbox, ListSubheader, ListItemButton, Select,
  Option } from '@mui/joy';
import {
  DeleteOutlineOutlined,
  ModeEditOutlineOutlined,
  SpellcheckOutlined,
  QuestionMarkOutlined,
  DownloadOutlined,
  RefreshOutlined,
  VisibilityOutlined,
  FileUploadOutlined,
  AttachFileOutlined
} from '@mui/icons-material';
import classes from './OilTable.module.css';
import Chart from '../Chart/Chart';
import { useSnackbar } from 'notistack';
import { MuiFileInput } from 'mui-file-input'

const OilTable = forwardRef((props, ref) => {
  const [tableData, setTableData] = useState('');
  const [rowSelection, setRowSelection] = useState({});
  const { enqueueSnackbar } = useSnackbar();

  const [miniChartOpen, setMiniChartOpen] = React.useState(false);
  var [stateMiniChartData, setStateMiniChartData] = useState({});

  const [miniCheckOpen, setMiniCheckOpen] = React.useState(false);
  const [measures, setMeasures] = useState([]);
  const [checkFile, setCheckFile] = React.useState(null);
  const [inputsCheck, setInputsCheck] = useState({
    measure: '',
    filters: []
  });

  const changeHandlerCheck = (event) => {
    setInputsCheck(prev => {
      const cloneState = { ...prev };
      if (event.target.getAttribute('name') == "measure")
        cloneState[event.target.getAttribute('name')] = event.target.outerText;
      else
        cloneState["filters"][event.target.name] = event.target.checked;
      return cloneState;
    });
    console.log(inputsCheck);
  }

  const [miniLoadOpen, setMiniLoadOpen] = React.useState(false);
  const [filters, setFilters] = useState([]);
  const [inputFile, setImputFile] = React.useState(null);
  const [inputs, setInputs] = useState({
    name: '',
    class: '',
    subclass: '',
    filters: {}
  });

  const changeHandler = (event) => {
    setInputs(prev => {
      const cloneState = { ...prev };
      if (event.target.name == "name" || event.target.name == "class" || event.target.name ==
"subclass")
        cloneState[event.target.name] = event.target.value;
      else
        cloneState["filters"][event.target.name] = event.target.checked;
    });
  }

```

```

    return cloneState;
  });
}

//Колонки таблицы
const columns = useMemo(() => [
  {
    accessorKey: 'id', //access nested data with dot notation
    header: 'ID',
    size: 40,
    enableGrouping: false,
    enableEditing: false,
  },
  {
    accessorKey: 'name',
    header: 'Имя спектра',
    size: 100,
    enableGrouping: false,
  },
  {
    accessorKey: 'octane',
    header: 'Октановое число',
    size: 40,
    enableGrouping: false,
  },
  {
    accessorKey: 'description', //normal accessorKey
    header: 'Описание',
    size: 150,
    enableGrouping: false,
  },
  {
    accessorKey: 'subclass',
    header: 'Подкласс',
    size: 100,
    enableEditing: false,
  },
  {
    accessorKey: 'class',
    header: 'Класс',
    size: 100,
    enableEditing: false,
  },
],
]);

//Позволяет использовать функции внутри ивне этого контейнера
useImperativeHandle(ref, () => ({
  //функция для обновления ивне
  updateTable() {
    fetch('/api/oiltable')
      .then((response) => response.json())
      .then((data) => setTableData(data));
  },

  getSelectedIds() {
    var ids = Object.keys(rowSelection);
    if (ids.length == 0) return null;
    return Object.values(rowSelection)
      .map((element, index) => {
        if (element == true && !isNaN(parseInt(ids[index])))
          return tableData[ids[index]];
      })
      .filter((element) => element !== undefined)
      .map((element) => element['id']);
  },
}));

const updateTable = () => {

```

```

console.log('update');
fetch('/api/oiltable')
  .then((response) => response.json())
  .then((data) => setTableData(data));
};

//Стартовая загрузка
useEffect(() => {
  fetch('/api/oiltable')
    .then((response) => response.json())
    .then((data) => setTableData(data));

  if (filters.length == 0)
    fetch('/api/getfilters')
      .then((response) => response.json())
      .then((data) => { setFilters(data); });

  if (measures.length == 0)
    fetch('/api/getmeasures')
      .then((response) => response.json())
      .then((data) => { setMeasures(data); });
}, []);

//Обработка изменений в строке
const handleSaveRow = (exitEditingMode, row, values) => {
  tableData[row.index] = values;
  setTableData([...tableData]);
  const requestOptions = {
    method: 'POST',
    headers: { 'Content-Type': 'application/json' },
    body: JSON.stringify(tableData[row.index]),
  };
  fetch('/api/oilupdate', requestOptions).then((response) => response.json());
  exitEditingMode();
};

//Добавить новый спектр в базу данных
const onChangeUploadFile = () => {
  //собрать и отправить файл на /api/oilupload
  const fileObj = inputFile;
  if (!fileObj) return;
  console.log(fileObj);
  let formData = new FormData();
  formData.append('file', fileObj);
  formData.append('name', inputs.name);
  formData.append('classname', (inputs.class == "") ? "Неизвестный" : inputs.class);
  formData.append('subclassname', (inputs.subclass == "") ? "Неизвестный" :
inputs.subclass);
  console.log(inputs.class);
  console.log(inputs.subclass);
  formData.append('filters',
Object.keys(Object.fromEntries(Object.entries(inputs.filters).filter(([key, value]) => {
return (value == true) })))));
  const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };
  fetch('/api/oilupload', requestOptions).then(async (response) => {
    updateTable();
  });
};

//функция считает сумму произведения
async function summProizv(arrays) {
  console.log(arrays);
  return arrays[0]
    .map((element, index) => {
      //произведение
      var mult = element;
      for (var i = 1; i < arrays.length; i++) mult = mult * arrays[i][index];
      return mult;
    });
}

```

```

    })
    .reduce((accumulator, currentValue) => {
      //сумма
      return accumulator + currentValue;
    });
  }

  //Выбрать неизвестный спектр для определения
  const onCheckButtonClick = () => {
    var ids = Object.keys(rowSelection);
    var selectedRows = Object.values(rowSelection).map((element, index) => {
      if (element == true) return tableData[ids[index]];
    });
    if (selectedRows.length == 0) {
      enqueueSnackbar('Необходимо выбрать эталонные спектры для проверки', {
        variant: 'error',
      });
      return;
    }
    setMiniCheckOpen(true);
  };

  //Определить неизвестный спектр, не загружая его в базу данных
  const onChangeCheckFile = () => {
    const fileObj = checkFile;
    if (!fileObj) {
      return;
    }

    let formData = new FormData();
    formData.append('file', fileObj);
    var ids = Object.keys(rowSelection);
    var selectedRowIds = Object.values(rowSelection)
      .map((element, index) => {
        if (element == true && !isNaN(parseInt(ids[index])))
          return tableData[ids[index]];
      })
      .filter((element) => element !== undefined)
      .map((element) => element['id']);
    formData.append('idsReference', JSON.stringify(selectedRowIds));
    formData.append('measure', inputsCheck.measure);
    formData.append('filters',
      Object.keys(Object.fromEntries(Object.entries(inputsCheck.filters).filter(([key, value]) => {
        return (value == true) })))));
    const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };
    fetch('/api/checkfromfile', requestOptions).then(async (response) => {
      var closestSpectrums = await response.json();
      console.log(closestSpectrums);
      var closestSpectrumsIds = closestSpectrums.map((element) =>
        element.maxId.toString(),
      );
      let formData = new FormData();
      formData.append('file', fileObj);
      const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };
      fetch('/api/extractspectrumfromfile', requestOptions).then(
        // Переводим файл в массив float
        async (response) => {
          var unknownSpectre = await response.json(); //тут строки
          console.log(unknownSpectre);
          return;
          let formData = new FormData();
          formData.append('ids', JSON.stringify(closestSpectrumsIds));
          const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };

          // Расчет октанового числа
          var octane = (await summProizv([(closestSpectrums.map((el) => el['octane']).sort(),
            closestSpectrums.map((el) => el['maxSim']]))]) / (closestSpectrums.map((el) =>
            el['maxSim']).reduce((accumulator, currentValue) => {

```

```

        return accumulator + currentValue
      }, 0))

    fetch('/api/getchartdata', requestOptions).then(async (response) => {
      // Запрашиваем структуру для отрисовки графика
      var newChartData = await response.json();
      newChartData['data'].push(unknownSpectre[1]); // Добавление неизвестного спектра к
ближайшим
      await newChartData['names'].forEach((el, i, arr) => {
        arr[i] = el.concat(
          ' (' +
            (parseFloat(closestSpectrums[i]['maxSim'])*100).toFixed(6).toString() +
            '%)',
        );
      });
      newChartData['names'].push('Неизвестный' + ' (0=' + octane.toFixed(6).toString() +
    ')');

      setStateMiniChartData(newChartData);
      setMiniChartOpen(true);
    });
  },
);
});
};

//Загрузка csv-файла с выбранными спектрами
const onDownloadButtonClick = () => {
  var ids = Object.keys(rowSelection);
  var selectedRowIds = Object.values(rowSelection)
    .map((element, index) => {
      if (element == true && !isNaN(parseInt(ids[index])))
        return tableData[ids[index]];
    })
    .filter((element) => element !== undefined)
    .map((element) => element['id']);
  if (selectedRowIds.length == 0) {
    enqueueSnackbar('Необходимо выбрать спектры для загрузки', {
      variant: 'error',
    });
  }
  return;
}
let formData = new FormData();
formData.append('referenceids', JSON.stringify(selectedRowIds));
const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };

fetch('/api/getspectrums', requestOptions).then(async (response) => {
  var values = await response.json();
  var a = await window.showSaveFilePicker({
    suggestedName: 'spectres.csv',
  });
  var b = await a.createWritable();
  await values.forEach((row) => {
    b.write(row.join(',') + '\n');
  });
  await b.close();
});
});

//Предпросмотр спектров
function onShowSpectrumsClick() {
  var ids = Object.keys(rowSelection);
  var selectedRowIds = Object.values(rowSelection)
    .map((element, index) => {
      if (element == true && !isNaN(parseInt(ids[index])))
        return tableData[ids[index]];
    })
    .filter((element) => element !== undefined)

```

```

    .map((element) => element['id']));
    if (selectedRowIds.length == 0) {
        enqueueSnackbar('Необходимо выбрать спектры для отображения', {
            variant: 'error',
        });
    }
    return;
}
if (selectedRowIds.length > 10) {
    enqueueSnackbar('Нельзя выбрать более 10 спектров для отображения', {
        variant: 'error',
    });
    return;
}
let formData = new FormData();
formData.append('ids', JSON.stringify(selectedRowIds));
const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };
fetch('/api/getchartdata', requestOptions).then(async (response) => {
    var a = await response.json();
    setStateMiniChartData(a);
    setMiniChartOpen(true);
});
}

//Проверка спектра
const determine = (row) => {
    var ids = Object.keys(rowSelection);
    var values = Object.values(rowSelection);
    //console.log(ids, values);
    var selectedRowIds = Object.values(rowSelection)
        .map((element, index) => {
            if (element == true && !isNaN(parseInt(ids[index])))
                return tableData[ids[index]];
        })
        .filter((element) => element !== undefined)
        .map((element) => element['id']);
    if (selectedRowIds.length == 0) {
        enqueueSnackbar('Необходимо выбрать спектры для проверки', {
            variant: 'error',
        });
    }
    return;
}

let formData = new FormData();
console.log(tableData[row.index]);
formData.append('id', JSON.stringify(tableData[row.index]['id']));
formData.append('idsReference', JSON.stringify(selectedRowIds));
const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };
fetch('/api/check', requestOptions).then(async (response) => {
    var closestSpectrums = await response.json();
    var closestSpectrumsIds = closestSpectrums.map((element) =>
        element.maxId.toString(),
    );
    let formData = new FormData();
    formData.append(
        'referenceids',
        JSON.stringify([tableData[row.index]['id']]),
    );
    const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };
    fetch('/api/getspectrums', requestOptions).then(
        // Переводим файл в массив float
        async (response) => {
            var spectreToCheck = await response.json(); //тут строки
            let formData = new FormData();
            formData.append('ids', JSON.stringify(closestSpectrumsIds));
            const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };
            fetch('/api/getchartdata', requestOptions).then(async (response) => {
                // Запрашиваем структуру для отрисовки графика
                var newChartData = await response.json();
            });
        }
    );
}

```

```

    newChartData['data'].push(spectreToCheck[1]); // Добавление неизвестного спектра к
ближайшим
    await newChartData['names'].forEach((el, i, arr) => {
      arr[i] = el.concat(
        '(' +
          parseFloat(closestSpectrums[i]['maxSim'])
            .toFixed(6)
            .toString() +
          '%)',
      );
    });
    newChartData['names'].push(tableData[row.index]['name']);

    setStateMiniChartData(newChartData);
    setMiniChartOpen(true);
  });
},
);
});
};

//отработка удаления строки
const handleRemoveCell = (row) => {
  const requestOptions = {
    method: 'POST',
    headers: { 'Content-Type': 'application/json' },
    body: JSON.stringify(tableData[row.index]),
  };
  fetch('/api/oildelete', requestOptions).then((response) => null);
  setTableData((prevData) =>
    prevData.filter((_, index) => index !== row.index),
  );
};

const table90 = useMaterialReactTable({
  localization: MRT_Localization_RU,
  columns: columns,
  data: tableData,
  enableGrouping: true,
  enablePagination: false,
  enableFullScreenToggle: false,
  enableDensityToggle: false,
  enableTopToolbar: false,
  density: 'compact',
  positionToolbarAlertBanner: 'bottom',
  enableRowSelection: true,
  layoutMode: 'grid',
  onRowSelectionChange: setRowSelection,
  state: { rowSelection },
  initialState: {
    density: 'compact',
    grouping: ['class', 'subclass'],
    expanded: true,
    showColumnFilters: true,
  },
});

const tableMain = useMaterialReactTable({
  localization: MRT_Localization_RU,
  columns: columns,
  data: tableData,
  enableGrouping: true,
  enablePagination: false,
  enableFullScreenToggle: false,
  enableDensityToggle: false,
  positionToolbarAlertBanner: 'bottom',
  layoutMode: 'grid',

```

```

enableRowSelection: true,
onRowSelectionChange: setRowSelection,
state: { rowSelection },

enableRowActions: true,
positionActionsColumn: 'last',
displayColumnDefOptions: {
  'mrt-row-actions': {
    header: 'Действия',
  },
  'mrt-row-select': {
    actionsColumnIndex: 0,
  },
},

initialState: {
  density: 'compact',
  grouping: ['class', 'subclass'],
  expanded: true,
  showColumnFilters: true,
},
onEditingRowSave: ({ exitEditingMode, row, values }) => {
  handleSaveRow(exitEditingMode, row, values);
},

renderRowActionMenuItems: ({ row, table }) => [
  <MenuItem
    key="edit"
    onClick={() => {
      table.setEditingRow(row);
    }}
  >
  <ModeEditOutlined /> Изменить
</MenuItem>,

  <MenuItem
    key="view"
    onClick={() => {
      let formData = new FormData();
      formData.append('ids', JSON.stringify([tableData[row.index]['id']]));
      const requestOptions = { method: 'POST', body: formData };
      fetch('/api/getchartdata', requestOptions).then(async (response) => {
        var a = await response.json();
        setStateMiniChartData(a);
        setMiniChartOpen(true);
      });
    }}
  >
  <VisibilityOutlined /> Посмотреть
</MenuItem>,

  <MenuItem
    key="determine"
    onClick={() => {
      determine(row);
    }}
  >
  <SpellcheckOutlined /> Определить
</MenuItem>,

  <MenuItem
    key="delete"
    onClick={() => {
      handleRemoveCell(row);
    }}
  >
  <DeleteOutlined /> Удалить
</MenuItem>,

```

```

    ],
    renderTopToolBarCustomActions: () => {
      return (
        <div>
          <Tooltip arrow title="Добавить новые спектры в базу данных">
            <Button
              onClick={() => { setMiniLoadOpen(true) }}
              startDecorator={<FileUploadOutlined />}
              variant="plain"
            >
              Добавить
            </Button>
          </Tooltip>
          <Tooltip
            arrow
            title="Определить неизвестный спектр, не загружая его в базу данных"
          >
            <Button
              onClick={() => { onCheckButtonClick() }}
              startDecorator={<QuestionMarkOutlined />}
              variant="plain"
            >
              Определить
            </Button>
          </Tooltip>
          <Tooltip arrow title="Сохранить спектры из базы данных">
            <Button
              onClick={onDownloadButtonClick}
              startDecorator={<DownloadOutlined />}
              variant="plain"
            >
              Загрузить
            </Button>
          </Tooltip>
          <Tooltip arrow title="Обновить таблицу">
            <Button
              onClick={updateTable}
              startDecorator={<RefreshOutlined />}
              variant="plain"
            >
              Обновить
            </Button>
          </Tooltip>
          <Tooltip arrow title="Посмотреть выбранные спектры">
            <Button
              onClick={onShowSpectrumsClick}
              startDecorator={<VisibilityOutlined />}
              variant="plain"
            >
              Посмотреть
            </Button>
          </Tooltip>
        </div >
      );
    },
  });

  if (props.mode90 == true)
    return (
      <span className={classes.OilTable}>
        <MaterialReactTable table={table90} />
      </span>
    );
  else
    return (
      <span className={classes.OilTable}>
        <Modal
          open={miniChartOpen}

```

```

onClose={() => setMiniChartOpen(false)}
sx={{
  display: 'flex',
  justifyContent: 'center',
  alignItems: 'center',
}}
>
<Sheet
  variant="outlined"
  sx={{
    height: 700,
    width: 900,
    borderRadius: 'md',
    boxShadow: 'lg',
  }}
>
  <Chart
    axis={stateMiniChartData.axis}
    data={stateMiniChartData.data}
    names={stateMiniChartData.names}
    short={true}
  />
  <ModalClose variant="plain" sx={{ m: 1 }} />
</Sheet>
</Modal>

<Modal
  open={miniLoadOpen}
  onClose={() => setMiniLoadOpen(false)}
  sx={{
    display: 'flex',
    justifyContent: 'center',
    alignItems: 'center',
  }}
>
  <Sheet
    variant="outlined"
    sx={{
      height: 700,
      width: 900,
      borderRadius: 'md',
      p: 7,
      boxShadow: 'lg',
    }}
  >
    <form
      onSubmit={(event) => {
        event.preventDefault();
        onChangeUploadFile();
        setMiniLoadOpen(false);
      }}
    >
      <Stack spacing={1}>
        <MuiFileInput
          placeholder="Выбрать файл"
          value={inputFile}
          onChange={setInputFile}
          InputProps={{
            inputProps: {
              accept: '.csv'
            },
            startAdornment: <AttachFileOutlined />
          }}
        />

        <FormControl>
          <FormLabel>Название образцов (обязательно)</FormLabel>
          <Input size="lg" name="name" placeholder="АИ-80" onChange={changeHandler}

```

```

required />
    <FormHelperText>Название будет приписано ко всем данным из
    файла</FormHelperText>
  </FormControl>
  <FormControl>
    <FormLabel>Класс образцов</FormLabel>
    <Input size="lg" name="class" placeholder="Неизвестный"
    onChange={changeHandler} />
    <FormHelperText>Данные из файла будут приписаны к заданному
    классу</FormHelperText>
  </FormControl>
  <FormControl>
    <FormLabel>Подкласс образцов</FormLabel>
    <Input size="lg" name="subclass" placeholder="Неизвестный"
    onChange={changeHandler} />
    <FormHelperText>Данные из файла будут приписаны к заданному
    подклассу</FormHelperText>
  </FormControl>
  <Sheet
    variant="outlined"
    sx={{
      maxHeight: 300,
      overflow: 'auto',
      borderRadius: 'sm',
    }}
  >
    <List>
      {filters.map((element, index) => (<ListItem nested key={index}>
        <ListSubheader sticky>{element.category}</ListSubheader>
        <List>
          {element.values.map((element, index) => (
            <ListItem key={index}>
              <ListItemButton selected={inputs["filters"][element]}>
                <Checkbox name={element}
                label={element}
                checked={inputs["filters"][element] ?
inputs["filters"][element] : false}
                onChange={changeHandler} />
              </ListItemButton>
            </ListItem>)))}
          </List>
        </ListItem>)))}
    </List>
  </Sheet>

  <Button type="submit">Загрузить</Button>
</Stack>
</form>
<ModalClose variant="plain" sx={{ m: 1 }} />
</Sheet>
</Modal>

<Modal
  open={miniCheckOpen}
  onClose={() => setMiniCheckOpen(false)}
  sx={{
    display: 'flex',
    justifyContent: 'center',
    alignItems: 'center',
  }}
>
  <Sheet
    variant="outlined"
    sx={{
      height: 700,
      width: 900,
      borderRadius: 'md',
      p: 7,
      boxShadow: 'lg',

```

```

    }}
  >
  <form
    onSubmit={({event}) => {
      event.preventDefault();
      setMiniCheckOpen(false);
      onChangeCheckFile();
    }}
  >
  <Stack spacing={1}>
    <MuiFileInput
      placeholder="Выбрать файл"
      value={checkFile}
      onChange={setCheckFile}
      InputProps={{
        inputProps: {
          accept: '.csv'
        },
        startAdornment: <AttachFileOutlined />
      }}
    />

    <FormControl>
      <FormLabel>Мера сходства (обязательно)</FormLabel>
      <Select placeholder="Выберите меру сходства" name="measure"
        onChange={changeHandlerCheck} required>
        {measures.map((element, index) => (<Option key={index} value={element}
        name="measure">{element}</Option>))}
      </Select>
      <FormHelperText>Мера сходства - ключевой параметр операции
      определения</FormHelperText>
    </FormControl>

    <Sheet
      variant="outlined"
      sx={{
        maxHeight: 300,
        overflow: 'auto',
        borderRadius: 'sm',
      }}
    >
      <List>
        {filters.map((element, index) => (<ListItem nested key={index}>
          <ListSubheader sticky>{element.category}</ListSubheader>
          <List>
            {element.values.map((element, index) => (
              <ListItem key={index}>
                <ListItemButton selected={inputsCheck["filters"][element]}>
                  <Checkbox name={element}
                    label={element}
                    checked={inputsCheck["filters"][element] ?
inputsCheck["filters"][element] : false}
                    onChange={changeHandlerCheck} />
                </ListItemButton>
              </ListItem>))}
            </List>
          </ListItem>))}
        </List>
      </List>
    </Sheet>

    <Button type="submit">Проверить</Button>
  </Stack>
</form>
<ModalClose variant="plain" sx={{ m: 1 }} />
</Sheet>
</Modal>

<MaterialReactTable table={tableMain} />

```

```

    </span>
  );
});

OilTable.displayName = 'OilTable';
OilTable.propTypes = {
  mode90: PropTypes.bool,
};

export default OilTable;

```

Компонент Chart является блоком приложения и обеспечивает отображение графика на основе полученных данных. Он использует React-hooks, а также библиотеки mui/joy и mui/LineChart для создания графика и управляющих компонентов. Компонент также позволяет пользователям менять масштаб графика с помощью колесика мыши.

handleScroll – это обработчик события колесика мыши, который используется для изменения масштаба графика. Если событие down, то изменяются минимальное и максимальное значения графика в зависимости от текущего положения колесика. Если событие up, то значения возвращаются к предыдущим значениям.

С

ь

```

import React, { useEffect, useRef } from 'react';
import PropTypes from 'prop-types';
import classes from './Chart.module.css';
import { LineChart } from '@mui/x-charts/LineChart';
import { Slider, IconButton } from '@mui/joy';
import { ZoomOutOutlined } from '@mui/icons-material';

export default function Chart(props) {
  const ref = useRef();
  const min = Math.min(...props.axis);
  const max = Math.max(...props.axis);
  const minDistance = (max - min) / 100 + 1;
  const [value, setValue] = React.useState([min, max]);

  const values = [...[]].concat(...props.data);
  const minY = Math.min(...values);
  const maxY = Math.max(...values);
  const arr = [...values].sort((a, b) => a - b);
  const median = Math.floor(props.data.length / 2);
  const minDistanceY = arr[median] - arr[median - 1];
  const [valueY, setValueY] = React.useState([minY, maxY]);

  const handleScroll = (event) => {
    var down = event.nativeEvent.deltaY > 0;
    var node = event.nativeEvent.srcElement;
    while (node.clientWidth == 0) node = node.parentElement;
    var position = event.nativeEvent.offsetX / node.clientWidth - 0.08;
    if (position < 0) position = 0;
    if (position > 1) position = 1;
  };

```

```

var positionY = event.nativeEvent.offsetY / node.clientHeight - 0.07;
if (positionY < 0) positionY = 0;
if (positionY > 1) positionY = 1;
if (down) {
  if (event.shiftKey == true) {
    let newMin = Math.max(minY, valueY[0] - (valueY[1] - valueY[0]) / 6);
    let newMax = Math.min(maxY, valueY[1] + (valueY[1] - valueY[0]) / 6);
    setValueY([newMin, newMax]);
  } else {
    let newMin = Math.max(min, value[0] - (value[1] - value[0]) / 6);
    let newMax = Math.min(max, value[1] + (value[1] - value[0]) / 6);
    setValue([newMin, newMax]);
  }
} else {
  if (event.shiftKey == true) {
    let newMin =
      valueY[0] + ((valueY[1] - valueY[0]) / 6) * (1 - positionY - 0.14);
    let newMax = valueY[1] - ((valueY[1] - valueY[0]) / 6) * positionY;
    if (newMax - newMin > minDistanceY) setValueY([newMin, newMax]);
  } else {
    var newMin = value[0] + ((value[1] - value[0]) / 6) * position;
    var newMax =
      value[1] - ((value[1] - value[0]) / 6) * (1 - position - 0.16);
    if (newMax - newMin > minDistance) setValue([newMin, newMax]);
  }
}
};

const scaleReset = () => {
  setValue([min, max]);
  setValueY([minY, maxY]);
};

if (props.short == true)
  return (
    <div className={classes.div} onWheel={handleScroll}>
      <div className={classes.Chart}>
        <LineChart
          sx={{ maxHeight: '100%' }}
          series={getSeries(props.data, props.names)}
          xAxis={getAxis(props.axis)}
          yAxis={getAxisY()}
          ref={ref}
        />
      </div>
    </div>
  );
else
  return (
    <div className={classes.div} onWheel={handleScroll}>
      <div className={classes.SliderLeft}>
        <Slider
          size="sm"
          orientation="vertical"
          value={valueY}
          valueLabelDisplay="off"
          min={minY}
          max={maxY}
        />
      </div>
      <div className={classes.Chart}>
        <LineChart
          sx={{ maxHeight: '100%' }}
          series={getSeries(props.data, props.names)}
          xAxis={getAxis(props.axis)}
          yAxis={getAxisY()}
          ref={ref}
        />
      </div>
    </div>
  );

```

```

    </div>
    <div className={classes.Slider}>
      <Slider
        size="sm"
        value={value}
        valueLabelDisplay="off"
        min={min}
        max={max}
      />
    </div>
    <div className={classes.ResetButton}>
      <IconButton onClick={scaleReset} size="small">
        <ZoomOutOutlined />
      </IconButton>
    </div>
  </div>
);

function getSeries(data, names) {
  var a = data.map((row, i) => {
    return {
      data: row,
      label: names[i],
      showMark: false,
    };
  });
  return a;
}

function getAxis(axis) {
  return [
    {
      data: axis,
      label: 'Волновые числа, обр. см.',
      min: value[0],
      max: value[1],
    },
  ];
}

function getAxisY() {
  return [
    {
      scaleType: 'linear',
      label: 'Оптическое поглощение, отн. ед.',
      min: valueY[0] - 1,
      max: valueY[1] + 1,
    },
  ];
}

Chart.propTypes = {
  axis: PropTypes.array,
  data: PropTypes.array,
  names: PropTypes.array,
  short: PropTypes.bool,
};

```

### Приложение 3. Акты о реализации диссертации и свидетельства о государственной регистрации программы

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки  
Научно-технологический центр уникального  
приборостроения Российской академии наук  
(НТЦ УП РАН)  
ОГРН 1037739516781  
ИНН/КПП 7728101310/772801001  
117342, г. Москва, улица Бутлерова, 15  
Тел: +7 (495) 333-61-02  
E-mail: np@ntcup.ru

«Утверждаю»

И.о. директора НТЦ УП РАН

М.С.Афанасьев

03 ИЮН 2024

#### АКТ О ВНЕДРЕНИИ

#### результатов диссертационной работы «Автоматизация контроля качества нефтепродуктов для обеспечения эффективного управления технологическим процессом» Гусева Кирилла Вячеславовича

Настоящим актом подтверждается внедрение результатов диссертационной работы Гусева К.В. «Автоматизация контроля качества нефтепродуктов для обеспечения эффективного управления технологическим процессом» в части программного обеспечения при разработке, модернизации и проведении научных исследований с использованием фурье-спектрометра АФ-3 и оптоволоконного фурье-спектрометра, в том числе для использования в непрерывном потоке.

Результаты, полученные в диссертационной работе Гусева К.В. дали возможность расширить функциональные возможности разрабатываемых в Научно-технологическом центре уникального приборостроения Российской академии наук ИК фурье-спектрометров при анализе многокомпонентных соединений (например, автомобильных бензинов). Это позволяет проводить исследования по созданию современных методов и средств контроля качества в технологическом процессе производства бензинов.

Заведующий отделом  
инфракрасной спектроскопии, д.т.н.

В.А. Вагин

Согласованно:  
Заместитель директора, к.ф.-м.н.

Д.В. Чуриков

03 ИЮН 2024



**АКТ**

о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы  
«Автоматизация контроля качества нефтепродуктов для обеспечения  
эффективного управления технологическим процессом»

Гусева Кирилла Вячеславовича

«*17* *июль*» 2024 г.

г. Москва

ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН) – специализированное предприятие, выполняющее фундаментальные и поисковые исследования в области разработки высокоэффективных процессов и катализаторов нефте- и газохимии, глубокой переработки традиционного и возобновляемого углеродсодержащего сырья в ценные продукты, в том числе полимерные.

Разработанная Гусевым К.В. экспертно-нейросетевая система (ЭНС), содержащая модели и алгоритмы, позволяющие идентифицировать марки бензинов, а также оценивать их физико-химические показатели качества, имеет большую практическую значимость. Немаловажным фактором является применение разработанной ЭНС, функционирующей совместно с поточным инфракрасным Фурье-спектрометром, что даёт возможность автоматизировать контроль качества нефтепродуктов для обеспечения более эффективного управления технологическим процессом производства на нефтеперерабатывающих заводах.

Для ИНХС РАН представляет интерес ЭНС, функционирующая совместно с инфракрасным Фурье-спектрометром, для проведения экспресс-анализа малых количеств лабораторных образцов нефтепродуктов и их компонентов, синтезируемых в ходе разработки новых технологических процессов, с целью предварительной оценки показателей физико-химических свойств, которые невозможно определить в условиях стационарных лабораторий ввиду недостаточного объема образцов.

ИНХС РАН подтверждает факт внедрения результатов диссертационной работы Гусева К.В. «Автоматизация контроля качества нефтепродуктов для обеспечения эффективного управления технологическим процессом», а именно ЭНС, функционирующей совместно с инфракрасным Фурье-спектрометром, при выполнении поисковых НИР, связанных с разработкой

технологических решений в интересах производства нефтепродуктов из альтернативного сырья.

Директор ИНХС РАН,  
член-корр. РАН



*[Handwritten signature]*  
А.В. Максимов

*07.06.2024г.*



А К Ц И О Н Е Р Н О Е О Б Щ Е С Т В О  
**ИНСТИТУТ НЕФТЕХИМПЕРЕРАБОТКИ**



450065, г.Уфа, ул. Инициативная, 12, тел/факс. +7(347)242-25-11, e-mail: inhp@inhp.ru, www.inhp.ru  
ИНН 0277929522, КПП 027701001, ОГРН 1180280038784, ОКПО 31372043

№ \_\_\_\_\_  
на № 8/к от 11.06.2014



**АКТ**

оценки возможности использования результатов диссертации Гусева Кирилла Вячеславовича «Автоматизация контроля качества нефтепродуктов для обеспечения эффективного управления технологическим процессом», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук

Осуществлена проверка на адекватность разработанной диссертантом ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» Гусевым К.В. экспертно - нейросетевой системы (далее - ЭНС) идентификации больших данных автоматизированного контроля качества.

В ходе проверки на адекватность установлено, что ЭНС обеспечивает поддержку процессов производства нефтепродуктов, что способствует повышению эффективности производства в части оперативности и достоверности результатов технологического контроля их качества.

Апробированная технология реализации ЭНС в систему управления технологическим процессом позволяет сократить выпуск некондиционного бензина приблизительно на 25 - 28%.

В целом работа Гусева К.В. представляет практический интерес для внедрения на предприятиях нефтехимической промышленности.

Заведующий лабораторией автоматизации  
Технологических процессов

В.Б. Малешин.

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023669265

**Экспертно-нейронная система для идентификации  
больших данных (серверная часть)**

Правообладатели: *Овчинников Михаил Андреевич (RU),  
Красников Степан Альбертович (RU), Гусев Кирилл  
Вячеславович (RU), Краснов Андрей Евгеньевич (RU)*

Авторы: *Овчинников Михаил Андреевич (RU), Красников  
Степан Альбертович (RU), Гусев Кирилл Вячеславович  
(RU), Краснов Андрей Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2023668185

Дата поступления 28 августа 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 сентября 2023 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023669036

**Экспертно-нейронная система для идентификации  
больших данных (клиентская часть)**

Правообладатели: *Овчинников Михаил Андреевич (RU), Краснов  
Андрей Евгеньевич (RU), Гусев Кирилл Вячеславович  
(RU), Красников Степан Альбертович (RU)*

Авторы: *Овчинников Михаил Андреевич (RU), Краснов  
Андрей Евгеньевич (RU), Гусев Кирилл Вячеславович  
(RU), Красников Степан Альбертович (RU)*

Заявка № **2023668219**

Дата поступления **28 августа 2023 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **07 сентября 2023 г.**



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов