

«УТВЕРЖДАЮ»

И. о. ректора Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования

«Тверской государственной технической университет»

А. В. Твардовский

« 04 » февраля 2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

«Тверской государственной технической университет (ТвГТУ)»

на диссертацию Горбунова Сергея Сергеевича на тему:

«Система оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения бензинов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Актуальность темы диссертации

Одной из важных и завершающих стадий в технологической цепочке установок на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), определяющих качество товарных бензинов и, как следствие, эффективность производства в целом является процесс смешения бензинов. Из множества рецептур смешения компонентов, соответствующих спецификациям товарных бензинов, выбирается одна, в соответствии с выбранным критерием оптимальности компаундирования бензинов.

Технологическая структура мощностей переработки нефти формировалась долгое время без достаточного развития процессов, повышающих качество продукции. Существенно отстает от требований времени развитие технологических процессов получения товарных бензинов, обеспечивающих качество моторных топлив по таким критериям, как октановое число по исследовательскому методу, октановое число по моторному методу, давление насыщенных паров по Рейду и т. п.

Техническая реализация оптимального компаундирования бензинов требует решения комплекса задач автоматизации - автоматический контроль и регулирование показателей качества товарного бензина в режиме реального

времени с использованием: поточных анализаторов качества продукта в замкнутом контуре автоматического управления смешением товарных бензинов; адаптивной математической модели смешения с учетом нелинейности ряда показателей качества товарного бензина от состава и показателей качества смешиваемых компонентов, неопределенности режимных параметров для улучшения качества системы управления; интеллектуальных систем мониторинга и коррекции измерений для обеспечения достоверности информации и, как следствие, повышения качества управления.

Эффективность процесса компаундирования определяется рецептурой с минимально возможным вовлечением дорогостоящих компонентов бензина, согласованным расписанием обеспечения запасов компонентов смешения в резервуарах и отгрузкой продукции в производстве бензинов. Задача повышения эффективности и оптимизации процессов производства бензинов является крайне актуальной как с точки зрения повышения качества продукции, так и с экономической точки зрения.

В работе отмечен и проанализирован вклад отечественных и зарубежных учёных в разделы науки, связанные с темой диссертационной работы.

Основное содержание диссертационной работы

Диссертационная работа включает в себя введение, четыре главы, выводы, список используемой литературы. Общий объем диссертации составляет (185) страниц, включающие 80 рисунков и (17) таблиц. Список цитируемой литературы содержит (154) наименований.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и основные задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость результатов работы, представлена методология и методы исследования, степень достоверности и приведены данные об апробации работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе (стр. 12 – 49) представлен обзор методов компаундирования бензинов и основных проблем, требующих решения с целью интенсификации и повышения эффективности проведения процесса компаундирования топлив.

Представлен анализ влияния, входящих в состав бензина углеводородов на показатели качества продукта и эффективность рецептур смешения бензинов. Рассмотрены особенности построения математических моделей процессов смешения бензинов, оптимального планирования компонентных ресурсов и оптимизации рецептур смешения бензинов.

В обзоре программных комплексов оптимального планирования рецептур компаундирования бензинов рассмотрены особенности построения математических моделей, решения задач оптимизации производственного планирования и управления процессами смешения бензинов и мазутов, сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе (стр. 50 – 84) представлена структура системы оптимального планирования, оптимизации и управления смешением бензинов. Приведены модели расчета октановых чисел по исследовательскому методу (ОЧИМ) и давления насыщенных паров (ДНП) с учетом их нелинейности от состава и показателей качества смешиваемых компонентов.

Представлены технология смешения по партиям и времени в производстве и функциональная структура системы онлайн оптимизационного смешения бензинов. Рецептуры смешения бензинов рассчитываются для каждой партии.

Задание на планирование и смешение бензинов состоит: из требований к плану производства бензинов, сроков и критериев оптимизации; цен на компоненты смешения; запасов компонентов смешения и остатков товарной продукции в резервуарах; данных анализа состава и показателей качества компонентов смешения и бензинов с лабораторной информационной менеджмент-системы.

В оффлайн режиме рассчитываются начальные оптимальные рецептуры и пересылаются в распределенную систему управления для начала процесса смешения и поддержания оптимального во времени соотношения потоков. В дальнейшем, онлайн модель оптимизации корректирует онлайн рецептуры с учетом данных от поточных анализаторов и информации от производственно-диспетчерской службы до завершения партии.

Результатом решения задачи оптимизации рецептур смешения по математической модели является вектор массовых (объемных) долей компонентов смешения бензинов.

Процесс смешения бензинов осуществляется по партиям в указанное время и в определенной последовательности в зависимости от состояния резервуарных парков как по компонентам смешения, так и товарного бензина.

Массив предшествующих показателей качества компонентов смешения используются для прогнозирования показателей качества и расчета рецептур в соответствии с критерием оптимальности в каждой партии на всем временном горизонте смешения.

Для решения задачи учета неопределенности по качеству компонентов смешения бензинов в интервале периода смешения бензинов вводится случайная функция в математическое описание постановки задачи. Математическая формулировка задачи стохастической оптимизации с вероятностным ограничением означает, что при формировании рецептур и смешении бензинов, количество вовлекаемых в смесь каждого компонента не будет превышать запасы компонентов в резервуарах с определенной достоверностью. Представленная постановка задачи определяет решение с учетом параметрической неопределенности, который применим и для онлайн оптимального управления смешением бензинов.

Неопределенность в целевой функции исключается, потому что целевая функция сводит к минимуму разницу между рецептурами верхнего уровня (офлайн оптимизация) и текущими в режиме реального времени для максимизации прибыли от смешения бензинов по каждой партии в срок.

Учет вектора случайных возмущений, влияющего на неопределенность изменения параметров компонентов смешения в каждой партии, решает проблему несоответствия («невязки») результатов, полученных по модели, и данными онлайн-оптимизации в режиме реального времени.

Представленная онлайн-модель оптимизации не прогнозирует показатели качества компонентов смешения для оставшегося интервала времени смешения бензинов, а рассчитывает рецептуру для текущей партии с точным прогнозом длительности смешения.

Выполнение условий в целевой функции с учетом неопределенности обеспечивает высокую вероятность производства бензиновой смеси в соответствии с требованиями к спецификации продукта, равной произведению достоверностей в целом по партиям, снижающими риск повторного смешения, вызванного некондиционностью показателей качества товарного бензина.

Надежность и достоверность информации являются одним из определяющих факторов целостности и эффективности функционирования автоматизированной системы управления различных уровней. Небольшая ошибка в измерениях может привести к значительным финансовым издержкам.

В диссертационной работе представлено решение этой проблемы использованием автоассоциативной нейронной сети (ААНС), обучающейся модифицированным робастным методом в системе онлайн мониторинга «зашумленных» сигналов для обнаружения неисправностей и автокоррекции показаний измерительной системы (ИС).

Система строится на базе архитектуры ААНС, позволяющей фильтровать шумы измерения, осуществлять самокоррекцию ошибочных сигналов из-за сбоя и дрейфа показаний ИС с течением времени, осуществлять обработку данных, относящихся к грубым ошибкам. Для этого используется рекуррентная нейронная сеть Хопфилда для моделирования характеристик статики и динамики системы смешения бензинов с применением ААНС:.

Обучение ААНС является процессом непрерывной коррекции весовых коэффициентов связей (синапсов) в модуле настройки нейронной сети до устойчивого решения, являющееся признаком обученности сети. Выходной вектор рекуррентно формируется в результате процесса обучения ААНС и репродуцирования (отображения) входного вектора на выходе в соответствующем динамическом диапазоне.

При данных от резервированных (избыточных) измерительных элементов в ААНС можно использовать усредненное значение. В случае отсутствия избыточности измерительной информации оценка выходного обученного вектора основана на статистическом анализе взаимной корреляции измерений, обеспечивающей более адекватные результаты по сравнению с измерениями с меньшей взаимной корреляцией во входных векторах.

Представленные в диссертации разработанные модели и алгоритмы расчета октановых чисел и давления насыщенных паров бензинов учитывают: фактор парных взаимовлияний компонентов смешения на величину октановых чисел в модели неполного второго порядка; рассчитываемые индексы смешения индивидуальных компонентов, с идентификацией параметров этих моделей по данным лабораторных экспериментов или статистического анализа режима работы смесителей.

Разработана система оптимизации и управления смешением бензинов в режиме реального времени с использованием рекуррентной нейронной сети Хопфилда и представлены результаты численного моделирования и оптимизации рецептур смешения бензинов с использованием искусственных нейронных сетей (гл. 4).

В третьей главе (стр. 85 – 104) сформулирована математическая постановка задач оптимального планирования операций производства бензинов.

Диссертантом планирование технологических операций смешения бензинов на НПЗ представлено в виде модели нелинейной комбинаторной задачи

определения рецептур компонентов смеси с различными качественными показателями.

Модель включает в себя оптимизацию распределения потоков от резервуаров хранения компонентов смешения до смесителей, после смесителей в продуктовые резервуары, отгрузку продукта в соответствии с операционными требованиями к автоматизированной системе смешения. Общая задача декомпозируется на две подзадачи: основную - смешанное целочисленное линейное программирование, построенную путем упрощений и допущений исходной модели, обеспечивающей нижнюю границу и подчиненную нелинейную модель, которая определяет верхнюю границу решений и обеспечивает выпуклость задачи в каждом временном интервале разбиения.

Составление расписания процесса принятия решений является сложной задачей из-за множества производственных, складских и распределительных подсистем, различных видов сырья, промежуточных и конечных продуктов, а также сложных связей между всеми этими элементами.

В диссертации планирование и принятие решений автором представлено в виде четырех основных этапов: формулировка задач и подзадач для достижения соответствующих целей, требований и/или целевых показателей спроса; определение последовательности выполнения задач; определение времени выполнения задач от момента запуска до остановки.

В системе смешения бензинов компоненты из резервуаров хранения подаются в продуктовые резервуары на смешение или в поточные смесители (блендеры). Смесительные резервуары на каждом интервале времени имеют только входящий поток продукта либо только выходящий (рис. 3.2) для периодической системы смешения.

В дополнение к четырем решениям планирование операций смешения включает определение рецептуры смеси компонентов с учетом требований по спецификации и выбранным критерием эффективности.

Результаты моделирования и оптимизации рецептур смешения бензинов и мазута представлены Приложениях Б и В.

В четвертой главе (стр. 105 – 185) представлена функциональная структура разработанного программного комплекса и описание рабочих интерфейсов между планировщиком и системой оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения топлив (ПК ОПОР).

Программные модули ПК ОПОР логически связаны с конфигуратором базы данных топлив, спецификаций, компонентов смешения и их показателей качества для марки выбранного топлива.

В таблицах приведены результаты расчетов рецептур смешения бензинов по трем партиям с учетом количества и показателей качества остатка продукта в первой партии. Во второй и третьей партиях учитываются накопление продукта и их показатели качества от партии к партии.

Представленные в диссертации результаты оптимизации рецептур смешения производства бензина и мазута в ПК ОПОР были получены на Сызранском НПЗ и Сургутского завода стабилизации конденсата.

Научная новизна диссертации

1. Математическая модель смешения бензинов и мазутов с учетом нелинейности показателей качества топливной смеси и неопределенности параметров технологического режима.

2. Постановка задачи оптимального управления процессом смешения бензинов в условиях параметрической неопределенности и ограничениями по спецификации и запасам сырьевых ресурсов в резервуарах, алгоритмы оптимизации планирования операций процесса производства бензинов.

3. Интеллектуальная система мониторинга, корректировки и управления процессом смешения бензинов в режиме реального времени.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в обосновании структуры системы управления процессом смешения бензинов, а также математических моделях и алгоритмах оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения бензинов и мазутов.

Практическая значимость полученных результатов заключается в следующем:

1. Предложены алгоритмы онлайн-мониторинга элементов измерительной системы с использованием авто-ассоциативных нейронных сетей и аппарата статистического анализа данных для оценки грубых ошибок и самокоррекции ошибочных измерений.

2. Разработаны база данных и программный комплекс решения задач оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения производства бензинов и мазута.

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов диссертации

Научные положения и выводы диссертационной работы Горбунова С.С. обоснованы проведением экспериментальных исследований и подтверждаются значительным объемом обработанных практических данных с реальных производств.

Полученные результаты и их достоверность не противоречат данным моделирования тестовой задачи. Работа была апробирована на международных и российских научно-практических конференциях.

Основные положения диссертации получили достаточное отражение в 10 печатных изданиях, в том числе 3 статьи в изданиях из перечня ВАК. Результаты научного исследования подтверждены участием на научных мероприятиях всероссийского и международного уровня: сделаны доклады с публикацией 7 работ в материалах всероссийских и международных конференций.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ № 2018613287 «Программный комплекс оптимального планирования и оптимизации бензинов и мазутов» от 07.03.2018 г., Версия 2.0 (ПК ОПОР v 2.0).

Рекомендации по практическому использованию результатов

Теоретические положения и практические результаты диссертационной работы Горбунова С.С. показывают адекватное отображение динамики реального объекта и могут служить в качестве основы для реализации программного обеспечения оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения в оффлайн и онлайн режимах управления компаундирования топлив.

Критериями оптимизации являются максимизация прибыли или маржинальная стоимость продукта в зависимости от технологических условий производства.

Разработанный программный комплекс рекомендован к внедрению на нефтеперерабатывающих заводах, как обеспечивающий высокое качество функционирования автоматизированной станции смешения бензинов.

Замечания и рекомендации по диссертации

1. В литературном обзоре (стр. 14) подробно представлены наиболее важные показатели товарного бензина, такие как - давление насыщенных паров, показатели октановых чисел, содержание серы, ароматических углеводородов и олефинов. Для полного понимания желательно пояснить, к чему приводит нарушение спецификации по этим показателям качества продукта.

2. В подразделе 2.3.1, наряду с математической формулировкой постановки задачи оптимизации рецептур смешения бензинов в общем (2.17 – 2.21) и по партиям (2.22 – 2.26) было бы желательно представить словесное пояснение.

3. Не указано для какого НПЗ получены результаты расчетов, представленные на рисунках 2.4, 2.5 - диаграммы Гантта и таблицы 2.1 – 2.3 производства бензинов.

4. В диссертационной работе рассматривается решение задачи оптимизации с использованием автоассоциативной нейронной сети Хопфилда, но не приведено обоснование выбора данного метода (подраздел 2.3.4).

5. Не представлена среда разработки программного комплекса ПК ОПОР и платформа базы данных.

6. Не указано, в чем заключается универсальность программного комплекса ПК ОПОР.

7. Некоторые рисунки диссертации трудночитаемы, например (рисунки: 3.5, 4.11, 4.15, 4.15а, 4.35а).

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают положительного впечатления о работе.

Заключение

Диссертационная работа Горбунова Сергея Сергеевича на тему: «Система оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения бензинов», представленная на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной для развития изучаемой отрасли знаний научной задачи по разработке основ анализа и синтеза системы управления технологическим процессом по оптимизации рецептур смешения бензинов.

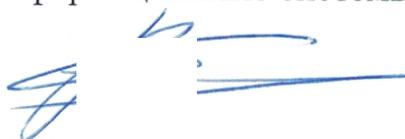
Работа Горбунова С.С. обладает научной новизной и практической значимостью и соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, которые установлены Положением о порядке присуждения ученых степеней в ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И Менделеева, а ее автор

Горбунов Сергей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертация, автореферат и отзыв были рассмотрены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Информационные системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственной технической университет», протокол № 3 от 17 января 2025 года.

Заведующий кафедрой «Информационные системы»

д.т.н., профессор



Палюх Б.В.

Подпись Б.В. Палюха заверяю

Ученый секретарь ученого совета ТвГТУ

д.т.н., профессор



Болотов А.Н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственной технической университет» (ФГБОУ ВО "ТвГТУ")

Адрес: 170026, г. Тверь, наб. А Никитина, д. 22

Телефон (рабочий): +7 (4822) 785-261

Адрес электронной почты: common@tstu.tver.ru

Адрес официального сайта: сети Интернет <http://www.tstu.tver.ru>