

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХС РАН)», кандидат химических наук,



К.И. Дементьев

«11» ноября 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук на диссертационную работу Гималетдинова Рустема Рафаиловича «Оптимизация процесса висбрекинга гудрона парафинистой нефти с целью увеличения выхода и повышения фазовой стабильности остатков», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ

Актуальность темы исследования.

Основные первоочередные задачи российской нефтепереработки настоящее время сосредоточены на модернизации отрасли, увеличении глубины переработки и повышении качества выпускаемой продукции. Отечественную нефтепереработку характеризует низкая глубина переработки нефти. По ежегодно публикуемым данным ФГБУ «РЭА» Минэнерго России по итогам 2023 года глубина переработки нефти в среднем по всем российским перерабатывающим предприятиям составила 83% и, согласно прогнозу, в 2024 году показатели не превысит 85%. Аналогичные показатели за 2023 год в странах Западной Европы составляют 92%, а в США - 96%.

Процесс висбрекинга, являющийся простым в технологическом оформлении и отличающийся низкими капитальными и эксплуатационными затратами, позволяет косвенно повысить глубину переработки нефти, высвобождая сырье для каталитического крекинга и эффективно перерабатывать тяжелые нефтяные остатки,

снижая потребность в дистиллятных разбавителях гудрона для получения котельного топлива с нормативными показателями качества, тем самым увеличивает ресурсы дистиллятов для производства моторных топлив.

В технологической схеме нефтеперерабатывающих заводов процесс висбрекинга используется для утилизации гудрона с получением стандартного топочного мазута или судового топлива с нормативными показателями качества. Длительное безопасное хранения, транспортировка, фильтрование и перекачка топлив без образования отложений зависят от стабильности топлив, полученных на основе остатков висбрекинга. Как известно термические процессы нефтепереработки высокопарафинистых и асфальто-смолистых нефтей, включая висбрекинг, снижают стабильность остаточных фракций. В связи с этим актуальными и востребованными задачами, решенными в данном исследовании, являются результаты изучения причин снижения стабильности остатка висбрекинга и поиск пути повышения стабильности. Принимая во внимание вышесказанное, оптимизация процесса висбрекинга с целью повышения выхода и улучшения стабильности остатка висбрекинга, является актуальной задачей.

Научная новизна работы заключается в новой колориметрической методике исследования показателя фазовой стабильности остатков висбрекинга – общего потенциального осадка (ОПО), впервые разработанной на основе представлений о процессе осаждения асфальтенов. В качестве сырья диссертантом использованы нефтяные остатки высокосмолистых и высокопарафинистых нефтей, полученные на промышленной установке АВТ ООО «ЛУКОЙЛ-УНП», и установлено снижение стабильности остатка висбрекинга при переходе к нефтям с высоким содержанием асфальто-смолистых компонентов и парафинов. С применением современных высокоточных физико-химических методов анализа установлены структурные характеристики образцов сырья и продуктов висбрекинга тяжелой нефти, которые свидетельствуют о преобладании алифатических групп в сырье и продуктах висбрекинга и уменьшении количества смол и асфальтенов в остатках, а также установлено влияние параметров сырья на фактор стабильности и ОПО. Автором впервые установлена обратно пропорциональная зависимость между фактором стабильности ССЕ и энергией межмолекулярного взаимодействия, рассчитанной по данным ЭФС. Автором в

диссертационной работе установлены закономерности превращений индивидуальных компонентов гудрона в процессе висбрекинга. Полученные результаты позволили впервые установить причины снижения стабильности остатка висбрекинга гудрона высокопарафинистой нефти и являются, несомненно, новыми. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по оптимизации режимов работы оборудования и повышения производительности промышленной установки висбрекинга ООО «ЛУКОЙЛ-УНП».

Практическая значимость работы заключается в разработке на основе полученных научных результатов рекомендаций по изменению технологических параметров режима работы и состава сырья установки висбрекинга с целью увеличения выхода и повышения стабильности получаемого остатка висбрекинга, подтвержденные опытно-промышленными экспериментами.

Основное значение научных результатов диссертационной работы заключается в разработке колориметрической методики определения общего потенциального осадка (ОПО), характеризующего фазовую стабильность коллоидной нефтяной дисперсной системы, а также в установлении особенностей состава и свойств сырья и продуктов процесса висбрекинга высокопарафинистых нефтей Усинского месторождения и в установлении физико-химических причин нестабильности остатка висбрекинга и взаимосвязи между составом сырья висбрекинга и стабильностью получаемого остатка.

Теоретическая значимость работы заключается в интерпретации экспериментальных данных на основе теории нефтяных дисперсных систем (НДС) и представлении сырья и остатка висбрекинга парафинистой нефти как дисперсной системы, включающей мальтеновую дисперсионную среду, насыщенную парафинами, и дисперсную фазу асфальто-смолистых веществ (АСВ) и мицелл в виде сложных структурных единиц (ССЕ), включающих слои групповых компонентов от асфальтенов, образующих ядро мицелл, до парафино-нафтовых углеводородов в периферийной части.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждается применением современных инструментальных методов и сертифицированных, прошедших метрологическую аттестацию, приборов известных зарубежных и отечественных фирм, таких как ООО Спектрон, Реотест, «Rudolph Research

Analytical», Tanaka Scientific Limited, ESR, Bruker, Сименс, «ГРАДИЕНТ-М», а также подтверждается статистической обработкой экспериментальных данных. Полученные результаты не противоречат известным теоретическим положениям и опубликованным ранее литературным данным.

Следует отметить, что практически все приведенные в диссертационной работе экспериментальные данные и зависимости были описаны соискателем в научных статьях.

Кроме того, материалы работы докладывались и обсуждались на международных и Российских научных форумах: на XX Международной конференции «Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа» (2023 г., г. Томск); XIII Международной конференции «Химия нефти и газа» (2024 г., г. Томск); на Международной конференции «Газ. Нефть. Технологии» (2025 г., г. Уфа); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники» (2024 г., г. Уфа, УГНТУ); на круглом столе «Проблемы технологии углеродных материалов на нефтяной основе» в рамках конференции «Нефтепереработка и нефтегазохимия» (май 2024 г.). Отдельные результаты работы докладывались на региональных семинарах «Актуальные проблемы синергетики» в 2023-2025 гг. (г. Уфа) и семинарах лаборатории Технологии углеродных материалов и спектроскопии УГНТУ в 2023-2024 гг.

Основное содержание и общая характеристика диссертационной работы.

Диссертационная работа Гималетдинова Р.Р. имеет традиционную структуру и состоит из введения, четырех глав – аналитического обзора, методов и объектов исследования, обсуждения результатов исследования, заключения и библиографического списка из 151 наименований, изложена на 156 страницах, включает 47 рисунков и 42 таблицы, 1 приложение.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследований, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основании обзора литературных источников и практических данных обоснована актуальность темы диссертации, проведен анализ термических процессов переработки нефтяных остатков и существующих технологий их переработки. Проведено сравнение данных технологий и технологических схем, отме-

чены преимущества процесса висбрекинга. Рассмотрен химизм процессов термодеструктивной переработки тяжелого сырья и методы оценки стабильности остаточных топлив.

Во второй главе описаны объекты и методы исследования, приведены физико-химические свойства, групповой углеводородный состав сырья. В качестве сырья для процесса висбрекинга используются нефтяные остатки высокосмолистых нефтей, обладающие низким содержанием серы: гудрон Усинской нефти с $T_k \geq 500$ °С, сырье висбрекинга полученное путем смешивания гудрона со второй фракцией вакуумной колонны установки АВТ.

В третьей главе исследованы особенности процесса висбрекинга гудрона парафинистой нефти. Исследованы физико-химические свойства остатка висбрекинга с промышленной установки, а также групповой состав остатка. Приведены формулы для расчета пригодности сырья к переработке и фактора стабильности, характеризующего устойчивость нефтяных дисперсных систем. В соответствии с полученными значениями факторов пригодности сырья к переработке и его стабильности, выявлено, что гудрон, являющийся сырьем установки висбрекинга является труднокрекируемым и сложным для переработки сырьем, а также недостаточно стабильным. Поэтому необходимы разбавители, увеличивающие стабильность сырья. Определение фактора стабильности парафиновых отложений по ГОСТ 33360-2015 является трудоемкой задачей. Поэтому требуется выявление более простых методик.

В данной части работы установлена взаимосвязь между количеством парафиновых отложений из остаточного сырья и цветовыми характеристиками на хлопчатобумажном фильтре. Установлена линейная экспоненциальная зависимость между количеством общего потенциального осадка и красной координаты цвета, которая позволяет с удовлетворительной точностью прогнозировать количество парафиновых отложений. Разработана математическая модель формирования осадка на основе которой получена зависимость величины парафиновых отложений от колориметрической характеристики сорбированных асфальтенов, что сокращает время определения за счет исключения операций взвешивания.

Установлено, что использование в качестве разбавителя гудрона первой вакуумной фракции установки АВТ снижает вязкость сырья, одновременно повышая

коксуемость остатка за счет добавления ароматических углеводородов и смол в реакционную массу, составляющих 29,8% масс. и 4,6% масс. соответственно.

Выявлено, что для нефтей типа Усинской характерна зависимость парафиновых отложений из остаточного сырья от суммы парафинов и асфальтенов.

Проведенные исследования образцов сырья и продуктов процесса висбрекинга с использованием ИК- и ЯМР-спектроскопии свидетельствует о парафинистости изученных остатков: расчет «средних» молекул по данным структурного анализа свидетельствует о небольшом числе (~3) ароматических колец с 3-6 длинными алкильными заместителями, в которых число атомов углерода достигает 8. Термогравиметрическим анализом выявлено, что наиболее низкую коксообразующую способность имеет тяжелая часть гудрона. В области 400-500°C для гудрона и остатка висбрекинга на кривой ДТА наблюдается эндотермический эффект (поглощение тепла), вероятно обусловленный крекингом тяжелой части образцов.

Методом электронного парамагнитного резонанса определялась концентрация парамагнитных углеродных центров (ПМЦ), представляющих собой свободные радикалы и накапливающиеся в остатке и сырье висбрекинга. Установлено, что ПМЦ в висбрекинг-остатке на порядок выше, чем в исходном гудроне и сырье висбрекинга, что и обуславливает снижение стабильности фазовой стабильности висбрекинг остатка и образование углеродистого осадка.

Также в данной части работы определено, что для стабилизации остатка висбрекинга необходимо увеличить концентрацию парафино-нафтовых углеводородов, которые уменьшают энергию взаимодействия мицелл (ядер ССЕ), состоящих из асфальто-смолистых веществ. Сделан вывод, что введение вакуумного газойля, содержащего до 30-40% масс. ароматических и 40-45% масс. парафино-нафтовых углеводородов, способствует стабилизации продуктов висбрекинга.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке технических решений по оптимизации установок висбрекинга остатков парафинистых нефтей, которые направлены на повышение выхода и повышение фазовой стабильности остатков за счет нахождения оптимальных режимов работы печи и ректификационной колонны, а также подбора состава сырья.

В заключении изложены выводы по работе, отражающие результаты диссертационной работы.

Содержание глав полностью соответствует результатам, выносимым на защиту.

Рекомендации по использованию результатов работы.

Диссертационное исследование, представленное в работе Гималетдинова Р.Р., представляет интерес для специалистов, работающих в области нефтепереработки, и может быть полезно для использования в коллективах следующих организаций:

- ФГБОУВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»;
- ФГБУ науки Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (ИХН СО РАН);
- ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ);
- ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина»;
- ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез».

Анализ диссертационной работы позволяет сделать вывод о том, что диссертация представляет собой законченное логически построенное исследование, в котором представленные результаты имеют научную новизну и практическое значение.

К диссертационной работе имеются следующие пожелания и замечания:

1. В главе 3 приводится описание предложенной автором методики определения фактора общего потенциального осадка сырья (ОПО), основанной на определении колориметрических характеристик образцов. В описании нет сведений о подготовке образцов для исследований. В табл. 3.3 приведены значения ОПО, полученные в соответствии с ГОСТ 33360-2015 и по предложенной автором методике, однако в таблице не указаны происхождение и составы исследованных 11 образцов.
2. Табл. 4.1 дублирует данные, приведенные в табл. 2.1.
3. Рисунки 3.14 и 3.15 имеют одинаковое название, хотя на них представлены разные графики. Из названия не ясно, к какому продукту относятся график (остатку или дистилятным фракциям).
4. Для практического применения было бы целесообразно привести данные по влиянию количества добавляемого гудрона Ярегской нефти и значения ОПО висбрекинг-остатка.

5. Разработка новой методики определения общего потенциального осадка по колориметрическим характеристикам взамен способа по ГОСТ 33360-2015 проводится с целью упрощения процедуры. При этом отсутствует описание факторов, которые делают проведение анализа ОПО по ГОСТ трудоемкой задачей и назначение этого метода для маловязких дистиллятных топлив.

6. На стр.125 допущена опечатка по выходу остатка висбрекинга.

Несмотря на высказанные пожелания и замечания, которые носят рекомендательный характер, диссертационная работа Гималетдинова Рустама Рафаиловича «Оптимизация процесса висбрекинга гудрона парафинистой нефти с целью увеличения выхода и повышения фазовой стабильности остатков» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная задача нефтепереработки – повышение глубины переработки нефти путем висбрекинга - промышленного процесса, характеризующегося простотой технологического оформления, низкими капитальными и эксплуатационными затратами, позволяющего эффективно перерабатывать тяжелые нефтяные остатки и получать из них котельное и моторное топливо с нормативными показателями качества. Работа имеет важное фундаментальное и практическое значение.

Основное содержание работы представлено в 3 статьях в журналах базы Scopus, 7 статьях в рецензируемых научно-технических журналах ВАК, 2 монографиях и 3 публикациях конференций различного уровня, а также получено 3 патента Российской Федерации. Количество и структура публикаций соответствуют пункту 13 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 в действующей редакции).

Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертации и полученные результаты.

По тематике исследования, методам, предложенным новым научным положениям, диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.12 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ по пунктам:

пункт 1. Общие научные основы и закономерности физико-химической технологии нефти и газа. Молекулярное строение нефти и нефтяных систем, физико-химическая механика нефтяных дисперсных систем, их коллоидно-химические свойства и методы исследования.

пункт 2. Технологии и схемы процессов переработки нефтяного, газового и газоконденсатного сырья, попутного нефтяного газа на компоненты. Конструктивное оформление технологий и основные показатели аппаратуры установок для переработки сырья. Технологии подготовки указанного сырья к переработке. Разработка энергосберегающих технологий. Технологии приготовления товарных нефтепродуктов.

пункт 5. Химмотологические аспекты физико-химической технологии нефти и газа.

и отвечает требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 в действующей редакции), предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Гималетдинов Рустем Рафаилович заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании лаборатории 2 «Химии нефти и нефтехимического синтеза» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени «Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХС РАН)», протокол № 7 от 6 ноября 2025 г.

Отзыв составил доктор химических наук,
научная специальность 02.00.13 - Нефтехимия
заведующий сектором №4 «Глубокая
переработка углеродсодержащего сырья»
ИНХС РАН, член-корр. Академии наук
Чеченской республики

10.11.2025г.

Кадиев

Кадиев Хусаин Магамедович

Наименование организации:

ФГБУН Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН)

Почтовый адрес:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, 29

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени «Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН

Тел.: +7(495) 955-42-01, E-mail: director@ips.ac.ru

Подпись Кадиева Х.М. ЗАВЕРЯЮ.

11 ноября 2025 г.

Заместитель ученого секретаря ИНХС РАН



Ю.М. Голубева