

УДК 665.64

**Процессы каталитического риформинга и компаундирования
как способы повышения октанового числа в бензинах,
применяемые в промышленных масштабах**

О. П. Дерюгина*, С. В. Мечик, Е. А. Трапезников

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

**e-mail: derjuginaop@tyuiu.ru*

Аннотация. В работе рассматривается актуальная проблема промышленных способов повышения октанового числа, улучшающих качество выпускаемого бензина: процессов каталитического риформинга и компаундирования бензинов. Риформинг от английского «to reform» — переделывать, улучшать.

Риформат в зависимости от технологии получения и состава сырья может содержать до 70 % масс. ароматических углеводородов. Внимание к названной проблеме обусловлено ужесточением в настоящее время экологических требований к качеству автомобильного топлива, которое должно соответствовать современным стандартам.

Эффективное решение этой проблемы — это моделирование процессов нефтепереработки с помощью программирования. В данной работе используются методы корреляционного и регрессионного анализа. С помощью данных методов можно установить взаимосвязь между двумя или более переменными, таким образом найти наиболее эффективное решение как технологических, так и экономических вопросов.

Ключевые слова: октановое число; каталитический риформинг; риформат; компаундирование бензина; давление насыщенного пара; спирты и кислородосодержащие добавки

**Catalytic reforming and compounding processes as methods for increasing
the octane number in gasoline, used on an industrial scale**

Olga P. Deryugina*, Sofya V. Mechik, Evgeny A. Trapeznikov

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**e-mail: derjuginaop@tyuiu.ru*

Abstract. The article discusses the urgent problem of industrial methods for increasing the octane number that improve the quality of gasoline produced. These

methods include the processes of catalytic reforming and compounding of gasoline. Reforming from "to reform" (English) — to remodel, to improve.

Reformate, depending on the production technology and composition of the raw material, may contain up to 70 % of the mass. aromatic hydrocarbons. Attention to this problem is due to the tightening of environmental requirements for the quality of motor fuel that must comply with modern standards.

An effective solution to this problem is to model refining processes with programming. In this article, we apply methods of correlation and regression analysis. Using these methods, you can establish the relationship between two or more variables, thus finding the most effective solution to both technological and economic issues.

Key words: octane number; catalytic reforming; reformate; gasoline compounding; saturated steam pressure; alcohols and oxygen-containing additives

Введение

Бензин занимает сегодня одно из лидирующих мест среди энергоисточников первичного производства. Потребность человечества в нем, в его высоком качестве больше, чем в любой другой углеводородной фракции. Поэтому к эксплуатационным свойствам автомобильных бензинов предъявляют весьма высокие требования, и проблема повышения качества российского бензина является одной из актуальных проблем химической промышленности. Автомобильное топливо в России отстает по качеству от топлив, производимых в других странах. Это подтверждается оценками Международного центра качества топлива. Данный центр проводил исследования в 100 странах. После этого был составлен топ-лист стран, которые производят топливо высокого качества. Россия среди них заняла только 84-е место. В РФ большая часть нефтеперерабатывающих производств не обеспечивает достаточной глубины переработки. На некоторых нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) она не превышает и 50 %. При этом, например, в США бензин перерабатывают на 92 %. Этот факт сильно влияет на качество выпускаемой продукции. Низкооктановый бензин нужно дорабатывать, улучшать. В данной статье будут рассмотрены такие промышленные, улучшающие качество выпускаемого бензина процессы, как каталитический риформинг и компаундирование бензина.

В последнее время о данных процессах говорят все больше и больше. Главной причиной такой заинтересованности являются энергетический кризис и повышение цен на бензин. При этом многие понимают, что выгода от добычи и продажи сырой нефти мала. Представляется более выгодным переработать нефть на различные компоненты и продать их. Основные исследования в данной отрасли проводятся зарубежными учеными, в том числе из США [1–5]. В России же не так давно стали уделять внимание исследованию способов и средств определения октанового числа бензинов. Эта проблема нашла отражение в исследованиях Б. Х. Борзаева, В. М. Емельянова, В. М. Капустина, А. А. Кузичкина, В. С. Чуклова, С. А. Фалеева и др. [6–8]. Вопросам автоматизации в нефтеперерабатывающей отрасли и разработки систем улучшения детонационной стойкости и фазовой стабильности автомобильного топлива посвящено много работ, среди которых можно отметить исследования Г. И. Глазова, С. А. Карпова, Ж. С. Каюмова, Н. К. Кондрашовой, Т. Г. Умергалина, И. В. Войтенко, Ю. М. Жорова, С. А. Ахметова, Г. Б. Рабинович, Лю Синьжоуи др. [9–19].

Блок каталитического риформинга

Эффективным способом повышения детонационной стойкости автомобильного топлива является каталитический риформинг. Суть этого метода заключается в переработке бензиновых фракций под давлением водорода. Цель процесса — получение высокооктановых компонентов для автомобильных бензинов, ароматических углеводородов. Этот процесс является одним из главных этапов при получении высокооктанового элемента моторных топлив. Также в ходе этого процесса мы получаем водород и ароматические углеводороды (ксилол, толуол, бензол), которые позже можно использовать в нефтехимии. На сегодняшний день установки каталитического риформинга имеют статус постоянного элемента любого НПЗ. Главная цель этого процесса — превращение длинной углеводородной цепочки в ароматический углеводород. Для примера можем привести реакцию дегидроциклизации, например, молекула нормального парафина *n*-гептана превращается в молекулу нафтенного углерода, в метилциклогексан по реакции: $C_7H_{16} \rightarrow C_7H_{14} + H_2$. Далее нафтены по реакции дегидрирования превращаются в молекулы ароматических соединений.

Под действием двух факторов — температуры и катализатора — происходит отщепление молекул водорода. При этом происходит образование водорода, также образуются двойные связи, и происходит формирование цикла.

В качестве сырья для процесса каталитического риформинга применяют бензиновые фракции с различными температурами выкипания. Данные фракции содержат в себе большое количество нафтенных и парафиновых. В ходе каталитического риформинга образуется большое количество ароматических углеводородов и некоторых изомеров, которые, в свою очередь, имеют высокие детонационные показатели по сравнению с исходным сырьем. Немаловажное значение имеет также получение в данном процессе дешевого водородсодержащего газа, который затем используется в других вторичных каталитических процессах, например в гидроочистке и гидрокрекинге.

В качестве оборудования для каталитического риформинга используется большое количество блоков и устройств. Вся установка делится на несколько блоков: блок подготовки сырья, блок каталитического риформинга, узел смешения бензинов. Подробно рассмотрим блок каталитического риформинга. Он состоит из трех блоков: реакторный блок, блок стабилизации, блок водородных емкостей. В реакторном блоке протекают такие технологические процессы, как удаление из фракции сернистых соединений, поточный аналитический контроль водородсодержащего газа, каталитическое риформирование фракции. Сам по себе реакторный блок состоит из следующего оборудования: насосов, циркуляционных компрессоров, теплообменников, непосредственно самих реакторов риформинга, реактора сероочистки, сепараторов, воздушных конденсаторов и т. д. Блок стабилизации отвечает за стабилизацию продукта риформинга. В его состав входят теплообменники различных типов, аппараты воздушного охлаждения, насосы, а также ректификационные колонны. И, наконец, блок водородных емкостей. Он служит для хранения водорода, предназначенного для продувки реакторного блока в целях исключения закоксованности катализатора при пуске установки и аварийных ситуациях. Состоит блок из дожимного компрессора и нескольких емкостей.

Каталитический риформинг проходит на катализаторе, который состоит из оксида алюминия (Al_2O_3), силикагеля (SiO_2) с распределенной на поверхности платиной. Стабильность катализатора напрямую зависит от содержания платины в катализаторе. При увеличении количества платины будет возрастать

активность катализатора в реакциях гидрирования и дегидрирования углеводородов. Также увеличится скорость ароматизации парафинов. Вместе с тем улучшается стабильность катализатора в реакционном периоде. Есть множество вариантов оформления реакторного блока процесса каталитического риформинга. Одним из таких вариантов является процесс взаимодействия углеводородного сырья с неподвижным слоем катализатора. В этом случае углеводороды проходят сквозь неподвижный слой катализатора, который находится в реакторе, на керамическом покрытии. В данном процессе могут использоваться реакторы как с аксиальным вводом сырья, так и с радиальным вводом сырья.

Для того чтобы каждая реакция протекала максимально эффективно, а целевыми реакциями в процессе каталитического риформинга являются реакции изомеризации, циклизации и дегидрирования, требуются разные условия работы реакторов данной установки. Нужно изменять температуру, давление, время контакта сырья в реакторе. Именно для этой цели на установке используются три реактора, при этом каждый выполняет свою функцию (давление в реакторах составляет 14–35 атм, температура 480–520 °С).

Далее поток водорода разделяется на две части. Первый идет на установку газофракционирования, а вторая часть возвращается обратно в процесс. Из нижней части сепаратора жидкий продукт направляется в ректификационную колонну стабилизации. В этой колонне происходит процесс разделения риформата (продукта данного процесса) и углеводородных газов. Риформат уходит из нижней части колонны, а отделенный газ выходит через верхнюю часть и направляется на газофракционирующую установку насыщенного углеводородного газа.

Важно рассмотреть и процесс регенерации катализатора. После долгой работы установки каталитического риформинга активность катализатора значительно уменьшается. Это отрицательно сказывается на октановом числе риформата и на его выходе. Чтобы восстановить катализатор, необходимо вывести реактор в режим регенерации катализатора. В прошлом приходилось останавливать все три реактора риформинга установки и проводить режим регенерации катализатора. Но сегодня используется другая методика, которая реализуется за счет добавления еще одного реактора в технологическую схему. Суть ее заключается в том, что в любой момент времени три реактора находятся в процессе риформинга, четвертый же реактор находится в режиме регенерации. Вместо вышедшего реактора в работу вступает четвертый реактор, что позволяет не останавливать процесс и вести его непрерывно со свежим катализатором. Но все же, несмотря на постоянные процессы регенерации, активность катализатора начинает уменьшаться, поэтому каждые 2–3 года, в зависимости от марки катализатора, технологии процесса, установку останавливают и проводят замену отработанного катализатора. Горячие газы и инертный газ должны быть удалены из реакторов до загрузки катализатора. Перед загрузкой катализатора в реактор следует изучить состояние внутренних устройств реакторов и, если того требует состояние, привести их в соответствие с техническим проектом. Внутренние устройства аппаратов должны быть зачищены, посторонние предметы и влага — удалены. Также проверяют катализаторы перед загрузкой. В катализаторе не должно быть влаги: если катализатор подмочен, его нельзя использовать. Катализаторы не должны содержать пыли, в случае ее наличия пыль нужно удалить просеиванием. Загрузка катализатора производится при наличии соответствующего документа, подтверждающего соответствие катализатора техническим условиям. Для безопасного проведения

работ персонал обеспечивается такими средствами индивидуальной защиты, как респираторы, спецодежда и т. д. Все операции по загрузке/выгрузке катализатора необходимо производить в соответствии с рекомендациями разрабочника катализатора. Для исключения уноса катализатора и уменьшения давления на нижний слой катализатора и сохранения его прочности сначала загружаются и укладываются фарфоровые шары (мулит), затем засыпается катализатор сплошным потоком. Для удаления из реактора катализаторной пыли, образовавшейся при загрузке, необходимо провести продувку воздухом.

Технологические параметры, с помощью которых можно управлять установкой процесса риформинга, — это давление, температура и время пребывания сырья в реакторе. Основной задачей управления данной установкой является сохранение баланса между качеством продукта риформинга и его количеством.

Продуктом установки каталитического риформинга является базовый компонент производства товарных бензинов — высокооктановый риформат, который затем направляют на компаундирование с другими потоками.

Блок компаундирования

Компаундирование — это смешение высокооктановых компонентов. Данный процесс призван превратить сырье нетоварного вида в товарный бензин. Проходит это превращение с помощью добавления определенных компонентов и добавок в заданных объемах в нетоварное сырье. Перед тем как говорить о компаундировании, обозначим две наиболее важные для этого процесса величины: давление насыщенного пара и октановое число.

Давление насыщенного пара (ДНП) — это мера поверхностного давления, которое необходимо, чтобы жидкость не испарялась. Данная величина используется для того, чтобы рассчитать количество летучих углеводородов, которые находятся в бензине. Если их будет недостаточно, то бензин не сможет поступать в виде паров в цилиндр и воспламеняться, а если бензин будет испаряться в больших количествах, то по пути в цилиндр он не сможет смешиваться с воздухом. Кроме того, данный показатель должен меняться в зависимости от времени года. Для холодного времени года ДНП в бензине должен быть 0,91 атм. В теплое время года ДНП соответствует 0,60 атм.

Для увеличения давления насыщенных паров используют бутан. Он получается как дополнительный продукт различных процессов нефтепереработки. Также бутан выделяют из природного газа. Чтобы рассчитать, какое количество бутана нужно добавить в сырье для повышения давления паров, прибегают к простым алгебраическим расчетам.

Второй важной характеристикой процесса компаундирования является октановое число, один из самых известных показателей при производстве бензина. Это число, характеризующее способность топлива противостоять самовоспламенению при сжатии поршнем в цилиндре двигателя. Октановые числа разделяются на несколько разных видов. Исследовательское октановое число (ИОЧ) — число, полученное при испытании машины в легких условиях. Моторное октановое число (МОЧ) — число, установленное испытанием в жестких условиях, при высокой скорости и большой нагрузке. При сложении этих двух величин мы получаем развернутую информацию о работе в различных условиях.

Одним из способов достижения нужного октанового числа являлось добавление в бензин соединений свинца, таких как тетраэтилсвинец (ТЭС) и тетраметилсвинец (ТМС). Этилированный автомобильный бензин запрещен в Рос-

сии с 2003 года. Данные соединения увеличивают октановое число бензина, при этом никак не затрагивая другие его свойства, в том числе и давление насыщенного пара. Главная цель добавления в бензин свинца — подавить воспламенение. Общеизвестно: чем ниже октановое число бензина, тем выше вероятность самовоспламенения бензина. При добавлении свинца эта детонация подавляется. Другая проблема этого соединения состоит в том, что чем большее количество присадки добавляют в бензин, тем она менее эффективна. Другими словами, октановое число зависит от концентрации присадки нелинейно.

Антидетонирующая присадка реагирует на различные компоненты бензина по-разному. Следовательно, какие-то компоненты более чувствительны к повышению октанового числа, какие-то менее.

В настоящее время на НПЗ используются такие добавки, как метанол, этанол, ТБС и МТБЭ. Данные добавки были разработаны в качестве замены свинцовым компонентам, поскольку те наносят серьезный вред здоровью человека, а также сильно загрязняют воздух.

Метанол CH_3OH — это одна из наиболее известных присадок. Другое ее название — древесный спирт. В прошлом его добывали из свежеспиленных деревьев. Сегодня разработан более эффективный процесс. В качестве исходного вещества используют метан [19]. Это довольно затратный процесс, для него требуются дорогостоящие катализаторы, реакторы и трубопроводы. Для его осуществления необходимо наличие высоких температур (260–430 °С) и давления (280–350 атм).

Часто используемыми высокооктановыми добавками являются также этанол и трет-бутиловый спирт (ТБС). Сегодня этанол производят с помощью прямой гидратации этилена, а ТБС $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ можно получить с помощью реакции нормального бутилена или изобутилена с водой. ТБС растворяет метанол. Данная добавка предотвратит расслоение бензина с присадкой метанола, если в нее попадет вода. Добавление ТБС к метанолу повысит допустимое содержание воды в бензине.

Метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ) $(\text{CH}_3)_3\text{COCH}_3$ — это кислородосодержащая добавка. Она отличается от других присадок тем, что не имеет группы OH , а вместо этого содержит кислород. Производится МТБЭ с помощью реакции алкилирования изобутилена с метанолом над катализатором. Сырьем для производства являются изобутилены. В отличие от других присадок МТБЭ почти не растворим в воде. Благодаря этому свойству бензин с данной присадкой не так ограничен в применении, как бензин со спиртовыми присадками.

Интерес к спиртам и кислородосодержащим добавкам сегодня обусловлен их себестоимостью и полезными свойствами для бензина, повышающими октановое число товарного сырья. Новляние этих присадок на детонационную стойкость и фазовую стабильность автомобильного топлива не такое прямое, как влияние риформата. Если добавлять присадку в небольшом количестве (до 2–3 % в смеси), то ДНП резко поднимется до высоких показателей. При дальнейшем добавлении каких-либо заметных изменений не будет.

Оптимизация состава бензина — очень трудоемкий процесс, особенно в настоящее время, когда в бензин запрещают добавлять ТЭС. Считаем необходимым назвать основные трудности, с которыми сталкиваются нефтепереработчики при производстве бензина.

1) При наличии бензина трех марок и необходимых компонентов нужно смешать их так, чтобы не было остатка.

2) Существует проблема изменения режимов работы некоторых установок: при изменении режима работы одной установки необходимо устанавливать новый режим для других установок.

3) Разветвление потоков: сырье можно направлять на разные установки, следовательно, можно получать разные продукты в разных объемах, при этом необходимо находить оптимальный вариант.

Моделирование процесса каталитического риформинга

Самое эффективное решение этих проблем — это моделирование процессов нефтепереработки с помощью программирования. Благодаря методам корреляционного и регрессионного анализа можно установить взаимосвязь между двумя или более переменными, таким образом найти наиболее эффективное решение как технологических, так и экономических вопросов.

Проанализируем полученные эмпирические данные химического выхода и октанового числа, которые приведены в таблице, используя методы корреляционного и регрессионного анализа.

Зависимость химического выхода и октанового числа

Химический выход	88	86	84	82	80	78	76	74	72	70
Октановое число	76	75	85	79	90	93	94	95	97	90

Для первичного анализа построим корреляционное поле (рис. 1), при этом в качестве факторного признака (X) выберем значения химического выхода, а в качестве результативного признака (Y) — значения октанового числа.

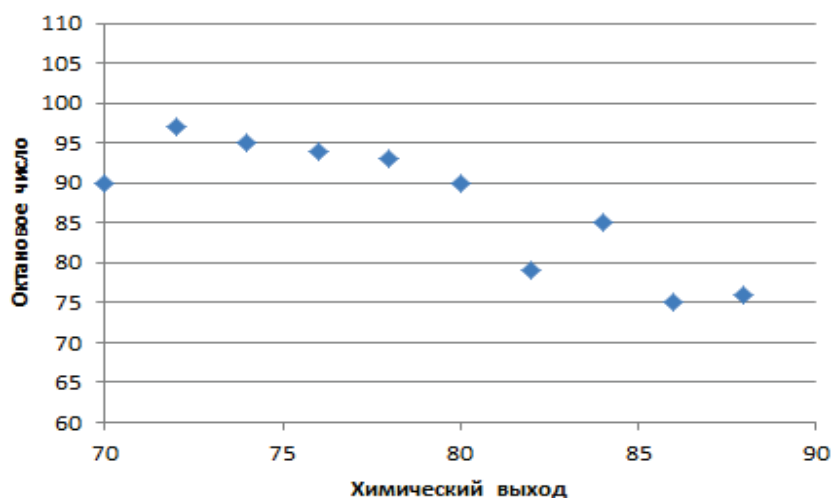


Рис. 1. Корреляционное поле исходных эмпирических данных

Для количественной характеристики определим коэффициент линейной корреляции, который равен $r = -0,77$. Следовательно, между исследуемыми признаками существует обратная зависимость. Для описания данной зависимости используем методы регрессионного анализа. Вычислим коэффициенты

линейного уравнения регрессии для данной выборки и изобразим графически (рис. 2): $y = 169,56 - 1,04 \cdot x$ — уравнение регрессии для данной выборки.

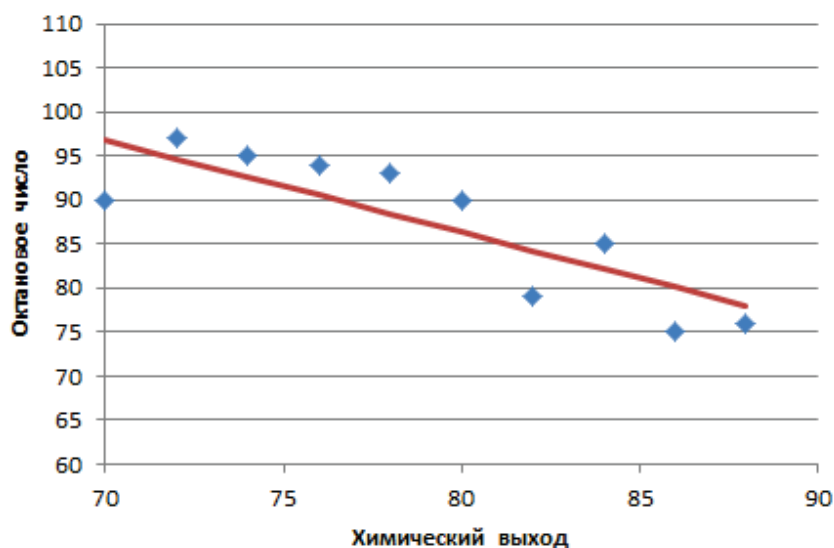


Рис. 2. Корреляционное поле и линия регрессии

Относительная погрешность моделирования данного массива точек полученной линией равна $\delta_{\text{ср}} = 4,46\%$.

В качестве нелинейной зависимости, на основе анализа расположения точек в плоскости, выберем параболическую регрессию, вычислим коэффициенты для данной выборки и изобразим графически (рис. 3): $y = -357,07 + 12,47x - 0,086x^2$ — уравнение параболической регрессии.

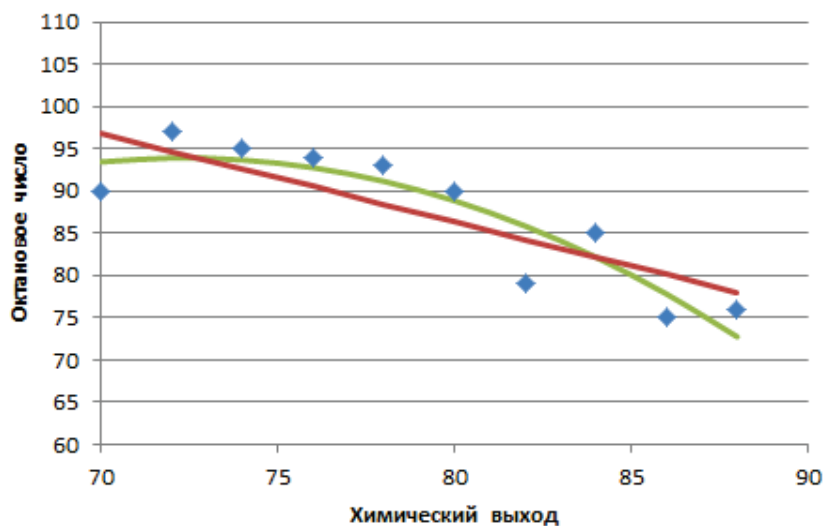


Рис. 3. Корреляционное поле и линии регрессии (линейная и параболическая)

Относительная погрешность моделирования данного массива точек полученной линией равна $\delta_{\text{ср}} = 3,3 \%$. Таким образом, параболическая зависимость более точно описывает данный массив точек.

Выводы

В ходе работы были проанализированы полученные эмпирические данные химического выхода и октанового числа с помощью методов корреляционного и регрессионного анализа. Был сделан вывод о том, что соотношение химического выхода и октанового числа продукта должно быть оптимальным.

Подводя итоги, можно сказать, что каталитический риформинг и компаундирование — важнейшие процессы нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Их широко применяют для достижения различных целей. Производительность установки риформинга в значительной степени зависит от эффективности управления данным технологическим процессом.

Компаундирование как технология управления качеством является завершающим и наиболее ответственным процессом в формировании качественных и количественных показателей товарной продукции. В последнее время ужесточаются требования к процессу компаундирования. Растет выпуск топлива с новыми спиртовыми и кислородосодержащими присадками, которые содержат меньше летучих соединений, больше кислорода. Повышение спроса на бензин заставляет производителей разрабатывать новые продукты переработки нефти, газового конденсата, широкой фракции легких углеводородов.

Библиографический список

1. Glenn N. Evaluation of an Octane Analyzer // American Laboratory News. – 1996.
2. Lanza E. Determination of Moisture, Protein, Fat and Calories in Raw Pork and Beef by Near Infrared Spectroscopy // Journal of Food Science. – 1983. – Vol. 48, Issue 2. – P. 471–474. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1983.tb10769.x
3. Norris K. H. Instrumental Techniques for Measuring Quality of Agricultural Crops // Post-Harvest Physiology and Crop Preservation. – 1983. – P. 471–484. DOI: 10.1007/978-1-4757-0094-7_22
4. Norris K. H. Reflectance Spectroscopy // Modern Methods of Food Analysis. – 1985. – P. 167–186. DOI: 10.1007/978-94-011-7379-7_8
5. Conway J. M. Noninvasive body composition in humans by near infrared interactance // In vivo body composition studies. – 1987. – P. 163–170.
6. Емельянов В. М. Пути повышения качества вырабатываемых автомобильных бензинов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2004. – № 10. – С. 6–8.
7. Капустин В. М. Проблемы повышения качества российских бензинов // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – № 2 (528). – С. 13–15.
8. Кузичкин А. А. Адаптивная система управления технологическим процессом риформинга с идентифицируемой моделью: дис. ... канд. техн. наук. – Самара, 2018. – 191 с.
9. Глазов Г. И., Сидорин В. П. Каталитический риформинг и экстракция ароматических углеводородов. – М.: Химия, 1981. – 188 с.
10. Промышленные установки каталитического риформинга: справочник / В. А. Гуляев [и др.]; под ред. Г. А. Ластовкина. – Л.: Химия, 1984. – 232 с.
11. Карпов С. А., Царев А. В., Коханов С. И. Улучшение эксплуатационных свойств моторных топлив волновыми воздействиями // Нефтегазовые и химические технологии: тез. докл. III Всеросс. науч.-практ. конф. (Самара, 25–26 октября 2005 г.). – Самара. – С. 134.
12. Каталитический риформинг углеводородов: справочник / Под ред. Р. И. Кузьминой. – Саратов: Изд-во СУИ МВД России, 2010. – 252 с.
13. Каюмов Ж. С., Нуруллаев Ш. П. Разработка новых кислородсодержащих высокооктановых топливных композиций [Электронный ресурс] // Universum: технические науки. –

2017. – № 7 (40). – С. 2–6. – Режим доступа: <http://staff.tiiame.uz/storage/users/120/articles/Jdgj42GoZFXt36spFh4oBdKhyRw1XA7sO26JwreF.pdf>.

14. Кондрашова Н. К., Кондрашов Д. О., Абдульминев А. Д. Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина: учеб. пособие. – Уфа: Монография, 2008. – 160 с.

15. Коханов С. И. Разработка и исследование антидетонационных добавок для автомобильных бензинов: дис. ... канд. техн. наук. – М.: 2006. – 189 с.

16. Ластовкин Г. А., Радченко Е. Д., Рудин М. Г. Справочник нефтепереработчика. – Л.: Химия, 1986. – 649 с.

17. Леффлер У. Л. Переработка нефти / Пер с англ. З. П. Свитанько. – 2-е изд., пересмотр. – М.: Олимп-Бизнес, 2007. – 224 с.

18. Лю Синьчжоу. Технология CDHydro для улучшения экологических характеристик автомобильных бензинов: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Уфа, 2004. – 24 с.

19. Лю Синьчжоу, Чжао Линь, Рахимов М. Н. Метанол-перспективный компонент бензина // Промышленная экология. Проблемы и перспективы: материалы науч.-практ. конф. – Уфа, 2001. – С. 118–119.

References

1. Glenn, N. (1996). Evaluation of an Octane Analyzer. American Laboratory News. (In English).

2. Lanza, E. (1983). Determination of Moisture, Protein, Fat and Calories in Raw Pork and Beef by Near Infrared Spectroscopy. Journal of Food Science, 48(2), pp. 471-474. (In English). DOI: 10.1111/j.1365-2621.1983.tb10769.x

3. Norris, K. H. (1983). Instrumental Techniques for Measuring Quality of Agricultural Crops. Post-Harvest Physiology and Crop Preservation, pp. 471-484. (In English). DOI: 10.1007/978-1-4757-0094-7_22

4. Norris, K. H. (1985). Reflectance Spectroscopy. Modern Methods of Food Analysis, pp. 167-186. (In English). DOI: 10.1007/978-94-011-7379-7_8

5. Conway, J. M. (1987). Noninvasive body composition in humans by near infrared inter-radiance. In vivo body composition studies, pp. 163-170. (In English).

6. Emel'yanov, V. M. (2004). Puti povysheniya kachestva vyrabatyvaemykh avtomobil'nykh benzinov. Neftepererabotka i neftekhimiya, (10), pp. 6-8. (In Russian).

7. Kapustin, V. M. (2005). Problems in increasing the quality of russian gasolines. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 41(2), pp. 93-97. (In English).

8. Kuzichkin, A. A. (2018). Adaptivnaya sistema upravleniya tekhnologicheskimi protsessami riforminga s identifikatsionnoy model'yu. Diss. kand. tekhn. nauk. Samara, 191 p. (In Russian).

9. Glazov, G. I., & Sidorin, V. P. (1981). Kataliticheskiy riforming i ekstraktsiya aromatischeskikh uglevodorodov. Moscow, Khimiya Publ., 188 p. (In Russian).

10. Gulyaev, V. A., Lastovkin, G. A., Ratner, E. M., & Tarabrina, E. I. (1984). Promyshlennyye ustanovki kataliticheskogo riforminga. Leningrad, Khimiya Publ., 232 p. (In Russian).

11. Karpov, S. A., Tsarev, A. V., & Kokhanov, S. I. (2005). Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv motornykh topliv volnovymi vozdeystviyami. Neftegazovyye i khimicheskie tekhnologii: tezisy dokladov III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Samara, October 25-26, 2005). Samara, p. 134. (In Russian).

12. Kuz'mina, R. I. (Ed.). (2010). Kataliticheskiy riforming uglevodorodov. Saratov, SUI MVD Rossii Publ., 252 p. (In Russian).

13. Kayumov, J., & Nurullaev, Sh. (2017). The development of new oxygen-containing high-octane fuel compositions. Universum: tekhnicheskie nauki, (7(40)), pp. 2-6. (In Russian). Available at: <http://staff.tiiame.uz/storage/users/120/articles/Jdgj42GoZFXt36spFh4oBdKhyRw1XA7sO26JwreF.pdf>

14. Kondrashova, N. K., Kondrashov, D. O., & Abdul'minev, A. D. (2008). Tekhnologicheskie raschety i teoriya kataliticheskogo riforminga benzina. Ufa, Monografiya Publ., 160 p. (In Russian).

15. Kokhanov, S. I. (2006). Razrabotka i issledovanie antidetonatsionnykh dobavok dlya avtomobil'nykh benzinov. Diss. kand. tekhn. nauk. Moscow, 189 p. (In Russian).

16. Lastovkin, G. A., Radchenko, E. D., & Rudin, M. G. (1986). Spravochnik neftepererabotchika. Leningrad, Khimiya Publ., 649 p. (In Russian).

17. Leffler, W. L. (1985). Petroleum Refining for the non-technical person. 2nd edition, revised. Tulsa, Oklahoma, Pennwell Corp., 172 p. (In English).

18. Lyu, Sin'chzhou. (2004). Tekhnologiya CDHydro dlya uluchsheniya ekologicheskikh kharakteristik avtomobil'nykh benzinov. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. Ufa, 24 p. (In Russian).

19. Lyu, Sin'chzhou, Chzhao, Lin', & Rakhimov, M. N. (2001). Metanol-perspektivnyy komponent benzina. Promyshlennaya ekologiya. Problemy i perspektivy: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ufa, pp. 118-119. (In Russian).

Сведения об авторах

Дерюгина Ольга Павловна, к. т. н., доцент кафедры переработки нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: derjuginaop@tyuiu.ru

Мечик Софья Валерьевна, старший преподаватель кафедры бизнес-информатики и математики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Трапезников Евгений Александрович, студент, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Olga P. Deryugina, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Oil and Gas Processing, Industrial University of Tyumen, e-mail: derjuginaop@tyuiu.ru

Sofya V. Mechik, Senior lecturer at the Department of Business Informatics and Mathematics, Industrial University of Tyumen

Evgeny A. Trapeznikov, Student, Industrial University of Tyumen