

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу

Сергея Сергеевича Горбунова «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 работы. Диссертационная работа Горбунова С.С. посвящена решению одной из важных проблем оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения при компаундировании бензинов на нефтеперерабатывающих заводах.

Оптимальное компаундирование бензинов является комплексной задачей оптимального управления, обеспечивающей автоматический контроль и регулирование показателей качества товарного бензина в режиме реального времени с использованием: поточных анализаторов показателей качества продукта в контуре автоматического управления смешением товарных бензинов; адаптивной математической модели смешения с учетом неаддитивности ряда показателей качества товарного бензина от состава и показателей качества смешиваемых компонентов; интеллектуальных систем мониторинга и коррекции измерений для обеспечения достоверности информации и, как следствие, повышения качества управления.

Технологическая структура мощностей переработки нефти формировалась долгое время без достаточного развития и внедрения отечественных разработок по оптимизации процессов, повышающих качество продукции. 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. существенно отставало от требований времени.

Эффективность процесса достигается за счет минимального вовлечения дорогостоящих компонентов бензина, сокращения издержек за счет оптимального расписания ведения процесса смешения в производстве бензинов. Таким образом, задача повышения эффективности и оптимизации процессов производства бензинов является крайне актуальной как с точки зрения повышения качества продукции, так и с экономической точки зрения.

Анализ основных положений диссертационной работы.

Объем диссертационной работы 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 представлено общее состояние проблемы оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения бензинов. 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.

Вклад автора в выполнении диссертационной работы заключается в проведении основного объема теоретических и экспериментальных работ, изложенных в диссертационной работе.

В главе 1 приведены обзор и анализ научно-технической литературы по теме диссертации, подходы к идентификации параметров и структуры нелинейных математических моделей показателей качества бензинов.

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

Представлен обзор, существующих программных продуктов оптимального планирования рецептур смешения топлив. Отмечены особенности построения математических моделей и решения задач оптимизации производственного планирования и управления процессами смешения бензинов и мазутов, сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

В главе 2 приведена структура системы оптимизации и управления смешением товарных нефтепродуктов, состоящей из подсистем, предназначенных для планирования, мониторинга и исполнения задач смешения бензинов на НПЗ. Представленные модели расчета октановых чисел по исследовательскому методу (ОЧИМ) и давления насыщенных паров (ДНП) учитывают нелинейность от состава и показателей качества смешиваемых компонентов.

Исходными данными планирования и компаундирования бензинов являются: требования к плану производства бензинов, сроков и критериев оптимизации; цены на компоненты смешения; запасы компонентов смешения и остатки товарной продукции в резервуарах; данные анализа состава и показателей качества компонентов смешения и бензинов от лабораторной информационной менеджмент-системы.

Представлена функциональная структура онлайн системы оптимизационного смешения бензинов по партиям. Оптимальные рецептуры смешения бензинов рассчитываются для каждой партии в указанное время и в определенной последовательности в зависимости от состояния резервуарных парков как по компонентам смешения, так и товарного бензина.

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

Математическая формулировка задачи оптимизации смешения бензинов в каждой партии учитывает стохастичность процесса введением вероятностных ограничений. Это означает, что количество каждого вовлекаемого в смесь компонента не будет превышать запасы компонентов в резервуарах с определенной достоверностью. Представленная постановка задачи определяет решение с учетом параметрической неопределенности, которая применима и для онлайн оптимального управления смешением бензинов.

Учет неопределенности изменения показателей качества компонентов смешения в каждой партии решает проблему несоответствия («невязки») между результатами, полученными по модели и данными онлайн-оптимизации в режиме реального времени.

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

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.

Разработанные модели и алгоритмы расчета октановых чисел и давления насыщенных паров бензинов учитывают взаимовлияния 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.

В главе 3 представлена математическая формулировка задач оптимального планирования операций производства бензинов в виде модели нелинейной комбинаторной задачи определения рецептур компонентов смеси с различными качественными показателями.

По составу математическая модель состоит из оптимизации рецептур бензиновых смесей, задачи распределения потоков от резервуаров хранения компонентов смешения до смесителей, после смесителей в продуктовые резервуары, операционные требования к автоматизированной системе смешения, технологические и экономические требования.

Общая задача состоит из двух подзадач: основная - смешанное целочисленное линейное программирование, построенное путем упрощений и допущений исходной модели с использованием кусочно-оггибающих (релаксаций) Маккормика и гиперплоскостей, которая обеспечивает нижнюю границу; и подчиненная - нелинейная модель, которая дает верхнюю границу решений. Таким образом обеспечивается выпуклость задачи в каждом временном интервале разбиения.

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 критериям эффективности.

В некоторых технологических конфигурациях НПЗ смесь поступает в резервуар для хранения, в то время как в других конфигурациях она может поступать непосредственно в трубопровод. Каждый переход требует частичной перестройки технологической схемы, линий подачи смеси, что приводит к потере эффективности смешения. Кроме того, при переходе на другой, часто требуемый технологом, диапазон качественных показателей продукта требуется перенастройка или/и повторная калибровка поточных анализаторов.

Математические модели планирования сформулированы как задачи смешанного целочисленного линейного и нелинейного программирования планирования операций смешения бензинов с учетом: горизонта планирования; набора компонентов смеси и их соответствующих профилей поставок; портфеля заказов на поставку каждого продукта.

Алгоритмы включает в себя оптимизацию, операционные требования к автоматизированной системе смешения и технологические ограничения распределения потоков от резервуаров хранения компонентов, потоков в продуктовые резервуары.

Результаты моделирования и оптимизации рецептур смешения бензинов и мазута приведены в диссертации - Приложения Б и В.

В главе 4 представлена структура разработанного программного комплекса и результаты моделирования и оптимизации рецептур смешения бензинов.

Разработанный программный комплекс оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения в производстве бензинов и мазутов логически связанный с базой данных для ПК ОПОР через конфигуратор базы данных, использующий исходные данные, создает связанные таблицы топлив, спецификаций, компонентов смешения и их показателей качества для марки выбранного топлива. Представлено описание рабочих интерфейсов между планировщиком и системой оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения топлив.

В таблицах приведены результаты расчетов рецептур смешения бензинов по трем партиям. При этом в расчетах учитываются количество и показатели качества остатка продукта в продуктовом резервуаре в первой партии. Во

второй и третьей партиях учитываются накопление продукта и их показатели качества от партии к партии.

Приведены результаты оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения производства бензина и мазута для Сызранского НПЗ и Сургутского завода стабилизации конденсата.

Научная новизна работы. Научная новизна заключается в использовании современных подходов и методов оценки эффективности системы оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения бензинов:

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

2. Разработана система оптимального управления смешением бензинов в условиях параметрической неопределенности;

3. Разработан алгоритм интеллектуальной системы мониторинга и управления процессом смешения в производстве бензинов в режиме реального времени с целью уменьшения влияния возмущений на процесс компаундирования;

4. Разработан комбинированный алгоритм автоассоциативной нейронной сети и программного комплекса оптимального планирования и оптимизации рецептур для моделирования и управления процессом смешения бензинов.

5. Разработаны математические модели и алгоритмы оптимизации планирования операций процесса производства бензинов.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработанной впервые автоматизированной системе, математических моделях и алгоритмах оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения производства бензинов и мазутов.

Практическая значимость полученных результатов заключается в следующем:

1. Сформулированы критерии оптимизации рецептур смешения бензинов и мазутов с точки зрения максимума производства товарного бензина;

2. Предложена модель и алгоритм онлайн-мониторинга элементов измерительной системы с использованием автоассоциативных нейронных сетей и аппарата статистического анализа данных для группировки по их принадлежности к технологическим режимам и самокоррекции ошибочных измерений для каждой из этих групп;

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

Работа характеризуется логичностью построения основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Достоверность результатов исследования обоснована проведением научных исследований и подтверждается значительным объемом теоретических и практических данных.

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

Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Автореферат диссертации в полном объеме соответствует содержанию диссертационной работы.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации. Основные положения диссертации получили полное 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: опубликовано 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).

В качестве замечаний необходимо отметить:

1. В литературном обзоре представлены программные коммерческие продукты, существующие и используемые в России для задач оптимизации процессов компаундирования бензинов. Желательно было бы краткое дополнение положительных и отрицательных сторон используемых программных продуктов на российских НПЗ.

2. Одним из методов решения проблемы нелинейности моделей показателей качества топлива (бензины, мазут, дизельное топливо и т.п.) являются индексные методы расчета показателей качества (октановые числа, давление насыщенных паров, вязкость, цетановые числа). Было бы не лишним привести их отличие от классических методов идентификации параметров нелинейной модели.

3. В главе 2.3.4 рассмотрено использование нейронной сети Хопфилда для решения задачи оптимизации рецептур смешения бензинов. Картина была бы более полной при представлении структуры сети Хопфилда с привязкой к параметрам качества продукта и рецептуры смешения компонентов.

4. В таблицах 4.1 – 4.2 представлены результаты сравнительной оценки эффективности рецептур смешения бензинов для различных вариантов ограничения нижнего предела ОЧИМ в спецификации, полученных в ПК ОПОР при различных вариантах ограничений по отдаче качества ОЧИМ. В недостаточной степени дано пояснение полученных результатов.

5. Не представлена информация о проведении сравнительных расчетов оптимальных рецептур в ПК ОПОР по отношению к одному из аналогов нероссийского происхождения.

Соответствие диссертации предъявляемым требованиям.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям и результатам исследований, диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, включая следующие направления исследований:

1. Научные основы, алгоритмическое обеспечение и методы анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами.
2. Научные основы и методы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами.
3. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления и их цифровых двойников.
4. Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизации модульных структур систем сбора, хранения, обработки и передачи данных в АСУТП и др.
5. Методы создания, эффективной организации и ведения специализированного и программного обеспечения АСУТП, АСУП и др., включая базы данных и методы их оптимизации, промышленный интернет вещей, облачные сервисы, удаленную диагностику и мониторинг технологического оборудования.

Автореферат отражает основное содержание диссертации, актуальность темы, новизну, практическую значимость и личный вклад автора в проведенное исследование.

Заключение

Диссертационная работа Горбунова Сергея Сергеевича соответствует паспорту специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, является законченной научно-квалификационной работой.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Горбунову С.С.; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

Считаю, что представленная диссертация полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденным приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 103 ОД от 19 сентября 2023 г., а ее автор, Горбунов Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

Диссертация и отзыв обсуждены и утверждены на заседании кафедры Информационных технологий и систем (протокол №7 от 22.01.2025 г.).

Официальный оппонент

Профессор кафедры Информационных технологий и систем
Института информационных наук и технологий безопасности
доктор технических наук

Колыбанов Кирилл Юрьевич

Научная специальность: 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации (химическая промышленность)

Адрес: 125047, ЦФО, г. Москва, Миусская пл., д. 6

Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования
Российский государственный гуманитарный университет (ФГАОУ ВО РГГУ)

Рабочий e-mail: suil.ru, рабочий телефон: (+7) 9 12-52

