

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной деятельности
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Д.Т.Н.

П.В. Колодяжный

2024г.



Отзыв

ведущей организации - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН" на диссертацию Гусева Кирилла Вячеславовича «Автоматизация контроля качества нефтепродуктов для обеспечения эффективного управления технологическим процессом», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

1. Актуальность для науки и практики

В настоящее время повышение эффективности решений, принимаемых по оценке качества и автоматизированному управлению качеством нефтепродуктов, может быть достигнуто за счет использования методов и средств искусственного интеллекта, в частности объединения экспертных и нейросетевых систем, для анализа спектральных характеристик с использованием поточных ИК-Фурье спектрометров в реальном масштабе времени.

Условия и особенности использования спектральных методов нуждаются в системном упорядочении. А также присутствует необходимость получать оперативную информацию обо всех изменениях в процессе производства нефтепродуктов, в том числе автомобильных бензинов, при непрерывном автоматизированном процессе контроля их качества.

Диссертация Гусева К.В. посвящена исследованиям в этой области и разработке нового инструментария, направленного на повышение эффективности автоматизированного контроля качества нефтепродуктов за счет модернизации функциональной схемы автоматизации системы фракционирования автомобильного бензина для усовершенствования

управления технологическим процессом путем внедрения в неё экспертно-нейросетевой системы (ЭНС) контроля качества, использующую нейронные сети, искусственный интеллект и вычислительные системы в реальном времени, что является актуальной темой.

2. Степень обоснованности научных результатов исследования, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации

Обоснованность научных результатов диссертационного исследования, выводов и рекомендаций подтверждается корректным применением методов теоретических и экспериментальных исследований. Научные положения диссертации базируются на теории систем, в частности, синтеза сложных систем, теории вероятностей и математической статистики, теории спектрального анализа, основы интеллектуальных систем управления, теории моделирования, теории информации, искусственного интеллекта (экспертных систем) и нейронных сетей. Основные результаты по теме диссертации докладывались и обсуждались на научных конференциях, а также изложены в 10 публикациях: 6 статей в журналах из перечня, рекомендованного ВАК РФ для публикации работ на соискание ученой степени; 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 2 тезиса в сборниках трудов конференций.

3. Достоверность материалов диссертационной работы

Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждается результатами применения разработанной методики построения ЭНС автоматизированного контроля качества нефтепродуктов на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) по спектральным данным автомобильных бензинов с объединением экспертной и нейросетевой технологий идентификации больших данных в системе управления технологическим процессом, разработанной и реализованной экспертно-нейронной системой идентификации больших данных в системе усовершенствования управления технологическим процессом и ее внедрением в функциональную схему автоматизации производства автомобильного бензина, актами о внедрении и об использовании результатов диссертационной работы, представленными в приложении диссертации.

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

- 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»);
- ООО «Славянск ЭКО»;
- 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.

4. Научная новизна основных положений диссертационного исследования

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- выполнена модернизация функциональной схемы автоматизации производства автомобильного бензина с внедрением в неё ЭНС контроля качества;
- разработана методика построения ЭНС автоматизированного контроля качества нефтепродуктов на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) по спектральным данным автомобильных бензинов с объединением экспертной и нейросетевой технологий в системе усовершенствованного управления технологическим процессом;
- разработана структура ЭНС идентификации на основе больших данных в системе усовершенствования управления технологическим процессом.

5. Значимость полученных результатов для науки и практики

Практическая ценность выполненной работы, прежде всего, состоит в сокращении времени автоматизированного контроля качества нефтепродуктов в режиме реального времени для обеспечения эффективного управления технологическим процессом.

Практическая значимость заключается в:

- адаптации математических моделей, содержащихся в базе знаний, по параметрам показателей качества автомобильных бензинов;
- разработке программного обеспечения ЭНС идентификации на основе больших данных автоматизированного контроля качества нефтепродуктов системы усовершенствованного управления технологическим процессом на НПЗ в части её серверной и клиентской

реализаций;

- разработке ЭНС идентификации больших данных автоматизированного контроля качества, которая обеспечивает поддержку процессов производства нефтепродуктов на НПЗ, в частности, выполняет мониторинг появления изменений, что способствует повышению эффективности производства в части оперативности и достоверности результатов технологического контроля качества производимых нефтепродуктов;

- апробации технологии реализации ЭНС, функционирующей на персональных компьютерах и клиент-серверных структурах.

Результаты диссертационной работы внедрены в 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), использованы на предприятии ООО «Славянск ЭКО». Подтверждена возможность использования и рекомендовано внедрение на предприятиях нефтехимической промышленности АО ИНСТИТУТ НЕФТЕХИМПЕРЕРАБОТКИ. В дальнейшем результаты диссертационного исследования могут быть использованы при соответствующей настройке в компонентах ЭНС (база данных и база знаний) классов (кластеров) и физико-химических показателей для автоматизированного контроля качества других нефтепродуктов в системах управления технологическим процессом.

6. Структура, объем и основное содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературы и трех приложений. Общий объем диссертации составляет 152 страницы, содержащих 43 рисунка и 12 таблиц. Список литературы содержит 103 наименования.

В первой главе работы приведен анализ состояния контроля качества нефтепродуктов на НПЗ в России: изучена методика оценки качества, которая использовалась в предыдущие годы, и приведено ее описание; рассмотрены процессы определения качества нефтепродуктов на НПЗ; исследованы виды технического контроля НПЗ в лабораториях: автоматический, полуавтоматический и в ручном режиме.

По результатам выполненного анализа автор выявил «узкие» места системы контроля качества и определил возможные пути ее совершенствования.

Показано, что одной из основных проблем в нефтехимической промышленности является управление процессами, которые имеют сложную динамику и требуют постоянного наблюдения и регулирования процесса. Автор также отмечает, что недостаточен уровень автоматизации этапов контроля качества на всех уровнях производства и переработки, так

как контроль, как правило, заключается в ручном отборе проб автомобильного бензина для проведения лабораторных испытаний; существует разнонаправленность при ведении лабораторного, поточного и виртуального контроля качества нефтепродуктов; уровень экспресс-методов испытаний нефтепродуктов на НПЗ низкий.

Автором диссертационной работы отмечено, что на сегодняшний день поточный анализ нефтепродуктов с автоматическим отбором проб и ее переработки на НПЗ, не имеет повсеместного применения.

Гусев К.В. предлагает способ решения данной проблемы – модернизацию функциональной схемы автоматизации производства автомобильного бензина посредством использования автоматизированных систем контроля качества, искусственного интеллекта, нейронных сетей и облачного хранения данных, что должно позволить при помощи использования поточных и «виртуальных» анализаторов, повысить достоверность информации о качестве продукции.

В работе отмечено, что поставленные задачи необходимо решать только с учетом нормативно-правовых и технических блоков системы контроля, учитывая организационно-структурную систему оценки качества нефтепродуктов.

Выполнено исследование автоматизации процессов - в автоматизированном процессе основную роль играет система усовершенствованного управления технологическим процессом (СУУТП), так называемые АРС-системы, которые осуществляют автоматический контроль этих параметров и оптимальное оперативное управление.

Рассмотрено, что для внедрения в автоматизированные системы управления НПЗ требуются в первую очередь автоматические средства контроля качества нефти, продуктов ее переработки и нефтепродуктов. В качестве технических средств в технологическом контроле качества могут использоваться поточные и виртуальные анализаторы, выходные данные которых поступают в СУУТП. В качестве поточных анализаторов могут быть использованы и используются наряду с другими анализаторы на базе ИК-Фурье спектрометров.

Проведенный анализ литературных и патентных данных показал, что основными недостатками по созданию систем поточного (автоматизированного) анализа являются проблемы, связанные с необходимостью разработки программного обеспечения, позволяющего обрабатывать поступающие с них данные для применения в конкретных технологических схемах переработки нефти.

В качестве системы, позволяющей анализировать инфракрасные спектры (ИК спектры) поточных анализаторов, предлагается использовать разработанную экспертно-нейросетевую систему (ЭНС), которая позволяет на основе ИК спектров идентифицировать показатели качества автомобильного бензина.

В заключении сделаны выводы о том, что для достижения цели диссертационной работы необходимо решить следующие 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.

Автор в результате проведенного исследования доказал, что существует необходимость в повышении эффективности управления технологическим процессом в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности.

Во второй главе приведена технология построения интегрированной экспертно-нейросетевой системы для идентификации марки бензина и его физико-химических показателей на основе больших данных и предложена модернизация системы контроля качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности для усовершенствования управления технологическим процессом.

Модернизация заключается во внедрении разработанной ЭНС в функциональную схему автоматизации стабилизации и фракционирования бензиновых фракций. ЭНС включается 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.

Разработана обобщенная структура ЭНС и схема ее функционирования. ЭНС представляет собой программный комплекс, включающий три компонента: интегрированную экспертную систему (ЭС), интегрированную нейронную сеть (НС), подсистему контроля.

Первый компонент ЭС включает в себя: входной интерпретатор, необходимый для предварительной обработки спектральных данных; базу данных; базу знаний и машину логического вывода. ЭС используется для интерпретации, кластеризации (с учителем или без учителя),

классификации (распознавания) данных (используя модель идентификации макросостояний нефтепродуктов), снижения их размерности, а также оценивания по спектральным данным показателей (используя модель идентификации микросостояний) соответствующих объектов/процессов, породивших эти данные.

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 - интегрированная НС, включает программные модули: однослойную нейронную сеть; многослойную нейронную сеть центроидов классов; многослойную нейронную сеть ближайших соседей.

Входными данными модуля однослойной нейронной сети является вектор принадлежности больших данных к классам (кластерам), реализованный на выходе интегрированной экспертной системы. Для каждого класса рассчитываются пороговые функции, исходя из максимальных значений мер сходства. Как и в однослойной, входными данными для многослойной нейронной сети является вектор принадлежности классов, сгенерированный в модуле машины логических выводов компонента интегрированной экспертной системы.

Обобщенная структура интегрированной ЭНС состоит из интерфейса ЭНС с внешней средой (интерфейс разработчика и интерфейс пользователя), базы данных, базы знаний, компоненты приобретения знаний, машины логических выводов (МЛВ) и модуля нейронной сети. Структура базы знаний 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 на основе 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.

В главе приведено описание адаптации математических моделей, содержащихся в базе знаний, по параметрам показателей качества автомобильных бензинов: приведено формальное описание модели идентификации макросостояний нефтепродуктов (марки) и модели идентификации микросостояний (физико-химических показателей нефтепродуктов), меры сравнения инфракрасных спектров. Применение различных мер сравнения состояний даёт возможность выбирать оптимальные варианты при сравнении ИК-спектров.

Объединение экспертной системы и нейросетей (однослойной и многослойной) в одну ЭНС позволило автору получить синергетический

эффект при классификации и идентификации физико-химических характеристик на основе больших данных, например, оптических спектральных данных: снижает их размерность до размерности, определяемой небольшим числом классов; повышает правдоподобие классификации.

В третьей главе рассмотрена практическая реализация разработанной ЭНС технологического контроля качества нефтепродуктов на примере автомобильных бензинов по их спектральным данным и ее применение. В ЭНС объединены экспертная и нейросетевая технологии идентификации спектральных данных в системе усовершенствованного управления технологическим процессом. Разработана методика работы ЭНС, приведено ее описание и пошаговое описание работы ЭНС на конкретном примере.

Эксперименты показали, что однослойная и многослойная нейронные сети центроидов классов классифицируют неизвестные ИК-спектры с высокой степенью правдоподобия: ИК-спектр автомобильного бензина АИ-92 с вероятностью 99% и 100% соответственно. Это свидетельствует о том, что для многих задач идентификации на основе больших данных достаточно использования интегрированных экспертных систем и однослойных нейронных сетей. В главе приведено описание процесса обучения нейронной сети.

Автор диссертационной работы в данной главе проводит оценку повышения эффективности управления технологическим процессом. Эффективность внедрения разработанной ЭНС была проверена с помощью программно-вычислительного комплекса оценки качества производственных процессов «Своевременность». Расчеты проводились для двух случаев, до внедрения ЭНС и после внедрения ЭНС для оценки вероятности своевременной обработки показателей качества. Были проведены экспериментальные исследования, которые показали, что применение ЭНС в технологическом процессе повышает своевременную обработку показателей качества до 75%.

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

В четвертой главе приводится программная реализация ЭНС для автоматизированного контроля качества автомобильных бензинов. Рассмотрены программные компоненты и библиотеки, вошедшие в состав разработанной ЭНС. ЭНС разработана на основе клиент-серверной архитектуры. Сконфигурирована нейронная сеть для повышения правдоподобия классификации автомобильных бензинов. Проработан и реализован пользовательский интерфейс для взаимодействия с ЭНС, включающий страницы выбора спектров для проверки, оценки октанового

числа неизвестного спектра и вывода результатов работы алгоритма. А также разработан интерфейс администратора ЭНС, предоставляющий администратору системы следующие возможности: добавление спектра в базу данных, определение неизвестного спектра из файла по имеющимся эталонным спектрам в базе данных, загрузка его из базы данных, изменение данных загруженного спектра, определение его по имеющимся эталонным, удаление спектра, просмотр его значений. Реализована серверная часть, обрабатывающая запросы клиентов. Клиентская часть реализована как «тонкий» клиент в виде мобильного приложения и веб-клиента. Она обращается к серверной части для установки задачи на работу ЭНС и получения результатов.

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 заключении сформулированы основные результаты работы.

В приложениях приведено описание процесса автоматизации стабилизации и фракционирования бензиновых фракций с внедрением экспертно-нейросетевой системы, описание программного кода экспертно-нейросетевой системы, акты о реализации результатов диссертации и свидетельства о государственной регистрации программы.

7. Замечания по диссертации и автореферату

По диссертации и автореферату можно сделать следующие замечания.

1. Из диссертации непонятно, формулы (2.2) – (2.5) получены автором или заимствованы из литературных источников.

2. При вычислении относительной ошибки представления диапазона значений для набора №1 (см. таблицу 3.1 на стр. 50) допущена опечатка: в таблице $OШ_{95} = 0,337\%$, а в тексте – на порядок меньше, т.е. $OШ_{95} = 0,0337\%$. Возникает вопрос: какое значение является верным?

3. На представленном рис. 4.5 главная страница приложения не содержит параметров выбора учётной записи администратора, разработчика или пользователя.

4. Из диссертации не ясно, в течение какого срока проводились экспериментальные исследования, и, соответственно, достаточен ли объем полученных данных для подтверждения достоверности результатов работы нейронных сетей.

5. В диссертационной работе в основных положениях, выносимых на защиту во введении (стр.9) указано «Способ модернизации системы контроля качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности для усовершенствования управления технологическим процессом», а в автореферате (стр. 6) «Способ модификации системы контроля качества

продуктов нефтеперерабатывающей промышленности для усовершенствования управления технологическим процессом». По мнению ведущей организации в работе выполнена модернизация функциональной схемы автоматизации производства автомобильного бензина.

6. По мнению ведущей организации представленный соискателем пункт 4 научной новизны «Проведена адаптация математических моделей, содержащихся в базе знаний, по параметрам показателей качества автомобильных бензинов» больше характеризует практическую значимость.

7. По мнению научной организации указанная в основных положениях, выносимых на защиту и в научной новизне «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» точнее и правильнее описывает выполненную задачу, чем сформулированная задача 2 на стр.4 автореферата и стр. 6 диссертации.

8. Соответствие диссертации паспорту специальностей

Исследование проводилось в рамках области исследований научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Выполненная Гусевым К.В. работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

п. 2. Автоматизация контроля и испытаний.

п. 6. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами.

п. 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.

п. 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.

9. Заключение

Диссертационная работа Гусева Кирилла Вячеславовича является законченной научно-квалификационной работой, в которой получено новое решение актуальной задачи повышения эффективности управления

технологическим процессом в части оперативности и достоверности автоматизированного контроля качества продуктов нефтеперерабатывающей промышленности за счет внедрения разработанной ЭНС в систему управления технологическим процессом на НПЗ. Важно, что полученные в диссертации результаты нашли практическое применение.

Диссертация написана хорошим научно-техническим языком, структурирована и оформлена. Материал изложен логично.

Цель и задачи, определённые в работе, выполнены в полном объеме. Библиографический список научно-технической литературы достаточен, обращение к ней обоснованно и свидетельствует о научном кругозоре диссертанта. Публикации в достаточной мере отражают основные научные результаты соискателя. Автореферат соответствует содержанию диссертации. К диссертации приложены документы (акты), подтверждающие практическую полезность выполненной работы.

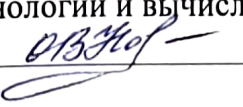
Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности и не влияют на положительную оценку работы.

В целом по уровню научной новизны, теоретической и практической значимости, выводов и предложений, диссертационная работа «Автоматизация контроля качества нефтепродуктов для обеспечения эффективного управления технологическим процессом», отвечает критериям, изложенным в пп. 9 – 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Гусев Кирилл Вячеславович достоин присуждения ему степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертация обсуждена и одобрена, а отзыв на диссертационную работу рассмотрен и утверждён на заседании кафедры информационных технологий и вычислительных систем института информационных технологий МГТУ «СТАНКИН» (протокол № 6 от «18» декабря 2024 г.)

Заведующий кафедрой

информационных технологий и вычислительных систем

к.т.н., доцент  Новоселова Ольга Вячеславовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Адрес: 127055, Москва, Вадковский пер. д.3а

Электронная почта: ol.novoselova@stankin.ru

Телефон: +7 (499) 972-94-19

Подпись руки Новоселовой О.В. удостоверяю
УД ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
Главный специалист
Корнеева М.В. 19.12.2024