

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Чернышевой Елены Александровны на диссертационную работу Якупова Марата Мусаевича на тему «Регулирование химического состава автомобильных бензинов с целью уменьшения выбросов диоксида углерода в атмосферу», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

1. Актуальность темы диссертационного исследования

В связи с современной тенденцией контроля антропогенных выбросов, в частности, выбросов транспортного сектора, на долю которого приходится примерно 20% от всех выбросов CO_2 , в последние десятилетия наблюдается изменение требований к качеству моторных топлив, в основном, их экологических характеристик, в результате чего произошла существенная корректировка состава автомобильных бензинов, в первую очередь, содержания в них серы, олефинов, ароматических углеводородов и бензола. Основной целью этих изменений было снижение вредных канцерогенных веществ в выхлопных газах бензиновых двигателей, и они не касались напрямую проблемы выбросов диоксида углерода в атмосферу.

Согласно действующей методике оценки удельных выбросов CO_2 от автомобильного транспорта, для каждого вида топлив приняты одинаковые значения коэффициентов, а отдельные их марки отличаются только поправкой на плотность, а как известно, состав выхлопных газов напрямую зависит от химического состава топлив. В связи с чем работа Якупова М.М., посвященная анализу и регулированию химического состава автомобильных бензинов с целью уменьшения выбросов диоксида углерода в атмосферу, является актуальной, кроме того, в отличие от таких известных направлений по снижению эмиссии CO_2 от автотранспорта, как переход на электромобили или на водородное топливо, данное направление не требует преобразований в конструкции двигателя внутреннего сгорания или внедрения новой инфраструктуры.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

Представленные в диссертационной работе научные положения и рекомендации основаны на анализе различных источников литературы и грамотной обработке результатов экспериментов, выполненных по стандартным методикам. Основные положения и рекомендации являются аргументированными и полностью раскрывают цель и задачи работы. Выводы в

диссертационной работе научно обоснованы и базируются на полученных результатах проведенных исследований.

3. Достоверность и новизна результатов исследования

Результаты, представленные в диссертационной работе, получены на сертифицированном оборудовании по известным стандартным методикам, с применением современной инструментальной базы. В работе широко использованы современные компьютерные методы для статистической обработки информации и оценки качества смешения бензина. Основные результаты диссертационной работы неоднократно докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях.

Впервые выполнен комплексный анализ зависимости удельных выбросов CO_2 от химического состава отдельных компонентов высокооктановых бензинов, и предложен новый подход по снижению выбросов углекислого газа в атмосферу от автомобильного транспорта.

В диссертационной работе Якупова М.М. показано, что четкая зависимость между удельными выбросами CO_2 и плотностью топлив отсутствует, особенно в случае содержания в них оксигенатов. Для более корректной оценки удельных выбросов автомобильных бензинов автором предложен новый подход в оценке выбросов CO_2 от автомобильного транспорта на бензиновых двигателях, основанный на идентификации их химического состава.

Впервые дана количественная оценка основных компонентов автомобильных бензинов по удельным выбросам CO_2 . Выявлено, что высокооктановые компоненты автомобильных бензинов по массовым коэффициентам удельных выбросов диоксида углерода могут отличаться более чем на 143 % (толуол и метанол - 3,348 и 1,375 т CO_2 /т соответственно), а по коэффициентам удельных выбросов на единицу получаемой энергии до 22,3% (толуол и бутаны - 82113 и 67151 кг/ТДж). Показано, что такие распространенные компоненты автомобильных бензинов, как изомеризат и риформат по массовому коэффициенту удельных выбросов CO_2 отличаются на 6 и более %, а по коэффициенту удельных выбросов на единицу получающейся энергии на 13 % и выше. С утяжелением сырья процессов изомеризации и риформинга разница в удельных выбросах CO_2 между компонентами падает.

Впервые разработана информационно-вычислительная аналитическая система (ИВАС) регулирования состава бензина с учетом минимальных выбросов CO_2 , а также база данных основных углеводородов и оксигенатов, состоящая из 150 соединений и объединяющая не менее 92 % масс. состава автомобильных бензинов.

Показано, что при введении в состав товарного бензина АИ-95 максимально допустимого содержания МТБЭ массовые удельные выбросы CO_2 снижаются на 3,4 %, а на единицу получающейся энергии всего на 0,7 %. При аналогичных значениях вводимого в состав бензинов изомеризата массовые удельные выбросы CO_2 снижаются на 1,3 %, а на единицу получающейся энергии на 1,0 %. В случае толуола, наоборот, аналогичные показатели повышаются на 0,8 и 1,7 % соответственно. Введение в бензиновый пул дополнительно 1 т бутанов позволяет снизить выбросы CO_2 от среднестатистического показателя бензина АИ-92 на 5 % масс. на тонну топлива и на 10 % в расчете на единицу получающейся энергии. Аналогичные показатели для изомеризата составляют 4 и 8 %. Введение в бензиновый пул дополнительно 1 т толуола приводит к повышению аналогичных показателей на 5 и 10 % соответственно.

4. Значимость для науки и практики результатов диссертации

Значимость для науки диссертационной работы заключается в научном обосновании необходимости оценки и регулирования выбросов CO_2 от автомобильного транспорта в зависимости от химического состава топлива.

Разработанная база данных углеводородов и оксигенатов и созданный на ее основе «ИВАС регулирования состава бензина с учетом минимальных выбросов CO_2 » могут быть использованы предприятиями переработки нефти для оценки и снижения «углеродного» следа вырабатываемой ими продукции.

Метод оценки и регулирования выбросов диоксида углерода в атмосферу автомобильным транспортом на бензиновых двигателях может быть использован для оценки и регулирования выбросов CO_2 транспортными средствами на других моторных топливах.

Предложенные технические и технологические рекомендации по снижению выбросов диоксида углерода в атмосферу от автомобильных бензинов могут быть реализованы на ряде НПЗ как одни из наиболее доступных вариантов низкоуглеродной модели развития выпускаемой продукции.

5. Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа изложена на 187 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 146 наименований.

Во *введении* показана актуальность темы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования, сформулированы цель и задачи.

В *первой главе* приведен обзор литературы по проблеме эмиссии парниковых газов в атмосферу различными отраслями экономики. Указана доля

транспортного сектора, в том числе автомобильного на бензиновых двигателях. Выполнен также обзор международной практики по снижению выбросов CO_2 . Дан анализ современных компьютерных методов оптимизации процесса компаундирования нефтепродуктов.

Во *второй* главе приведены характеристики объектов и методы их исследования.

Объектами исследований являются типовые пробы компонентов автомобильных бензинов, такие как: риформат, бензин каталитического крекинга, изомеризат, алкилат, прямогонный бензин и оксигенаты.

Использованы экспериментальные (газовая хроматография в сочетании с масс-спектрометрией и др.) и расчетные (определение теплотворной способности, удельных выбросов CO_2 и др.) методы оценки показателей качества и физико-химических свойств исследуемых проб. Для определения целевой функции при подборе оптимальной рецептуры смешения с учетом минимальных выбросов CO_2 использовался метод множителей Лагранжа. Для автоматизации расчетов исследованы возможности применения инструментов программирования. Описан разработанный алгоритм, позволяющий в оперативном режиме регулировать процесс компаундирования бензинов на основе ограничений параметров качества с учетом выбросов CO_2 в выхлопных газах автомобилей. ИВАС разработана с участием Якупова М.М. в интегрированной среде Python с применением библиотек SciPy, PuLP и PyQt5. Визуальный интерфейс системы выполнен при помощи инструмента Qt Designer. Данное программное обеспечение демонстрирует подробную визуализацию графических и численных данных, удобно в использовании.

В *третьей* главе представлены результаты исследования углеводородного состава компонентов автомобильных бензинов, расчета их теплотворной способности и удельных выбросов CO_2 , а также ранжирования компонентов бензинов по удельным выбросам.

Графически представлено отсутствие взаимосвязи между коэффициентами удельных выбросов CO_2 и плотностью компонентов бензинов и индивидуальных углеводородов. Показано, что максимальное отличие по массовому коэффициенту удельных выбросов CO_2 среди индивидуальных соединений, входящих в состав бензинов, может составить 146 % (3,385 т CO_2 /т у бензола и 1,375 т CO_2 /т у метанола), а по коэффициенту удельных выбросов на единицу получающейся энергии - 25 % (84085 кг/ТДж у бензола и 67151 кг/ТДж у бутанов).

Максимальная разница по массовым коэффициентам удельных выбросов диоксида углерода между компонентами автомобильных бензинов составляет

143 % (толуол и метанол - 3,348 и 1,375 т CO_2 /т соответственно), а по коэффициентам удельных выбросов на единицу получаемой энергии 22,3 % (толуол и бутаны – 82113 и 67151 кг/ТДж).

В четвертой главе описан алгоритм разработанной «ИВАС регулирования состава бензина с учётом минимальных выбросов CO_2 », который позволяет оперативно и на должном уровне выполнить процесс компаундирования бензинов с учетом требований действующих стандартов качества бензинов и минимальными выбросами CO_2 в выхлопных газах автомобилей. На основании полученных данных пользователь может оценить возможность производства и минимизировать выбросы CO_2 своей продукции путем варьирования доли тех или иных компонентов. Для расчета выбросов CO_2 сформирована база данных, состоящая из 150 основных углеводородов и оксигентатов, охватывающая не менее 92 % масс. состава товарных автомобильных бензинов.

С учетом полученных данных зависимости удельных выбросов углекислого газа от химического состава бензинов автором предложены основные направления технического и технологического решения задачи снижения выбросов диоксида углерода в атмосферу автотранспортом с бензиновыми двигателями, которые условно разделены на следующие направления:

- сохранение нативного водорода в бензиновых фракциях (использование легких фракций, газового бензина, изомеризата);
- перераспределение нативного водорода в пользу бензинов (увеличение газов вследствие углубления переработки нефти, перераспределения водорода в продукты с меньшей молекулярной массой, получение сырья для нефтехимии, бутаны, алкилаты);
- введение водорода извне (гидрирование олефинов, гидроизомеризация и др.).

Предложенные рекомендации по снижению выбросов диоксида углерода в атмосферу в том числе за счет вовлечения значительного количества изомеризата, включая изо-С₇, бутанов и легких бензиновых фракций, могут быть использованы профильными предприятиями для выработки премиальных партий товарных бензинов со сниженными выбросами CO_2 в атмосферу.

Сформулированные в работе выводы подтверждают решение поставленных задач и соответствуют цели работы.

В заключении обобщены результаты представленной работы.

6. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научных изданиях

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 14 научных трудах, из которых 1 статья в научном издании, индексируемом базой Web of Science, 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 7 работ в материалах научно-практических конференций, 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

7. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и в полной мере отражает основные результаты проведенного исследования.

8. Замечания по работе

1. В литературном обзоре мало информации из зарубежных источников.

2. При рассмотрении вопросов, связанных с дополнительным вовлечением бутана в состав бензинов особое внимание уделено ДНП, как фактору, препятствующему его вовлечению, и не приведены данные по изменению плотности и фракционного состава получаемого бензина, что также является существенным ограничением в использовании легких фракций в товарных бензинах.

3. Предложения использования варианта введения водорода в бензиновые компоненты извне для уменьшения эмиссии диоксида углерода при применении бензина не учитывают эмиссию диоксида углерода, возникающую от выбросов - самих технологических установок, в том числе установок гидрогенизационных процессов, не приведен сравнительный анализ, что не позволяет сделать вывод об эффективности предложенного варианта.

4. В диссертации при описании рисунков 3.1 и 3.2 отмечено, что не выявлено прямых зависимостей между коэффициентами удельных выбросов CO_2 , и плотностью бензиновых компонентов и индивидуальных углеводородов, используемых в автомобильных бензинах. Вместе с тем, анализ эмиссии отдельных классов углеводородов показал выраженную зависимость между коэффициентами удельных выбросов CO_2 и плотностью углеводородов.

5. В качестве недостатка следует отметить избыточное количество таблиц, часть из которых можно было вывести в приложения, а также присутствие некоторых стилистических ошибок и опечаток.

Отмеченные замечания носят дискуссионный характер и не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

9. Заключение

Представленная диссертационная работа Якупова Марата Мусаевича является законченным научно-квалификационным исследованием, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне, в котором изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по снижению выбросов углекислого газа в атмосферу, имеющие существенное значение для развития страны.

Содержание работы соответствует паспорту специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Работа Якупова М.М. полностью соответствует критериям п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (в действующей редакции), а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. — Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Официальный оппонент

Профессор кафедры технологии переработки нефти Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», доктор технических наук, доцент


Чернышева Елена Александровна
«20» ноября 2025 год

«Подпись Е.А. Чернышевой заверяю»

Начальник отдела кадров
ФГАОУ ВО "РГУ Нефти и Газа (НИУ)
имени И.М. Губкина"




Ширяев Ю.Е.
«20» ноября 2025 год

Чернышева Елена Александровна - доктор технических наук по специальности 2.6.12. — «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

Ученое звание – доцент

Должность - профессор

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1

Тел.: +7 (499) 507-88-88, E-mail: com@gubkin.ru

Электронная почта и телефон официального оппонента: Тел.: +7 (499) 507-86-01,

+7 (916) 548-31-64 E-mail: Chernysheva.e@gubkin.ru, elenchernysheva@mail.ru

