МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПИРОЛИЗА

СИНТЕЗ ФЕНОЛА

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОТЫ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

Neftegaz.RU

ISSN 2410-3837

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

5 [137] 2023

НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА: СЛОЖНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ



Входит в перечень ВАК (К1)

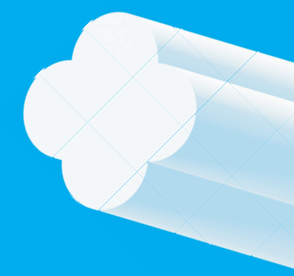
СЕЛЕКТУМ
ИННОВАЦИОННЫЕ
КАТАЛИЗАТОРЫ

Neftegaz.RU

СПЕЦПРОЕКТ

Наши катализаторы

как «Газпром нефть» строит новую высокотехнологичную индустрию



Новое поколение катализаторов — это интересно! О технологиях, испытаниях и создании в России высокотехнологичной отрасли читайте в новом совместном спецпроекте Neftegaz.RU и компании «Газпром нефть».



SELECTUM.NEFTEGAZ.RU



Нестационарная математическая модель пиролиза бензиновой фракции

14



Нефтехимия Ирана под прессингом западных санкций

30

СОДЕРЖАНИЕ



Гидропероксидный способ синтеза фенола и его алкильных производных совместно с кетонами алифатического и алициклического ряда

34



Математическое моделирование для прогнозирования работы катализаторов риформинга на установке со стационарным слоем

40

Эпохи НГК 4

РОССИЯ *Главное*

НПЗ: переработка отрасли 6

Приоритеты технологического суверенитета 8

События 10

Первой строчкой 12

ПЕРЕРАБОТКА

Нестационарная математическая модель пиролиза бензиновой фракции 14

Инновационные способы разделения водонефтяных эмульсий и переработки нефтешламов 24

Нефтехимия Ирана под прессингом западных санкций 30

Гидропероксидный способ синтеза фенола и его алкильных производных совместно с кетонами алифатического и алициклического ряда 34

Математическое моделирование для прогнозирования работы катализаторов риформинга на установке со стационарным слоем 40

Оценка возможности использования метилакрилата в качестве одоранта на ГПЗ 52

Хронограф 55

НЕФТЕСЕРВИС

Глобальный рост или локальная подстройка? Какие пути выбирают российские нефтесервисные компании в новых условиях 56



Венгрия как ведущий партнер торговли энергоресурсами России в Европе

66

Нефтехимические исследования при разработке сланцевых формаций



70



Твердое биотопливо и низкоуглеродная экономика в России и мире

82

Вода из воздуха: снижение дефицита воды на нефтегазовых месторождениях



90

БУРЕНИЕ

Элементы питания для бурения в экстремальных условиях 60

Календарь событий 63

ЭКОНОМИКА

Пять шагов, чтобы дать цепочкам поставок из Китая конкурентное преимущество 64

Венгрия как ведущий партнер торговли энергоресурсами России в Европе 66

ПРИКЛАДНАЯ НАУКА

Нефтехимические исследования при разработке сланцевых формаций 70

Россия в заголовках 81

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Твердое биотопливо и низкоуглеродная экономика в России и мире 82

Вода из воздуха: снижение дефицита воды на нефтегазовых месторождениях 90

ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

Нефтегаз-2023 96

Новые участники и новые перспективы на выставке Нефтегаз-2023 100

Новости науки 102

Нефтегаз Life 104

Классификатор 106

Цитаты 112

ЭПОХИ НГК

212 лет назад

В 1811 году чиновник Министерства коммерции П. Соболевский создал первую установку для получения искусственного газа.

186 лет назад

В 1837 году Н. Воскобойников, директор Бакинских и Ширванских нефтяных промыслов, открывает вблизи месторождений опытный завод по перегонке легкой сураханской и тяжелой балаханской нефти.

170 лет назад

В 1853 году жестянщик А. Братковский создает первый безопасный тип керосиновой лампы, что спровоцировало рост спроса на керосин и сподвигло химиков совершенствовать технологии его производства из разных нефтяных фракций, разрабатывая новые способы очистки.

156 лет назад

В 1867 году на Таманском полуострове полковник А. Новосильцев открывает нефтеперегонный завод, где впервые в России нефть перегоняется под перегретым паром.

145 лет назад

В 1878 году предприниматель и изобретатель В. Рагозин строит в Балахне масляный завод и организует первое в России нефтехимическое производство, где внедряет собственную разработку – технологию получения смазочных масел из мазута с помощью перегретого пара.

139 лет назад

В 1884 году руководитель «Товарищества нефтяного производства братьев Нобель» Л. Нобель подал в департамент торговли и мануфактур заявку на «Куб усовершенствованной системы для дробной и непрерывной перегонки нефти».

111 лет назад

В 1912 году горный инженер С. Квитка получает патент на «Способ добывания бензина и иных продуктов из нефти, нефтяных остатков и пр.», т.о. впервые было предложено аппаратное решение для технологии жидкофазного термического крекинга.

105 лет назад

В 1918 году академик Н.Д. Зелинский впервые осуществляет процесс низкотемпературного (около 200 °С) каталитического крекинга нефти с безводным хлористым алюминием в качестве катализатора.

94 года назад

В 1929 году пущена в эксплуатацию первая очередь Туапсинского НПЗ.

Neftegaz.RU

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Аналитики
Анатолий Чижевский
Дарья Беляева

Журналисты
Анна Игнатьева
Елена Алифирова
Анастасия Гончаренко
Анастасия Хасанова
Анна Шевченко

Дизайн и верстка
Елена Валетова

Корректор
Виктор Блохин

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Ампилов Юрий Петрович
д.т.н., профессор, МГУ им. М.В. Ломоносова

Алюнов Александр Николаевич
к.т.н., ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»

Бажин Владимир Юрьевич
д.т.н., эксперт РАН, Санкт-Петербургский горный университет

Гриценко Александр Иванович
д.т.н., профессор, академик РАЕН

Гусев Юрий Павлович
к.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО НИУ МЭИ

Данилов-Данильян Виктор Иванович
д.э.н., профессор, член-корреспондент РАН, Институт водных проблем РАН

Двойников Михаил Владимирович
д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский горный университет

Еремин Николай Александрович
д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Илюхин Андрей Владимирович
д.т.н., профессор, Советник РААСН, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Каневская Регина Дмитриевна
действительный член РАЕН, д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Макаров Алексей Александрович
д.э.н., профессор, академик РАН, Институт энергетических исследований РАН

Мастепанов Алексей Михайлович
д.э.н., профессор, академик РАЕН, Институт энергетической стратегии

Панкратов Дмитрий Леонидович
д.т.н., профессор, Набережночелнинский институт

Половинкин Валерий Николаевич
научный руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр», д.т.н., профессор, эксперт РАН

Салыгин Валерий Иванович
д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор МИЭП МГИМО МИД РФ

Третьяк Александр Яковлевич
д.т.н, профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет

Neftegaz.RU

Издательство:
ООО Информационное агентство Neftegaz.RU

Директор
Ольга Бахтина

Отдел рекламы
Дмитрий Аверьянов
Валентина Горбунова
Анна Егорова
Марина Шевченко
Галина Зуева
Виктория Мыларщикова
Евгений Короленко

account@neftegaz.ru
Тел.: +7 (495) 778-41-01

Служба технической поддержки
Сергей Прибыткин
Алексей Лозгачев

Выставки, конференции, распространение
Мария Короткова

Отдел по работе с клиентами
Екатерина Данильчук

Деловой журнал Neftegaz.RU зарегистрирован федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия в 2007 году, свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-46285

Адрес редакции:
123001, г. Москва,
Благовещенский пер., д. 3, с.1
Тел.: +7 (495) 778-41-01
www.neftegaz.ru
e-mail: info@neftegaz.ru

Подписной индекс Урал Пресс 013265

Перепечатка материалов журнала Neftegaz.RU невозможна без письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за достоверность информации, опубликованной в рекламных объявлениях, а также за политические, технологические, экономические и правовые прогнозы, предоставленные аналитиками. Ответственность за инвестиционные решения, принятые после прочтения журнала, несет инвестор.

Отпечатано в типографии «МЕДИАКОЛОР»

Заявленный тираж 8000 экземпляров

9 772410 383004

ДОСФЛОТА\10

АПАРТАМЕНТЫ У РЕКИ



499 502 10 10 \ Dosflota10.ru

Реклама. Срок проведения акции с 28.11 по 31.12.2022. Подробности на сайте dosflota10.ru

GALAXY GROUP

Застройщик:
АО Специализированный Застройщик «Капитал-Инвест»

ДОМ РФ | ФИНАНСИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
АО «Банк ДОМ.РФ»

РОССИЯ
Главное

На 52 %
снизились нефтегазовые доходы

В 2 раза
снизят выплаты по топливному демпферу

3,4 трлн
рублей недополучил бюджет в первом квартале 2023 года

До 2028 г.
предлагают продлить программу модернизации НПЗ

НПЗ: ПЕРЕРАБОТКА ОТРАСЛИ

Анна Павлихина



Бюджет РФ в 1-м квартале недополучил 3,4 трлн рублей, в том числе на 52 % снизились нефтегазовые доходы по сравнению с аналогичным периодом 2022 года. Теперь, чтобы соблюсти закон о бюджете, в оставшиеся до конца года месяцы бюджет должен быть профицитным. Учитывая ситуацию, это невозможно. А значит, будут искать любые дополнительные способы пополнения казны.

Один из таких способов Минфин видит в изменении механизмов топливного демпфера. Изначально смысл его введения был в уравнивании доходности при продаже продуктов нефтепереработки на внутренний и внешний, преимущественно европейский, рынок. Теперь, когда европейского рынка нет, получается, что и дотировать перерабатывающие предприятия смысла тоже нет. А. Силуанов посчитал, что сейчас НПЗ получают маржу в размере 8 тыс. рублей за тонну, тогда как раньше эта цифра составляла 2 тыс. рублей за тонну. Не желая выплачивать нефтяникам маржу из бюджета, Минфин предложил с июля 2023 года по июль 2024 года урезать выплаты вдвое. Снижение демпфера на 30 млрд руб. в месяц «даст экономию по нефтегазовым доходам и снизит недопоступление этих доходов в бюджет», – заявил А. Силуанов накануне первомайских праздников. А уже 2 мая на столичных АЗС стоимость бензина резко возросла. Нововведение, которому еще только предстоит заработать, сразу дало результат. Нет сомнений, что контролирующие органы предпримут соответствующие меры. Но летом, во время посевных работ и дачного сезона спрос на бензин вырастет, что, как правило, ведет к повышению стоимости топлива, а также создает хорошие условия для незаметного отыгрывания снизившегося демпфера.

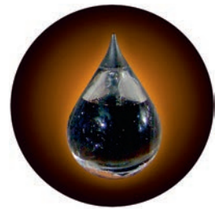
Но цель наших рассуждений, конечно, не честность нефтяных компаний, ведь, как известно, переработка нефти – дело прибыльное, будь маржа хоть восемь тысяч с тонны, хоть две. Вопрос в том, как без дополнительных доходов (под которыми традиционно понимается прибыль плюс) развивать производство. В данном случае те производства, на которые возлагаются особые надежды.

Российские нефтеперерабатывающие заводы производят в два раза больше продукции, чем нужно внутреннему рынку. Еще недавно эти, не сказать излишки, экспортировались в Европу, США и азиатские страны. Так, в 2021 г. из произведенных 144 млн тонн Европа получила 88 млн тонн, в Штаты отправили 6 млн тонн. Также 20 млн тонн закупили азиатские страны. Не слишком много, учитывая, что на АТР возлагаются все экспортные надежды. Вероятность того, что экспорт нефтепродуктов в Китай и Индию можно будет увеличить, снизив цену, очень невелика, эти страны и сами вполне успешно справляются с производством бензина и дизельного топлива.

На фоне безрадостных перспектив в отношении экспорта и малоприятного снижения маржи в условиях сокращения выплат по демпферу хочется верить, что нефтепереработка не сдаст позиции. Речь не только о сокращении объемов производства, но, в первую очередь, о поддержании современного технологического уровня производств. Санкционные ограничения коснулись как технологий и оборудования, так и необходимых для нефтепереработки катализаторов. Модернизация НПЗ, которая идет уже много лет, все еще не достигла своей цели (хотя нам представляется, что модернизация – это перманентный процесс по внедрению научных инноваций). Учитывая события последних полутора лет Минэнерго предложило продлить программу модернизации перерабатывающих заводов до 2028 г. И, судя по всему, эта программа должна быть насыщена активным внедрением импортозамещающих технологий. Такие технологии есть, но они касаются лишь первичной нефтепереработки, более глубокие переделы все еще сильно зависимы от иностранного оборудования. Такая же картина и с катализаторами. Некоторые крупные компании (Роснефть, Газпром нефть) выпускают определенные марки катализаторов, в частности, для процессов риформинга, изомеризации, гидроочистки, которые они готовы предложить рынку, но по ряду позиций перерабатывающие предприятия стопроцентно зависимы от импорта.

Особым стимулом для развития перерабатывающих производств могло бы стать углубление процессов нефтепереработки. Отраслевые эксперты разделяют это мнение, хотя и считают идею сложнореализуемой. Одни видят спасение в усилении отрасли пластпереработки, другие – в структурной организации текстильной промышленности, третьи говорят о необходимости развивать малотоннажную химию, сырьем для которой также служит продукция, производимая НПЗ.

Крупные компании не добычного профиля уже воплощают в жизнь проекты по производству крупнотоннажных полимеров, каучуков. Но, чтобы эти и подобные проекты получили развитие, необходимо оборудование, технологии, катализаторы собственного производства. А это уже системное планирование, предполагающее взаимодействие ряда министерств, государственные субсидии, инвестиционный климат и недефицитный бюджет. ●



ПРИОРИТЕТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

Елена Алифирова

Правительство РФ определило приоритетные направления проектов технологического суверенитета и структурной адаптации экономики России. К ним отнесены отрасли, где уровень локализации производства составляет менее 50%. Такие проекты смогут рассчитывать на особый подход банков при одобрении кредитов, пониженную ставку по ним и более активное участие институтов развития. Для развития перспективных отраслей планируют обеспечить до 10 трлн руб. дополнительного финансирования.

Работа будет вестись по тринадцати направлениям: авиационная промышленность, автомобилестроение, железнодорожное машиностроение, медицинская промышленность, нефтегазовое машиностроение, сельскохозяйственное машиностроение, специализированное машиностроение, станкоинструментальная промышленность, судостроение, фармацевтика, химическая промышленность, электроника и энергетика.

Приоритетные направления нефтегазового машиностроения включают технологии для бурения и геологоразведки, производство оборудования для сжиженного природного газа, транспортировки, переработки УВ сырья и оборудование для разработки шельфовых и арктических проектов.

Поддержку также получит производство комплектующих для атомной энергетики. В энергетической промышленности – производство оборудования для, в т.ч. газовых, паровых, гидравлических и ветряных турбин мощностью 35 МВт и более, а также производство кабелей и оборудования. В приоритете – производство систем накопления и хранения электрической энергии, оборудования для водородной энергетики. Среди направлений развития судостроения – производство судов, основных узлов и комплектующих. В химической промышленности определен широкий спектр приоритетных направлений.

Также документ определил приоритеты для проектов структурной адаптации экономики к сегодняшним реалиям, в частности, строительство газотранспортной инфраструктуры с выходом в третьи страны.

Рейтинги Neftegaz.RU

Все больше стран стремятся осуществлять расчеты по торговым сделкам в национальных валютах. Денежная единица какой страны способна составить конкуренцию американскому доллару?

Валюта какой страны может стать международной?

26%
Китайский юань, в прошлом году объем сделок в этой валюте составил 7,92 трлн

29%
Российский рубль, страны АТР, Ближнего Востока, Африки и Южной Америки могут рассчитываться за российские энергоресурсы рублями

1%
Японская йена, экономика страны одна из самых развитых и занимает третье место в мире

3%
Кувейтский динар, это самая дорогая валюта в мире

23%
Британский фунт стерлингов, ВВП входит в пятерку мировых, 4 из 10 самых дорогих валют являются денежными единицами стран, находящихся под суверенитетом Великобритании

6%
Швейцарский франк, экономика страны одна из лучших, курс валюты постоянно укрепляется

12%
Интернациональный биткоин, он не подвержен рыночным колебаниям, в эру цифровизации имеет преимущества

Отрасль нефтегазохимии и прежде сталкивалась с трудноразрешимыми задачами технологического, экологического и экономического характера. Каково ее положение сегодня и что ожидать в ближайшем будущем?

Какая основная проблема российской нефтегазохимии мешает отрасли развиваться?

15%
Отказ иностранных лицензиаров и инжиниринговых подрядчиков работать с российскими компаниями

12%
Запрет на экспорт широкого ряда товаров химпрома: метанола, полипропилена, минеральных удобрений

14%
Необходимость поиска новых рынков сбыта

29%
Неблагоприятный инвестиционный климат

19%
Ограничение доступа к европейским технологиям

11%
Недостаточное обеспечение отрасли транспортной инфраструктурой

БАДАЕВСКИЙ
БЕЗОПАСНОСТЬ
ВАШЕГО БУДУЩЕГО ВАШИХ ДЕТЕЙ ВАШИХ ИНВЕСТИЦИЙ
+7 495 236 77 16
BADAEVSKIY.COM
CG CAPITAL GROUP
Реклама. Застройщик АО «СЗ «Бадаевский».
С проектной декларацией можно ознакомиться на сайте badaevsky.com и наш дом.рф

Обвал рынка акций
Выборы президента
Газовые войны
Запуск нового производства
Северный поток
Слияние капиталов
Новый глава Роснефти
Цены на нефть

Первая наземная АЭС малой мощности в России

Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики и компания Русатом Оверсиз заключили соглашение о сотрудничестве при строительстве в Якутии, на территории Усть-Янского улуса, первой российской атомной станции малой мощности (АСММ).

Проект будет основан на водо-водяном ядерном реакторе РИТМ-200Н, который является результатом инновационной адаптации технологии малой мощности судового исполнения под наземное размещение. АСММ отличает компактность, модульность и сокращенные темпы сооружения по сравнению с атомными станциями большой мощности. Электрическая мощность станции составит не менее 55 МВт, срок службы незаменяемого оборудования – до 60 лет. Значительная часть безуглеродной электроэнергии будет использована для освоения одного из крупнейших в России золоторудных месторождений Кючус и близлежащих месторождений олова Депутатское и Тирехтях, что позволит создать в регионе мощный промышленный кластер. Ввести в эксплуатацию АСММ планируется в 2028 г.

Антимонопольная служба Турции разрешила Татнефти приобрести турецкую сеть заправочных станций компании Aytemiz Akaryakıt, владеющей более 570 АЗС в 77 провинциях Турции и обслуживающей более 5,5 млн автовладельцев в месяц. Покупка обошлась Татнефти в 320 млн долл.

Бангладеш и Россия рассчитаются юанями

Россия и Бангладеш договорились использовать юани для оплаты кредита на строительство АЭС Руппур. Бангладеш будет проводить платежные расчеты с Россией через любой китайский банк, а российские бенефициары будут получать платежи с использованием китайской трансграничной межбанковской платежной системы.

Россия оказывает кредитную помощь на строительство АЭС Руппур в Бангладеш, проект реализует подрядчик во главе с госкорпорацией Росатом, стоимость оценивается в 12,65 млрд долл. В сентябре 2022 г. бангладешский Центральный банк предоставлял возможность транзакций в юанях, разрешив банкам открывать счета в этой валюте в своих филиалах за границей. 27 марта 2023 г. стало известно, что Уралхиммаш приступил к отгрузке оборудования системы пассивного отвода тепла для АЭС Руппур, а 6 марта 2023 г. на строительной площадке АЭС была завершена установка транспортного шлюза на энергоблоке № 1.

Две новые ВЭС запустят в Ставропольском крае

Запуск двух новых ветряных электростанций на Ставрополье в 2023 г. позволит региону довести их мощность до 760 МВт. Таким образом, суммарная мощность ВЭС увеличится почти на 50%. Об этом сообщил министр энергетики, промышленности и связи края И. Ковалев. Ставропольский край – один из лидеров по темпам развития возобновляемой энергетики, за последние четыре года на территории края реализовано пять подобных проектов в таких округах, как Кочубеевский, Новоалександровский, Ипатовский. Новые станции будут построены в Кочубеевском и Труновском округах. За счет ветроэнергетики уже генерируется 510 МВт. Помимо ВЭС в регионе также действует крупная солнечная электростанция мощностью 100 МВт, работает Каскад Кубанских ГЭС мощностью около 250 МВт. Как отметил И. Ковалев, в регионе также планируется развивать экологический транспорт. Развитие зеленой энергетики позволило региону предотвратить выброс в атмосферу порядка 890 тыс. т CO_2.

Министр нефти Пакистана М. Малик сообщил о размещении первого заказа на российскую нефть. В будущем закупки могут составить 100 тыс. барр. в сутки. Речь идет только о сырой нефти. На первых этапах ее будет перерабатывать пакистанская Refinery Limited, а после пробного периода и другие НПЗ страны. Исламабад рассчитывает, что импорт из России позволит в будущем удовлетворить до 35% потребности Пакистана в сырой нефти

Вторая ветка ВСТО
Богучанская ГЭС запущена
Продажа квот
Дошли руки до Арктики
Южный поток
Цены на газ
Северный поток достроили

В Германии будут производить водород на морских платформах

Ученые Фраунгоферовского института систем солнечной энергетики (ISE) разработали проект по производству зеленого водорода в открытом море. Производственный комплекс будет состоять из морского ветрогенератора и подключенной к нему электролизной платформы мощностью 500 МВт, которая сможет производить до 50 тыс. т зеленого водорода в год. Морская вода будет опресняться за счет остаточной тепловой энергии электролизера и использоваться для производства газообразного водорода, который на выходе будет проходить очистку, осушку и сжатие до 500 бар, что в 500 раз выше атмосферного давления. После этого водород перекачают на судно, способное перевозить до 400 т. Система имеет масштабируемую модульную конструкцию, легко адаптируемую к различным мощностям. Проект предполагает использование протонообменного электролизера. Согласно подсчетам ISE, для электролизера мощностью 500 МВт потребуется ветрогенератор на 602 МВт, при таком сочетании электролизная установка сможет работать в течение 5 тыс. часов в год. Издержки составят 5,92 евро на кг водорода, а удельная стоимость – 6,37 евро на кг. Эти значения находятся в пределах верхнего порога распространенных в отрасли издержек.

СИБУР планирует построить на ЗапСибНефтехиме новый комплекс производства пропилена дегидрированием пропана и деривативов пропилена (ДГП-2). Строительство включает технологические установки, факельное хозяйство и логистический комплекс. Цель проекта – производство пропилена посредством дегидрирования пропана и переработки пропилена в полипропилен

Правительство расширило план развития СМП

Правительство продолжает работу над созданием инфраструктуры Северного морского пути. Подписанное главой правительства распоряжение, дополняющее план развития СМП до 2035 г. новыми мероприятиями, предполагает создание отечественных образцов наиболее значимого судового комплектующего оборудования, которое необходимо при строительстве судов ледокольного флота, грузовых судов ледового класса, а также аварийно-спасательных судов. Отвечать за эту работу будут Минпромторг, Росатом, Минтранс и МЧС. Всего план развития СМП до 2035 г. насчитывает более 150 мероприятий, общий объем финансирования которых составляет почти 1,8 трлн руб. Одним из приоритетных направлений развития морского транспорта является создание условий для развития СМП в качестве национальной транспортной коммуникации страны.

Первый СПГ-терминал в Гонконге

CLP Power Hong Kong Limited (CLP Power) и Hongkong Electric Co., Ltd (HK Electric) объявили, что FSRU Bauhinia Spirit пришвартовано к месту постоянной стоянки в юго-западных водах Гонконга, что знаменует заключительный этап подготовки к запуску первого в Гонконге СПГ-терминала. FSRU Bauhinia Spirit – крупнейшее в мире FSRU вместимостью танков 263 тыс. м^3. Ожидается, что СПГ-терминал начнет свою работу в середине 2023 г. После ввода в эксплуатацию он будет питать две гонконгские электростанции Black Point в районе Лунг Кву Тан и Lamma в По Ло Цуй на острове Ламма. Black Point – первая электростанция в Гонконге, использующая природный газ для выработки электроэнергии. Ввод объекта в эксплуатацию будет способствовать диверсификации поставок энергоресурсов, обеспечивая гибкость и надежность поставок природного газа для производства электроэнергии.

Компания РН-Ванкор приступила к опытно-промышленной разработке Ичемминского месторождения проекта Восток Ойл. Месторождение находится на левом берегу реки Енисей в 15 км от Ванкорского НГКМ. Начальные извлекаемые запасы – 6,6 млн т нефти. Добываемое сырье будет транспортироваться на объекты подготовки Лодочного месторождения по межпромысловому нефтепроводу

70 %

составит доля трудноизвлекаемых запасов нефти в РФ к 2030 году

Экспортная пошлина на нефть в России с мая 2023 г. вырастет до

14,4 долл. США/т

1 млрд м³

трудноизвлекаемого газа из юрских залежей Южно-Тамбейского ГКМ добыл Ямал СПГ

В 3 раза

Индия увеличит мощность своих АЭС к 2031 г.

На **7 %**

в годовом выражении выросла транспортировка газа по магистральным газопроводам в Азербайджане,

общий объем перекаченного газа составил **11,5 млрд м³**

На **3,1 %**

до **16,81** млрд долл.

упал объем импорта Китаем природного газа в 1-м квартале 2023 г.

На **60 %**

вырос объем реализации СПГ «НОВАТЭКа» на международных рынках в 1 квартале 2023 г.

4 млрд долл.

выделят США Польше на строительство малых ядерных реакторов

С **50** регионами

«Газпром» обновил 5-летние программы газификации

На **2,32** млн барр. в сутки

вырастет спрос на нефть в мире в 2023 г. согласно ожиданиям ОПЕК

До **10 %**

упадет доля угля в энергобалансе России к 2050 г.

На **25 %**

«РН-Юганскнефтегаз» увеличил строительство кустовых площадок

4 АГЗС

построит «Газпром» на Дальнем Востоке

Более **3** млрд руб.

направят на модернизацию энергоблоков Ростовской АЭС

До рекордных **14,9** млн

баррелей в день выросла загрузка китайских НПЗ в марте

На **11,2 %**

Азербайджан увеличил экспорт газа в первом квартале 2023 г.,

в Европу экспортировали **2,9 млрд м³** газа

2 танкера за **$93** млн

построит «HD Korea Shipbuilding» в 2023 г.

Всего компания получила заказы на **64** судна

Более **$200** млн

вывели инвесторы из двух биржевых фондов, ориентированных на нефть

В 800 тыс. тонн

оценили дефицит дизтоплива в Казахстане

Около **60**

малотоннажных СПГ-заводов намерен построить «Газпром СПГ технологии» до 2030 г.

36

месторождений «Роснефти» подпадут под законопроект о либерализации экспорта СПГ

На **4,5 %**

выросла экономика Китая в первом квартале 2023 г.

Neftegaz.RU
номер 5/2023 г.

УДК 004; 66.092-977

НЕСТАЦИОНАРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПИРОЛИЗА БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ

с учетом образования и накопления кокса

Бунаев Аюр Алексеевич
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, аспирант Отделения химической инженерии

Долганов Игорь Михайлович
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, доцент Отделения химической инженерии, к.т.н.

Долганова Ирэна Олеговна
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов, научный сотрудник Отделения химической инженерии, к.т.н.

ПИРОЛИЗ НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ ЯВЛЯЕТСЯ ОСНОВНЫМ ПРОЦЕССОМ, ФОРМИРУЮЩИМ СЫРЬЕВУЮ БАЗУ ПОЛИМЕРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. В РАБОТЕ ПРЕДСТАВЛЕНА РАЗРАБОТКА НЕСТАЦИОНАРНОЙ МОДЕЛИ ПИРОЛИЗА БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ. ДАННАЯ МОДЕЛЬ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ МОДУЛЬ ОПИСАНИЯ КОКСООБРАЗОВАНИЯ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТРУКТУР НА ВНУТРЕННЕЙ СТЕНКЕ РЕАКТОРА НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕАКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ. БЫЛИ ПРИВЕДЕНЫ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДОВ ЭТИЛЕНА И ПРОПИЛЕНА, СКОРОСТИ РОСТА СЛОЯ КОКСА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОЦЕССА, ДАВЛЕНИЯ И МАССОВОГО РАСХОДА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

TODAY, PYROLYSIS IS THE MAIN PROCESS THAT FORMS THE RAW MATERIAL BASE OF THE POLYMER INDUSTRY. THE PAPER PRESENTS THE DEVELOPMENT OF A NON-STATIONARY MODEL OF PYROLYSIS OF THE GASOLINE FRACTION. THIS MODEL INCLUDES A MODULE FOR DESCRIBING COKE FORMATION, WHICH TAKES INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE FORMATION OF HIGH-MOLECULAR CARBON STRUCTURES ON THE INNER WALL OF THE REACTOR ON THE THERMODYNAMIC AND KINETIC PARAMETERS OF THE REACTION SYSTEM OVER TIME. THE DEPENDENCES OF THE YIELDS OF ETHYLENE AND PROPYLENE, THE RATE OF GROWTH OF THE COKE LAYER ON THE PROCESS TEMPERATURE, PRESSURE, AND MASS FLOW RATE OF HYDROCARBON FEEDSTOCK WERE GIVEN

Ключевые слова: *пиролиз, математическое моделирование, нестационарная модель, бензиновая фракция.*

Протекающий в настоящее время мировой финансовый кризис, вызванный процессами деглобализации, ставит перед мировыми экономиками новые вызовы. В частности – это переход на шестой технологический уклад, реализуемый по-своему в разных странах или политических общностях, который предполагает в первую очередь разработку и широкое внедрение в промышленность и сельскохозяйственный сектор цифровых технологий предиктивного анализа, обучения персонала и управления производственным процессом. Быстрый и успешный переход на данную экономическую модель обеспечит подавляющее конкурентное преимущество той стране, которая его выполнит и запустит таким образом обратный процесс глобализации, опираясь на свое технологическое преимущество. Поэтому разработка промышленных моделирующих комплексов, в частности – для решения задач в области химической инженерии, является одной из приоритетных задач.

В настоящей работе представлена разработка модели трубчатой печи производства олефинов для нужд нефтехимической промышленности. Актуальность исследования данного процесса обусловлена тем, что на имеющемся уровне научно-технического развития все большее применение находят полимерные материалы в различных сферах деятельности человека. Это, в свою очередь, обеспечивает рост спроса на мономеры, этилен и пропилен, что вызывает соответствующий рост производства данных веществ, как показано на рисунках 1 и 2 [1, 2].

ФАКТЫ

Мономеры

в крупнотоннажном нефтехимическом производстве получают при помощи технологии термического разложения углеводородов в трубчатых печах

Таким образом, можно отметить, что рост как потребления, так и производства продолжается и на него почти не повлияли последствия пандемии, что косвенно подтверждает необходимость во внедрении системы для анализа процесса, его оптимизации и прогнозирования его состояния с течением времени при различных рабочих режимах.

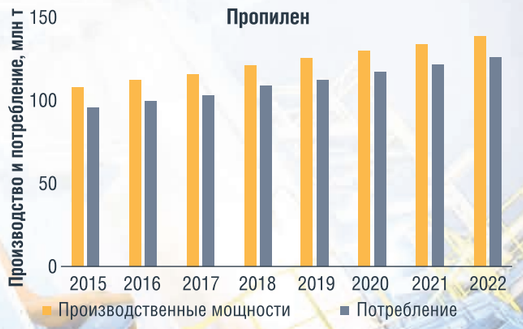
Теоретические основы процесса и объект исследования

В настоящее время в крупнотоннажном нефтехимическом производстве для получения мономеров применяется технология проведения процесса термического разложения углеводородов в трубчатых печах.

РИСУНОК 1. Динамика производства и потребления этилена в течение последних нескольких лет



РИСУНОК 2. Динамика производства и потребления пропилена в течение последних нескольких лет



Промышленные трубчатые печи пиролиза состоят, кроме отдельных случаев, из двух расположенных одна над другой, секций. В верхней части аппарата находится конвекционная секция. В ней происходит нагрев углеводородного сырья восходящими дымовыми газами, а также смешение с водяным паром разбавления с целью снижения парциального давления. Далее паросырьевая смесь поступает в радиантную секцию, в которой нагрев происходит за счет лучистого тепла, выделяющегося в результате сгорания в горелках топливного газа. В данной секции печи происходят химические процессы: целевые реакции разложения исходных молекул на более легкие, главным образом – непредельные соединения, а также побочные процессы коксообразования. Кокообразование является процессом образования кокса, высокомолекулярных высокоуглеродистых веществ сложного строения, из непредельных соединений, главным образом полиароароматических. Ввод пара разбавления, произведенный в конвекционной секции, обусловлен данным явлением – понижение парциального давления углеводородов снижает скорости реакций, приводящих к уменьшению объема, то есть побочных реакций уплотнения, тогда как целевые реакции, протекающие с увеличением объема, протекают быстрее.

Объектом исследования в настоящей работе является промышленная реализация процесса пиролиза, проводящаяся в трубчатой печи, змеевики радиантной секции которой имеют следующую геометрическую конфигурацию. Паросырьевая смесь поступает четырьмя параллельными потоками по трубам малого диаметра. Далее данные потоки попарно соединяются в два, протекающие по трубам большего диаметра. В свою очередь, два потока также соединяются в один поток, протекающий по трубе наибольшего диаметра. Сырьем данной печи является бензиновая фракция.

Эффективность работы печи определяется в первую очередь составом перерабатываемого сырья и рабочими режимами, при которых проводится процесс [3]. В силу протекания в реакционном потоке побочных процессов коксообразования, переработка углеводородного сырья осуществляется периодически – в определенные моменты времени установка

ФАКТЫ

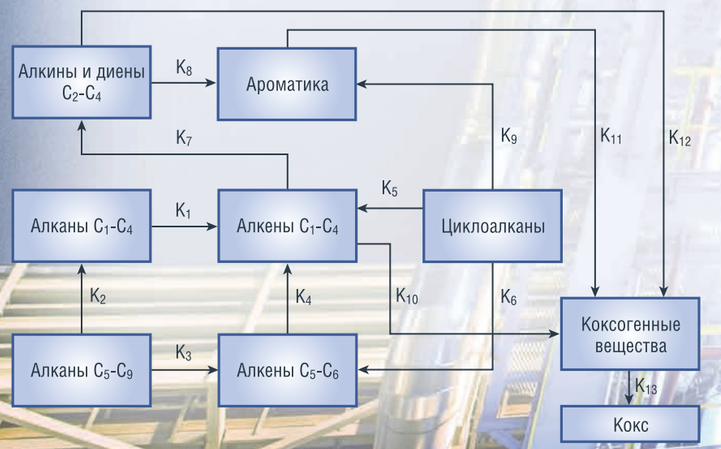
Математическая модель

процессов переработки УВ должна учитывать три проблемы: большой объем вычислений и данных, индивидуальные компоненты системы и установление наличия в сырье всех возможных компонентов

Коксообразование

представляет собой процесс совокупности реакций поликонденсации и полимеризации ароматических веществ

РИСУНОК 3. Формализованная схема превращений



вынужденно останавливает производство с целью проведения регенерации внутренней поверхности радиантного змеевика, в результате которого происходит его очистка от кокса путем выжига отложений данного вещества.

Образование и накопление кокса приводит к уменьшению сечения змеевика. Это, в свою очередь, приводит к тому, что растет перепад давлений между входом в змеевик и выходом из него. При этом растет время контакта и снижаются выходы целевой продукции.

Помимо этого, отложения кокса создают участки теплового напряжения на внешней поверхности змеевиков, поскольку кокс имеет низкую теплопроводность [4]. То есть в данных местах повышается вероятность возникновения прогаров, что является аварийной ситуацией, в результате возникновения которой требуется остановка работы печи пиролиза на продолжительный срок с целью замены змеевика. В силу низкой теплопроводности кокса уменьшается количество тепла, передаваемого к реакционному потоку, что также снижает выходы целевой продукции, поскольку реакции, приводящие к их образованию, являются эндотермическими [5].

Таким образом, в силу термодинамических условий проведения процесса пиролиза кокс образуется в течение всего межрегенерационного цикла, пока его накопление не достигнет некоторого критического уровня. Условия, при которых начинается процесс выжига кокса, определяются в зависимости от рабочего режима, типа перерабатываемого сырья, конструкции печи и свойств материалов, из которых выполнены ее узлы.

Проблематика моделирования и методы исследования

В распоряжении предприятий имеется широкий спектр средств моделирования химико-технологических процессов. Данные инструменты находят применение при проектировании новых производств, а также при анализе существующих, поскольку позволяют существенно облегчить многие этапы работы над проектом и таким образом минимизировать затраты.

При разработке математических моделей процессов переработки углеводородного сырья можно выделить три наиболее значимые проблемы. Во-первых, это большой объем вычислений, которые выполняет модель в ходе своей работы, а также большой объем данных, которые необходимы для проведения данных расчетов. Во-вторых, анализ результатов может быть затруднителен при большом количестве индивидуальных компонентов в системе, поскольку в моделях чаще всего не учитываются дополнительные эффекты их взаимодействия. В-третьих, зачастую сложно установить наличие в сырье процесса всех возможных компонентов, что негативно отражается на возможности сопоставления между собой расчетных и экспериментальных данных.

Модель, представленная в настоящей работе, основана на формализованной схеме реакций, представленной на рисунке 3.

Полная схема реакций, заложенная в модель, включает 1055 реакций. В таблице 1 представлены основные из них. Большинство является реакциями крекинга и образования олефинов, главным образом – этилена, из радикалов.

ТАБЛИЦА 1

Реакция	Энтальпия реакции, Дж/моль
C3H8 = CH3* + C2H5*	367 570
n-C4H10 = CH3* + n-C3H7*	367 570
n-C4H10 = 2 C2H5*	341 315
i-C4H10 = CH3* + i-C3H7*	393 825
n-C5H12 = C2H5* + n-C3H7*	341 315
i-C5H12 = C2H5* + i-C3H7*	341 315
n-C6H14 = 2 n-C3H7*	341 315
n-C6H14 = C2H5* + n-C4H9*	341 315
C2H6 = 2 CH3*	393 825
C2H5* = C2H4 + H*	183 785
n-C3H7* = C2H4 + CH3*	131 275
i-C3H7* = C3H6 + H*	157 530
n-C4H9* = C2H4 + C2H5*	105 020
2 H* = H2	-446 335

Основным уравнением математической модели является описание изменения концентрации индивидуального компонента по длине змеевика:

$$\frac{dC_i}{dl} \cdot u = \sum W_{i,l,t}, \qquad (1.21)$$

где dl – шаг интеграции по длине змеевика, м, u – линейная скорость потока, м/с, $\sum W_i$ – суммы соответствующих скоростей реакций, протекающих на расстоянии l от входа в змеевик в момент времени t, в которые вовлечен компонент i, умноженные на стехиометрические коэффициенты данного компонента в реакции, моль/л.

Таким образом, расчет по модели является решением системы дифференциальных уравнений. На определенном этапе разработки было принято решение о реализации модели как псевдостационарной, где изменения по времени отражаются за счет накопления кокса и соответствующем изменении термодинамических параметров, а не непосредственно в описании динамики концентрации компонента.

Значения сумм скоростей $\sum W_{i,l,t}$ рассчитывается по методу Рунге-Кутта:

$$\begin{aligned} F_1 &= \sum a_{i,j} \cdot K_{j,l,t} \cdot \prod C_{k,l,t}{}^{\beta_{k,j}} \\ F_2 &= \sum a_{i,j} \cdot K_{j,t} \cdot \prod \left(C_{k,l,t} + \frac{\Delta t}{2} \cdot F_1\right)^{\beta_{k,j}} \\ F_3 &= \sum a_{i,j} \cdot K_{j,t} \cdot \prod \left(C_{k,l,t} + \frac{\Delta t}{2} \cdot F_2\right)^{\beta_{k,j}} \\ F_4 &= \sum a_{i,j} \cdot K_{j,t} \cdot \prod \left(C_{k,l,t} + \Delta t \cdot F_3\right)^{\beta_{k,j}} \\ \sum W &= \frac{1}{6} \cdot (F_1 + 2F_2 + 2F_3 + F_4) \end{aligned} \qquad (1.22)$$

где $a_{i,j}$ – стехиометрический коэффициент компонента i в реакции j, $C_{k,l,t}$ – концентрация компонента k в заданной точке, моль/л, $\beta_{k,j}$ – стехиометрический коэффициент компонента k в реакции j.

Константы скоростей рассчитываются по полному уравнению Аррениуса:

ФАКТЫ

10 %

максимальная погрешность расчетов состава выходящего потока

$$K_{j,l,t} = K_{0j} \cdot \frac{P_{0,l,t}}{T_{l,t}{}^2} \cdot exp\left(\frac{-E_j}{RT_{l,t}}\right), \qquad (1.18)$$

где $K_{j,l,t}$ – константа скорости реакции j на расстоянии l от входа в змеевик в момент времени t, моль/(л·с), K_0, j – предэкспоненциальный множитель данной реакции, моль·°K²/(Па·л·с), $P_{0,l,t}$ – давление потока на расстоянии l от входа в змеевик в момент времени t, Па, $T_{l,t}$ – температура в сегменте змеевика, находящегося на расстоянии l от входа в змеевик в момент времени t, °K, E_j – энергия активации реакции j, Дж/моль, R – газовая постоянная, Дж/(моль·K).

При расчете константы скорости на очередной итерации расчета используется значение давления в заданной точке, изменение которого, в свою очередь, при прохождении потоком змеевика рассчитывается по уравнению Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{\Delta l}{d} \cdot \frac{\rho_{газ} \cdot u^2}{2}, \qquad (1.6)$$

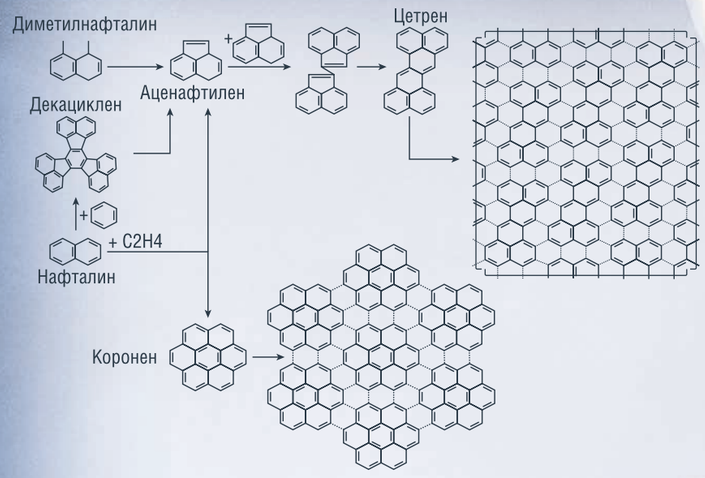
где Δl – длина элемента змеевика, м, d – эффективный диаметр элемента змеевика, м, u – линейная скорость реакционного потока в данном элементе, м/с, λ – коэффициент потерь на трение.

Эффективный диаметр элемента длины Δl рассчитывается как:

$$d = D_i - 2 \cdot \delta_{l,t}, \qquad (1.9)$$

где D_i – диаметр чистого элемента змеевика, м, $\delta_{l,t}$ – толщина слоя кокса в заданной точке, м.

РИСУНОК 4. Предполагаемая схема реакций процесса коксообразования



Таким образом, накопление кокса напрямую влияет на изменение давления в змеевике как по его длине, так и с течением времени, что, в свою очередь, оказывает воздействие на кинетическую составляющую процесса. Изменение температуры реакционного потока рассчитывается как:

$$\rho_{газ} \cdot C_p \cdot u \cdot \frac{dT}{dl} = \sum_r Q_r \cdot W_r + \frac{K \cdot F_j}{V_j} \cdot (T_{ст,i,j} - T_{i-1,j}), \quad (1.13)$$

где C_p – молярная удельная теплоемкость реакционного потока, Дж/(моль·°К), Q_r – тепловой эффект реакции r, Дж/моль, W_r – скорость реакции r, моль/(л·с), K – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°К), F_j – общая площадь змеевика в момент времени j, м², V_j – общий объем змеевика в момент времени j, м³, $T_{ст,i,j}$ – температура внутренней стенки в координате i в момент времени j, °К, $T_{i,j}$ – температура реакционного потока в координате i-1 в момент времени j, °К.

ФАКТЫ

0,025 г

кокса в секунду составляет скорость накопления кокса при минимальной температуре

Удельная теплоемкость и энтальпии образования были рассчитаны для каждого из компонентов системы в среде квантово-химических расчетов Gaussian 16.
В качестве метода расчета был выбран трехпараметрический гибридный функционал Бека, а в качестве базиса – 3-21G. Данные значения были рассчитаны при температурах 780, 820 и 850 °С, и на основании полученных значений были выведены функциональные зависимости для каждого компонента от температуры потока.

Общая площадь внутренней поверхности змеевика рассчитывается как:

$$F_j = \sum_i \pi \cdot (D_i - \delta_{i,j}) \cdot \Delta l. \quad (1.16)$$

ТАБЛИЦА 2. Компонентный состав бензиновой фракции

Компонент	Содержание в сырье, % масс	Компонент	Содержание в сырье, % масс	Компонент	Содержание в сырье, % масс
CH4	0,001	цикло-C6H8(МЦПД)	1,505	1-C8H16	0,658
C2H6	0,011	цикло-C6H10	1,505	цикло-C8H16(ДМЦГ)	4,118
H-CH=O	0,055	1-C6H12	0,003	н-C8H18	6,178
C3H8	0,458	2-C6H12	0,001	ВС-C9H8	0,102
CH3COH	0,058	изо-C6H12	0,003	ВС-C9H10	0,006
C4H6	0,001	цикло-C6H12	2,919	C9H10(АМС)	0,102
1-C4H8	0,028	н-C6H14	8,469	1-C9H18	0,555
2-C4H8	0,124	2-C6H14	5,656	н-C9H20	2,999
изо-C4H8	0,028	3-C6H14	3,933	C10H8(Нафталин)	0,0345
н-C4H10	3,052	C7H8	1,05	ВС-C10H10	0,0345
изо-C4H10	0,719	цикло-C7H10(МЦГДН)	1,8675	C10H18(Нафтен)	0,566
цикло-C5H6(ЦПД)	1,732	цикло-C7H12(МЦГЕН)	1,8675	н-C10H20	0,031
1,3-C5H8	0,049	1-C7H14	0,001	изо-C10H20	0,018
1-C5H10	0,258	3-C7H14	0,001	н-C10H22	0,222
2-C5H10	0,24	C7H14(МЦГ)	4,816	C11H10(МНафталин)	0,05
изо-C5H10	0,725	н-C7H16	4,403	н-C11H24	0,08
н-C5H12	19,703	2-C7H16	2,478	C12H12(DMH)	0,034
изо-C5H12	10,697	3-C7H16	1,956	C12H14(Тетралин)	0,009
C6H6	0,506	3,3-C7H16	0,522	н-C13H28	0,023
цикло-C6H8	1,505	C8H10	1,274		

ТАБЛИЦА 3. Экспериментальные и расчетные значения состава пирогаза

Компоненты	Содержание экспериментальное, % масс.	Содержание расчетное, % масс.	Ошибка, %
Метан-водородная фракция	16,6 = 15,6 (метан) + 1 (водород)	16,54 = 15,44 + 1,1	0,4 (1,02; 10)
Этилен	31,1	31,01	0,29
Пропилен	14,6	14,7	0,68
Бутан-бутиленовая фракция	8,5	8,65	1,76
Пироконденсат, фр. C5+	12,3	12,4	0,8
Ароматические углеводороды	16,6	16,42	0,79
Кислородсодержащие вещества	0,3	0,28	6,66

Общий внутренний объем змеевика рассчитывается как:

$$V_j = \sum_i \pi \cdot \left(\frac{D_i - \delta_{i,j}}{2}\right)^2 \cdot \Delta l. \quad (1.17)$$

Через данные параметры температура реакционного потока, а как следствие – кинетика процесса связана с коксообразованием, что позволяет данному параметру иметь псевдостационарную природу.

Процесс коксообразования представляется как совокупность реакций поликонденсации и полимеризации ароматических веществ [6–8]. То есть в течение данного побочного процесса происходит укрупнение углеродных структур, и таким образом растет соотношение углерода к водороду [9–12].

В представленной модели к коксогенам отнесены коронен и цетрен, из которых образуется кокс двух подтипов. Обобщенная схема коксообразования приведена на рисунке 4.

Для коксогенов основное уравнение динамики концентрации имеет вид:

$$\frac{dC}{dl} \cdot u = \sum W - R_s, \quad (4.1)$$

где R_s – скорость осаждения коксогенов к пристеночной области из реакционного потока, моль/(л·с), которая рассчитывается как [13]:

$$R_s = \frac{0.023}{(0.25 \cdot \pi)^{0.8}} \cdot \left(\frac{G^{0.8} \cdot \mu^{0.2} \cdot \omega_{масс.}}{D^{1.8} \cdot Sc^{\frac{2}{3}} \cdot M_{см}}\right), \quad (4.2)$$

где G – массовый расход, кг/с, $\omega_{масс.}$ – массовая доля коксогенов в реакционном потоке, D – диаметр змеевика, мм, Sc – критерий Шмидта, $M_{см}$ – молярная масса смеси, г/моль, μ – коэффициент внутреннего трения газа, Па·с.

Экспериментальная часть

При работе с моделью применялся состав сырья, приведенный в таблице 1.

Данный состав был задан в соответствии с результатами хроматографического анализа бензиновой фракции, используемой в качестве сырья на действующей установке пиролиза на одном из нефтехимических предприятий России.

ФАКТЫ

в 2 раза

увеличиваются выходы олефинов при повышении температуры от 780 до 850 °С

В среднем расход сырья в печи составлял 4100 кг/ч на поток, расход пара 2700 кг/ч на поток, давление на входе в змеевик 0,4 МПа, температура паросырьевой смеси на входе в реактор 780 °С.

Для проверки адекватности разрабатываемой модели было проведено сравнение полученных с помощью модели результатов состава пирогаза с экспериментальными данными. Расчетные и экспериментальные значения приведены в таблице 2.

В среднем для данной установки длина межрегенерационного цикла составляет 40–41 день. Оценка адекватности модели коксообразования и прогноз длительности цикла был выполнен по следующей методике. В течение года значение давления на выходе из аппарата находилось в диапазоне 0,08–0,1 МПа. Так как при отложении кокса возрастает гидравлическое сопротивление, то данное значение будет снижаться. Соответственно, для поддержания давления в заданном диапазоне необходимо увеличить давление паросырьевой смеси. При выходе значения давления пирогаза за нижнюю границу диапазона давление на входе соответственно повышается. Если давление на входе достигает 0,75 МПа, считается, что межрегенерационный цикл в модели закончен. Значения давлений в течение межрегенерационного цикла представлены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 4. Значения давления в течение межрегенерационного цикла

Количество прошедших дней цикла	Давление на входе в змеевик	Давление на выходе из змеевика
1	0,4	0,01
2	0,402	0,099
3	0,406	0,099
4	0,410	0,099
5	0,413	0,099
6	0,416	0,098
7	0,419	0,098
8	0,422	0,098
9	0,424	0,097
10	0,426	0,097
20	0,454	0,095
30	0,530	0,093
40	0,75	0,09

РИСУНОК 5. Зависимость скорости накопления кокса от температуры сырья

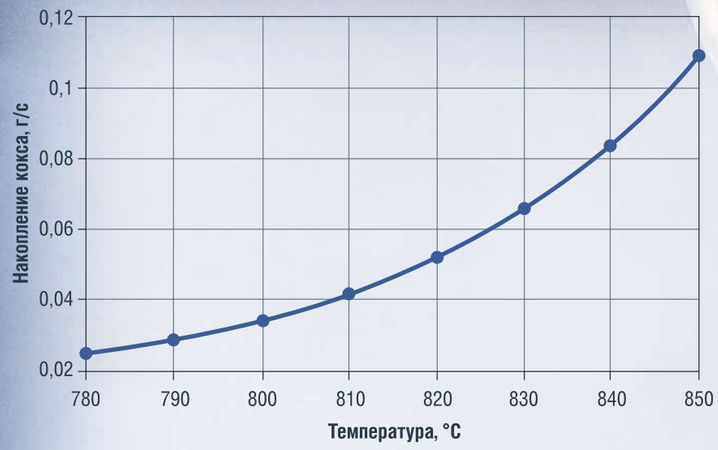


РИСУНОК 6. Зависимость выходов этилена и пропилена от температуры

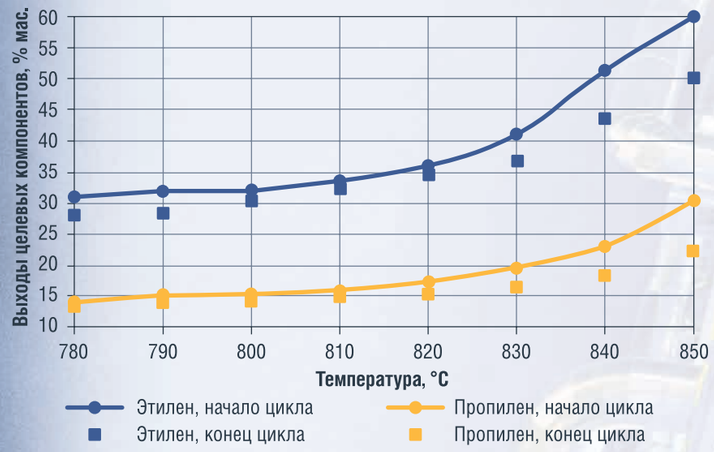
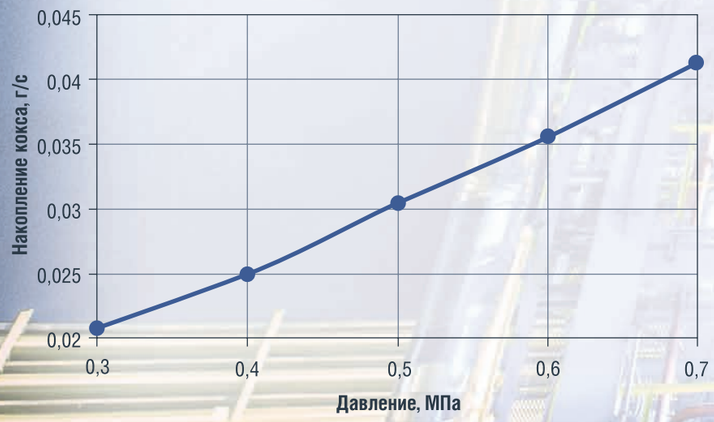


РИСУНОК 7. Зависимость скорости накопления кокса от давления сырья



Таким образом, исходя из того, что ошибки расчетов состава выходящего потока не превышают 10%, а также того, что длительность межрегенерационного цикла в модели совпадает с таковым для реальной установки, можно сказать, что модель в целом адекватно описывает процесс. Уровень достоверности 10% был выбран, поскольку это точность хроматографического анализа.

При работе с моделью была выведена зависимость скорости накопления кокса от температуры паросырьевой смеси на входе в змеевик, график которой представлен на рисунке 5.

Температура варьировалась в диапазоне от 780 до 850 °С, так как данные значения указаны в качестве граничных в техническом регламенте установки. При минимальной температуре скорость накопления кокса также минимальна и составляет примерно 0,025 г кокса в секунду. С ростом температуры скорость накопления значительно возрастает: при повышении температуры на 10 °С данное значение увеличивается примерно в 1,2 раза. Таким образом, при максимальной температуре накопление составляет примерно 0,11 г/с.

На рисунке 6 представлена зависимость выходов этилена и пропилена от температуры процесса.

Выходы олефинов при повышении температуры от 780 д 850 °С увеличиваются почти в два раза. Однако при этом наблюдается также значительное снижение выходов целевых веществ в течение межрегенерационного цикла – возрастает разница между выходами в начале и в конце. При этом в силу роста скорости накопления кокса продолжительность цикла значительно снижается: с 40-41 дня при 780 °С до 4-5 дней при 850 °С.

При 790 °С происходит снижение межрегенерационного цикла до 26 дней, то есть в 1,5 раза, тогда как выходы этилена и пропилена увеличиваются примерно на 2,5%. Более высокие значения температуры показывают худшее соотношение сокращения межрегенерационного цикла к росту выходов олефинов. Таким образом, повышение температуры не является целесообразным при оптимизации работы установки.

РИСУНОК 8. Зависимость выходов этилена и пропилена от давления



РИСУНОК 9. Зависимость скорости накопления кокса от расхода сырья

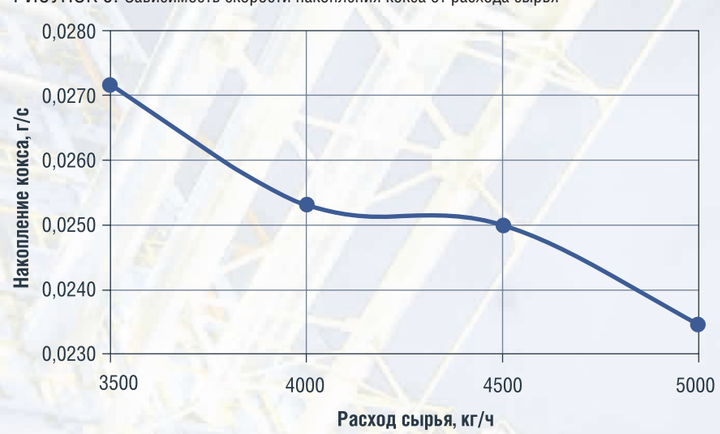
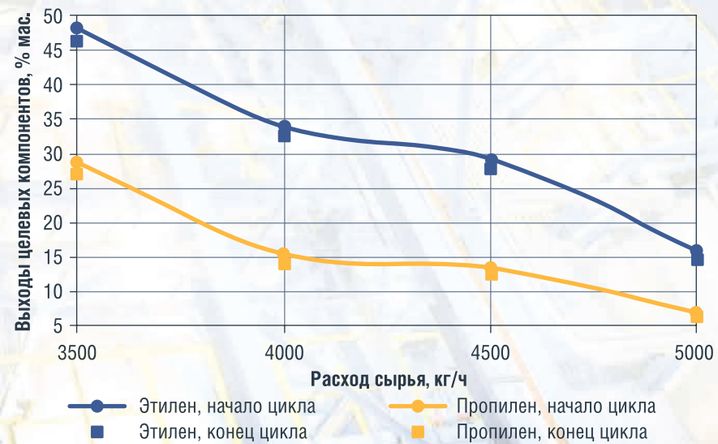


РИСУНОК 10. Зависимость выходов этилена и пропилена от расхода сырья



Следующей была исследована зависимость от давления сырья на входе в печь пиролиза. График зависимости скорости роста кокса от данного параметра представлен на рисунке 7.

Диапазон значений находится в интервале между 0,3 и 0,7 МПа, поскольку он указан в качестве допустимого в технологическом регламенте установки. Данная зависимость имеет линейную характеристику: при повышении давления на 0,1 МПа скорость накопления возрастает на 0,005 г/с. То есть скорость возрастает с примерно 0,02 г/с при 0,3 МПа до 0,041 г/с при 0,7 МПа.

На рисунке 8 представлена зависимость выходов целевых продуктов на начало и конец межрегенерационного цикла от давления.

При повышении давления выходы продуктов в течение межрегенерационного цикла снижаются примерно на 2,5–3% масс. для этилена и 1–2% для пропилена на всем диапазоне, то есть снижение выходов является меньшим, чем при повышении температуры. Рост выхода при повышении давления с 0,4 МПа до 0,7 МПа для этилена составляет примерно 9% масс., для пропилена – примерно 3,8% масс. При этом длительность межрегенерационного цикла снижается с 40 дней до 14 – в 2,86 раз. При снижении давления до 0,3 МПа происходит снижение выходов на 0,76% масс. и 0,2% масс. соответственно, при увеличении межрегенерационного цикла до 48 дней, на 20%.

Таким образом, более оптимальным может быть снижение давления сырья.

Также была исследована зависимость параметров работы установки от расхода сырьевой бензиновой фракции. График зависимости скорости накопления кокса от значения данного параметра представлен на рисунке 9.

Расход варьировался в диапазоне от 3500 до 5000 кг/ч, как предусмотрено регламентом установки.

При увеличении расхода сырья скорость накопления уменьшается с 0,0272 г/с при 3500 кг/ч до 0,0235 г/с при 5000 кг/ч, при этом наблюдается участок между 4000 и 4500 кг/ч, в котором снижения

скорости почти не происходит. Снижение скорости накопления можно объяснить тем, что снижается время контакта и, соответственно, процессы, как целевые, так и побочные, не успевают пройти в полной мере, что подтверждается зависимостью выходов этилена и пропилена на рисунке 10.

С ростом расхода сырья снижаются выходы целевых продуктов, при этом наблюдается также участок незначительного снижения, а в течение межрегенерационного цикла не наблюдается большого снижения выработки целевой продукции: снижение составляет примерно 1–2 % масс. для обоих олефинов.

При повышении расхода до 4500 кг/ч длительность межрегенерационного цикла останется примерно на том же уровне – 39–40 дней, при этом выходы снизятся на 1 % масс. для этилена и 1,5 % масс. для пропилена. Таким образом, в течение цикла будет получено 1252,8 и 583,2 тонны продукции соответственно, что на 3 и 1,6 % соответственно больше, чем при заданных изначально условиях. При повышении расхода до 5000 кг/ч длительность цикл вырастет до 43 дней, тогда как выработка олефинов упадет до 15,85 % масс. и 7,05 % масс. для этилена и пропилена соответственно. То есть, в течение цикла будет получено 760,8 и 336 тонн или же на 37,7 и 41,3 % соответственно по сравнению с начальными условиями.

Снижение расхода до 3500 кг/ч снижает длительность цикла до 32 дней, однако при этом возрастают выходы этилена и пропилена до 48 и 29 % масс. соответственно. То есть при данной длине цикла и расходе будет получено больше на 5,74 и 35 % соответственно.

Таким образом, целесообразно как повышение расхода до 4500 кг/ч, так и его снижение до 3500 кг/ч.

Выводы

На основании приведенных выше зависимостей можно сделать следующие выводы.

Увеличение температуры является нецелесообразным, поскольку при этом снижается эффективность процесса. Несмотря на значительный рост выходов олефинов, примерно в два раза, скорость накопления кокса также возрастает, но непропорционально больше – почти в четыре раза, что сокращает длительность межрегенерационного цикла в 8 раз. Соответственно, в условиях повышенных температур при большей скорости коксообразования вырастет вероятность возникновения прогаров змеевика. Также повышение температуры связано с увеличением расхода топливного газа, а также возможной заменой горелок и футеровки печи.

Повысить эффективность процесса возможно снижением давления сырья. Это позволит увеличить межрегенерационный цикл в 1,2 раза, тогда как снижение выходов целевых олефинов составит менее 1 %.

Также положительно на эффективности работы установки сказывается увеличение расхода до 4500 кг/ч, при котором длительность межрегенерационного цикла остается той же, выходы этилена и пропилена снижаются в относительном выражении, однако за счет большего количества перерабатываемого сырья возрастает выработка целевой продукции в абсолютном выражении. Альтернативной данному решению является снижение расхода до 3500 кг/ч. При этом снизится длительность цикла в 1,25 раза, однако за счет значительного роста выхода олефинов в относительном выражении, особенно пропилена, тоннаж получаемой продукции увеличится.

ФАКТЫ

До **26** дней

снижается межрегенерационный цикл при температуре 790 °C

Работа выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

Литература

1. *Wang, X., Song, Q., Wu, Y., Li, X., Li, T., & Zeng, X. Modelling and numerical simulation of n–heptane pyrolysis coking characteristics in a millimetre–sized tube reactor // Combustion and Flame. – 2019. – V. 201. – P. 44–56.*
2. *K. Zhang, C. Banyon, J. Bugler, H.J. Curran, A. Rodriguez, O. Herbinet, F. Battin–Leclerc, C. B'Chir, K.A. Heufer An updated experimental and kinetic modeling study of n–heptane oxidation // Combust. Flame. – 2016. – V. 172. – P. 116–135.*
3. *Y. Wang, A. Raj, S.H. Chung (2013) A PAH growth mechanism and synergistic effect on PAH formation in counterflow diffusion flames // Combust. Flame. – 2013. – V. 160. – P. 1667–1676.*
4. *Пиролиз углеводородного сырья/Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л., Бабаш С.Е. и др. – М.: Химия, 1987. – 240 с.*
5. *Lu Liqiang, M. Brennan Pecha, Gavin M. Wiggins, Xu Yupeng, Gao Xi, Bryan Hughes, Mehrdad Shahnam, William A. Rogers, Daniel Carpenter, James E. Parks II Multiscale CFD simulation of biomass fast pyrolysis with a machine learning derived intra–particle model and detailed pyrolysis kinetics // Chemical Engineering Journal. – 2022. – V. 431. – P. 10–16.*
6. *Anuar Sharuddin S.D., Abnisa F., Wan Daud W.M.A., Aroua M.K. A review on pyrolysis of plastic wastes // Energy Conversion and Management. – 2016. – V. 115. – P. 308–326.*
7. *Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J. The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: from re–use to energy and chemicals // Progress in Energy and Combustion Science. – 2010. – V. 36. – P. 103–129.*
8. *Arena U. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review // Waste Management. – 2012. – V. 32. – P. 625–639.*
9. *Remiro A., Valle B., Aramburu B., Aguayo A.T., Bilbao J., Gayubo A.G. Steam reforming of the bio–oil aqueous fraction in a fluidized bed reactor with in situ CO2 capture // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 2013. – V. 52. – P. 17087–17098.*
10. *Trimm D.L. Coke formation and minimisation during steam reforming reactions // Catalysis Today. – 1997. – V. 37. – P. 233–238.*
11. *Chen D., Christensen K.O., Ochoa–Fernandez E., Yu Z., Tøtdal B., Latorre N., Monzon A., Holmen A. Synthesis of carbon nanofibers: effects of Ni crystal size during methane decomposition // Journal of Catalysis. – 2005. – V. 229. – P. 82–96.*
12. *Karim A.M., Su Y., Sun J., Yang C., Strohm J.J., King D.L., Wang Y. A comparative study between Co and Rh for steam reforming of ethanol // Applied Catalysis B: Environmental. – 2010. – V. 96. – P. 441–448.*
13. *Fernandez-Baujin J. M., Solomonov S. M. New reactor design offers benefits // Oil and Gas Journal. – 1976. – V. 74. – P. 94–95.*

KEYWORDS: *pyrolysis, mathematical modeling, non-stationary model, gasoline fraction.*

3–6 ОКТЯБРЯ 2023

XII ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ

ГАЗОВЫЙ ФОРУМ

РЕКЛАМА

САМАЯ АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПМГФ В НАШЕМ TELEGRAM-КАНАЛЕ @GASFORUMSPB

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР ЭКСПОФОРУМ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

+7 (812) 240 40 40 (ДОБ. 2273, 2626) GF@EXPOFORUM.RU

18+

GAS-FORUM.RU

ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ
и переработки нефтешламов

УДК 665.6

СЕРЬЕЗНОЙ ПРОБЛЕМОЙ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ И ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТЕШЛАМОВ ЯВЛЯЕТСЯ РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ СОСТАВОМ И СВОЕЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ОБВОДНЕННОСТЬ МНОГИХ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В НАШЕЙ СТРАНЕ И ЗА РУБЕЖОМ ДОВОЛЬНО ЧАСТО ПРЕВЫШАЕТ 80 %. ВОДА И МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ, ИЗВЛЕКАЕМЫЕ СОВМЕСТНО С НЕФТЬЮ, ОТДЕЛЯЮТСЯ НЕ ПОЛНОСТЬЮ, А ОСНОВНАЯ ИХ ЧАСТЬ ПЕРЕХОДИТ В УСТОЙЧИВУЮ ЭМУЛЬСИЮ. ДЛЯ ЕЕ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕОБХОДИМЫ СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ДЕЭМУЛЬГАТОРЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ. В СВОЮ ОЧЕРЕДЬ, РАЗРУШЕНИЕ ВЫСОКОВЯЗКИХ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И НЕФТЕШЛАМОВ С ДЛИТЕЛЬНЫМИ СРОКАМИ ХРАНЕНИЯ ДО ТРЕБУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОЖЕТ БЫТЬ ДОСТИГНУТО ЛИШЬ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩИХ ВНЕДРЕНИЕ КАК ХИМИЧЕСКИХ, ТАК И ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

A SERIOUS PROBLEM IN OIL PRODUCTION AND OIL SLUDGE PROCESSING IS THE SEPARATION OF OIL-WATER EMULSIONS THAT DIFFER IN COMPOSITION AND STABILITY. TODAY, THE WATER CUT OF MANY LARGE FIELDS IN OUR COUNTRY AND ABROAD QUITE OFTEN EXCEEDS 80 %. WATER EXTRACTED TOGETHER WITH MECHANICAL IMPURITIES AND OIL, ARE NOT COMPLETELY SEPARATED, AND THEIR MAIN PART PASSES INTO A STABLE EMULSION. FOR FURTHER PROCESSING, SPECIAL EQUIPMENT AND HIGHLY EFFECTIVE DEMULSIFYING COMPOUNDS ARE REQUIRED TO ENSURE THE PRODUCTION OF HIGH-QUALITY PETROLEUM FEEDSTOCK. THAT IN TURN, THE DESTRUCTION OF HIGH-VISCOSITY WATER-OIL EMULSIONS AND OIL SLUDGE WITH LONG STORAGE LIFE TO THE REQUIRED QUALITY INDICATORS CAN ONLY BE ACHIEVED INCLUDING USE OF COMBINED INNOVATIVE TECHNOLOGIES THAT INVOLVE THE INTRODUCTION OF BOTH CHEMICAL AND PHYSICAL METHODS

Ключевые слова: *нефть, водонефтяная эмульсия, деэмульгатор, стабильность, эффективность, композиционный состав, нефтешламы, переработка, экология.*

Афанасьев Сергей Васильевич
начальник ОСиС ПАО «ТОАЗ», к.х.н., д.т.н., академик РАЕН

Добыча нефти в современных условиях сопровождается интенсивным перемешиванием в скважине водонефтяной смеси, в результате чего происходит ее диспергирование. Это приводит к образованию стойких эмульсий. Основными причинами являются природа самой нефти, используемая технология добычи, сбора и перемешивания нефти с водой.

Продукция, поступающая из нефтяных скважин, содержит пластовые воды, попутный (нефтяной) газ, а также твердые частицы механических примесей. В формируемой дисперсной системе растворены минеральные соли, содержание которых порой достигает предельных значений в 2000–3000 мг/л [1].

Обезвоживание и обессоливание нефти проводится на электрообессоливающих промышленных установках. Этот процесс основан на комбинации химического, электрического, механического и теплового методов обработки нефтяных эмульсий, что позволяет разрушать сольватные оболочки, укрупнять капли пластовой воды для более быстрого объединения глобул [2].

Для удаления содержащихся в нефти хлоридов она промывается чистой водой, а затем отстаивается в резервуарах с предварительной добавкой химического реагента, который подбирается в зависимости от вида водонефтяной эмульсии: «вода в масле», «масло в воде» и «множественная эмульсия». Ее устойчивость зависит от наличия в ней эмульгаторов, большинство из которых – это поверхностно-активные вещества (ПАВ), состоящие из гидрофильных и гидрофобных элементов и обладающие способностью уменьшать межфазное поверхностное натяжение. Кроме того, наряду с ПАВ содержатся в коллоидном состоянии тонкодисперсные нерастворимые порошки, образующие механически прочные оболочки на каплях водонефтяной эмульсии: асфальтены, микрокристаллы парафина и механические примеси различного рода [3].

Сложность разделения нефтяной эмульсии определяется влиянием многочисленных факторов.

Перечислим наиболее важные из них, подлежащие учету:

- вязкость нефти: чем она ниже, тем менее устойчива эмульсия;
- плотности нефтяной и водной фаз: чем больше разница плотностей, тем быстрее протекает расслоение эмульсии;
- поверхностное натяжение между двумя фазами (что связано с типом эмульгирующегося агента): разделению способствует снижение данного показателя;
- концентрация дисперсной воды: небольшое содержание воды в нефти в турбулентном режиме способствует образованию высокоэмульгированной смеси;
- соленость эмульгированной воды: чем она выше, тем быстрее происходит разделение фаз [4].

Для разбавленных систем кинетическая устойчивость может оцениваться как величина, обратная скорости оседания (или всплывания) частиц дисперсной фазы [5]:

$$K_y = 1/W_r = 9\upsilon/[2(\rho_в - \rho_н)r^2 g],$$

где W_r – скорость осаждения дисперсной фазы, м/с; r – радиус дисперсной среды, м; $(\rho_в - \rho_н)$ – разность плотностей дисперсной фазы и дисперсионной среды, кг/м^3; υ – кинематическая вязкость, м^2/с; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

На данный момент для разделения водонефтяной эмульсии чаще всего применяют химические реагенты – деэмульгаторы. К ним относятся искусственно синтезируемые поверхностно-активные вещества, обладающие большей поверхностной активностью, чем известные природные эмульгаторы.

Влияние деэмульгатора в процессах обезвоживания и обессоливания сводится к следующему:

- разрушение бронирующего слоя, окружающего капли пластовой воды, предотвращение его образования вокруг капель вновь подаваемой в нефть промывной воды;
- адсорбция на поверхности раздела фаз нефть – вода.

Расход деэмульгатора, т.е. количество его в граммах, необходимое для эффективного обессоливания и обезвоживания одной тонны нефти (г/тн), является важным технологическим показателем, который также зависит от природы нефти.

При его введении протекают следующие процессы:

- по мере накопления деэмульгатора на поверхности капелек воды между ними возникают силы взаимного притяжения;
- мелкие диспергированные частицы воды образуют большие капли, в которых пленки вокруг глобул сохраняются;
- процесс образования больших капель (хлопьев) из мелкодиспергированных капелек воды в результате воздействия деэмульгатора называется флокуляцией (хлопьеобразованием). В процессе флокуляции поверхностная пленка глобул воды становится достаточно ослабленной, происходит ее разрушение и слияние частиц;
- слияния капелек воды называется коалесценцией. Деэмульгаторы должны обеспечивать ускорение процесса.

В нефти также присутствуют различные примеси (сульфид железа, частицы глины, ил и т.д.), частички которых собираются на границах раздела и способствуют упрочнению пленки, обволакивающей глобулы воды. Зачастую эти компоненты являются основными веществами, формирующими материал пленки, и удаление их вместе с водой также является важной задачей при обезвоживании нефти. Вводимые деэмульгаторы обволакивают частицы механических примесей тонкой пленкой, хорошо смачиваемой водой, и способствуют тем самым их удалению из нефти.

Основные свойства деэмульгаторов, необходимые для разрушения нефтяных эмульсий:

- способность проникать на поверхность раздела фаз нефть – вода;
- вызывать флокуляцию и коалесценцию глобул воды;
- хорошо смачивать поверхность механических примесей.

На практике часто наблюдается, что деэмульгатор, эффективно разрушающий водо-нефтяные эмульсии из одной скважины, неэффективен по отношению к эмульсии другой скважины, несмотря на аналогичные внешние признаки. Это может зависеть от изменения состава пластовой воды, ее содержания в нефти, появления в ней других химических веществ. В качестве примера рассмотрим информацию, опубликованную в журнале Neftegaz.RU в 2009 году.

Для ачикулакской нефти при использовании деэмульгатора марки СНПХ-4410 (расход 0,07–0,28 г/т) после 30 мин отстоя количество выделившейся воды было крайне мало, но через сутки оно резко увеличилось и эффективность деэмульгатора достигла 51,9 % об. Для той же ачикулакской нефти при обработке ее деэмульгатором СНПХ-4204 (расход 0,1–0,4 г/т) показатель возрос до 66,7 % об. При обработке смеси волгоградской и шаимской нефтей деэмульгатором СНПХ-4204 (расход 0,09–0,37 г/т) эффективность варьировала в пределах 3,7–48,2 % об. При использовании Диссольвана – 4411 (расход 0,15–0,4 г/т) она достигла 96,3 %. Деэмульгатор марки СНПХ-4410 (расход 0,03–0,06 г/т) не дал заметного положительного эффекта. Воздействие всех перечис-ленных реагентов на нефтекумскую и дагестанскую нефть (при расходах 0,08–0,35 г/т) также осталось на нулевом уровне.

По результатам промышленных испытаний, проведенных на различных месторождениях России, деэмульгаторы на основе неионогенных ПАВ признаны наиболее эффективными химическими реагентами. Они принадлежат к классу соединений, состоящих из блок-сополимеров окисей этилена и пропилена, которые неспособны диссоциировать на ионы в растворах и находятся в них в молекулярной форме. Установлено, что гидрофильными свойствами в молекуле обладает сополимер оксида этилена (CH_2OCH_2), а гидрофобными – сополимер оксида пропилена.

Соотношение гидрофобной и гидрофильной частей молекулы существенно влияет на сродство деэмульгатора к воде или к нефти, т.е. ее можно увеличить или уменьшить. Кроме того, изменяя число молекул присоединяемого оксида этилена, можно контролировать деэмульгирующую способность неионогенных соединений. При удалении из полимерной цепи оксида этилена увеличивается растворимость неионогенного вещества в воде. Таким образом, поверхностная активность деэмульгатора также определяется соотношением гидрофобной и гидрофильной частей молекулы.

На сегодняшний день как в России, так и за рубежом синтезировано обширное количество неионогенных деэмульгаторов, основными представителями которых являются Дипроксамин-157, Проксамин-385, Проксанол-305, Пентамин-67 и др. Из зарубежных деэмульгаторов широкое распространение получили Диссольван-4411, Сепарол, ТХ-1220, Baker Petrolite RP-6338 [6].

Анализ применения деэмульгаторов показывает, что композиционные составы зачастую во много раз эффективнее, чем отдельно взятые соединения [7]. Критериями эффективности являются:

- обеспечение быстрого разделения водной и нефтяной фаз;
- создание четкой границы раздела фаз;
- обеспечение низкого содержания (менее 0,5%) остаточной воды в нефтяной фазе;
- достижение высокого качества отделяемой водной фазы.

Рассмотрим некоторые современные разработки.

В работе [8] описано комбинированное совместное действие деэмульгатора РЭНТ с моющим веществом Сульфанол (алкилбензолсульфонат натрия) и смачивателем Синтанол АЛМ-10 (смесь этоксилированных спиртов). Отмечено проявление синергетического эффекта, который выражается в содержании остаточной воды и механических примесей (не более 10% об. и 0,05% масс. соответственно).

Для получения высокоэффективных деэмульгаторов комплексного действия используются блок-сополимеры оксида этилена и оксида пропилена (Лапрол 6003-2Б-18, Лапрол 5003-2Б-10 и др.), оксиэтилированные алкилфенолформальдегидные смолы и сшитые деэмульгаторы олигоуретанового типа [9]. Синтез новых реагентов осуществляется модификацией ангидридов карбоновых кислот спиртосодержащими сложными эфирами и азотсодержащими соединениями [8]. Наибольшая степень обезвоживания (94,4%) достигается при их расходе 120 г/т. Разработанные деэмульгаторы могут быть использованы при подготовке нефти на промыслах без изменения существующей технологии, однако не всегда гарантируют требуемую остаточную обводненность (до 0,5%).

> Для получения высокоэффективных деэмульгаторов комплексного действия используются блоксополимеры оксида этилена и оксида пропилена, оксиэтилированные алкилфенолформальдегидные смолы и сшитые деэмульгаторы олигоуретанового типа

По данным [10], обнаружен синергетический эффект в случае применения смеси деэмульгатора марки Алкиокс и ингибитора коррозии Сонкор-9011.

Совместное действие деэмульгатора и ингибитора коррозии также было описано авторами [11], применившими в качестве деэмульгаторов продукты Дин-4, Рекод, Пральт-11, а в роли ингибитора – Сонкор-9011. При их апробации отмечен факт усиления глубины обезвоживания нефти.

Специалистами Колтек также созданы достаточно эффективные реагенты для разрушения водонефтяных эмульсий. Ими оказались оксиалкилированные алкилфенолформальдегидные смолы (ОАФФС), которые выступают в качестве основного компонента активной составляющей композиционных деэмульгаторов.

Оптимальным является состав ОАФФС со средней степенью конденсации m = 4 и степенью оксиалкилирования n = 9. Новые деэмульгаторы, получившие товарные марки «Геркулес 1603С» (ОАФФС + деэмульгатор) и «Геркулес 1017 М» (ОАФФС + диспергатор), успешно апробированы на промышленной ЭЛОУ ОАО «Уфимский НПЗ» и на пилотной ЭЛОУ ОАО «ВНИИ НП» (при обессоливании высокопарафинистой каспийской нефти).

Полученные результаты позволили рекомендовать их к полномасштабному промышленному применению.

В технической и патентной литературе подробно описаны и другие инновационные методы применения деэмульгаторов различного состава для разрушения водонефтяных эмульсий и нефтешламов [12, 13].

Для достижения указанной цели авторами [RU № 2762513] предложен твердофазный деэмульгатор, включающий в себя пепельные структуры нефти и поваренной соли, полученные в результате их перемешивания в равном массовом количестве, термообработки при 1000 °С, и активирующую добавку – наночастицы марганца, в количестве 10% от массы полученной пепельной структуры.

Положительный эффект достигается и при электрогидравлическом воздействии на водонефтяную эмульсию, с помощью системы, которая содержит устройство, включающее герметичный корпус, заполненный жидкостью, с установленными в нем двумя электродами. Способ описан в патенте [RU № 2727600].

Разрушение водонефтяных эмульсий может быть достигнуто и в проточном режиме за счет применения постоянного магнитного поля [14, 15].

Согласно [RU № 2705096] предлагаемый метод базируется на обработке водонефтяных эмульсионных систем постоянным магнитным полем, после чего осуществляют обработку озоном с удельным расходом 10 г/ч. При реализации данного приема происходит обезвоживание нефти до остаточного содержания воды в ней менее 1 мас.% и улучшение качества водной фазы до содержания нефтепродуктов <10 мг/л.

Достаточно интересное техническое решение предложено ОАО «Татнефть» [16] Оно касается переработки осложненной водонефтяной стойкой эмульсии и предусматривает подачу в нее соответствующего растворителя, деэмульгатора, обессоленной воды, нагревание эмульсионной композиции, центрифугирование с целью отделения механических примесей.

В литературе подробно описано и использование ультразвука с целью улучшения степени диспергирования добавляемого деэмульгатора и интенсификации разрушения водонефтяных эмульсий ([RU № 2724745]; [RU № 2768664]; [RU № 2698803]).

Рассматриваемые инновационные способы предусматривают проведение процесса при температуре от 25 °С до 60 °С, ультразвуковое воздействие на композицию в проточном канале с созданием условий для цилиндрического или квазицилиндрического фокусирующего акустического концентратора с требуемой частотой резонанса.

Наряду с рассмотренными водонефтяными эмульсиями на территории многих предприятий в прудах-отстойниках (амбарах) сегодня скопились огромные количества отходов нефтепродуктов, представляющих собой смесь нефти, воды и твердой фазы. Нефтешлам – сложная физико-химическая коллоидная система, которая состоит из различных нефтепродуктов, механических примесей (глины, оксидов железа и других соединений, песка) и воды, причем соотношение составляющих его веществ может варьировать в широких пределах. Особенностью амбарных эмульсий в нефтедобывающей промышленности является наличие значительного количества механических примесей – до 10–13 мас.%, повышенная вязкость дисперсионной среды до 400–800 мм^2/с, высокая агрегативная устойчивость к длительному хранению.

Большинство проектов по утилизации подобных шламов не дают должного эффекта из-за неправильно подобранного оборудования, химических реагентов (деэмульгаторов, флокулянтов) или незнания природы перерабатываемых отходов.

Рассмотрим наиболее интересные технические решения.

Предлагаемая в [RU № 2276658] технология предусматривает подогрев нефтесодержащего отхода до 60–90 °С, подачу его насосом в кавитационное устройство под давлением до 6 кгс/см^2, ультразвуковую обработку нефтешлама в присутствии деэмульгатора и получение на его основе котельного топлива или сырьевого компонента для нефтеперерабатывающего завода. К ее несовершенству можно отнести высокое содержание воды в получаемом котельном топливе, а также продолжительное время пребывания обработанного нефтешлама в отстойниках перед его отправкой на НПЗ.

С целью снижения вязкости нефтяных шламов патентом на изобретение [RU № 2149145] предусмотрено добавление в них нефти в количестве не менее 20%, подогрев композиции с помощью паровых нагревателей с одновременным прямым впрыском в нее части пара и обеспечением гомогенности шлама путем принудительной его циркуляции с последующей подачей в декантер, механическим разделением на фазы различной плотности – нефтяную, водную и твердую с последующим отстоем нефтяной фазы и ее возвратом в сырьевые резервуары нефтеперерабатывающего предприятия. Этот прием оказался недостаточно эффективным для разделения старых нефтешламов.

> Изменение параметров вторичного сырья будет оказывать существенное влияние на эксплуатационные характеристики и эффективность разделения на установке, что может привести к снижению ее производительности или к ухудшению качества отсепарированных продуктов

Отмечено также повышенное содержание в получаемом товарном сырье воды и механических примесей.

Более совершенной является промышленная установка фирмы Flottweg [17]. Она содержит понтон с полупогружным насосом с установленной на нем системой перемешивания, а также парогенератор, две реакционных емкости, шкаф управления и несколько контейнеров для электрооборудования, трикантера, периферийного устройства подготовки и подачи продукта, реагентного хозяйства, а также станцию приготовления раствора флокулянта.

При работающей технологической линии нефтяной шлам из амбара подается в сырьевой резервуар, где проходит подготовку перед подачей на трикантер. Изначально заполняется один резервуар, затем производится перевод на резервный резервуар, а заполненный включается в систему подготовки сырья. Аппараты снабжены перемешивающими устройствами, предусмотрены подача воды, подогрев эмульсии нефтешлама с помощью теплообменника.

Путем регулирования режима работы теплообменников достигается температура в резервуарах в 65 °С. Гомогенизированный нефтешлам поступает с помощью насоса на сепарационную установку для отделения нефти, воды и механических примесей.

Отсепарированную смесь нефтяных фракций под остаточным напором направляют в товарную емкость, расположенную в нижней части рамы трикантера, а затем перекачивают в резервуары готовой продукции. Воду собирают в буферной емкости, расположенной в нижней части сепаратора, и подают на дальнейшую очистку.

Применительно к рассматриваемому способу было отмечено, что изменение параметров вторичного сырья (содержания нефтепродуктов и вязкости шлама) будет оказывать существенное влияние на эксплуатационные характеристики и эффективность разделения на установке. Это может привести к снижению ее производительности или к ухудшению качества отсепарированных продуктов.

Наряду с этим существенные трудности выявлены и при переработке шламов с длительными сроками хранения. Как показала практика, при их центрифугировании

наблюдается повышенный износ внутренней полости трикантера и шнека вследствие попадания на них абразивных механических примесей.

Достаточно перспективным является техническое решение, предложенное в патенте на изобретение [RU № 2513196]. При его реализации нефтешлам со шламонакопителя подают насосом под давлением до 1 МПа и расходом до 10 м³/ч в трубчатую печь, нагревают его до 110–120 °С и далее направляют в устройство, заполненное коалесцирующим материалом в виде гранитного щебня с объемно-насыпным весом 1,36–1,40 т/м³ и размером частиц от 5 до 50 мм. Поток нефтешлама подвергают обработке паром по центру и периметру и водой на выходе из устройства, после чего он поступает в горизонтальный отстойник для разделения нефтяной и водной фаз.

Однако при использовании данного метода возможна забивка гранул коалесцирующего материала механическими примесями и заиленным грунтом. По указанной причине возникает необходимость периодической промывки аппарата с прекращением подачи нефтешлама и опорожнением его содержимого.

Этого удается избежать при использовании усовершенствованной установки, включающей устройство для забора нефтешлама из амбара, снабженное самоочищающимся фильтром, теплообменником и высокопроизводительным насосом, двух параллельно работающих аппаратов объемом свыше 30 м³ с перемешивающими устройствами, мерниками подачи воды и деэмульгатора, установленных на тензодатчиках, а также гидродинамический ускоритель диспергирования нефтяного шлама и коалесцирующий сепаратор для выделения из шлама нефтяной фракции, твердых механических включений и воды, отстойник и аппарат обезвоживания нефтепродукта до требований нефтеперерабатывающих предприятий.

Подобная компоновка технологической линии обусловлена неоднородностью слоев нефтяного шлама в амбарах по составу нефтепродуктов и содержанию механических примесей. Присутствующие в нем коллоидные образования стабилизированы природными поверхностно-активными веществами, и для разрушения созданного ими энергетического барьера и объединения частиц одной фазы необходимы интенсивное механическое воздействие, подогрев шлама, добавка воды для обращения фаз и ввод специально подобранного деэмульгатора.

Все это учтено авторами [18, 19]. Для утилизации образующегося отхода – водо-иловой суспензии – в нее вносят инокулят (микробное сообщество), питательной средой которого в аэробных условиях выступают остаточные углеводороды. Выбранные для этой цели микроорганизмы способны разлагать и другие вредные соединения, присутствующие в отходах производства. Широкое применение получили некоторые препараты, например гумиком.

С целью восстановления нарушенных земель, стимуляции процессов биодеструкции углеводородов нефти, повышения урожайности сельскохозяйственных и луговых культур хорошо зарекомендовали себя технологии ремедиации с использованием гуминовых соединений, выделяемых из различного природного сырья (торфа, бурых и окисленных каменных углей, биокомпоста, почв и др.). Эти вещества различного происхождения объединяют наличие ароматического ядра, карбоксильных (-COOH), карбонильных (-COH), метоксильных (-OCH_3) групп, гидроксильных групп (-OH) спиртового и фенольного характера, а также амидогрупп (-$CONH_2$). Благодаря наличию ионообменных групп гуминовые препараты способны эффективно сорбировать углеводороды нефти и нефтепродукты, увеличивать активность почвенной микрофлоры, ускорять процессы деструкции углеводородов и их гумификации, т.е. преобразования в почвенный гумус. Водная фаза может быть закачана в скважину, либо использована для размыва придонного слоя нефтешлама.

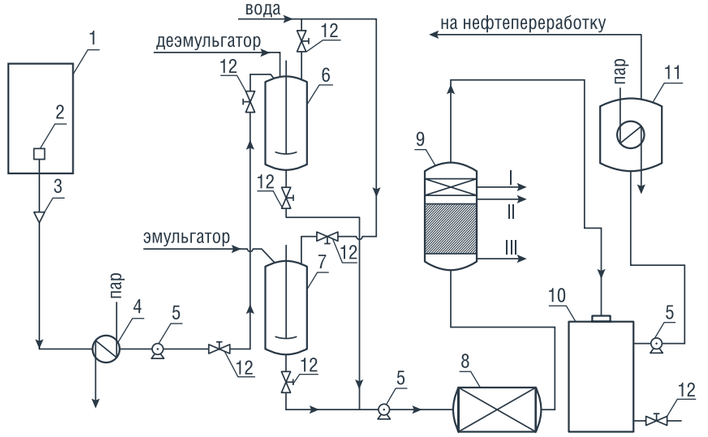
Рассматриваемый способ переработки нефтяного шлама включает его забор из амбара с помощью насоса повышенной производительности через самоочищающийся фильтр, подогрев в теплообменнике трубчатого или иного типа до 40–60 °С и подачу в аппарат с обогреваемой рубашкой и мешалкой, снабженном мерниками подачи воды и деэмульгатора, установленных на тензодатчиках, с получением термодинамически нестабильной водонефтяной системы, причем в качестве деэмульгатора используют водную суспензию гипса концентрации 10 мас.%, а массовое соотношение нефтешлам: вода: деэмульгатор перед подачей эмульсии в гидродинамический ускоритель тонкого диспергирования составляет (8÷16) : (0,1÷10) : (>0÷0,10), с последующим разделением водонефтяной эмульсии на нефтяную, водную, водоиловую фракции и механические примеси на коалесцирующем сепараторе с гранитным щебнем размером 10–50 мм, отстоем полученного товарного нефтепродукта и удалением из него избыточной воды с использованием установки обессоливания нефти (УОН).

Соблюдение данных условий гарантирует эффективное разрушение нефтесодержащего шлама и получение продукта, отвечающего требованиям нефтеперерабатывающих заводов.

Принцип предлагаемого технического решения поясняется следующим примером и приведенной технологической схемой (см. рис. 1).

Нефтяной шлам из амбара *1*, с помощью заборного устройства *2*, снабженного самоочищающимся фильтром *3*, подают насосом *5-1* производительностью 15 м³/час через теплообменник *4* в один из параллельно установленных обогреваемых аппаратов *6, 7* объемом 30 м³ с работающей мешалкой, и в него из мерников (на схеме не показаны) заливают воду и кальцийсодержащий деэмульгатор – водная суспензия гипса концентрации 10 мас.% до достижения оптимального массового соотношения нефтешлам : вода : деэмульгатор, равного 14 : 3 : 0,05 и близкого к составу обращаемых фаз (нефть–вода ↔ вода–нефть). Оно устанавливается предварительно для каждого амбара и должно учитываться по мере переработки нефтесодержащих слоев. Температуру смеси в аппарате поднимают до 60–70°С подачей пара давлением 3–4 атм. в рубашку и его содержимое перемешивают в течение часа. По истечении данного времени водонефтяную суспензию с помощью насоса *5-2* перекачивают в гидродинамический ускоритель диспергирования нефтяного

РИСУНОК 1. Технологическая схема переработки нефтешламов



шлама *8* и далее в сепаратор со слоем коалесцирующего материала *9* для выделения из шлама нефтяной и водоиловой фракций, твердых механических включений и воды. Полученную нефтепродуктовую фракцию направляют в отстойник *10* объемом не менее 500 м³ и далее на отгрузку, а при ее несоответствии требованиям нефтеперерабатывающих предприятий по содержанию влаги – на УОН 11 с помощью насоса *5-3*. Установка содержит встроенный теплообменник, обогреваемый паром с давлением до 1 МПа. Вода с нижней зоны отстойника объединяется с водной фракцией с коалесцирующего сепаратора *9* и используется для размыва донного слоя нефтешлама в амбаре или закачивается в скважину для поддержания на высоком уровне внутрипластового давления. Одновременно с работой рассмотренной технологической линии происходит подготовка водонефтяной композиции во втором параллельном аппарате (*6* или *7*). Переключение потоков и регулирование перекачиваемых объемов осуществляется задвижками *12-1÷12-7*.

В случае соблюдения всех требований остаточное содержание воды в нефтепродукте не превысит 1,0 мас.%, а солей 3 мг/л, и он пригоден в качестве полноценного сырьевого компонента для нефтеперерабатывающего завода.

Весьма перспективным является и способ переработки нефтешлама, включающий его забор из амбара через самоочищающийся фильтр с помощью высокопроизводительного насоса, подогрев в теплообменнике трубчатого или иного типа до 40–60 °С и подачу в аппарат с обогреваемой рубашкой и мешалкой, снабженный мерниками воды, и деэмульгатора, с получением термодинамически нестабильной водонефтяной системы, причем в качестве деэмульгатора используют водную суспензию сульфата кальция или гипс, или другие кальцийсодержащие соли или смеси, а массовое соотношение нефтешлам – вода – деэмульгатор перед подачей в гидродинамический ускоритель тонкого диспергирования составляет (17÷25) : (0,1÷12) : (>0,1÷0,10), с последующим разделением коллоидной водо-нефтяной эмульсии на нефтяную и водо-иловую фракции на установке электрообессоливания и обезвоживания с отстоем полученного нефтепродукта и утилизацией водо-иловой суспензии [20].

На основании изложенного можно прийти к важному выводу, что эффективное разрушение водонефтяных эмульсий различных месторождений, а также нефтешламовых накоплений может быть достигнуто предварительной оценкой кинетической устойчивости систем, с последующим применением высокоэффективных деэмульгаторов в комбинации с магнитными, электрическими и ультразвуковыми физическими методами. ●

Литература

1. *Бадикова А.Д., Изилянова Д.Л., Мухамадеев Р.У. Особенности разделения водонефтяных эмульсий с использованием химических реагентов // Universum: технические науки. 2019. № 12 (69). Химическая технология.*
2. *Жолобова Г.Н., Хисаева Е.М., Сулейманов В.Ф. Совершенствование процессов подготовки нефти // Нефтегазовое дело. 2010. № 1. С. 16–18.*
3. *Афанасьев С.В. Инновации и «зеленые» технологии в газохимии и нефтедобыче. Монография под ред. д.т.н. С.В. Афанасьева. – Самара: – Изд. СНЦ РАН. 2022. – 198 с.*
4. *Хуторянский Ф.М. Разработка и внедрение эффективных технологий подготовки нефти к переработке на электрообессоливающих установках (ЭЛОУ). Химико-технологическая защита от коррозии конденсационно-холодильного оборудования АТ (АВТ) НПЗ – Уфа: изд-во ГУП ИНХП РБ, 2013. – 672 с.*
5. *Леонтьева А.И., Балабаева Н.Н., Брянкин К.В. и др. Формирование структуры во-донефтяных эмульсий// Вестник ТГТУ. 2017. Т. 23. – № 4. – С. 635–640.*
6. *Хамидуллина Ф.Ф., Хамидуллин Р.Ф., Мингазов Р.Х. Разработка композиционного деэмульгатора для процесса подготовки продукции нефтяных скважин на поздней стадии эксплуатации месторождений // Вестник технологического университета. 2014. № 7. С. 258–262.*
7. *Смирнов Ю.С., Мелошенко Н.Т. Химическое деэмульгирование нефти как основа ее промысловой подготовки // Нефтяное хозяйство. 1989. № 8. С. 46–50.*
8. *Патент RU №2491323. Деэмульгатор для разрушения водонефтяных эмульсий / Т.А. Федущак, В.А. Кувшинов, А.С. Акимов. Опубл. 2013. Бюл. № 24.*
9. *Малзрыкова Е.В. Разработка и внедрение высокоэффективного деэмульгатора на основе оксиэтилированных алкилфенолформальдегидных смол: дисс. канд. техн. наук. – М., 2013. – 155 с.*
10. *Семихина Л.П., Москвина Е.Н., Кольчевская И.В. Явление синергизма в смесях поверхностно-активных веществ // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. № 5. – С. 85–91.*
11. *Федотов А.С., Федотова Н.Ф. Влияние деэмульгаторов на обезвоживание водо-нефтяных эмульсий Южно-Субботинского и Коммунаровского месторождений // Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 2. С. 154–157.*
12. *Хамидуллин Р.Ф., Хамидуллин Ф.Ф., Баязитова Г.Г. Исследование разрушения стойких высоковязких эмульсий // Нефтяная и газовая промышленность. 1990. № 3. С. 35–36.*
13. *Доссо Уэй, Хуторянский Ф.М., Ахмади Соруш, Ергина Е.В., Анжаев С.С. Эффективный композиционный деэмульгатор для разрушения водонефтяных эмульсий с аномально высоким содержанием мехпримесей // Нефтепереработка и нефтехимия. 2015. № 9. С. 3–7.*
14. *Ермеев А.М., Елпидинский А.А. О применении магнитного поля в процессах разрушения водонефтяных эмульсий // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 2. С. 170–173.*
15. *Гимазова Г.К., Вахитова А.К., Ермеев А.М., Елпидинский А.А. Изучение влияния магнитного поля на обезвоживание нефтяных эмульсий // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 8. С.107–109.*
16. *Патент RU № 2724726. Способ подготовки осложненной нефтяной эмульсии и установка для ее осуществления / А.В. Лебедев, Р.Р. Сафин. Опубл. 2020. Бюл. № 18.*
17. *Лаптев А.В. Наследие черного золота из прошлого // Нефть. Газ. Новации. Научно-технический журнал. 2018. № 8. С. 60–63.*
18. *Патент RU № 2739031. Способ переработки нефтешлама / С.В. Афанасьев, Д.А. Волков, Д.А. Мельникова. Опубл. 2021. Бюл. № 36.*
19. *Афанасьев С.В., Паис М.А., Носарев Н.С. Нефтешламы как вторичное сырье // Neftegaz.RU. Деловой журнал. 2020. № 3, 5 (99,5). С. 86–92.*
20. *Патент RU № 2739139. Способ переработки нефтешлама / С.В. Афанасьев, Д.А. Волков, Д.А. Мельникова. Опубл. 2021. Бюл. № 36.*

KEYWORDS: *oil, oil-water emulsion, demulsifier, stability, efficiency, composition, oil sludge, processing, ecology.*

Neftegaz.RU
номер 5/2023 г.

УДК 399.9

НЕФТЕХИМИЯ ИРАНА

под прессингом западных санкций

Гавриленко Валентина Александровна
ОАО «НИИТЭХИМ», к.х.н.

БЕСПРЕЦЕДЕНТНЫЕ САНКЦИИ ЗАПАДА В ПЕРВУЮ ОЧЕРЕДЬ УДАРИЛИ ПО ГАЗОНЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЙ ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ОТРАСЛЕЙ-ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ. КАК В ЭТИХ УСЛОВИЯХ СОХРАНИТЬ ПОСТУПАТЕЛЬНЫЙ ТРЕНД, КОТОРЫЙ В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ ДЕМОНСТРИРОВАЛА ОТРАСЛЬ? ПО-ВИДИМОМУ, СЛЕДУЕТ ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ НА ИРАН, КОТОРЫЙ, НЕСМОТРЯ НА ЖЕСТКИЕ САНКЦИИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ УЖЕ БОЛЕЕ 40 ЛЕТ, УСПЕШНО РАЗВИВАЕТ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ВЗЯВ КУРС НА ПЕРЕРАБОТКУ ИМЕЮЩЕГОСЯ В СТРАНЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В ПРОДУКЦИЮ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ. В ДАННОЙ СТАТЬЕ РАССМОТРЕНА НЕФТЕХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ИРАНА, КОТОРАЯ ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ОДНОГО ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ИГРОКОВ БЛИЖНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА В ОБЛАСТИ НЕФТЕХИМИИ И МОЖЕТ ПРЕДЛОЖИТЬ РОССИЙСКОМУ БИЗНЕСУ ЭФФЕКТИВНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

WESTERN COUNTRIES HAVE IMPOSED RESTRICTIVE SANCTIONS ON AN UNPRECEDENTED SCALE AGAINST THE RUSSIAN ECONOMY, INCLUDING THE GAS AND PETROCHEMICAL INDUSTRY, WHICH LARGELY DETERMINES THE INNOVATIVE DEVELOPMENT OF CONSUMER SECTORS OF CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PRODUCTS. HOW, UNDER THESE CONDITIONS, TO MAINTAIN THE PROGRESSIVE TREND THAT THE INDUSTRY HAS SHOWN IN RECENT YEARS? APPARENTLY, ATTENTION SHOULD BE PAID TO IRAN, WHICH, DESPITE THE TOUGH SANCTIONS ONGOING FOR MORE THAN 40 YEARS, IS SUCCESSFULLY DEVELOPING PETROCHEMICAL PRODUCTION, MOVING TOWARDS THE PROCESSING OF HYDROCARBON RAW MATERIALS AVAILABLE IN THE COUNTRY INTO HIGH VALUE-ADDED PRODUCTS. THIS ARTICLE DISCUSSES THE PETROCHEMICAL INDUSTRY OF IRAN, WHICH IS TURNING INTO ONE OF THE KEY PLAYERS IN THE MIDDLE EAST REGION IN THE FIELD OF PETROCHEMISTRY AND CAN OFFER EFFECTIVE COOPERATION TO RUSSIAN BUSINESS

Ключевые слова: *нефтегазохимия, санкции, Иран, перерабатывающая промышленность, углеводородное сырье.*

Иран занимает четвертое место в мире по запасам нефти и второе по запасам природного газа, то есть страна имеет огромный сырьевой ресурс для развития нефтехимической промышленности.

Другой важной особенностью нефтехимической отрасли Ирана является превосходное географическое положение и хороший доступ к азиатским и европейским рынкам, а также к свободным морям, что способствует более простому и дешевому экспорту.

Следует отметить еще один бонус нефтехимии Ирана: это собственное производство необходимого оборудования для нефтехимической отрасли. Важным фактором, также способствующим развитию нефтехимии, является наличие молодых образованных кадров и инновационных компаний.

Процесс становления нефтехимической промышленности Ирана можно разбить на шесть этапов:

1 этап – генезис (зарождение, 1964 г.).

2 этап – становление отрасли (1964–1979 гг.). В этот период были построены заводы в городах Шираз (карбамид 500 тыс. т, аммиак, азотная кислота, кальцинированная сода 140 тыс. т), Чардж (метанол 660 тыс. т) и Абадан (ПВХ 110 тыс. т, сода).

3 этап – рецессия (1979–1989 гг.). Иранская экономика находилась в рецессии вследствие введения жестких ограничительных санкций, но разрабатывались меры противостояния объявленным вызовам, которые позволили нефтехимической промышленности перейти к стратегии развития.

4 этап – оживление и реконструкция (1989–2000 гг.). В результате перехода к стратегии развития в 90-е в Араке было построено производство этилена (мощностью 306 тыс. т), пропилена (128 тыс. т), полиэтилена (145 тыс. т), а также заводы, производящие бутадиен, каучук, окись этилена, этаноламины, этоксилалы, МЭГ, винилацетат. Лицензиарами проектов выступили TPL, IFP, Nippon, Hohst, Balestra. В непосредственной близости от производственных площадок начала формироваться *зона мало- и среднетоннажной химии. Так, в Исфахане стали производить фталевый ангидрид (40 тыс. т), ЛАБ (140 тыс. т), бензол, ксилол; в Корасане – карбамид (500 тыс. т), аммиак, меламин; в Керманшахе – карбамид (660 тыс. т), аммиак; в Бизоту – ЛАБ, АБСК.*

5 этап – рост, стабилизация и развитие (2000–2008 гг.). Началось строительство новых крупных государственных и частных заводов уже не только в районах портовых зон, но и в небольших городках центральной части Ирана.

ФАКТЫ

81
компания
работает на рынке нефтехимической промышленности Ирана

За последние годы появилось множество небольших частных химических заводов

6 этап – приватизация, преобразование и регулирование (2009 г. – настоящее время). В стране заработал механизм приватизации нефтехимии и ее децентрализации.

В настоящее время нефтехимией в Иране занимается 81 компания, 30 предприятий из этого числа принадлежат государству. Особые позиции занимает государственная компания National Petrochemical Company (NPC), являющаяся дочерней компанией Министерства нефти Ирана. NPC отвечает за стратегию развития и функционирование нефтехимического сектора

страны. Основанная в 1964 году, NPC начала свою деятельность с эксплуатации небольшого завода по производству удобрений в Ширазе. Сегодня NPC является вторым по величине производителем и экспортером продукции нефтехимии на Ближнем Востоке. За годы деятельности компания не только расширила ассортимент и объем своей продукции, но и развила научно-конструкторскую деятельность, что в немалой степени способствует повышению конкурентоспособности производимой продукции и укреплению позиций отрасли на внешних рынках.

После ухода из Ирана европейских компаний многие строящиеся и весьма перспективные нефтехимические производства были заморожены. Тем не менее за последние годы появилось множество небольших частных химических заводов в старых центрах развития химии – гг. Исфаган, Абадан, Тебриз, Арак, Караж, Тегеран – по производству среднетоннажной и малотоннажной химии, в том числе ПАВов, химреагентов, растворителей, парафинов и т.д. Численность персонала на таких производствах – 30–300 человек, очень редко более 700. Всего построено более 150 заводов и небольших производств, причем в основном использованы устаревшие европейские и китайские технологии.

В настоящее время производственные мощности нефтехимии Ирана составляют 92–95 млн тонн. По оценке иранских экспертов, страна имеет 25% производственных мощностей нефтехимической промышленности ближневосточного региона и 2,5% мировых мощностей по производству основных нефтехимических продуктов.

ФАКТЫ

Более **150** заводов и небольших производств построено в стране, в основном с использованием устаревших европейских и китайских технологий

92–95 млн т составляют производственные мощности нефтехимии Ирана

Сырьевой ресурс, а также собственное оборудование позволяют иранскому бизнесу поддерживать достаточно высокий уровень конкурентоспособности: по оценкам, цена химической продукции в Иране примерно на 50–70% ниже, чем цена аналогичных продуктов на международных рынках, что делает нефтехимию прибыльной для экспорта. При высокой ценовой конкурентоспособности иранская нефтехимическая продукция даже в условиях санкций законно и незаконно попадает на мировой рынок. Согласно оценке иранских экспертов, валютная выручка от экспорта нефтехимической продукции вышла на уровень $12,5 млрд, то есть нефтехимический экспорт стал вторым источником валютного дохода Ирана после сырой нефти и составляет почти 1/3 ненефтяного экспорта страны.

Министр нефтяной промышленности Ирана Джавид Оджи заявил, что запланированы и будут реализованы более 100 нефтехимических проектов с общим объемом инвестиций около $70 млрд, причем 10 из них уже запущены. Отмечено также, что к 2025 году страна будет полностью самодостаточной в производстве катализаторов, используемых в нефтехимической промышленности.

Из последних проектов особое внимание заслуживает проект по производству метанола мощностью 1,65 млн тонн, реализованный в 2021 году в г. Apadana. Лицензиар – швейцарская частная компания Casale, предлагающая комплекс услуг по производству аммиака, карбамида, меламина и метанола. Стоимость проекта – 511 млн долл.

Министерство нефти Ирана изменило стратегию развития страны: дистанцировалось от продажи сырой нефти и взяло курс на производство продуктов с большей добавленной стоимостью

На 70 нефтехимических заводах Ирана производится 550 видов полимерной и химической продукции, однако отсутствие доступа к иностранным ноу-хау привело к тому, что иранская нефтехимическая промышленность пока отстает от своего основного регионального конкурента – Саудовской Аравии. Основная причина отставания – санкции, которые вводятся по политическим причинам и препятствуют притоку передовых технологий.

Власти Ирана предпринимают меры, направленные на развитие нефтехимической промышленности как наиболее перспективной и прибыльной отрасли: выделяются земли, организовываются сервисные подразделения, предоставляющие воду, электричество и пар, готовятся соответствующие кадры, в том числе технологи и научный персонал. В отрасли функционирует Нефтехимическая научно-техническая компания и Научно-исследовательский институт нефтяной промышленности.

Но особенно следует отметить тот факт, что, столкнувшись с ограничениями, вызванными санкциями США, Министерство нефти Ирана изменило стратегию развития страны: дистанцировалось от продажи сырой нефти и взяло курс на производство продуктов с большей добавленной стоимостью.

РИСУНОК 1. Влияние добавок на время схватывания цементного раствора [2]



Группа 29 – органические химические продукты
Группа 31 – удобрения Группа 39 – Пластмассы

РИСУНОК 2. Географическая структура экспорта нефтехимической продукции Ирана в 2021 г., %



Как известно, метанол является сырьевым ресурсом множества производств химической продукции, поэтому ввод в эксплуатацию столь мощного объекта укрепил конкурентоспособность иранской нефтехимии и значительно расширил горизонты иранского бизнеса.

На экспорт поставляются в основном пластмассы и продукты органической химии – полиэтилен, полипропилен, ПВХ, ПЭТ, поликарбонат, метанол, стирол, этилен, пропилен, кальцинированная сода, меламин и др. Поставляются также азотные удобрения (карбамид), ПАВ, моющие, чистящие средства и др.

На рисунке 1 приведена динамика иранского экспорта важнейших товарных групп химической и нефтехимической продукции. Из приведенного следует, что экспорт нефтехимической промышленности Ирана в целом имеет повышательный тренд, несмотря на то что санкциям подвергаются даже компании-контрагенты. Яркий пример – когда Государственный департамент США ввел санкции в отношении китайской компании Shandong Qiwangda Petrochemical Co. Ltd., гонконгской Triliance Petrochemical и гонконгской компании Jiaxiang Industry Hong Kong Limited за умышленное участие в крупной сделке по покупке, приобретению, продаже или транспортировке нефтехимических продуктов из Ирана.

В жестких условиях санкций для привлечения покупателей иранский бизнес часто предлагает цены, покрывающие, наряду с дополнительными сборами за банковские транзакции, расходы на доставку и страхование. Эти дополнения поднимают стоимость иранской продукции примерно на 25 %, но из-за низкой себестоимости ценовая конкурентоспособность сохраняется, и экспансия иранского экспорта расширяется.

И все же Иран по-прежнему импортирует целый ряд важного химического сырья: фенол, ацетон, ацетонитрил, полиамид, акрилаты, ММА. Импорт поступает из республики Корея, Румынии, Китая, Индии, ОАЭ, ЮАР и в очень малых объемах – из России.

Основываясь на целях, изложенных в Документе о развитии страны до 2025 года, правительство Ирана стремится сделать свою нефтехимическую промышленность самой передовой в регионе, обогнать даже саудовскую корпорацию SABIC. Согласно планам, к 1404 году (по персидскому календарю, начнется в марте 2025 г.) производственные мощности нефтехимической промышленности вырастут до 130 миллионов тонн, что приведет к повышению дохода страны от нефтехимического бизнеса внутри страны и на мировом рынке до 37 миллиардов долларов, а к 2027 году доходы возрастут до 53 млрд долларов.

ФАКТЫ

На **70** нефтехимических заводах Ирана производится 550 видов полимерной и химической продукции

На **50–70** % цена химической продукции в Иране ниже, чем цена аналогичных продуктов на международных рынках

Широкомасштабные планы Ирана по развитию нефтехимии требуют соответствующих инвестиций. По словам генерального директора NPC Мохаммади к 2027 году общий объем инвестиций в программу развития отрасли достигнет $85 млрд.

Таким образом, благодаря высокомаржинальным химическим производствам Иран даже в условиях жестких санкций строит весьма амбициозные планы развития данной отрасли. Подобная политика поступательна и может стать примером для российского бизнеса, тем более что некоторые продукты, ввозимые в Иран по импорту, производятся с профицитом в России и существует возможность освоить новую и пока еще свободную рыночную нишу. Кроме того, может быть перспективным создание совместных российско-иранских предприятий по производству малотоннажной продукции – катализаторов, химреагентов для нефтедобычи, кремнийорганики, инженерных компаундов и т.п. В Иране для производства малотоннажной нефтехимической продукции имеется сырье, оборудование и опыт, который в сложившейся геополитической обстановке может быть полезным для российских предпринимателей.

Время санкций – это время выстраивания новых экономических цепочек!

KEYWORDS: *petrochemistry, sanctions, Iran, processing industry, hydrocarbon raw materials.*



ГИДРОПЕРОКСИДНЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА ФЕНОЛА И ЕГО АЛКИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

совместно с кетонами алифатического и алициклического ряда

Курганова Екатерина Анатольевна
профессор кафедры «Общая и физическая химия», ЯГТУ, д.х.н.

Кабанова Виктория Сергеевна
кафедра «Общая и физическая химия», ЯГТУ, аспирант

Фролов Александр Сергеевич
доцент кафедры «Общая и физическая химия», ЯГТУ, к.х.н.

Кошель Георгий Николаевич
профессор кафедры «Общая и физическая химия», ЯГТУ, д.х.н.

Смурова Алина Александровна
ЯГТУ, магистрант

Баёв Егор Игоревич
ЯГТУ, студент

АВТОРЫ СТАТЬИ РАССМАТРИВАЮТ ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕНОЛА И ЕГО АЛКИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ, А ТАКЖЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ. УДЕЛЕНО ВНИМАНИЕ ПЕРСПЕКТИВАМ РАЗВИТИЯ ГИДРОПЕРОКСИДНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЭТИХ СОЕДИНЕНИЙ

THE AUTHORS OF THE ARTICLE CONSIDER THE MAIN DIRECTIONS OF THE PRACTICAL USE OF PHENOL AND ITS ALKYL COMPOUNDS, AS WELL AS INDUSTRIAL METHODS FOR THEIR PRODUCTION. THE ARTICLE FOCUSES PARTICULAR ATTENTION TO THE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE HYDROPEROXIDE METHOD FOR THE PREPARATION OF THESE COMPOUNDS

Ключевые слова: *фенол, алкилфенолы, крезолы, ксиленолы, мезитол, п-трет-бутилкумол, ацетон, циклогексанон, метилэтилкетон, аэробное жидкофазное окисление, гидропероксиды ароматических углеводородов, кислотное разложение.*

УДК 547.56

Фенол – крупнотоннажный продукт органического и нефтехимического синтеза. Ежегодно предприятия химической промышленности производят свыше 15 млн т данного соединения. По производству фенола лидирующие позиции занимают Китай, Тайвань, Южная Корея: объемы производимого азиатскими странами фенола составляют около 45% от мировых мощностей.

Несколько уступают позиции по производству фенола страны Северной Америки (22% от производимого во всем мире фенола). Центральная Европа во главе с Россией занимает лишь пятое место. В нашей стране выпуском фенола занимаются такие предприятия нефтехимической отрасли, как ПАО «Казаньоргсинтез» (г. Казань, респ. Татарстан), ПАО «Уфаоргсинтез» (г. Уфа, респ. Башкортостан) и АО «Новокуйбышевская нефтяная компания» (г. Новокуйбышевск, Самарская обл.) [1].

На сегодняшний день фенол принадлежит к числу наиболее распространенных продуктов нефтехимической промышленности. Он применяется во многих отраслях народного хозяйства, но основной

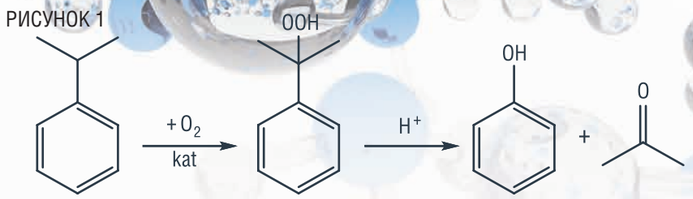
его потребитель – нефтехимическая и химическая промышленность, которые потребляют 70% вырабатываемого фенола. Фенол используется в производстве пластмасс и синтетических волокон (нейлона и капрона), в нефтеперерабатывающей промышленности, вследствие своей высокой селективности и эффективности применяется в процессах удаления смолистых веществ и различных полициклических ароматических углеводородов с короткими боковыми цепями, для очистки масел на различных технологических установках [2, 3].

Сфера применения фенола охватывает области производства поверхностно-активных веществ, ядохимикатов и других физиологически активных веществ, стабилизаторов для различных органических материалов. Большое промышленное значение имеет реакция конденсации фенолов с формальдегидом и фурфуролом, приводящая к образованию смол и лаков. Фенолформальдегидные смолы, в свою очередь, являются сырьем для изготовления пресс-порошков с широким диапазоном прочностных показателей, разнообразных слоистых пластиков и клеевых смол. Кроме того, они нашли широкое применение в качестве связующего при производстве древесных плит и фанеры, а также волоконных теплоизоляционных материалов и огнеупоров [4–5].

Фенол применяют и в медицине при производстве вакцин, сывороток и свечей в качестве антиоксиданта и консерванта; в косметологии используется при проведении процедуры глубокого химического пилинга. Известно, что 1,4%-ный раствор фенола обладает антисептическими свойствами: он входит в состав таких препаратов, как «Орасепт» и «Фукорцин», используется при дезинфекции помещений и белья. Проявление фенолом болеутоляющих свойств позволяет применять его при производстве аспирина, а также противотуберкулезных лекарственных препаратов [6].

Впервые фенол был получен выделением из каменноугольной смолы – природного источника фенола и его производных, в 1834 году немецким химиком-аналитиком Ф. Рунге. В течение

РИСУНОК 1



длительного времени фенол получали именно этим способом, однако вследствие низкого выхода продукта метод потерял свое значение, и на смену ему пришли синтетические способы производства из ароматического сырья [7].

В настоящее время фенол получают по так называемой «Кумольной» технологии, открытой советскими химиками Б.Д. Кружаловым, П.Г. Сергеевым и Р.Ю. Удрисом в 40-х годах XX века и базирующейся на гидропероксидном окислении кумола до третичного гидропероксида [5, 8]. Кумол (изопропилбензол), получаемый взаимодействием бензола с пропиленом – продуктом крекинга нефти, окисляют кислородом воздуха до соответствующего гидропероксида, разложение которого в присутствии серной кислоты ведет к образованию целевых продуктов – фенола и ацетона (рисунок 1).

Кумольный процесс является одним из уникальных крупнотоннажных процессов нефтехимии, в результате которого из одного исходного вещества (кумола) образуются одновременно два важных продукта – фенол и ацетон. Однако, несмотря на хорошо отработанную и успешно реализованную во всем мире технологию, данный метод имеет существенный недостаток: образующийся наряду с фенолом ацетон не находит эквивалентного фенолу рынка сбыта.

В настоящее время широкую популярность в нефтехимической промышленности имеют алкильные производные фенола: они применяются в производстве лакокрасочных и полимерных материалов и покрытий, синтетических смол и пластических масс. В последнее время алкилфенолы активно применяются в фармацевтической промышленности при производстве лекарственных препаратов, косметических средств [6].

Так, крезолы (метилфенолы) как индивидуальные изомеры (о-, м-, п-крезолы), так и их технические смеси используются в производстве синтетических смол, получаемых конденсацией крезолов с альдегидами. Обладая более прочностными характеристиками по сравнению с другими формальдегидными смолами, они хорошо зарекомендовали себя в электротехнике, производстве лаков, пластификаторов и стабилизаторов продукции полимерной промышленности. На основе крезолов синтезируются гербициды и регуляторы роста растений, присадки к моторным топливам [5, 9].

Диметилфенолы (ксиленолы) также имеют различный изомерный состав и, соответственно, разнообразные сферы своего применения. Так, например, на основе 3,4-ксиленола получают синтетические смолы, пользующиеся большим спросом в электротехнике, а также мономеры для получения термостойких пластмасс. 3,5-Ксиленол находит применение в производстве пластификаторов и лакокрасочных материалов; 2,4- и 2,5-изомеры используются в фармацевтической промышленности при получении лекарственных средств [10, 11].

2,4,6-триметилфенол (мезитол) обладает антиокислительными свойствами, является полупродуктом для синтеза витамина Е, антиоксидантом продуктов питания и косметики. Эффективно применение мезитола в качестве регулятора молекулярной массы в процессе получения полифениленоксида окислительной полимеризацией 2,6-ксиленола, представляющего собой термопластичный материал, который может применяться в широком диапазоне рабочих температур и обладает хорошими диэлектрическими характеристиками и устойчивостью к действию кислот, щелочей, перегретого пара [12].

Другим представителем алкилфенолов, с несколько иным, нежели метильным, фрагментом, является пара-трет-бутилфенол – исходное соединение для получения каликсаренов – циклических олигомеров, состоящих из фенольных фрагментов, связанных метиленовыми мостиками, применяемых в аналитической химии в качестве рецепторов для селективного извлечения ионов различных металлов; в биохимии – в качестве соединений-аналогов ферментов, с помощью которых возможно проведение моделирования сложных ферментативных процессов [13].

Среди промышленных способов получения алкилфенолов наибольшее распространение получил синтез этих соединений алкилированием фенола олефинами в присутствии гетерогенных катализаторов, в качестве которых чаще всего выступают цеолиты и ионообменные смолы. Данные процессы характеризуются протеканием большого количества побочных реакций (полиалкилирование, изомеризация и др.), что в значительной степени снижает степень чистоты получаемых соединений, вызывает сложности в разделении продуктов в промышленных масштабах, а также ограничивает сферы их применения [14, 15].

Другим методом получения алкилфенолов в промышленности выступает сульфонатный способ, заключающийся в сульфировании производного бензола серной кислотой с последующим щелочным плавлением полученного бензолсульфоната. К недостаткам данного метода можно отнести применение агрессивных реагентов, жесткие температурные условия, а также образование большого количества отходов сульфита натрия [16].

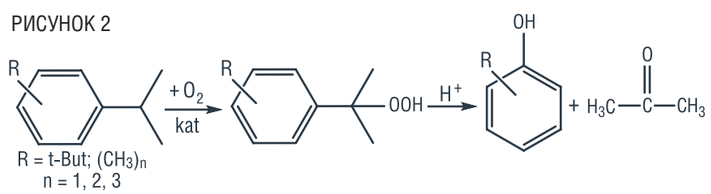
Устранить указанные недостатки призван разрабатываемый гидропероксидный способ получения фенола и его алкильных производных, базирующийся на доступном нефтехимическом сырье и состоящий из следующих стадий:

- синтез исходных алкилароматических соединений алкилированием производных бензола соответствующими спиртами в присутствии концентрированной серной кислоты в качестве катализатора;
- жидкофазное аэробное окисление полученных алкилбензолов до их третичных гидропероксидов;
- кислотное разложение третичных гидропероксидов алкилароматических углеводородов в целевые продукты – алкилфенолы и соответствующие кетоны.

Первоначально концепция данного метода была апробирована на синтезе крезолов на основе жидкофазного окисления изопропилтолуола (рисунок 2).

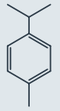
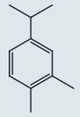
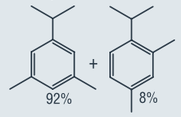
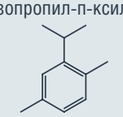
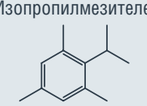
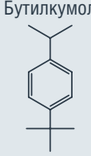
Исходный п-изопропилтолуол (цимол) был синтезирован алкилированием толуола изопропиловым спиртом с последующим переалкилированием полученной эквимолекулярной смеси изомеров изопропилтолуола в присутствии в качестве катализатора хлорида алюминия при температуре 50 °С в течение 2 ч. Жидкофазное окисление п-изопропилтолуола было исследовано в присутствии гидропероксида изопропилбензола, выступающего в качестве инициатора радикально-цепных процессов окисления, в интервале температур 110–150 °С. В данных условиях в течение 2 ч удалось получить гидропероксид изопропилтолуола с содержанием в оксидате, не превышающем 14 мас. %, при селективности его образования 82–84 %, что, вероятно, связано с образованием способствующей распаду гидропероксида куминовой кислоты в количестве около 16–18 мас. % на прореагировавший изопропилтолуол. Интенсифицировать данный процесс удалось за счет использования N-гидроксифталимида: его применение позволило повысить содержание целевого гидропероксида с 14 до 25 мас. % при температуре 120 °С и времени реакции 90 мин. При этом содержание побочной куминовой кислоты значительно снижается до 0,2 мас. %, что благоприятно влияет на технологические показатели процесса. Кислотным разложением гидропероксида цимола, предварительно выделенным из реакционной массы методом экстракции оксидата водным раствором метанола, были получены крезол и ацетон с выходом 95 и 90 % соответственно [9, 17].

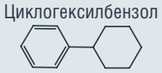
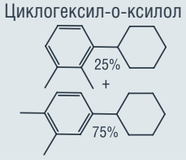
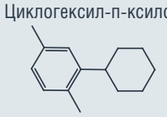
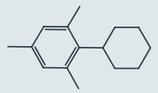
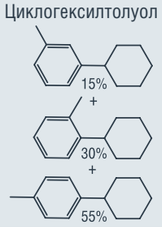
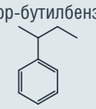
РИСУНОК 2



Расширить возможности гидропероксидного метода получения монометилфенолов удалось за счет использования данного метода для синтеза диметилфенолов (ксиленолов). Алкилированием ксилолов изопропиловым спиртом в присутствии серной кислоты при мольном соотношении ксилол : изопропиловый спирт : H_2SO_4 3 : 1 : 3, температуре 20 °С, и времени реакции 2 ч при полной конверсии спирта получен индивидуальный изопропил-п-ксилол (2-изопропил-1,4-диметилбензол), равновесная смесь изомеров изопропил-о-ксилола, содержащая 4-изопропил-1,2-диметилбензол (50 мас. %) и 3-изопропил-1,2-диметилбензол (50 мас. %), а также смесь изопропил-м-ксилолов, состоящая из 2-изопропил-1,3-диметилбензола (9 мас. %), 4-изопропил-1,3-диметилбензола (26 мас. %) и 5-изопропил-1,2-диметилбензола (65 мас. %). Смеси изомеров изопропил-о-ксилола и изопропил-м-ксилола были подвергнуты реакции переалкилирования в присутствии хлористого алюминия, в результате чего были получены 4-изопропил-1,2-диметилбензол (изопропил-о-ксилол) и 5-изопропил-1,2-диметилбензол (изопропил-м-ксилол) с содержанием основного вещества 100 % и 92 % соответственно. Жидкофазное окисление этих изомеров в присутствии N-гидроксифталимида сопровождается образованием трет-гидропероксида с селективностью 95–98 % при конверсии углеводорода от 8–10 % до 20–25 % в зависимости от структуры исходного углеводорода (таблица 1).

ТАБЛИЦА 1. Основные показатели процесса жидкофазного окисления некоторых углеводородов до трет-гидропероксидов

Окисляемый углеводород (изомерный состав)	Температура, °С	Время реакции, мин	Содержание катализатора N-ГФИ, мас. %	Содержание гидропероксида, мас. %	Конверсия, %
Кумол (изопропилбензол) 	120	120	2,7	34,4	36,5
п-Изопропилтолуол 	120	90	2,0	25,1	26,9
Изопропил-о-ксилол 				14,9	15,7
Изопропил-м-ксилол  92% + 8%				4,9	5,0
Изопропил-п-ксилол 				8,0	8,3
Изопропилмезителен 				1,4	1,42
п-трет-Бутилкумол 		75		31,9	33,4

Окисляемый углеводород (изомерный состав)	Температура, °С	Время реакции, мин	Содержание катализатора N-ГФИ, мас. %	Содержание гидропероксида, мас. %	Конверсия, %
Циклогексилбензол 	120	180	1,2	26,6	29,6
Циклогексил-о-ксилол  25% + 75%		180		17,4	19,1
Циклогексил-м-ксилол  15% + 25% + 60%		180		6,0	6,6
Циклогексил-п-ксилол 		180		1,6	1,9
Циклогексилмезителен 		180		5,4	5,8
Циклогексилтолуол  15% + 30% + 55%	120	90		14,9	15,8
Втор-бутилбензол 	120	30	2,0	20	21,3

Кислотным разложением синтезированных гидропероксидов получены 3,4-, 2,5- и 3,5-ксиленолы совместно с ацетоном с выходом 90–95 % [18]. Триметилфенолы, в частности мезитол, также удалось получить гидропероксидным способом на основе аэробного окисления изопропилмезителена до его гидропероксида с последующим разложением в мезитол и ацетон. Исходный изопропилмезителен с выходом около 75 мас. % был получен реакцией алкилирования мезителена изопропиловым спиртом при соотношении реагентов мезитилен : изопропиловый спирт : серная кислота 3 : 1 : 3, температуре 30 °С и продолжительности реакции 4 ч. Окисление изопропилмезителена было изучено в интервале температур 120–150 °С в течение 90 мин в присутствии N-гидроксифталимида, хорошо зарекомендовавшего себя в качестве катализатора окисления ароматических углеводородов. На основании проведенных исследований закономерностей протекания данного процесса были

определены его оптимальные условия: катализатор N-гидроксифталимид в количестве 2,0 мас. % от взятого на окисление изопропилмезителена, температура 140 °С, время 90 мин. Рекомендуемые условия позволяют получить оксидат с содержанием гидропероксида изопропилмезителена 8,4 мас.% при селективности образования третичного гидропероксида не ниже 95%. Кислотным разложением полученного гидропероксида изопропилмезителена синтезированы 2,4,6-триметилфенол и ацетон с выходом 75–85% [19].

Разработанный гидропероксидный метод весьма эффективно применим и для получения алкилфенолов, содержащих в фенольном фрагменте иные группы, нежели метильные. Так, на основе жидкофазного окисления п-трет-бутилкумола в присутствии N-гидроксифталимида и его производных с последующим кислотным разложением гидропероксида получены п-трет-бутилфенол и ацетон с выходом алкилфенола выше 90%. Применение фталимидных катализаторов в данном процессе как индивидуально, так и совместно с гидропероксидным инициатором позволяет достичь конверсии углеводорода 40–55% при селективности образования гидропероксида более 95% за 60–75 мин реакции [20].

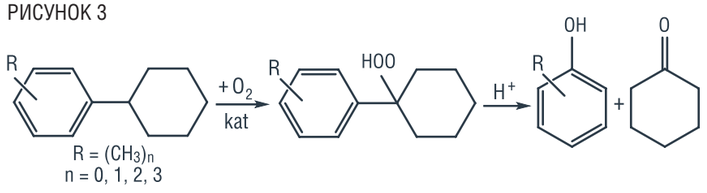
Стоит отметить, что гидропероксидный метод позволяет варьировать не только спектр получаемых алкилфенолов, но и соответветствующих кетонов. Из представленного выше видно, что наряду с крезолом, ксиленолом и др. данным методом получают ацетон. Однако в последнее время нефтехимическая промышленность столкнулась с проблемой реализации производимого ацетона, поскольку мировой спрос на фенол растет быстрее, чем на ацетон.

В этом отношении нельзя не упомянуть о гидропероксидном способе получения совместно с фенолом циклогексанона – базового мономера полимерной промышленности, являющегося исходным сырьем при получении пластмасс, различных полимеров и изоляционных материалов [22]. Предлагаемый метод, основанный на селективном жидкофазном окислении циклогексилбензола, полученного гидродимеризацией бензола, до трет-гидропероксида и его последующем кислотном разложении в фенол и циклогексанон, позволяет в значительной мере повысить конверсию углеводорода и селективность образования целевого продукта, по сравнению с известными методами получения циклогексанона (рисунок 3).

Изучение закономерностей жидкофазного окисления циклогексилбензола было направлено на выбор условий, обеспечивающих высокую скорость окисления до гидропероксида и селективность его образования, что удается достичь при проведении процесса в присутствии N-гидроксифталимида при температуре 110–130 °С: скорость окисления углеводорода повышается примерно в три раза при селективности образования трет-гидропероксида циклогексилбензола 88–92%. С целью интенсификации процесса сернокислотного разложения гидропероксида было предложено его проведение в присутствии ацетонитрила, позволяющего в 4–5 раз увеличить скорость реакции по сравнению с осуществлением ее в среде других растворителей. При этом удается получать фенол с выходом 87–95, а циклогексанон – 75–78% мол. при полной конверсии трет-гидроперекисда за время реакции 10–20 мин при температуре 50 °С [22].

Совместно с циклогексаноном гидропероксидный метод позволяет получать и другие алкильные производные фенола

РИСУНОК 3



на основе циклогексилтолуола и циклогексилксилолов.

Так, жидкофазным окислением циклогексилтолуола в присутствии N-гидроксифталимида при температуре 140 °С за 90 мин удается накопить до 23% гидропероксида при селективности его образования около 93%. Сернокислотным разложением полученного гидропероксида при температуре 40 °С представляется возможным получение целевых продуктов – крезола и циклогексанона с выходами 70 и 67% соответственно [23].

Ксиленолы можно получать и на основе циклогексилксилолов, синтезированных алкилированием о-,м-,п-ксилолов циклогексанолом в присутствии концентрированной серной кислоты при мольном соотношении ксилол : циклогексанол : H_2SO_4 3:1:3 и температуре 10 °С. Вследствие затрудненного выделения индивидуальных изомеров циклогексил-о-ксилола и циклогексил-м-ксилола по причине близости температур их кипения, окислению подвергалась смесь изомеров. Применение N-гидроксифталимида на стадии окисления позволяет повысить скорость окисления изомеров циклогексилксилолов и их конверсию в 1,5–2 раза по сравнению с инициированным окислением, с сохранением высоких показателей селективности образования гидропероксидов. При температуре 120–150 °С, содержании катализатора 1 мас.% и времени реакции 2–3 ч удается накопить 22-23 % гидропероксида циклогексил-о-ксилола, 8–16% – гидропероксида циклогексил-п-ксилола при селективности их образования более 90%. Кислотным разложением данных гидропероксидов получены 3,4-диметилфенол и 2,5-ксиленол с выходами 86–90% и циклогексанон – 70–75% [23].

Еще одним применением гидропероксидного способа с целью разнообразия получаемых продуктов является его использование в синтезе совместно с фенолом метилэтилкетона – важного растворителя полимерной, лакокрасочной и кожевенной промышленности.

На основании опыта, накопленного научной группой, на стадии окисления были применены

РИСУНОК 4

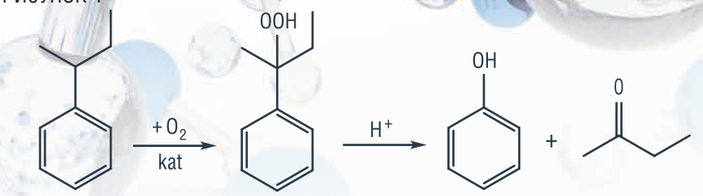


ТАБЛИЦА 2. Основные показатели процесса жидкофазного окисления некоторых углеводородов до трет-гидропероксидов

Гидропероксид	Температура, °С	Содержание катализатора H_2SO_4, мас.%	Выход, %	
			алкилфенола	кетона
п-Изопропилтолуол	30	1,0	95,0	90,0
Изопропил-о-ксилол	20	1,3	90,7	85,3
Изопропил-м-ксилол	65	0,5	95,0	85,0
Изопропил-п-ксилол	20	1,3	80,0	77,0
п-трет-Бутилкумол	40	0,6	92,8	75,0
Циклогексилбензол	50	0,2	99,5	75,0
Циклогексил-о-ксилол	50	0,6	90,0	70,0
Циклогексил-п-ксилол	50	0,6	88,0	70,0
Циклогексилтолуол	40	1,0	70,0	67,0
Втор-бутилбензол	40	1,0	80,0	73,0

N-гидроксифталимид и его производные, эффективность которых в процессах окисления алкилароматических углеводородов подтверждена на примере ряда изопропильных и циклогексильных производных бензола. Исследованные закономерности окисления втор-бутилбензола до его гидропероксида в присутствии N-гидроксифталимида позволили подобрать оптимальные условия проведения этого процесса, позволяющие получать гидропероксид втор-бутилбензола с его содержанием в продуктах окисления около 35 мас. %. Апробация процесса кислотного разложения гидропероксида втор-бутилбензола позволила сделать вывод о применимости данного метода в синтезе фенола и метилэтилкетона, выход которых составил 80–85 %.

Основные количественные показатели процессов жидкофазного аэробного окисления ароматических углеводородов до их третичных гидропероксидов и кислотного разложения последних в целевые продукты представлены в таблицах 1 и 2.

Таким образом, гидропероксидный метод получения фенола и его алкильных производных совместно с соответствующими кетонами расширяет и дополняет потенциальные возможности «Кумольной» технологии получения фенола и ацетона; позволяет адаптировать технологию под получение широкого спектра алкилфенолов и кетонов в зависимости от особенностей рынка химической продукции различных регионов страны. Применение эффективных органических фталимидных катализаторов окисления способствует осуществлению процесса в более мягких условиях, что в значительной степени повышает конверсию исходного сырья, скорость окисления и селективность образования целевых продуктов. ●

Литература

1. *Рынок базовых продуктов нефтехимии: олефины и ароматические углеводороды / Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2019, 70 с.*
2. *Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. Технологии производства, свойства и области применения композиций на основе фенолформальдегидных смол // Научное обозрение. Технические науки, 2017, № 2, С. 96–114.*
3. *Яушев Р.Г., Усманов Р.М. Интенсификация процесса селективной очистки масел фенолом // М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1988, 76 с.*
4. *Барг Э.И. Технология синтетических пластических масс // Ленинград: Госхимиздат, 1954, 656 с.*
5. *Харлампович, Г.Д., Чуркин Ю.В. Фенолы // М.: Химия, 1974, 376 с.*
6. *Синович А.Д., Павлов Г.П. Фенолы. Химическая энциклопедия: в 5 т. // М.: Большая Российская энциклопедия, 1998, 783 с.*
7. *Гауптман З., Грефе Ю., Ремане Х. Органическая химия // М.: Химия, 1979, 815 с.*
8. *Кружалов Б.Д., Голованенко Б.И. Совместное получение фенола и ацетона // М.: Госхимиздат, 1963, 200 с.*
9. *Кошель Г.Н., Нестерова Т.Н., Румянцева Ю.Б., Курганова Е.А., Иванова А.А. Цимолы. 4: Получение крезолов и их применение // Вестник МИТХТ, 2012, Т. 7, № 6, С. 56–59.*
10. *Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения // М.: Высшая школа, 1992, 512 с.*
11. *Харлампович Г.Д., Калечиц И.В., Чуркин Ю.В. // Химическая промышленность, 1968, № 1, С. 16–20.*
12. *Матвеева О.В., Лакина Н.В., Сульман Э.М., Матвеева В.Г., Долуда В.Ю. Биокаталитическое окисление триметилфенола до полупродукта витамина Е // Вестник Тверского государственного технического университета, 2021, Вып. 12, С. 125–130.*
13. *Терехов А.В., Занавескин Л.Н., Хаджиев С.Н. Выбор оптимального катализатора процесса получения пара-трет-бутилфенола алкилированием фенола трет-бутанолом // Нефтехимия, 2017, Т. 57, № 4, С. 453–456.*
14. *Топчиев, А.В. Реакция алкилирования органических соединений олефинами // М.: Изд-во АН СССР, 1962, 254 с.*
15. *Liu Y. Solvent-determined mechanistic pathways in zeolite-H-BEA-catalysed phenol // Nature Catalysis, 2018, V. 1, P. 141–147.*
16. *Беркман, Б.Е. Сульфирование и щелочное плавление в промышленности органического синтеза // М.: Госхимиздат, 1960, 268 с.*
17. *Кошель Г.Н., Курганова Е.А., Румянцева Ю.Б., Фролов А.С., Плахтинский В.В., Нестерова Т.Н., Сапунов В.Н. Цимольный метод получения крезолов и ацетона // Химическая промышленность сегодня, 2014, № 1, С. 11–17.*
18. *Frolov A.S., Kurganova E.A., Koshel G.N., Sapunov V.N. Preparation of dimethyl-substituted cumene hydroperoxides // Chimica Oggi. Chemistry Today, 2015, T 33, № 6, P. 54–61.*
19. *Фролов А.С., Курганова Е.А., Кошель Г.Н., Данилова А.С., Кабанова В.С., Мартьянова А.М. Гидропероксидный метод получения 2,4,6-триметилфенола // Известия ВУЗов. Химия и хим. технология, 2022, Т. 65, В. 7, С. 71–78.*
20. *Курганова Е.А., Фролов А.С., Коршунова А.И., Кошель Г.Н., Яркина Е.М. Гидропероксидный метод синтеза п-трет-бутилфенола // Известия Академии наук. Серия химическая, 2021, № 10, С. 1951–1956.*
21. *Кошель Г.Н., Курганова Е.А., Фролов А.С., Рыбина Г.В., Лебедева Н.В., Кабанова В.С. Совместный способ получения фенола и циклогексанона на основе бензола // Neftegaz.RU, 2022, № 2, С. 20–24.*
23. *Курганова Е.А., Кошель Г.Н. Жидкофазное окисление алкилароматических углеводородов и их циклогексильных производных до гидропероксидов в присутствии фталимидных катализаторов // Российский химический журнал, 2014, Т. 58, № 3–4, С. 91–102.*

KEYWORDS: *phenol, alkylphenols, cresols, xylenols, mesitol, p-tert-butylcumol, acetone, cyclohexanone, methyl ethyl ketone, aerobic liquid-phase oxidation, hydroperoxides of aromatic hydrocarbons, acid decomposition.*

Neftegaz.RU
номер 5/2023 г.

УДК 66.011

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

для прогнозирования работы катализаторов риформинга на установке со стационарным слоем

Пчелинцева Инна Вагизовна
ведущий специалист аналитического отдела ООО «Исследовательский центр ГазИнформПласт», к.т.н.

Чернякова Екатерина Сергеевна
доцент, Отделение химической инженерии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, к.т.н.

Ивашкина Елена Николаевна
отделение химической инженерии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, доцент, профессор, д.т.н.

Красовская Ольга Константиновна
Отделение химической инженерии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, магистрант

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОПИСАННЫХ В СТАТЬЕ, ОБУСЛОВЛЕНА НЕОБХОДИМОСТЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ДЕТОНАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА, ЯВЛЯЮЩЕГОСЯ ЦЕННЫМ СЫРЬЕМ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА. ПРИ ЭТОМ ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА В ВЫСОКООКТАНОВОЕ МОТОРНОЕ ТОПЛИВО ДОЛЖЕН ОСУЩЕСТВЛЯТЬСЯ С УЧЕТОМ СОСТАВА СЫРЬЯ. ПОДОБНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНО ВЫПОЛНЯТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАДЕЖНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В КАТАЛИТИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ. РЕЗУЛЬТАТОМ РАБОТЫ АВТОРОВ СТАЛ ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССА РИФОРМИНГА, ИСХОДЯ ИЗ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЫРЬЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИФОМАТА ОТ СОСТАВА СЫРЬЯ

THE RELEVANCE OF THE RESEARCH DESCRIBED IN THE ARTICLE IS CAUSED BY NEED TO INCREASE THE ANTIKNOCK RATING OF GAS CONDENSATE, WHICH IS A VALUABLE RAW MATERIAL FOR THE CATALYTIC REFORMING PROCESS. AT THE SAME TIME, THE SELECTION OF THE OPTIMAL CATALYTIC SYSTEM AT THE STAGE OF DESIGNING NEW FACILITIES FOR PROCESSING GAS CONDENSATE INTO HIGH-OCTANE MOTOR FUEL SHOULD BE CARRIED OUT TAKING INTO ACCOUNT THE COMPOSITION OF THE RAW MATERIAL. IT IS ADVISABLE TO CARRY OUT SUCH STUDIES USING A RELIABLE MATHEMATICAL MODEL THAT TAKES INTO ACCOUNT THE PHYSICOCHEMICAL PATTERNS OF HYDROCARBON TRANSFORMATIONS IN A CATALYTIC REACTOR. THE RESULT OF THE AUTHORS' WORK WAS THE SELECTION OF THE OPTIMAL CATALYTIC SYSTEM FOR THE REFORMING PROCESS, BASED ON THE CHARACTERISTICS OF THE RAW MATERIAL, AND THE DETERMINATION OF THE REFORMATE INDICATORS DEPENDENCE ON THE COMPOSITION OF THE RAW MATERIAL

Ключевые слова: *каталитический риформинг, состав сырья, газоконденсатное месторождение, математическая модель, каталитическая система, выход продукта, октановое число.*

Каталитический риформинг бензиновых фракций остается одним из базовых процессов современной мировой нефтепереработки. Основной целью риформинга является улучшение октановых характеристик моторных топлив, получение водорода и индивидуальных ароматических углеводородов [1]. Согласно прогнозам [2], высокая потребность в топливе с улучшенными октановыми характеристиками будет сохраняться вплоть до 2045 года, особенно в развивающихся странах. По данным на январь 2022 года, общемировая базовая мощность процесса риформинга составила 14,6 млн баррелей в день, из которых 0,8 млн баррелей в день приходится на Россию. Из всех доступных процессов по улучшению детонационной стойкости топлив (изомеризация, алкилирование и др.) каталитический риформинг занимает лидирующую позицию [2, 3].

ФАКТЫ

14,6
млн барр. в день
составляла общемировая базовая мощность процесса риформинга в 2022 г., 0,8 млн барр. в день из этого объема приходилось на Россию

За более чем 70-летнюю историю технология каталитического риформинга бензинов прошла путь развития по направлениям модернизации оборудования, разработки катализаторов, улучшения технологических условий эксплуатации установок [4–10].

Катализаторы – основа проведения процесса риформинга, и их разработке и совершенствованию посвящена значительная часть исследований. Современные катализаторы являются биметаллическими, основными компонентами которых являются Pt и Re. Ведущими мировыми фирмами-разработчиками катализаторов риформинга являются UOP (США) и Axens (Франция) [11, 12]. В России разработкой и внедрением катализаторов занимаются НПФ «Олкат», Центр новых химических технологий Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН [13–15] и др. Как зарубежные, так и отечественные производители ведут исследования в направлении совершенствования химического состава существующих и разработки новых каталитических систем. На установках НПЗ России широко применяются катализаторы всех вышеперечисленных производителей, однако за последние несколько лет все больше установок каталитического риформинга переходит на эксплуатацию отечественных катализаторов.

На сегодняшний день достигнут существенный прогресс в области разработки катализаторов риформинга. Это способствовало увеличению выхода ароматических углеводородов в 1,5 раза и продлению межрегенерационного цикла катализатора в 4 раза [13]. Совершенствование катализаторов повлекло за собой прогресс в технологическом оформлении процесса, в частности, достигнуто снижение давления с 4,0 до 0,35 МПа, разработана технология с движущимся слоем катализатора (непрерывный тип риформинга) [1, 13].

Вместе с тем в качестве сырья риформинга может быть использована не только прямогонная бензиновая фракция нефти, но и продукты вторичных процессов нефтепереработки, а также газовый конденсат газоконденсатных месторождений. Состав перерабатываемого сырья во много определяет выход и октановое число риформата, а также скорость коксообразования на Pt-содержащем катализаторе. Для оценки данных показателей эффективно может быть использована математическая модель процесса, учитывающая физико-химические закономерности превращений углеводородов ряда C_1–C_{12} [5].

Цель данной работы заключается в анализе и прогнозировании работы катализаторов риформинга на установке со стационарным слоем методом математического моделирования с учетом влияния сырья с газоконденсатных месторождений.

Характеристика объекта исследований

Объектом исследования является процесс каталитического риформинга бензиновых фракций, представленных газовым конденсатом трех газоконденсатных месторождений Западной и Восточной Сибири, а также каталитические системы восьми различных марок.

Улучшение октановых характеристик продукта риформинга (риформата) заключается в химическом изменении состава исходного сырья за счет реакций дегидрирования нафтенов и дегидроциклизации парафинов.

Дегидрирование нафтеновых углеводородов в ароматические:

$$C_6H_{12} \rightarrow C_6H_6 + 3H_2 + Q.$$

Дегидроциклизация парафинов в ароматические углеводороды (ароматизация):

$$C_6H_{14} \rightarrow C_6H_6 + 4H_2 + Q.$$

Данные реакции являются целевыми, термодинамически благоприятные условия их протекания лежат в области высоких температур и низких давлений [1, 13]. Ароматические углеводороды обладают максимальными значениями октановых чисел [16], что и определяет реакции получения ароматики как целевые. Побочными реакциями в данном процессе являются дегидрирование нормальных углеводородов до алкенов и гидрокрекинг нормальных алканов, а также реакции уплотнения и конденсации, которые должны быть минимизированы.

Технологические условия проведения каталитического риформинга зависят от технологического оформления, которое реализуется по трем вариантам. Способы реализации различаются по типу регенерации: периодическая (66% всех установок в мире), циклическая (17%) и непрерывная (17%). В России реализуется два типа технологии – с периодической (80%) и непрерывной регенерацией (20 %). В зависимости от используемой технологии давление варьируется в пределах 0,35–2,0 МПа, а температура – 470–500 °С.

Также важно учитывать, что основные реакции протекают с большим поглощением тепла, что определяет особенности технологического оформления установок риформинга.

В качестве сырья в большинстве случаев используется прямогонная бензиновая фракция 85–180 °С, а также бензины вторичного происхождения. Обязательное условие использования того или иного сырья – предварительная гидроочистка от примесей азота, серы, меди, свинца и мышьяка, которые являются каталитическими ядами. К сырью вторичного происхождения, которое может быть использовано для риформинга, относятся [4]:

- нафта висбрекинга, которая требует предварительной глубокой гидроочистки. Применяется в небольшом количестве по отношению к общему объему сырья;
- нафта коксования, чьи свойства схожи со свойствами нафты висбрекинга. Используется в больших количествах по сравнению с нафтой висбрекинга;
- нафта, полученная в результате гидрокрекинга вакуумного газойля и гидроочистки тяжелых бензиновых фракций. Наиболее благоприятное из всех типов сырья вторичного происхождения из-за повышенного содержания в своем составе нафтеновых углеводородов;
- нафта, полученная в результате термокаталитической переработки нефтяных фракций. Наименее подходящая из всех перечисленных вариантов, применяется на ряде НПЗ в виде фракции 75–150 °С.

ФАКТЫ

Pt и Re

основные компоненты современных биметаллических катализаторов

Все вышеперечисленные варианты обладают общим свойством – высоким содержанием олефиновых углеводородов, которые в условиях риформинга склонны к образованию высокомолекулярных соединений – предшественников кокса.

Наиболее оптимальным является сырье, характеризующееся составом: алканы – 45–65% мас.; циклоалканы – 25–45% мас.; арены – 5–15% мас.; непредельные углеводороды – не более 0,5% мас.

Газовый конденсат представляет собой смесь жидких углеводородов C_{5+}. Он также может содержать более легкие или более тяжелые компоненты. Легкие компоненты растворяются в жидкости, тяжелые играют роль конденсатообразующих фракций (бензиновых и керосиновых). Содержание бензиновых фракций в большинстве газовых конденсатов может достигать 70–85%. По своим свойствам конденсат близок к легкой нефти и является очень ценным сырьем для получения бензина, лигроина, а также индивидуальных ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилола) [17].

В качестве исходных данных для данного исследования использованы параметры технологического режима промышленной установки риформинга с периодической регенерацией катализатора (таблица 1), а также в качестве сырья риформинга – газовый конденсат нескольких газоконденсатных месторождений.

ТАБЛИЦА 1. Технологические параметры установки

Номер измерения*	1	2	3	4	5
Параметр	Значение				
Температура, °С	493				
Давление, МПа	1,4				
Расход ВСГ, м³/ч	205 000				
Объем переработанного сырья, т	31 572	58 178	85 982	113 150	132 458
Расход сырья, м³/ч	115	114	115	111	102

*Данные измерений взяты с интервалом в 10 календарных дней.

ТАБЛИЦА 2. Характеристики катализатора, загруженного на установку

Показатели	Значение
Форма	Экструдат
Диаметр, мм	1,60
Насыпная плотность при плотной загрузке, кг/м³	700
Удельная поверхность, м²/г	220
Общий объем пор, см³/г	0,60
Содержание, % мас.:	
платина	0,25
рений	0,40
третий элемент, промотор	Да

На установке эксплуатируется несбалансированный катализатор зарубежного производства, характеристики которого представлены в таблице 2.

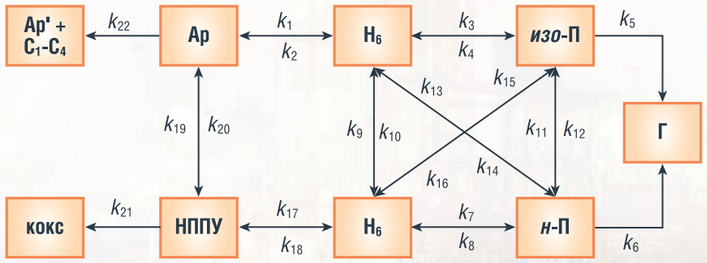
Применение данного катализатора позволяет получать 88,6% мас. риформата с октановым числом по исследовательскому методу 98,0 (при использовании сырья с повышенным содержанием предельных углеводородов – 43,8% мас., углеводородов циклического строения – 40,1% мас. и ароматических – 16,1% мас.).

Математическое моделирование как метод исследования

Основным инструментом для проведения численных исследований в данной работе является математическая модель процесса каталитического риформинга бензинов, разработанная в рамках научной школы профессоров А.В. Кравцова и Э.Д. Иванчиной на базе Томского политехнического университета [18]. В основе данной модели лежит формализованная схема превращений углеводородов (рисунок 1), в которой все компоненты нафты и риформата были разделены на группы: нафтеновые (циклогексаны и циклопентаны), парафины нормальные и изомерного строения, ароматические углеводороды. В модели учтены следующие типы химических превращений:

изомеризация, дегидроциклизация, ароматизация, гидрирование, дегидрирование, гидрокрекинг, деалкилирование, конденсация и образование кокса [6, 8–10, 19].

РИСУНОК 1. Формализованная схема реакций каталитического риформинга



Ар – ароматические УВ; H_5, H_5 – пятичленные и шестичленные нафтеновые УВ соответственно; н-П, изо-П – парафины нормального и изомерного строения соответственно; Г – газ; НППУ – непредельные промежуточные продукты уплотнения

ФАКТЫ

в 1,5 раза

увеличился выход ароматических углеводородов благодаря использованию катализаторов риформинга

Скорость элементарной реакции пропорциональна концентрации реагирующего вещества, умноженной на константу скорости реакции. Константа равновесия для каждой реакции рассчитывается на основании энергии Гиббса и температуры. Величины констант могут варьироваться в зависимости от свойств конкретного катализатора.

$$r_j = k_j \cdot C_i, \quad (1)$$

где r_j – скорость реакции, моль/м³·ч; k_j – константа скорости реакции, размерность зависит от порядка реакции; C_i – концентрация исходных компонентов, моль/м³.

$$\frac{dC_i(x)}{dt} = \sum_{j=1}^{n} k_j(x) \cdot C_i(x) \cdot C_{H_2}, \quad (2)$$

где $j = 1, \ldots, n$ – количество химических реакций; $C_i(x)$ и $k_j(x)$ – распределение соответственно концентрации и констант скорости углеводородов по количеству атомов углерода в молекуле x;
t – время, ч.

Согласно формуле 1, кинетическая модель каталитического риформинга может быть записана как система уравнений:

$$\begin{aligned}
r_1 &= k_1 \cdot C_{\text{Ap}} \cdot C_{H_2} \\
r_2 &= k_2 \cdot C_{\text{H}_6} \\
r_3 &= k_3 \cdot C_{\text{H}_6} \cdot C_{H_2} \\
r_4 &= k_4 \cdot C_{\text{изо-П}} \\
r_5 &= k_5 \cdot C_{\text{Г}} \cdot C_{H_2} \\
r_6 &= k_6 \cdot C_{\text{н-П}} \cdot C_{H_2} \\
r_7 &= k_7 \cdot C_{\text{H}_5} \cdot C_{H_2} \\
r_8 &= k_8 \cdot C_{\text{н-П}} \\
r_9 &= k_9 \cdot C_{\text{H}_5} \\
r_{10} &= k_{10} \cdot C_{\text{H}_6} \\
r_{11} &= k_{11} \cdot C_{\text{н-П}} \\
r_{12} &= k_{12} \cdot C_{\text{изо-П}} \\
r_{13} &= k_{13} \cdot C_{\text{H}_6} \cdot C_{H_2} \\
r_{14} &= k_{14} \cdot C_{\text{н-П}} \\
r_{15} &= k_{15} \cdot C_{\text{H}_5} \cdot C_{H_2} \\
r_{16} &= k_{16} \cdot C_{\text{изо-П}}
\end{aligned} \quad (3)$$

$$r_{17} = k_{17} \cdot C_{\text{НППУ}}$$
$$r_{18} = k_{18} \cdot C_{\text{H}_5}$$
$$r_{19} = k_{19} \cdot C_{\text{НППУ}}$$
$$r_{20} = k_{20} \cdot C_{\text{Ар}}$$
$$r_{21} = k_{21} \cdot C_{\text{НППУ}}$$
$$r_{22} = k_{22} \cdot C_{\text{Ар}}$$

Уравнение теплового баланса для процесса выглядит следующим образом:

$$G\frac{dT}{dV} = \frac{1}{\rho \cdot C_p^{mix}} \sum_{j=1}^{m} Q_j \quad (4)$$

$$Q_j = \Delta H_j \cdot k_j(x) \cdot C_j(x), \quad (5)$$

где V – объем катализатора в реакторе, м³; ρ – плотность, моль/м³; C_p^{mix} – теплоемкость смеси, кДж/моль·К; Q_j – количество тепла для j-ой химической реакции; ΔH_j – теплота j-ой химической реакции, кДж/моль.

Согласно уравнению 5, система уравнений теплового баланса для каждой реакции из схемы будет иметь следующий вид:

$$Q_1 = \Delta H_1 \sum_x \left[k_2 \cdot C_{\text{H}_6} - k_1 \cdot C_{\text{Ар}} \cdot C_{H_2}\right]$$
$$Q_2 = \Delta H_2 \sum_x \left[k_4 \cdot C_{\text{изо}-\text{П}} - k_3 \cdot C_{\text{H}_6} \cdot C_{H_2}\right]$$
$$Q_3 = -\Delta H_3 \sum_x k_5 \cdot C_{\text{изо}-\text{П}} \cdot C_{H_2}$$
$$Q_4 = -\Delta H_4 \sum_x k_6 \cdot C_{\text{н}-\text{П}} \cdot C_{H_2}$$
$$Q_5 = \Delta H_5 \sum_x \left[k_{11} \cdot C_{\text{н}-\text{П}} - k_{12} \cdot C_{\text{изо}-\text{П}}\right]$$
$$Q_6 = \Delta H_6 \sum_x \left[k_8 \cdot C_{\text{н}-\text{П}} - k_7 \cdot C_{\text{H}_5} \cdot C_{H_2}\right] \quad (6)$$
$$Q_7 = \Delta H_7 \sum_x \left[k_{10} \cdot C_{\text{H}_6} - k_9 \cdot C_{\text{H}_5}\right]$$
$$Q_8 = \Delta H_8 \sum_x \left[k_{16} \cdot C_{\text{изо}-\text{П}} - k_{15} \cdot C_{\text{H}_5} \cdot C_{H_2}\right]$$
$$Q_9 = \Delta H_9 \sum_x \left[k_{14} \cdot C_{\text{н}-\text{П}} - k_{13} \cdot C_{\text{H}_6} \cdot C_{H_2}\right]$$
$$Q_{10} = \Delta H_{10} \sum_x \left[k_{18} \cdot C_{\text{H}_5} - k_{17} \cdot C_{\text{НППУ}}\right]$$
$$Q_{11} = \Delta H_{11} \sum_x \left[k_{10} \cdot C_{\text{Ар}} - k_{19} \cdot C_{\text{НППУ}}\right]$$
$$Q_{12} = -\Delta H_{12} \sum_x k_{21} \cdot C_{\text{НППУ}}$$
$$Q_{13} = -\Delta H_{13} \sum_x k_{22} \cdot \text{C}_{\text{Ар}}$$

Таким образом, математическая модель каталитического риформинга полурегенеративного типа представлена в виде системы уравнений материального и теплового баланса:

$$\begin{cases} G_c\frac{\partial C_i}{\partial Z} + G_c\frac{\partial C_i}{\partial V} = \sum_{j=1}^{m} a_j \cdot r_j \\ G_c\frac{\partial T}{\partial V} + G_c\frac{\partial T}{\partial Z} = \frac{1}{\rho \cdot C_p^{mix}} \sum_{j=1}^{m} a_j \cdot r_j \cdot \left(\frac{RT}{P}\right) \cdot \Delta H_j \end{cases} \quad (7)$$

Граничные условия:

$$z = 0, C_i = C_{i0}, T = T_{\text{вх}}$$
$$V = 0, T = T_{\text{вх}}, C_i = C_{i0} \quad (8)$$

где G_c – расход сырья, м³/ч; C_i – концентрация i-го компонента, моль/м³; Z – объем переработанного сырья с момента загрузки свежего катализатора (новый катализатор, регенераций не проводилось), м³; V – объем катализатора в реакторах, м³; a_j – активность катализатора, моль/м³·ч; r_j – скорость реакции, моль/м³·ч; i – номер компонента в смеси; j – номер реакции согласно формализованному механизму; T – температура, К; ρ – плотность, моль/м³; C_p^{mix} – теплоемкость смеси, кДж/моль·К; ΔH – теплота j-ой реакции, кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, 8,314 МПа·л/моль·К; P – давление, МПа.

$$Z = G \cdot t, \quad (9)$$

где Z – объем переработанного сырья с момента загрузки свежего катализатора (новый катализатор, регенераций не проводилось), м³; G – расход сырья, м³/ч; t – время, ч.

Учитывая вышеприведенные закономерности, нестационарная кинетическая модель каталитического риформинга с учетом изменения концентраций реагирующих веществ в объеме записывается следующим образом:

$$G\frac{dC_{\text{Ар}}}{dV} = r_2 + r_{19} - r_1 - r_{20} - r_{22}$$
$$G\frac{dC_{\text{H}_6}}{dV} = r_1 + r_4 + r_9 + r_{14} - r_2 - r_3 - r_{10} - r_{13}$$
$$G\frac{dC_{\text{изо}-\text{П}}}{dV} = r_3 + r_{11} + r_{15} - r_5 - r_{12} - r_4$$
$$G\frac{dC_{\text{Ар}'}}{dV} = r_{22} + r_2 - r_1 + r_{19} - r_{20}$$
$$G\frac{dC_{\text{н}-\text{П}}}{dV} = r_{11} + r_7 + r_{13} - r_6 - r_8 - r_{12} - r_{16} \quad (10)$$
$$G\frac{dC_{\text{H}_5}}{dV} = r_{10} - r_9 + r_8 - r_7 + r_{17} - r_{18} + r_{16} - r_{15}$$
$$G\frac{dC_{\text{НППУ}}}{dV} = r_{19} - r_{20} + r_{18} - r_{17} - r_{21}$$
$$G\frac{dC_{\text{кокс}}}{dV} = r_{21} + r_{19} - r_{20} + r_{18} - r_{17}$$
$$G\frac{dC_{\Gamma}}{dV} = r_5 + r_6 + r_3 - r_4 + r_7 - r_8 + r_{15} - r_{16} + r_{13} - r_{14}$$

Многолетние исследования подтвердили адекватность математического описания, погрешность расчетов по выходу продуктов, их концентрации в продуктовой смеси реактора риформинга не превышает 1% [11, 12].

Результаты исследований

Индивидуальный состав исходных сырьевых потоков и риформата был определен методом капиллярной газовой хроматографии [17, 20]. Измерения проводились при помощи аналитического газового хроматографа марки Кристалл 5000.2 с пламенно-ионизационным детектором ПИД. В таблице 3 приведены основные характеристики режима и колонки, используемых при проведении измерений.

ФАКТЫ

Риформат

получает улучшенные октановые характеристики за счет изменения химического состава исходного сырья в результате реакций дегидрирования нафтенов и дегидроциклизации парафинов

ТАБЛИЦА 3. Режим работы хроматографа [20]

Показатель	Значение
Инжектор	
Температура, °С	250
Деление потока	От 175:1 до 275:1
Лайнер	Дезактивированное стекло
Объем пробы, мкл	0,2
Детектор	
Температура, °С	250–300
Скорость потока газов: • водорода, см³/мин • воздуха, см³/мин	 30–40 300–400
Колонка	
Длина, м	100
Внутренний диаметр, мм	0,25
Толщина пленки, мкм	0,5
Жидкая фаза	100%-ный полиметилсилоксан или диметилполисилоксан
Объемная скорость потока, см³/мин	2,5–2,9
Общее время анализа, мин	150

РИСУНОК 2. Процентное содержание углеводородных групп в различных образцах газового конденсата

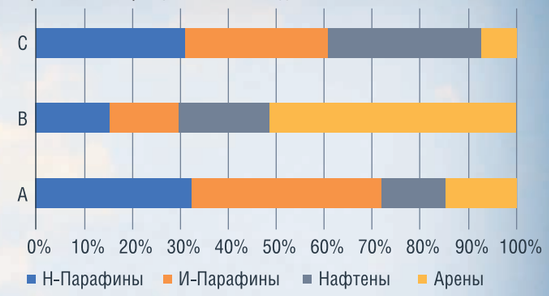


ТАБЛИЦА 4. Индекс бензиновой фракции

Месторождение	Индекс сырья	Характеристика
A	2,58	Очень высокое содержание парафинов
B	0,42	Высокое содержание ароматических и нафтеновых углеводородов
C	1,55	Повышенное содержание парафинов

Так как газовый конденсат представляет собой смесь газовой и жидкой фаз, то предварительно его подвергают стандартной сепарации, в результате которой получается стабильный (дегазированный) конденсат, который анализируют на хроматографе [17]. На рисунке 2 представлено распределение компонентов по углеводородным группам в трех различных образцах сырья.

Результаты исследований показали, что наиболее оптимальным составом для переработки в процессе риформинга характеризуется образец С. В образце В пониженное количество нафтенов и повышенное содержание (более 50%) ароматических углеводородов, тогда как в образце А преобладают алканы (более 70%) при низком содержании нафтенов и ароматики.

При анализе того или иного типа сырья по характеру преобладания углеводородных групп, используется индекс сырья, который рассчитывается по формуле 11.

$$\text{Индекс сырья} = \frac{\sum(n\text{-парафины} + i\text{-парафины})}{\sum(\text{нафтены} + \text{ароматика})} \quad (11)$$

Значение индекса в основном варьируется в пределах более или менее 1. Для всех трех образцов исследуемого сырья был рассчитан индекс, результаты представлены в таблице 4.

Таким образом, переработке может подвергаться разное по типу сырье. Высокая эффективность процесса риформинга при этом определяется составом и свойствами используемого катализатора. Так, для сырья с высоким содержанием ароматических углеводородов более эффективны катализаторы сбалансированного типа [1, 4]. Для усиления и регулирования кислотной функции основу катализатора (оксид алюминия) дополнительно промотируют галоидом – фтором или хлором. Фторсодержащие катализаторы используются весьма ограниченно, в случаях, когда процесс риформинга осуществляют без предварительной гидроочистки сырья или при высокой влажности. Абсолютное большинство катализаторов риформинга приготовлены на основе хлорированного оксида алюминия.

ФАКТЫ

Предварительная гидроочистка

от примесей азота, серы, меди, свинца и мышьяка является обязательным условием использования сырья

Важный этап подготовки сырья для каталитического риформинга – контроль серосодержащих соединений. Газовые конденсаты также подвергаются предварительной стабилизации и очистке от сернистых соединений. Согласно проведенным исследованиям, содержание общей серы варьируется в пределах от 0,0002 до 0,01% мас. в зависимости от месторождения.

Оценка эффективности катализаторов риформинга при переработке сырья различного состава

В работе выполнены численные исследования для восьми каталитических систем отечественных и зарубежных производителей, параметры которых представлены в таблице 5.

ТАБЛИЦА 5. Характеристики исследуемых катализаторов

Параметр	Катализатор							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Содержание платины, % мас.	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Содержание рения, % мас.	0,40	0,25	0,40	0,25	0,30	0,30	0,25	0,25
Насыпная плотность (плотная загрузка), кг/м^3	700	690	720	720	680	730	740	730
Диаметр, мм	1,60							
Формула гранул	цилиндр							

ТАБЛИЦА 6. Показатели процесса каталитического риформинга при переработке сырья А на различных катализаторах

Параметр	Катализатор							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	2,62							
н-Пар/и-Пар в сырье	0,84							
Ароматика, % мас.	58,1	66,2	60,3	65,8	62,1	74,7	63,5	60,3
Кокс, % мас.	0,29	0,91	0,48	0,87	0,59	2,17	0,67	0,45
Октановое число*, пунктов	93,5	96,6	94,7	96,5	95,3	101	95,7	94,7
Выход риформата, % мас.	81,5	73,3	81,0	73,8	78,3	68,4	76,5	81,5

* Здесь и далее под показателем «Октановое число» подразумевается октановое число по исследовательскому методу.

ТАБЛИЦА 7. Показатели процесса каталитического риформинга при переработке сырья В на различных катализаторах

Параметр	Катализатор							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	0,42							
н-Пар/и-Пар в сырье	1,07							
Ароматика, % мас.	83,1	86,9	83,3	86,7	85,0	90,5	85,8	83,9
Кокс, % мас.	0,33	0,71	0,49	0,68	0,57	1,91	0,59	0,45
Октановое число,пунктов	104	106	104	106	105	108	106	105
Выход риформата, % мас.	90,0	86,3	89,3	86,5	88,1	82,9	87,5	89,8

Оценка показателей эффективности процесса риформинга бензинов при работе на разных катализаторах с учетом переработки сырья различного состава производилась с использованием программно реализованной математической модели в виде прикладной программы в режиме «Исследования влияния состава сырья». Исследования проведены при зафиксированных значениях технологических параметров работы реакторного блока риформинга: Т = 493 °С, Р = 1,4 МПа, расход ВСГ 205 тыс. м^3/ч, расход сырья 102 м^3/ч (таблица 1).

В результате были получены следующие значения выхода и октанового числа риформата, а также содержания кокса на катализаторе (соответствующего объему переработанного сырья 132,5 тыс. м^3), представленные в таблицах 6, 7 и 8.

На основании полученных результатов расчетов можно заключить, что максимальными качественными характеристиками, к которым относится содержание ароматических соединений в составе риформата и октановое число целевого продукта, обладает риформат, полученный при переработке сырья месторождения А на катализаторах 2 и 6. В данном случае содержание ароматических углеводородов составляет 66,2 и 74,7 % мас., и октановое число 96,6 и 101 пункт соответственно. Однако необходимо отметить, что при проведении процесса на данных катализаторах наблюдаются довольно низкие значения выхода риформата – 73,3 и 68,4 % мас. соответственно.

ФАКТЫ

Оптимальное сырье

характеризуется составом: алканы – 45–65 % мас.; циклоалканы – 25–45 % мас.; арены – 5–15 % мас.; непредельные углеводороды – не более 0,5 % мас.

В данном случае для сырья месторождения А, характеризующегося высоким содержанием парафиновых углеводородов (индекс сырья равен 2,58), наиболее эффективными катализаторами, при работе которых достигается максимальный выход риформата с высоким значением ОЧИ, являются катализаторы 7 и 8.

При использовании парафинового сырья на катализаторах данных типов полученный риформат имеет октановое число в пределах 94,7–95,7 пунктов, содержание ароматических углеводородов 60,3–63,5 % мас., и выход риформата составляет 76,5–81,5 % мас.

ТАБЛИЦА 8. Показатели процесса каталитического риформинга при переработке сырья С на различных катализаторах

Параметр	Катализатор							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	1,59							
н-Пар/и-Пар сырь в сырье	1,11							
Ароматика, % мас.	52,0	59,8	54,4	59,4	55,7	76,3	57,0	54,0
Кокс, % мас.	0,27	1,01	0,57	0,97	0,66	6,52	0,75	0,52
Октановое число, пунктов	91,5	94,4	92,9	94,3	93,3	93,5	93,6	92,7
Выход риформата, % мас.	80,8	73,2	79,9	73,6	77,7	64,6	76,2	80,6

Сырье каталитического риформинга месторождения В характеризуется довольно высоким содержанием ароматических углеводородов и низким индексом сырья – 0,42. Для превращения такого сырья в риформат с высоким октановым числом требуется подбор наиболее эффективного катализатора.

В данном случае максимально качественный продукт получается при переработке данного образца сырья на катализаторах типов 2 и 6. При использовании данных катализаторов риформат содержит 86,9 и 90,5 % мас. ароматических соединений соответственно, что объясняет высокие значения октанового числа 106 и 108 пунктов соответственно. Вместе с тем выход риформата при переработке сырья В на катализаторах 2 и 6 не превышает 86,3 и 82,9 % мас. соответственно.

Для сырья, богатого ароматическими соединениями, наиболее эффективными являются каталитические системы под номерами 3 и 4. При использовании катализаторов данного типа достигаются оптимальные выходы риформата от 86,5–89,3 % мас. и высокие качественные характеристики продукта: содержание ароматических углеводородов варьируется от 83,8 до 86,7 % мас. соответственно; октановое число 104,4 – 106 пунктов соответственно.

ТАБЛИЦА 9. Показатели процесса риформинга при переработке сырья В и С на катализаторе, загруженном на установке

Параметр	Год эксплуатации месторождения			
	2017	2018	2019	2020
Месторождение В				
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	0,31	0,29	0,27	0,25
н-Пар/и-Пар в сырье	0,99	1,04	1,40	1,36
Ароматика, % мас.	90,4	90,9	91,5	92,1
Кокс, % мас.	0,84	0,92	1,04	1,14
Октановое число, пунктов	108	108	108	109
Выход риформата, % мас.	86,1	86,7	87,4	88,4
Месторождение С				
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	0,70	0,43	0,41	0,35
н-Пар/и-Пар в сырье	0,22	0,5	0,79	1,04
Ароматика, % мас.	72,3	84,9	87,2	88,8
Кокс, % мас.	0,89	1,08	1,38	1,44
Октановое число, пунктов	101	106	106	107
Выход риформата, % мас.	80,5	84,1	83,1	84,0

ФАКТЫ

Циклические углеводороды

легче других вступают в реакции дегидрирования, тем самым превращаясь в ароматические углеводороды, повышающие октановое число целевого продукта

Сырье каталитического риформинга, которое содержит в своем составе значительное количество нафтеновых углеводородов, является наиболее благоприятным для процесса риформирования бензиновых фракций. Циклические углеводороды легче других вступают в реакции дегидрирования, тем самым превращаясь в ароматические углеводороды, которые значительным образом повышают октановое число целевого продукта. Таким сырьем является газовый конденсат месторождения С. Смесь углеводородов характеризуется повышенным содержанием циклических углеводородов, на что указывает индекс сырья 1,55.

Расчеты по модели показали, что при использовании катализаторов 3 и 8 достигается максимальный выход продукта – 80,6 и 79,9 % мас. соответственно. Однако наиболее эффективными типами катализаторов при использовании данного вида сырья является катализаторы 1 и 2. В данном случае риформат имеет максимальные качественные характеристики: октановое число лежит в пределах 91,5–94,4 пункта; содержание ароматических углеводородов варьируется от 52,0 до 59,8 % мас. Высокий выход риформата изменяется в интервале 73,2–80,8 % мас.

Оценка влияния типа катализатора на эффективность процесса каталитического риформинга при переработке газоконденсатного сырья различных месторождений

Оценка влияния типа каталитической системы на эффективность рассматриваемого

ТАБЛИЦА 10. Показатели процесса риформинга при переработке сырья В на катализаторах 3 и 4

Параметр	Год эксплуатации месторождения			
	2017	2018	2019	2020
Катализатор 3				
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	0,31	0,29	0,27	0,25
н-Пар/и-Пар в сырье	0,99	1,04	1,40	1,36
Ароматика, % мас.	87,3	86,9	87,4	89,4
Кокс, % мас.	0,35	0,38	0,44	0,53
Октановое число, пунктов	106	106	106	107
Выход риформата, % мас.	91,5	92,0	92,1	92,4
Катализатор 4				
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	0,31	0,29	0,27	0,25
н-Пар/и-Пар в сырье	0,99	1,04	1,40	1,36
Ароматика, % мас.	88,6	89,2	89,9	90,7
Кокс, % мас.	0,46	0,47	0,52	0,55
Октановое число, пунктов	107	107	108	108
Выход риформата, % мас.	89,5	89,9	90,5	91,2

РИСУНОК 3. Содержание ароматических углеводородов в продукте

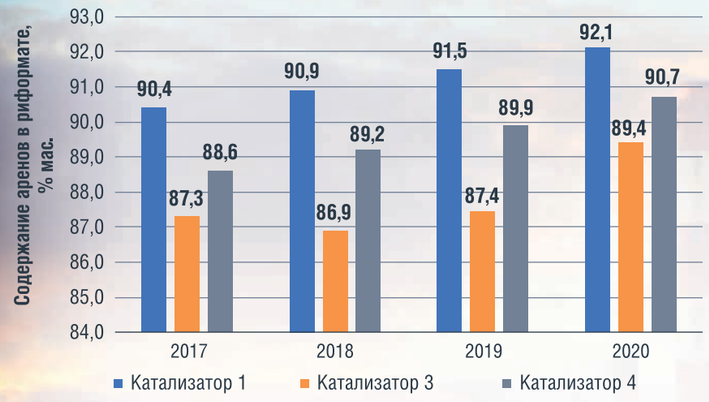
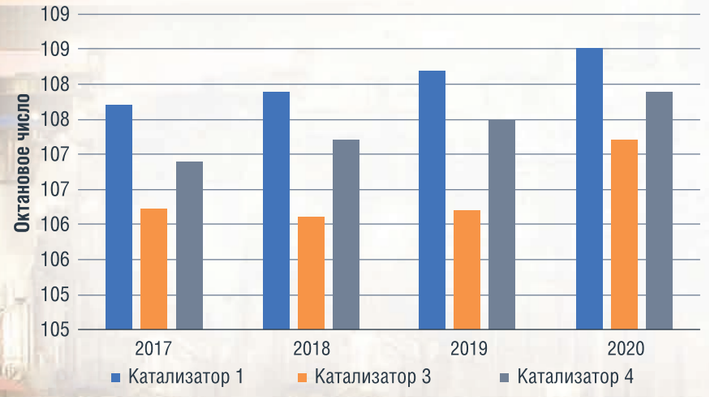


РИСУНОК 4. Изменение октанового числа риформата



процесса получения высокооктановых топлив при изменении состава сырья с различных газоконденсатных месторождений производилась с учетом ранее подобранных марок катализаторов. Данное исследование производилось в режиме «Исследование влияния состава сырья» с изменением математической модели процесса каталитического риформинга бензинов. В таблицах 9–11 представлены результаты расчетов при изменении состава сырья в течении пяти лет эксплуатации газоконденсатного месторождения.

Для переработки сырья типа В, характеризующегося повышенным содержанием ароматических углеводородов, наиболее эффективными катализаторами являются каталитические системы 3 и 4. Об этом свидетельствуют достигнутые значения октанового числа, содержания ароматических соединений, а также выхода риформата и уровень коксонакопления на катализаторе. Изменение данных характеристик с учетом состава сырья риформинга при работе на катализаторах 3, 4 и 1, представлено на рисунках 3–6.

Как можно заметить на рисунке 3, максимальное содержание ароматических соединений в составе риформата наблюдается при использовании катализатора 1 и составляет 92,1% мас., минимальным с катализатором 3 – 89,9% мас. Как можно заметить из рисунка 3, содержание ароматических углеводородов постепенно возрастает с каждым годом. Это можно объяснить тем, что в течение эксплуатации газоконденсатного месторождения состав добываемого сырья изменяется: в частности, содержание нафтенов и парафинов значительно снижается, в то время как содержание углеводородов ароматического ряда имеет тенденцию к увеличению [17].

Повышенное содержание ароматических соединений соответствует повышенному октановому числу целевого продукта. Таким образом, рисунок 4 также подтверждает данное утверждение: максимальное октановое число наблюдается при использовании сырья типа В и составляет 109 пунктов.

Прогнозные расчеты по модели показали (рисунок 5), что при

РИСУНОК 5. Изменение выхода риформата в зависимости от используемого катализатора

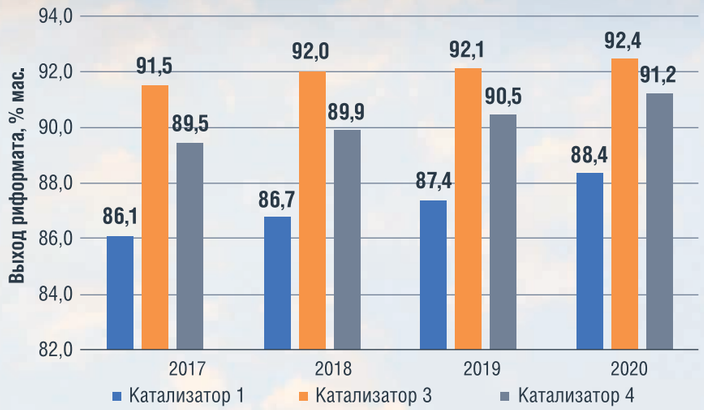


РИСУНОК 6. Изменение содержания кокса на поверхности катализатора

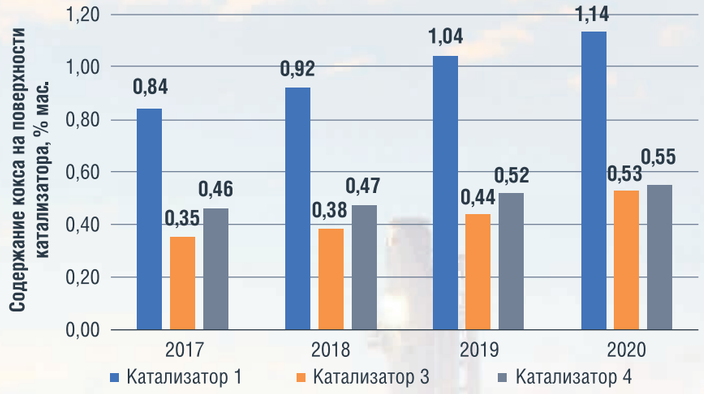


ТАБЛИЦА 11. Показатели риформинга при переработке сырья С на катализаторе 2

Параметр	Год эксплуатации месторождения			
	2017	2018	2019	2020
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	0,70	0,43	0,41	0,35
н-Пар/и-Пар в сырье	0,22	0,50	0,79	1,04
Ароматика, % мас.	70,6	83,2	84,7	86,4
Кокс, % мас.	0,48	0,56	0,60	0,63
Октановое число, пунктов	101	105	105	106
Выход риформата, % мас.	84,9	87,8	87,1	87,6

увеличении срока эксплуатации месторождения выход риформата больше всего изменяется в сторону роста при использовании каталитической системы 3, и максимальное его значение составляет 92,4% мас. Минимальное значение выхода риформата (86,1% мас.) достигается при работе на катализаторе 1.

Расчеты показали, что катализатор 3 характеризуется наибольшей стабильностью из всех рассмотренных типов, максимальное значение концентрации кокса на его поверхности составляет 0,55% мас. при объеме переработанного сырья 132,5 тыс. м^3.

Таким образом, при увеличении срока эксплуатации газоконденсатного месторождения, газовый конденсат (потенциальное сырье риформинга) насыщается ароматическими соединениями, «утяжеляется». В связи с этим происходит более интенсивное коксонакопление на поверхности катализатора, увеличивается содержание ароматических соединений в риформате, повышается октановое число целевого продукта, а также увеличивается выход риформата.

В результате проведенных численных исследований и анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным катализатором для переработки сырья с различных газоконденсатных месторождений при данном технологическом режиме является катализатор 4. Показатели процесса риформинга при его использовании имеют следующие значения: содержание кокса на катализаторе – 0,55% мас., выход риформата – 91,2% мас., октановое число – 107,9 пункта и содержание ароматических соединений в риформате – 90,72% мас.

Подбор катализатора – задача многокритериального анализа, которая сводится к усреднению параметров, характеризующих эффективное проведение процесса. Таким образом, катализатор 4 благодаря своей высокой насыпной плотности и сбалансированности по составу позволяет достичь максимальной эффективности и рентабельности процесса.

Так как оптимальной каталитической системой в данном случае является катализаторы 1 и 2, следовательно, в таблице 11 приведен только катализатор 2, так как результаты расчет на катализаторе 1, использованном на данной установке, приведены в таблице 9.

Для сырья марки С, характеризующегося повышенным содержанием нафтеновых углеводородов, максимально подходящими катализаторами являются каталитические системы марки 1 и 2. Данные зависимости идентичны предыдущим, так как тенденция роста как качественных, так и количественных характеристик целевого продукта с увеличением срока эксплуатации газоконденсатного месторождения сохраняется.

Однако более качественный продукт, насыщенный ароматическими углеводородами, с повышенной детонационной стойкостью, получается при использовании катализатора 1. На данном катализаторе достигаются максимальный выход ароматических углеводородов – 88,78% мас. и максимальное октановое число соответственно – 106,9 пункта, что подтверждается рисунками 5 и 6.

При количественной оценке показателей процесса каталитического риформинга на катализаторах данной марки наблюдается также тенденция роста при увеличении срока эксплуатации, которая отражена на рисунке 7. Однако в данном случае максимальный выход высокооктанового топлива наблюдается при использовании катализатора 2 и составляет 87,83% мас.

На рисунке 6, на котором представлены изменения накопления кокса на поверхности катализатора, продемонстрированы показатели высокой стабильности катализатора 2, отражающиеся в низком содержании кокса на поверхности катализатора – 0,63% мас.

Таким образом, наиболее оптимальным катализатором при использовании сырья, богатого углеводородами циклического строения, является катализатор 2. Данный катализатор, так же, как и катализатор марки 3, является сбалансированным и характеризуется высоким значением насыпной плотности – 690 кг/м^3.

Заключение

В данной работе с использованием математической модели исследовано влияние состава сырья трех газоконденсатных месторождений на выход и качество продукта каталитического риформинга – риформата, а также выполнены прогнозные расчеты по модели с учетом загрузки восьми различных марок катализаторов. Продемонстрировано, что математическая модель позволяет учесть влияние сырья на выход и качество риформата, а также подобрать катализатор, подходящий для того или иного типа сырья.

На основании полученных результатов сформулированы следующие зависимости:

- при увеличении срока эксплуатации газоконденсатных месторождении вследствие явления «обратной конденсации» увеличивается содержание ароматических соединений в целевом продукте. Соответственно, при использовании такого типа сырья можно добиться высокого октанового числа и выхода риформата, но вместе с тем и повышенного коксонакопления на поверхности катализатора;
- для определенного типа сырья были подобраны катализаторы: для сырья с повышенным содержанием ароматических соединений сбалансированный катализатор с высокой насыпной плотностью типа 4; для классического сырья с высоким содержанием циклических углеводородов оптимальным является катализатор 2, содержание кислотной и металлической составляющих в котором сбалансированы;
- газовый конденсат – ценное сырье для получения бензинов наряду с классическим сырьем риформинга нуждается в предварительной гидроочистке от сернистых соединений. ●

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-71-10015-П, https://rscf.ru/project/19-71-10015/

ФАКТЫ

Газовый конденсат

при увеличении срока эксплуатации ГКМ «утяжеляется», в связи с чем запускаются процессы, приводящие к повышению октанового числа целевого продукта и увеличивается выход риформата

Литература

1. *Rahimpour, M., Jafari, M., Iranshah, D. Progress in catalytic naphtha reforming process, A review. Appl. Energy. 109 (c) (2013) 79–93.*
2. *World Oil Outlook 2022 Organization of the Petroleum Exporting Countries [Электронный ресурс] – 1 компьютерный файл (pdf; 13 286 KB).*
3. *OPEC Monthly Oil Market Report 14 March 2023 Organization of the Petroleum Exporting Countries [Электронный ресурс].*
4. *Ancheyta, J. Modeling and Simulation of Catalytic Reactors for Petroleum Refining [Text] / Ancheyta J. // First Edition, John Wiley & Sond, Inc. Published. – 2011. – P. 313–367.*
5. *A. Noskov, Two centuries of mathematical modelling. Report at the problem seminar on 90-th anniversary of M.G. Slinko, 2005.*
6. *Gyngazova M.S., Kravtsov A.V., Ivanchina E.D., Korolenko M.V. et al., Reactor modeling and simulation of moving-bed catalytic reforming process, Chem. Eng. J., 2011, 176–177, 134–143.*
7. *Zagoruiko A.N., Belyi A.S., Smolikov M.D., Noskov A.S. Unsteady-state kinetic simulation of naphtha reforming and coke combustion processes in the fixed and moving catalyst beds, Catal. Today, 2014, 220–227, 168–177.*
8. *Yakupova I.V., Ivanchina E.D., Sharova E.S., Mathematical modelling method application for optimisation of catalytic reforming process, Procedia Chem., 2014, 10, 197–202.*
9. *Belinskaya, N.S., Ivanchina, E.D., Ivashkina, E.N., Chuzlov, V.A., Faleev, S.A. Mathematical modeling of the process of catalytic hydrodewaxing of atmospheric gasoil considering the interconnection of the technological scheme devices, Procedia Eng., 2015, 113, 68–72.*
10. *Ivanchina, E., Ivashkina, E., Nazarova, G. Mathematical modelling of catalytic cracking riser reactor, Chem. Eng. J., 2017, 329, 262–274.*
11. *http://www.uop.com*
12. *http://www.axens.net*
13. *Белый А.С. Современное состояние, перспективы развития процесса и катализаторов риформинга бензиновых фракций нефти / Катализ в промышленности. – 2014. – 5. – С. 23–28.*
14. *Belyi, A. Reforming Catalysts of the PR Family: Scientific Foundations and Technological Advancement, Kinet. Catal. 46(5) (2005) 684–692.*
15. *http://www.olkat.ru*
16. *Смышляева Ю.А., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В., Зыонг Ч.Т., Фан Ф. Разработка базы данных по октановым числам для математической модели процесса компаундирования товарных бензинов / Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 3. – С. 75–80.*
17. *Пчелинцева И.В., Чернякова Е.С., Красовская О.К., Кокшаров А.Г. Влияние состава сырья газоконденсатных месторождений на процесс каталитического риформинга Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2022, Т. 333, № 10, С. 105–116.*
18. *https://hht.tpu.ru/kravtsov/*
19. *Ivanchina, E., Chernyakova, E., Pchelintseva, I., Poluboyartsev, D. Mathematical modeling and optimization of semi-regenerative catalytic reforming of naphtha. Oil & Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles, Institut Français du Pétrole (IFP), 2021, 76, p. 64.*
20. *ГОСТ Р 52714-2018 «Бензины автомобильные. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии». – М.: Стандартинформ, 2018. – 11 с.*

Keywords: *catalytic reforming, raw material composition, gas condensate field, mathematical model, catalytic system, product yield, octane number.*

23-26 мая 2023
Уфа, Республика Башкортостан

Российский нефтегазохимический форум

ГАЗ. НЕФТЬ. ТЕХНОЛОГИИ

31-я международная выставка

РЕКЛАМА

www.gntexpo.ru
+7 (347) 246-41-77
gasoil@bvkexpo.ru
ВДНХ ЭКСПО

ОРГАНИЗАТОРЫ
ПРАВИТЕЛЬСТВО РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ЭНЕРГЕТИКИ И ИННОВАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН
БВК БАШКИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

ТРАДИЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА
МИНПРОМТОРГ РОССИИ
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РФ

ТРАДИЦИОННОЕ СОДЕЙСТВИЕ
СОЮЗ НЕФТЕГАЗОПРОМЫШЛЕННИКОВ РОССИИ
СОЮЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ЭНЕРГОИННОВАЦИЯ

ПАРТНЕРЫ ДЕЛОВОЙ ПРОГРАММЫ
ЦСМ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН
РОСНЕФТЬ
БАШНЕФТЬ
НАУРР

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТИЛАКРИЛАТА

в качестве одоранта на газоперерабатывающем производстве

Чучалина Анна Дмитриевна
доцент кафедры «Химические технологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, к.т.н.

Рябов Валерий Германович
заведующий кафедры «Химические технологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, профессор, д.т.н.

Ширкунов Антон Сергеевич
доцент кафедры «Химические технологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, к.т.н.

Поторочин Андрей Владимирович
руководитель группы переработки нефти отдела оптимизации бизнеса и технологического сопровождения производства ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»

Загоскин Даниил Александрович
специалист отдела оптимизации бизнеса и технологического сопровождения производства ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез»

В РАБОТЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТИЛАКРИЛАТА В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ОДОРАНТА СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ. ИЗУЧЕНА ОДОРИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МЕТИЛАКРИЛАТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИЯХ В СОСТАВЕ ПРОПАН-БУТАНОВОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СМЕСИ ПРОИЗВОДСТВА ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМНЕФТЕОРГСИНТЕЗ», А ТАКЖЕ ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КОРРОЗИОННУЮ АКТИВНОСТЬ ТОВАРНОГО ПРОДУКТА, СТЕПЕНЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ И ДР. ПОКАЗАНО, ЧТО МЕТИЛАКРИЛАТ МОЖЕТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАН В КАЧЕСТВЕ ОДОРАНТА ТОЛЬКО ПРИ СОБЛЮДЕНИИ УСЛОВИЙ ЕГО ХРАНЕНИЯ, А ТАКЖЕ ДОВЕДЕНИИ ДО СВЕДЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕГО ВОСПРИЯТИЯ В БЫТОВЫХ УСЛОВИЯХ

THIS PAPER PRESENTS THE RESULTS OF STUDYING THE POSSIBILITY OF USING METHYL ACRYLATE AS AN ALTERNATIVE ODORANT FOR LIQUEFIED HYDROCARBON GASES. THE ODORIZING ABILITY OF METHYL ACRYLATE AT ITS VARIOUS CONCENTRATIONS IN THE COMPOSITION OF A PROPANE-BUTANE MIXTURE FROM OOO «LUKOIL-PERMNEFTEORGSINTEZ», AS WELL AS ITS EFFECT ON THE CORROSIVE ACTIVITY OF A COMMERCIAL PRODUCT, THE DEGREE OF IMPACT ON RUBBER PRODUCTS, ETC., HAS BEEN STUDIED. IT HAS BEEN SHOWN THAT METHYL ACRYLATE CAN BE USED AS ODORANT ONLY IF THE CONDITIONS OF ITS STORAGE ARE OBSERVED, AS WELL AS BRINGING TO THE ATTENTION OF THE CONSUMER THE FEATURES OF ITS PERCEPTION IN DOMESTIC CONDITIONS

Ключевые слова: *газопереработка, одорант, меркаптаны, метилакрилат, пропан, бутан.*

УДК 662.76

Природный газ (метан с примесью этана) и сжиженные углеводородные газы (пропан-бутановые смеси) не обладают запахом, поэтому их утечка из системы подачи газа или из газового оборудования может быть обнаружена лишь специальными датчиками. В то же время утечки газов и на промышленных объектах и, особенно, в бытовом применении могут вызвать отравление людей, а при определенных концентрациях образовать взрывоопасную газовоздушную смесь.



Для оперативного выявления наличия таких углеводородных газов в окружающем воздухе в товарный газ добавляют специальные вещества – одоранты, имеющие резко выраженный запах. Обнаружение данного запаха позволяет выявить наличие утечек в системе газопроводов или газового оборудования на ранних стадиях без специальных технических средств.

Добавляемые в углеводородные газы одоранты должны обладать следующими свойствами:

- иметь резкий специфический запах даже в малых концентрациях;
- проявлять химическую устойчивость в парообразном состоянии при смешении с углеводородным газом;
- быть полностью растворимыми в жидких углеводородах (в случае применения в сжиженных углеводородных газах);
- обладать минимальной токсичностью в рабочих концентрациях;
- не оказывать существенного коррозионного воздействия на материалы газопроводов и газового оборудования.

В частности, с 1984 года на всех газораспределительных станциях РФ используется одорант СПМ (смесь природных меркаптанов), который производится на Оренбургском газоперерабатывающем заводе из сырья, основой которого служит газоконденсат Оренбургского и Карачаганакского месторождений. Одорант СПМ является многокомпонентным веществом и представляет собой смесь различных меркаптанов [1–5].

В зарубежных странах широко используются одоранты, представляющие собой синтетические меркаптаны, получаемые на основе серы, сероводорода, сульфидов и других сернистых соединений. Зачастую для одорирования используются смеси нескольких веществ.

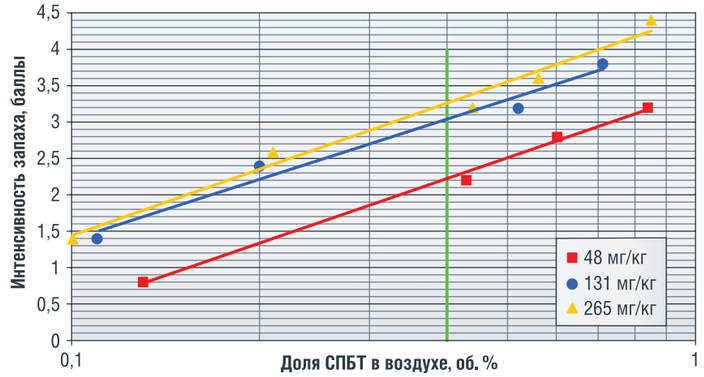
В настоящее время в западных странах начато производство и использование в качестве одорантов соединений, не содержащих в своем составе серу, в частности алкильных соединений, акрилатов, кротонового альдегида и др. Одним из таких соединений, которые могут выполнять роль одоранта, является метилакрилат.

В связи с возникшим в последние годы дефицитом одоранта СПМ, задача поиска альтернативных одорирующих агентов для отечественной газопереработки является весьма актуальной. Именно поэтому в данной работе рассмотрены результаты исследований по применению метилакрилата в качестве одоранта сжиженного углеводородного газа на предприятии ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез».

Для оценки применимости метилакрилата в качестве одоранта для смеси пропана и бутанов различных марок на первоначальном этапе были выполнены исследования по определению стабильности метилакрилата, коррозии на медной пластинке и оценке воздействия метилакрилата на резинотехнические изделия (РТИ).

Для оценки стабильности метилакрилата выполняли выдерживание 200 г чистого исходного вещества в прозрачном сосуде с плотно закрытой крышкой при комнатной температуре в течение 20 суток. Через 20 суток проводилась визуальная оценка образования осадков, помутнения образца, других изменений.

РИСУНОК 1. График зависимости интенсивности запаха сжиженных углеводородных газов от их содержания в воздухе



В ходе эксперимента установлено, что никаких визуальных изменений не произошло. Метилакрилат по-прежнему являлся однородной прозрачной жидкостью с характерным резким запахом чеснока.

Коррозия на медной пластине определялась по ГОСТ Р 57039-2016. Для этого в сосуд помещали ориентировочно 100 г метилакрилата, который термостатировали при 37 °C (100 °F). Затем в емкость помещали предварительно подготовленные медные пластинки, которые выдерживали в течение одного часа. Воздействие агрессивной среды на медную пластинку оценивалось по специальной таблице. В результате проведения испытания пластинки незначительно потускнели без изменения цвета, что соответствует 1 классу.

Определение воздействия метилакрилата на РТИ проводили путем визуальной оценки образца РТИ на набухание и растрескивание после воздействия метилакрилата в течение 20 минут при нормальных условиях.

По результатам визуальной оценки можно сделать вывод, что растрескивания резинового трубопровода не произошло, однако наблюдается его набухание. Измерения показали набухание образцов РТИ на 12–14 %. При этом, через 12 часов после извлечения образов из метилакрилата они восстановили прежние размеры ввиду полного испарения метилакрилата, а также за счет эластичности самого РТИ.

Для оценки непосредственной применимости метилакрилата в качестве одоранта были приготовлены смеси пропана и бутанов (в виде смеси пропан-бутан технической, СПБТ) с метилакрилатом при различных концентрациях последнего, которые были исследованы по ряду показателей, а именно:

- интенсивность запаха;
- объемная доля жидкого остатка при 20 °C;
- коррозия на медной пластинке;
- оценка воздействия на РТИ.

Интенсивность запаха оценивалась по ГОСТ 22387.5. Согласно приведенной в стандарте методике, были отобраны пять испытателей без признаков простудных заболеваний. Смешение газовой смеси с воздухом проводилось при помощи органолептического одориметра ОРГО.

На основании полученных от испытателей данных, путем графических построений на полулогарифмической шкале (рисунок 1) установлено, что интенсивность запаха СПБТ с добавлением 48 мг/кг (ppm) метилакрилата не соответствует норме, определенной стандартом, она составляет 2,2 балла. В то же время внесение в СПБТ 131 мг/кг метилакрилата оказалось достаточным для эффективного одорирования газовой смеси и составило 3,1 балла при норме не ниже 3,0 баллов (при концентрации газов в воздухе 0,4 об. %, зеленая линия на рисунке 1). Одорирование газа большим количеством метилакрилата не привело

к значительному увеличению среднего балла интенсивности запаха, и для 265 мг/кг составило 3,4 балла. Это может быть обусловлено как чувствительностью обонятельных рецепторов испытателей – при достижении определенной концентрации одоранта он воспринимается одинаково сильно пахнущим, так и максимальным количеством баллов по шкале интенсивности запаха (оно составляет 5 баллов).

Таким образом, содержание 131 мг/кг метилакрилата в СПБТ является оптимальным. Кроме того, испытатели отмечали запах чеснока в исследованных пробах, который сложно идентифицировать потребителям бытового газа, поскольку данный запах, как правило, не ассоциируется с данным газом.

Объемная доля жидкого остатка оценивалась по ГОСТ 20448, п. 9.2 путем выдерживания 100 мл газовой смеси при температуре 20 °С в течение 20 минут.

Испытание проб СПБТ без добавления метилакрилата показало отсутствие углеводородов в жидком остатке.

Проведение исследований проб с содержанием метилакрилата 48 мг/кг обнаружило 0,4 об. % углеводородов, а анализ для проб с содержанием метилакрилата в диапазоне от 147 до 265 мг/кг на содержание жидкого остатка показал, что его количество не превышает 0,7 об. %.

Коррозия на медной пластине определялась аналогичным описанному ранее способом.

В результате проведенных испытаний пластинки, подвергшиеся воздействию смеси СПБТ и 48 мг/кг метилакрилата, а также смеси с содержанием 131 мг/кг метилакрилата слегка потускнели без изменения цвета, что соответствует 1 классу.

Аналогичная картина потускнения медных пластин наблюдается при испытании проб СПБТ с содержанием метилакрилата 147–150 мг/кг. Однако при увеличении его концентрации выше 250 мг/кг наблюдается сильное изменение цвета пластин до графитового и темно-серого, что свидетельствует о 4 классе коррозионной активности.

Для более полной оценки коррозионной активности данная серия экспериментов была повторена одновременно с добавлением 0,5–0,7 мас. % воды во все пробы.

В данном случае уже начиная с концентрации метилакрилата 48 мг/кг пластинки после испытания сильно потускнели, стали многоцветными с красным и зеленым оттенками (павлиний), но без серого, что соответствует 3 классу.

Для проб с более высокой концентрацией метилакрилата (131 мг/кг и выше) при добавлении воды зафиксирована сильная коррозия до почернения медных пластинок – 4 класс.

Результаты проведенных испытаний показали, что коррозию в пробах могут вызывать соединения меркаптановой серы и высокие (более 250 мг/кг) концентрации метилакрилата (в котором согласно паспорту производителя содержатся остаточные количества акриловой кислоты), а усиливать ее – водная среда.

Оценка воздействия одорированной газовой смеси на РТИ проводилась тем же способом, что в случае чистого метилакрилата.

После воздействия одорированной газовой смеси на РТИ в течение 20 минут существенных изменений, подлежащих визуальной оценке (набухание, растрескивание), с образцами не произошло.

Заключение

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При условии хранения метилакрилата в сосуде с непрозрачными стенками в течение 40 дней полимеризации или иных нежелательных явлений не наблюдается. В то же время необходимо соблюдение ряда условий при его хранении:

- хранение в герметичном резервуаре из алюминия или нержавеющей стали, защищенном от прямых солнечных лучей;
- температура хранения не выше 30 °С;
- хранение в присутствии кислородсодержащего газа (с содержанием кислорода порядка 6–9 %), при этом хранение под инертными газами не допускается;
- циркуляция метилакрилата, находящегося в резервуаре не менее одного раза в неделю.

2. Чистый метилакрилат в количестве, превышающем 250 мг/кг в СПБТ, проявляет коррозионную активность, проверенную испытанием на медной пластинке. Присутствие воды существенно усиливает коррозионное воздействие как метилакрилата, содержащего остаточные количества акриловой кислоты, так и сернистых соединений, содержащихся в газовой пробе.

3. Воздействие чистого метилакрилата на резинотехнические изделия носит незначительный характер и проявляется в набухании РТИ на 12–14 % в зависимости от продолжительности их использования. В тоже время при низких концентрациях метилакрилата в составе СПБТ (48 и 131 мг/кг) негативного влияния на РТИ не наблюдается.

4. Метилакрилат проявляет стойкие одорирующие свойства при его содержании в сжиженном газе на уровне 131 мг/кг, однако ввиду непривычного потребителю газа чесночного запаха может не ассоциироваться им с утечкой газа.

Таким образом, метилакрилат может быть использован в качестве одоранта только при соблюдении условий его хранения, а также доведении до сведения потребителя особенностей его восприятия в бытовых условиях. Также стоит отметить, что в присутствии воды в сжиженном газе метилакрилат, содержащий остаточные количества акриловой кислоты, проявляет высокую коррозионную активность. ●

Литература

1. *Антонов А.С. Одоризация углеводородных топлив / А.С. Антонов, И.А. Федосов / Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–1; Режим доступа: https://eduherald.ru/ru/article/view?id=12097 (дата обращения: 13.10.2022).*
2. *Береговая Н.Г. Оценка эффективности извлечения меркаптанов из потоков стабильного конденсата с целью увеличения выработки одоранта СПМ на Оренбургском газоперерабатывающем заводе / Н.Г. Береговая, Э.Р. Саразова, А.В. Юрченко / Альманах молодой науки. – 2016 г. – №1 – С. 7–10.*
3. *Боруцкий В. Одорант природного газа: особенности одорантов, нормы и правила их ввода. Интернет-энциклопедия по обустройству сетей инженерно-технического обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sovet-ingenera.com/gaz/safety/odorant-prirodnogo-gaza.html (дата обращения: 13.10.2022) – Загл. с экрана.*
4. *Карпов А.Б. Современные методы анализа газов и газоконденсатов. Лабораторный практикум: учебное пособие / А.Б. Карпов, А.Д. Кондратенко, А.М. Козлов. – СПб: Лань, 2022. – 71 с.*
5. *Патент РФ №2377279. Мюллер У., Шорт Д.Н. Одорант газа // заявл. 20.12.2008. – Опубл. 27.12.2009, Бюл. 36.*

KEYWORDS: *gas processing, odorant, mercaptans, methyl acrylate, propane, butane.*

О ЧЕМ ПИСАЛ Neftegaz.RU 10 ЛЕТ НАЗАД…



Правительство РФ приняло постановление о переводе общественного транспорта на газ

14 мая 2013 г. правительство России приняло постановление о переводе на газовое топливо не менее половины общественного транспорта в стране. Газпром и другие компании готовы профинансировать создание инфраструктуры в городах. В настоящее время в России существует более 3 тысяч заправочных станций, продающих пропан-бутан.



• Комментарий Neftegaz.RU

В марте 2022 г. было подписано постановление об увеличении субсидирования расходов по переводу транспорта с бензина на метан с 24 до 48 %. В феврале 2023 г. стало известно, что за последние 4 года было просубсидировано строительство 300 АГНКС. Если в 2019 г. в качестве моторного топлива использовалось около 1 млрд м³ газа, то к началу 2023 г. показатель увеличился до 1,7 млрд м³. Прогнозируется, что к 2025 г. потребление газа в качестве ГМТ в России вырастет до 3,3 млрд м³. Наибольший прирост отмечен в Сахалинской области (82 %), Белгородской области (26 %), г. Санкт-Петербурге (20 %), Ленинградской области (17 %) и Свердловской области (15 %).

ЛУКОЙЛ и SNF договорились о запуске производства акриламида и полиакриламида на Саратоворгсинтезе в 2016 г.

В мае 2013 г. стало известно, что ЛУКОЙЛ и SNF договорились о запуске совместного производства. На первом этапе SNF SAS начнет производство акриламида в объеме 50 тыс. т в год и полиакриламида объемом 30 тыс. т в год. Производство продукции, предположительно, начнется в 2016 г. На втором этапе производство будет увеличено до 60 тыс. т в год, а затем до 100 тыс. т в год.

• Комментарий Neftegaz.RU

В 2023 г. в результате введения европейских санкций холдинг SNF заморозил строительство завода по производству акриламида и полиакриламида, так как ввоз оборудования попал под запрет.



К тому времени строительство было выполнено на 40 %. Однако, согласно сообщению министра промышленности и энергетики Саратовской области М. Торгашина, проект строительства не прекращен, а только приостановлен. Как сообщает «Ъ», на проекте «проведены проектные работы, частично выполнены строительно-монтажные работы в производственном, инженерном и бытовом корпусах, выполняются подготовительные работы для строительства подстанции».

Первая нефть на Кашагане будет добыта в начале июля 2013 г.

Минэнерго Казахстана подгоняет, чтобы обеспечить нефтяной фонтан к июлю, а NCOC пытается отбиться, говорит, что нереально это сделать даже в тестовом режиме. Но, по всей видимости, Астане надоели постоянные переносы на Кашагане: «Максимум сентябрь», – сказал 23 апреля 2013 года министр нефти и газа Казахстана С. Мынбаев.

• Комментарий Neftegaz.RU

Промышленная добыча нефти на Кашагане в казахстанском секторе Каспийского моря стартовала 11 сентября 2013 года. Но уже через несколько недель начались технические неполадки, приводящие к утечкам газа. В результате NCOC сообщил о растрескивании трубопровода под действием сульфидных соединений. Коммерческая добыча началась в 2016 г. и к лету 2017 г. составила более 200 тыс. барр. нефти в сутки. С 20 марта 2023 г. Казахстан экспортирует нефть с месторождения Кашаган в обход России для поставки в направлении порта Баку. ●

ГЛОБАЛЬНЫЙ РОСТ ИЛИ ЛОКАЛЬНАЯ ПОДСТРОЙКА?

Какие пути выбирают российские нефтесервисные компании в новых условиях

УДК 622.276; 338.1

ДЛЯ РОССИЙСКОГО НЕФТЕСЕРВИСА НАСТАЛИ ЗОЛОТЫЕ ВРЕМЕНА? ФОРМАЛЬНО ЭТО ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ТАК, ГЛОБАЛЬНЫЕ КОНКУРЕНТЫ ПОКИНУЛИ РЫНОК, А ЗАКАЗЧИКИ И ПРОЕКТЫ ОСТАЛИСЬ. ЕСТЬ ПЛАНЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОТОРЫХ ТРЕБУЮТСЯ УСЛУГИ НЕФТЕСЕРВИСНЫХ КОМПАНИЙ. ПОНЯТНО, ЧТО СПРОС СЕЙЧАС НАХОДИТСЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ГЕОПОЛИТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, СВЯЗАННЫХ С ОБЪЕМАМИ ДОБЫЧИ, НО ЭТО ВРЕМЕННЫЙ ТРЕНД. В ТАКИХ УСЛОВИЯХ ВОЗНИКАЕТ ЗАКОНОМЕРНЫЙ ВОПРОС: ГОТОВЫ ЛИ РОССИЙСКИЕ ИГРОКИ ОСВОИТЬ РЫНОЧНЫЕ НИШИ, ОСВОБОЖДЕННЫЕ «ИНОСТРАНЦАМИ»? ОБ ЭТОМ МЫ ПОГОВОРИЛИ С РУКОВОДСТВОМ КОМПАНИИ «ПЕТРОИНЖИНИРИНГ», КОТОРАЯ С 2009 ГОДА РЕАЛИЗУЕТ ПРОЕКТЫ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

HAS THE GOLDEN AGE OF THE RUSSIAN OILFIELD SERVICES BEGUN? FORMALLY, THIS IS TRUE: GLOBAL COMPETITORS LEFT THE MARKET, BUT CUSTOMERS AND PROJECTS REMAINED. THERE ARE PLANS FOR THE DEVELOPMENT OF FIELDS, FOR THE IMPLEMENTATION OF WHICH THE SERVICES OF OILFIELD SERVICE COMPANIES ARE REQUIRED. IT IS CLEAR THAT NOWADAYS DEMAND IS UNDER PRESSURE FROM GEOPOLITICAL FACTORS RELATED TO PRODUCTION VOLUMES, BUT THIS IS A TEMPORARY TREND. A NATURAL QUESTION ARISES UNDER SUCH CONDITIONS: ARE RUSSIAN PLAYERS READY TO MASTER THE MARKET NICHES VACATED BY "FOREIGNERS"? WE HAVE DISCUSSED THIS WITH THE MANAGEMENT OF THE PETROENGINEERING COMPANY, WHICH HAS BEEN IMPLEMENTING PROJECTS FOR THE OIL AND GAS COMPLEX SINCE 2009

Ключевые слова: *нефтесервис, добыча, импортозамещение, консалтинговая экспертиза, оборудование.*

Кебедов Руслан Гасанович

директор по связям с общественностью, ООО «ПетроИнжиниринг»

Плюсы и минусы

Уход крупных зарубежных игроков не стоит воспринимать как однозначно позитивный фактор, считает Салих Гаджиев, учредитель Группы компаний «ПетроИнжиниринг». «С одной стороны, у нас действительно освободились для работы ниши, в которых с иностранцами было невозможно конкурировать. С другой – уход глобальных компаний повлек за собой отток инновационных технологий, специализированного оборудования и ПО, а также инженерного персонала с административными навыками мирового уровня», – говорит он.

Для конкретных российских компаний и проектов это, возможно, и плюс, но для развития рынка в целом – очевидный минус. Чтобы закрыть пробел, местным игрокам необходимо активно работать уже сейчас: развивать и наращивать собственную экспертизу, производить необходимое оборудование, создавать инженерные решения на базе комплектующих российских, белорусских, китайских брендов, анализировать данные по отказам и т.д.

При этом не стоит забывать о заказчиках, у которых год от года растет себестоимость бурения, добычи и переработки. И они хотят получать высокоуровневые нефтесервисные услуги, при этом добиваясь экономии текущих издержек. Сделать это без применения новых технологий и специализированной экспертизы уже невозможно.

Реальный уровень проблемы

Все вышеперечисленное – только вершина айсберга. Корни проблемы уходят гораздо глубже и упираются в причины чисто экономического свойства. В условиях отсутствия жесткой конкуренции (при наличии того же пула заказчиков и проектов) многие российские компании начинают мыслить локальными категориями и концентрируются на реализации проектов «здесь и сейчас», экономя на разработках, экспертизе и технологических решениях.

Вместо запроса на производство качественных комплектующих, повышение квалификации









Генеральный директор ООО «ПетроИнжиниринг» Алексей Гавриков на площадке завода «Прогрессия»

инженеров и разработку отечественного ПО рынок генерирует одноразовые задачи: найти альтернативные цепочки поставок, переименовать европейские бренды, снизить качество сервиса под бюджет клиента и т.д. Вместо масштабного освоения нефтесервисной отрасли компетентными компаниями формируется тенденция к подстраиванию игроков и заказчиков под локальные условия. К счастью, далеко не все участники рынка действуют в этом русле.

Оптимистичные тренды

На рынке есть и противоположный тренд, в рамках которого российские компании стараются укрепиться на позициях ушедших глобальных игроков и предоставить клиентам аналогичный уровень сервиса. Речь идет не только об оборудовании соответствующего качества, но и о консалтинговой экспертизе, в которой заказчики сейчас нуждаются так же остро, как и в технологичном «железе». «Сегодня к нам все чаще приходят компании с идеями сотрудничества, – комментирует Алексей Гавриков, генеральный директор ООО «ПетроИнжиниринг». – Это поставщики, промышленники, представители заказчиков, которые хотят производить нужное оборудование, модернизировать свои системы, создавать сервис нового уровня. Для этого им нужна инжиниринговая экспертиза, поддержка технических специалистов, помощь в реализации проектов и т.д. Пока это единичные компании, эксперты и энтузиасты, но именно у них есть шанс стать локомотивом будущего развития рынка».

> Заказчики хотят получать высокоуровневые нефтесервисные услуги, при этом добиваясь экономии текущих издержек. Сделать это без применения новых технологий и специализированной экспертизы уже невозможно

Фокус на российское производство

Чтобы поддержать этот тренд и эффективно удовлетворить спрос, который начинает формироваться, компания «ПетроИнжиниринг» приобрела производственную площадку в Прикамье. Это действующий завод «Промышленной группы Прогрессия» – авторизованного партнера европейского машиностроительного гиганта ABB, который ушел из России в 2022 году. Мощности завода позволяют выпускать 360 единиц высокотехнологичного оборудования в год. Производственный комплекс занимает площадь в 3 748 кв. метров и представляет собой предприятие полного цикла, оснащенное станками и системами последнего поколения. Это оборудование для металлообработки (включая лазерную резку и гравировку), сварочных работ, шинообработки, лакокрасочные камеры с аппаратами

безвоздушного распыления, а также специализированная техника для погрузочно-разгрузочных работ (включая балочные краны в цехах). Завод располагает собственными складскими помещениями для хранения запчастей, сырья и расходных материалов.

Замещение импорта – решаемая задача

Любая производственная площадка в России сегодня должна подстраиваться под курс импортозамещения и применять альтернативную продукцию.

> В консалтинговой экспертизе заказчики нуждаются так же остро, как и в технологичном «железе»

В обслуживании производственного комплекса задействованы собственные проектно-конструкторские подразделения, служба технического контроля, а также штат высококвалифицированных сборщиков. Всего порядка 100 специалистов.

Потенциал и реализация

«За многолетнюю историю сотрудничества с международной промышленной группой ABB, крупными заказчиками и нефтесервисными компаниями, мы накопили большой опыт производства и модернизации оборудования, а наши технические специалисты имеют компетенции для выполнения сложных инженерных задач, – объясняет Роман Жаков, заместитель генерального директора ООО «Промышленная группа Прогрессия». Этот потенциал мы уже начали реализовывать в совместных проектах с ООО «ПетроИнжиниринг».

На данный момент большая часть мощностей завода задействована в производстве оборудования для буровых предприятий, нефтеперерабатывающих и добывающих компаний, организаций ЖКХ. Это системы для приема, трансформирования и распределения электрической энергии: подстанции, блок-боксы и модульные блоки, камеры обслуживания КСО, низковольтные системы распределения и управления (типовые и специализированные). В ближайших планах – наращивание объемов производства бурового оборудования и систем для специфических нужд нефтегазовых компаний.

Завод в Пермском крае сумел эффективно решить эти задачи, заменив европейские комплектующие низкого и среднего напряжения на отечественные. В ряде производственных процессов также используются аналоги белорусского и китайского производства, не уступающие в качестве «европейцам». «Доля используемого импорта сегодня снижается и уже не превышает 10–20%, – объясняет Роман Жаков. – А если мы говорим о лакокрасочных материалах, конструктивных элементах и стали, то здесь доля отечественных поставок составляет 100%».

Сложности или возможности?

Наращивание производственной базы – ресурсоемкий и затратный процесс, однако для некоторых компаний нефтесервисного рынка такой шаг вполне оправдан, поскольку формирует поле для реализации проектов нового уровня. Если раньше такие компании поставляли оборудование и предлагали инжиниринг, то сейчас в этот список добавляется целый ряд проектов: от технического консалтинга до разработки новых модификаций оборудования под конкретного заказчика. При этом сокращается количество посредников, а клиент может реализовать возможности дополнительной экономии затрат, даже если его оборудование производится на заказ. Наличие собственной базы позволяет обеспечить прозрачность хода производственных процессов, контролировать использование сырья, материалов, комплектующих и предлагать рынку оборудование и услуги принципиально нового уровня качества. ●

В Группу компаний «ПетроИнжиниринг» входят ООО «ПетроИнжиниринг» и ООО «Инновационная Сервисная Компания «ПетроИнжиниринг».

ООО «ПетроИнжиниринг» специализируется на реализации проектов любой сложности в сфере комплексного обустройства объектов нефтегазовой, нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической отраслей от проектирования и разработки технического задания до ввода объекта в эксплуатацию, включая производство и поставку оборудования, обучение персонала заказчика и постгарантийное обслуживание.

ООО «ИСК «ПетроИнжиниринг» – интегратор инженерных сервисных услуг в сфере бурения нефтяных и газовых скважин. Компания осуществляет деятельность в нескольких сегментах нефтесервисного рынка: телеметрическое сопровождение наклонно-направленного бурения, сопровождение буровых растворов, цементирование и крепление скважин, долотный сервис, сопровождение гидравлических забойных двигателей (ГЗД) и бурового инструмента, а также отбор керна. Компания имеет филиалы в Когалыме, Усинске и Перми, обособленные подразделения в регионах Урало-Поволжья и Восточной Сибири, собственную научно-исследовательскую лабораторию, а также завод по производству PDC-долот в Самаре, владеет несколькими цехами по ремонту гидравлических забойных двигателей и собственным парком ГЗД. В активе компании свыше 150 инженерных сервисных постов по буровым растворам на месторождениях нефти и газа в России и за рубежом по контрактам с крупнейшими недропользователями и буровыми компаниями.

Keywords: *oilfield services, production, import substitution, consulting expertise, equipment.*

ПРИОРИТЕТ
юридическая компания

Тендерный
КОНСАЛТИНГ

ПОДДЕРЖКА УЧАСТНИКОВ ЗАКУПОК НА ВСЕХ ЭТАПАХ (ПО ФЗ №44 И ПО ФЗ №223)



Действуя строго в рамках законодательства,
мы обеспечиваем вам честную победу в нужном тендере

+7 495 987 18 50 (многоканальный)

Москва, ул. Крымский вал, д.3, стр.2, офис №7 (м. Октябрьская)



ЭЛЕМЕНТЫ ПИТАНИЯ

для бурения в экстремальных условиях

УДК 621.355

НА БОЛЬШЕЙ ЧАСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИМЕНЯЕТСЯ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОЕ БУРЕНИЕ. НЕОТЪЕМЛЕМОЙ ЧАСТЬЮ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ MEASUREMENT WHILE DRILLING, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ. НО ЛЮБАЯ НЕПОЛАДКА, ПРИВОДЯЩАЯ К ПРОСТОЮ ЭТОГО ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ДОРОГОСТОЯЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ, ВЛЕЧЕТ ЗА СОБОЙ КРУПНЫЕ ФИНАНСОВЫЕ ПОТЕРИ И ОТСТАВАНИЕ ОТ ГРАФИКА РАБОТ. ПОЭТОМУ КРАЙНЕ ВАЖНО ОБЕСПЕЧИТЬ БЕСПЕРЕБОЙНОСТЬ ЕГО РАБОТЫ, ЧТО В ИЗВЕСТНОЙ МЕРЕ ЗАВИСИТ ОТ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ, СПОСОБНЫХ ВЫДЕРЖИВАТЬ ВЫСОКИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ВИБРАЦИОННЫЕ НАГРУЗКИ. О ТОМ, КАКИЕ БАТАРЕИ МОГУТ ГАРАНТИРОВАТЬ БЕЗОПАСНУЮ И ЭФФЕКТИВНУЮ РАБОТУ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНОГО ВНУТРИСКВАЖИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РАССКАЗАЛИ ДИРЕКТОР ООО «СЕЛЛЗ ТРЕЙД» ИЛЬЯ ПЕТРОВ И ДИРЕКТОР AKKU TRONICS NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD БРЮС ЧАН

MOST OF THE DEVELOPED OIL AND GAS FIELDS USE DIRECTIONAL DRILLING. TELEMETRY SYSTEMS MAKE THIS TECHNOLOGICALLY COMPLEX PROCESS AS EFFICIENT AS POSSIBLE. BUT ANY MALFUNCTION LEADING TO DOWNTIME OF THIS HIGH-TECH EXPENSIVE EQUIPMENT INVOLVES LARGE FINANCIAL LOSSES AND DELAYS IN THE WORK SCHEDULE. THEREFORE, IT IS ESSENTIAL TO ENSURE UNINTERRUPTED OPERATION, WHICH, TO A CERTAIN EXTENT, DEPENDS ON THE RELIABILITY OF POWER SUPPLIES THAT CAN WITHSTAND HIGH TEMPERATURE AND VIBRATION LOADS. ILYA PETROV, DIRECTOR OF CELLS TRADE LLC, AND BRUCE CHAN, DIRECTOR OF AKKU TRONICS NEW ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD, SPOKE ABOUT POWER SUPPLIES THAT CAN GUARANTEE THE SAFE AND EFFICIENT OPERATION OF CRITICAL DOWNHOLE EQUIPMENT

Ключевые слова: *скважинное оборудование, бурение, элементы питания, литий-тионилхлоридные батареи, экстремальные условия.*

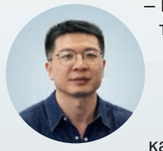


Петров Илья Вадимович
генеральный директор ООО «Селлз Трейд»



Брюс Чан
генеральный директор Akku Tronics New Energy Technology Co., Ltd (Akkutronics)

– Мониторинг процесса бурения предполагает использование телеметрического оборудования, которое работает в условиях экстремальных температурных нагрузок и сильной вибрации. Такое оборудование должно работать безотказно, что, в частности, обеспечивается качественной работой элементов питания. Какие решения предлагает нефтегазовым предприятиям компания Akkutronics?



– Компания производит литий-тионилхлоридные элементы питания для предприятий ТЭК. Во главу угла мы ставим менеджмент качества: начиная от входного контроля поступающей продукции и контроля каждого этапа производства батареи до выходного контроля. Сам способ построения литий-тионилхлоридной батареи выверен с точки зрения качества.

Качество – это главный параметр, особенно когда вопрос касается функционирования дорогостоящего оборудования. Именно такое оборудование применяют нефтегазовые компании, поэтому элементы питания должны справляться с двумя главными задачами: исправно работать при высоких температурах и справляться с сильными вибрационными нагрузками.

Первая задача решается за счет правильно подобранного химического состава. Специалисты нашей компании отлично знают, как правильно делать катод и электролит, чтобы батарея могла работать в самых разных диапазонах температур. Мы тестируем все элементы питания на разных температурах и можем предсказать, как они отработают в тех или иных условиях.

В процессе наклонно-направленного бурения всегда возникает повышенная вибрация, оказывающая влияние на элемент питания. Нивелировать ее негативное воздействие помогает ряд факторов:

во-первых, качественное приваривание электродов к корпусу батарейки;

во-вторых, усаживание корпуса вокруг «начинки» элемента питания;

в-третьих, правильное использование внутреннего пространства элемента питания и размещение там «начинки». Катод батареи спроектирован таким образом, что во время работы он расширяется, что дополнительно удерживает его внутри корпуса без движения даже в условиях самой сильной вибрации.

– Кем обеспечивается наукоемкость продукта и где он тестируется?



– Компания располагает своей научной лабораторией, в которой трудятся высококвалифицированные специалисты. Это ученые с тридцатилетним опытом работы, стоявшие у истоков электрохимической промышленности Китая.

Сегодня нет возможности тестировать химический состав поступающих материалов. Гарантом их качества выступают известные имена производителей комплектующих, к подбору которых в компании относятся с максимальным вниманием. В батареях Akkutronics используются лучшие комплектующие со всего мира: в первую очередь – высококлассный углерод для создания катода, от которого зависит качество элемента питания.

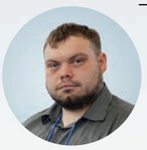
Что касается электрохимических параметров, то процесс их производства на каждом этапе подвергается тщательному тестированию.

Помимо этого батарея проходит испытания на вибростойкость. Мы понимаем, что современное бурение скважины сопровождается огромной вибрационной нагрузкой на оборудование, в том числе, на батарею. Поэтому надежности с точки зрения вибростойкости мы придаем огромное значение.



– Мы персонально просили наших партнеров провести эти тесты, чтобы иметь возможность демонстрировать результаты проверки батарей. Современные дефектоскопы, которыми располагает компания, на любом этапе производства батарейки позволяют проверять ее внутреннюю структуру, т.е. просвечивать закрытый блок элемента питания и диагностировать его состояние. Кроме того, в ближайшее время в лаборатории будет установлен собственный вибростенд, совмещенный с климатической камерой, что расширяет возможности тестирования.

– Akkutronics работает на рынке уже 20 лет, с какими компаниями вы сотрудничаете?



– Батареи производства Akkutronics используют многие российские компании, применяющие наклонно-направленное бурение. В частности, наши партнеры – компания ЭКОХИТ, собирает из элементов питания батарейные картриджи, которые затем применяются для работы оборудования на месторождениях таких компаний, как Роснефть, Башнефтегеофизика, Буринтех и других.

– Эти компании работают в самых разных геолого-климатических условиях, бывают ли у них специальные заказы?

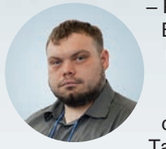


– Бывают частные требования компаний, бывают общие требования рынка. К последним можно отнести необходимость адаптировать DD-элемент питания к российским условиям. Для этого нам пришлось значительно уменьшить длину батареи, сделали ее более универсальной. Такое изменение кажется небольшим лишь на первый взгляд. В действительности же это существенная доработка, основанная на изменении химического состава батареи. Ученым пришлось работать над соотношением электролита и катода, это очень большой пласт научных изысканий.

Также мы адаптировали элемент питания размера CC21, так называемый slim CC. Адаптация заключалась в уменьшении размеров. Это не только наукоемкий процесс, но и многократное тестирование на разных этапах работы. В результате был получен элемент питания, сохранивший ту же емкость при меньшем размере батареи.

Еще один пример спецзаказа поступил от компании Газпром для ее проекта в Охотском море. Он заключался в уменьшении пальчиковой батареи AA, способной работать при температуре 200 °C. Эта нетривиальная задача потребовала применения специального сплава лития, работающего при таких высоких температурах, ведь обычный литий начал бы плавиться. Специалисты компании смогли разработать маленькую батарейку, способную работать при высокой температуре, для чего им пришлось создать специальные составы и просчитать соотношение элементов для правильного взаимодействия, изменив формулу электролита и обдумав как должен выглядеть катод. Компания Akkutronics оказалась единственной, кто смог выполнить такой заказ. Другие компании, в том числе корейские и европейские, спасовали перед сложной задачей.

– Это может пошатнуть стереотип о том, что европейский продукт дорогой и качественный, а китайский более дешевый и менее надежный. Какие еще аргументы, опровергающие эту точку зрения, Вы могли бы привести?



– Китай уже давно очень разный. Все зависит от подхода. Я посетил многие производства, как в Европе, так и Азии, и хочу отметить, что в компании Akkutronics тщательно следят за качеством продукции. Таких автоматизированных систем контроля качества на каждом этапе производства я не видел больше нигде. В качестве примера можно привести систему измерения влажности материалов. Комплектующие, задействованные в производстве элементов питания, должны быть сухими, это напрямую влияет на качество продукта. Для обеспечения контроля за этим параметром в помещении, куда поступают материалы, установлены современные, дорогостоящие контрольно-измерительные приборы, благодаря которым в дальнейший этап производственного цикла допускаются только материалы с нулевым уровнем влажности. Также производство отличается полностью автоматизированной системой заправки, создания и варки электролита. Работа над системой качества велась совместно, мы вместе с нашими партнерами прорабатывали конкретные шаги, которые необходимо совершить на каждом этапе для обеспечения максимального контроля. Нельзя не отметить, что все предписания очень дисциплинированно исполняются работниками завода. Скрупулезность и дисциплина – одна из отличительных черт китайского менталитета.

– Элементы питания – это опасный груз, с какими проблемами приходится сталкиваться в процессе логистики и как Вы их решаете?

– Логистика, действительно, имеет ряд особенностей. Элементы питания относятся к девятому классу опасности, поэтому для вывоза их из Китая необходимо подготовить много документов, пройдя долгий бюрократический путь. Для этого необходимо работать одновременно с рядом департаментов. Мы закупаем батареи на десятки миллионов юаней и заинтересованы в соблюдении всех правил и требований. Но даже имея весь необходимый пакет документов, привезти батареи в Россию задача непростая. Сегодня возможна только авиаперевозка. Автотранспортировку готов обеспечить только один перевозчик, а везти морем долго и, чтобы это было экономически обосновано, заказывать надо большую партию.

– Перевозка обходится дорого?

– Это раза в три-четыре дороже, чем перевозка неопасных грузов.

– Значит, сказывается на конечной цене продукта?

– Сказывается, мы вынуждены закладывать логистику в стоимость продукта, но, даже учитывая это, предлагаемые нами элементы питания все равно дешевле аналогов. В настоящее время это лучшее соотношение цена–качество, т.е. они по качеству сопоставимы с канадскими и корейскими аналогами, но стоят дешевле.

– Когда батарея отработала свой ресурс, ее надо правильно утилизировать. Чья это сфера ответственности и как это происходит?

– Это наша задача и мы своим заказчикам предоставляем право вернуть нам батареи на переработку. Для этого мы сотрудничаем с компанией Технохит, которая занимается переработкой и подготовкой батарей к утилизации.

– Как Вы видите развитие компании? Каким путем планируете идти: экстенсивным или интенсивным?



– Мы пойдем путем, совмещающим оба эти подхода. В планах улучшить и углубить работу с уже действующими заказчиками. Кроме того, мы продолжим отслеживать научные новинки и внедрять лучшие из них в наше производство, улучшая качество продукта и сводя процент брака к минимуму. Линейка наших продуктов применяется почти во всех отраслях промышленности, и все эти рынки мы планируем разрабатывать. Но в первую очередь мы сфокусированы на нефтегазовой отрасли.

Самое главное, над чем мы непрерывно продолжим работать, – это система контроля качества: в ближайшем будущем на нашем заводе будут внедрены дополнительные системы контроля. Помимо этого, мы продолжим работать над созданием новых продуктов. Так, в планах создание низкомагнитных батарей, т.е. элементов питания с очень низким электромагнитным излучением, что важно для использования в высокочувствительных приборах. Продолжим работать над электрохимией. Также есть проект по производству сульфурилхлоридных батареек.

Все эти продукты мы предложим российским компаниям и планируем не только сохранить свои позиции на рынке, но и расширить их. ●

Keywords: *downhole equipment, drilling, batteries, lithium-thionyl chloride batteries, extreme conditions.*



КАЛЕНДАРЬ СОБЫТИЙ

2 июня

Научно-практическая конференция имени Н.Н. Лисовского

Трудно-извлекаемые запасы – настоящее и будущее

г. Москва

июнь

П		5	12	19	26
В		6	13	20	27
С		7	14	21	28
Ч	1	8	15	22	29
П	2	9	16	23	30
С	3	10	17	24	
В	4	11	18	25	

6–9 июня

Электро – 2023

1-я международная выставка

Электрооборудование. Светотехника. Автоматизация зданий и сооружений

г. Москва

20–22 июня

30-я Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием

Вакуумная техника и технологии – 2023

г. Санкт-Петербург

28–29 июня

7-й ежегодный международный инвестиционный форум и выставка

Восточный нефтегазовый форум

г. Владивосток

28–30 июня

Международная научная конференция

Современные тенденции низкоуглеродного развития: глобальные и региональные аспекты

г. Грозный



ПЯТЬ ШАГОВ, ЧТОБЫ ДАТЬ ЦЕПОЧКАМ ПОСТАВОК ИЗ КИТАЯ КОНКУРЕНТНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО

УДК 339.9



Кичигин Юрий Александрович

председатель совета директоров компании АО «ВНОГ»

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК ДЛЯ ТОП-МЕНЕДЖЕРОВ В РОССИИ УВЕЛИЧИЛОСЬ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ, А СЕЙЧАС ВО ВРЕМЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ И САНКЦИЙ ПРОДОЛЖАЕТ ПОВЫШАТЬ СВОЮ ЗНАЧИМОСТЬ. УМЕНИЕ БЫСТРО ПЕРЕСТРОИТЬ СВОИ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК С ЗАПАДА НА ВОСТОК ПРИОБРЕЛО КРИТИЧЕСКУЮ РОЛЬ ДЛЯ РАБОТЫ ЛЮБОЙ КОМПАНИИ В РОССИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

THE STRATEGIC IMPORTANCE OF SUPPLY CHAINS FOR TOP MANAGERS IN RUSSIA HAS INCREASED DURING THE PANDEMIC, AND NOW, DURING THE INSTABILITY AND SANCTIONS, IT CONTINUES TO ENHANCE ITS RELEVANCE. THE ABILITY TO QUICKLY RE-ARRANGE THEIR SUPPLY CHAINS FROM WEST TO EAST HAS BECOME CRITICAL TO THE OPERATION OF ANY COMPANY IN RUSSIA IN THE CURRENT CONDITIONS

Ключевые слова: *логистика, экспорт, нефтегазовая отрасль, поставщики из Китая, конкурентные преимущества.*

Компания **АО «Вайт Найтс Ойл энд Газ» (АО «ВНОГ»)** является транспортно-экспедиционной компанией и таможенным представителем, оказывающим услуги по организации перевозок и таможенному оформлению грузов для нефтегазовой промышленности. За время работы с момента основания в 2009 году АО «ВНОГ» зарекомендовало себя надежным партнером для крупнейших российских и международных нефтебуровых и нефтесервисных компаний

Для нефтегазовой отрасли, которая встроена в глобальную систему поставок нефти, газа и продуктов их переработки, очень важно иметь устойчивые и гибкие цепочки поставок, которые могут быстро приспособиться к изменениям на международных рынках.

Также это относится и к цепочкам поставок оборудования, запчастей и материалов, необходимых для функционирования топливно-энергетического комплекса.

Поиск, разведка, бурение нефтяных скважин и добыча углеводородов требует технологичного оборудования, которое производится за рубежом и частично в России. Импортное оборудование в основном закупалось в западных странах и КНР. После выхода западных стран из проектов в России, изменилась и логистика поставок оборудования в нашу страну.

Недавний визит Председателя КНР Си Цзиньпина в Россию показал, что две страны продолжают укреплять политические и экономические отношения. Учитывая то, что Китай становится нашим глобальным торговым партнером, необходимо ориентироваться на новую геополитику государства, развивать новые маршруты и инвестировать в инфраструктуру поставок грузов. Китайские компании готовы занять освободившиеся места на рынке оборудования для нефтяной промышленности.

Чтобы цепочки поставок из Китая приобрели конкурентное преимущество, российские предприятия должны предпринять ряд шагов.

Во-первых, установить прочные отношения с китайскими поставщиками. Это имеет решающее значение и предполагает регулярное общение, частые визиты на заводы, развитие взаимного доверия и уважения. Такое взаимодействие дает возможность договориться об установлении более выгодных цен, повысить гибкость производства и снизить риск сбоев.

Во-вторых, оптимизировать свои производственные процессы. Чтобы оставаться конкурентоспособными, российские компании должны постоянно оптимизировать свои производственные процессы. Это включает понимание требований цепочки поставок, определение ключевых поставщиков и партнеров по логистике, а также разработку плана управления запасами и логистикой. Внедрение технологических решений с логистическим подрядчиком может помочь оптимизировать процессы цепочки поставок из Китая и интегрировать их с собственными бизнес-процессами.

В-третьих, диверсифицировать базу поставщиков. Полагаться на одного поставщика в Китае может быть рискованно, поскольку это увеличивает вероятность сбоев из-за таких факторов, как геополитическая напряженность, стихийные бедствия, трудовые забастовки, вопросы качества, кибератаки и другое. Диверсификация поставщиков снижает зависимость от одного поставщика и сводит к минимуму риск сбоев в цепочке поставок.

В-четвертых, инвестировать в логистику и транспорт. Эффективная логистика и транспорт имеют решающее значение для конкурентоспособной цепочки поставок. Это включает в себя выбор правильных видов транспорта, оптимизацию маршрутов доставки и инвестиции в технологии для отслеживания поставок и управления запасами. Таким образом, появляется возможность сократить время поставки, улучшить прозрачность и контроль, а также снизить транспортные расходы. Логистика из Китая также может представлять такие риски, как задержки, кражи и повреждение товаров. Важно иметь план управления рисками, который включает страхование, планирование на случай непредвиденных обстоятельств и регулярную связь с поставщиками и провайдерами логистических услуг.

В-пятых, контроль качества. Это важный аспект логистики из Китая, учитывая репутацию страны как производителя недорогих товаров. Важно работать с поставщиками, у которых есть надежные процессы контроля качества, а также проводить регулярные проверки и аудиты, чтобы гарантировать, что качество продукции соответствует вашим стандартам. Работа с несколькими поставщиками может помочь сравнить качество и надежность и выбрать лучших поставщиков для ваших нужд. Это снизит риск задержек или сбоев, вызванных проблемами качества у одного поставщика.

Таким образом, цепочки поставок из Китая – это сложный процесс, требующий тщательного планирования, внимания к деталям и эффективной коммуникации с поставщиками и провайдерами логистических услуг. Понимая ключевые факторы и предпринимая шаги, дающие цепочкам поставок конкурентное преимущество, российские нефтяные компании могут оптимизировать свои цепочки поставок и обеспечить успешные операции по импорту оборудования, запчастей и материалов из Китая. ●

Keywords: *logistics, export, oil and gas industry, Suppliers from China, competitive advantages.*

Нашими конкурентными преимуществами являются:



Высококвалифицированные специалисты

- Знание номенклатуры оборудования, запасных частей и материалов, применяемых для нефтедобычи
- Компетенция в области транспортной логистики и таможенного законодательства
- Контроль за вступающими в силу изменениями, влияющими на схемы перевозок



Офисы в Санкт-Петербурге, Москве, Усть-Куте и Владивостоке

- Специализированный сервис по доставке сборных и мелкопартионных грузов по РФ, в том числе на труднодоступные месторождения Восточной и Западной Сибири
- Надежный сервис по доставке любых видов грузов в/из Китая и Юго-Восточной Азии и Турции



Электронный сервис eWNOG

- Цифровизация всех процессов перевозки и таможенного оформления
- Интеграция электронных сервисов ФТС РФ и перевозчиков с цифровыми решениями ВНОГ
- Предоставление клиенту информации о статусе перевозок и таможенного оформления on-line 24/7

info@wnoglogistics.com www.wnoglogistics.com www.wnogresources.com +7 812 326 56 56

ВЕНГРИЯ КАК ВЕДУЩИЙ ПАРТНЕР торговли энергоресурсами России в Европе



Захаров Александр Николаевич
профессор кафедры мировой и национальной экономики, ВАВТ Минэкономразвития России, д.э.н., профессор

Орлова Ольга Леонидовна
аспирант кафедры мировой и национальной экономики, ВАВТ Минэкономразвития России

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ДИПЛОМАТИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ РОССИЕЙ И ВЕНГРИЕЙ РАЗВИВАЮТСЯ ПОСТУПАТЕЛЬНО. ВЕНГРИЯ ЯВЛЯЕТСЯ ОДНИМ ИЗ ВАЖНЫХ ПАРТНЕРОВ РОССИИ В ЕВРОПЕ. АКТУАЛЬНОСТЬ ДАННОЙ СТАТЬИ ОБУСЛОВЛЕНА СТРЕМЛЕНИЕМ ДВУХ СТРАН К СОТРУДНИЧЕСТВУ. НЕВЗИРАЯ НА ОГРАНИЧЕНИЯ, ВВЕДЕННЫЕ ЕВРОСОЮЗОМ, РОССИИ И ВЕНГРИИ УДАЛОСЬ ПРЕОДОЛЕТЬ СНИЖЕНИЕ ТОВАРООБОРОТА И ПРОДОЛЖИТЬ РАЗВИТИЕ ТОРГОВЛИ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ. В СТАТЬЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ В ВЕНГРИИ, А ТАКЖЕ АНАЛИЗИРУЮТСЯ ТОРГОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ

CURRENTLY, TRADE, ECONOMIC AND DIPLOMATIC RELATIONS BETWEEN RUSSIA AND HUNGARY ARE DEVELOPING STEADILY. HUNGARY IS ONE OF RUSSIA'S IMPORTANT PARTNERS IN EUROPE. THE RELEVANCE OF THIS PEACE OF PAPER IS DUE TO THE DESIRE OF THE TWO COUNTRIES TO COOPERATE, DESPITE THE EXISTING SANCTIONS. DESPITE THE RESTRICTIONS IMPOSED BY THE EUROPEAN UNION, RUSSIA AND HUNGARY HAVE MANAGED TO OVERCOME THE DECLINE IN TRADE TURNOVER AND CONTINUE THE DEVELOPMENT OF ENERGY TRADE. THE ARTICLE EXAMINES THE MAIN PROJECTS OF RUSSIA IN HUNGARY, AS WELL AS ANALYZES THE TRADE RELATIONS IN THE ENERGY SECTOR

Ключевые слова: *Международное энергетическое агентство, торговый оборот, поставки нефти и газа, ПАКШ, атомная энергетика.*

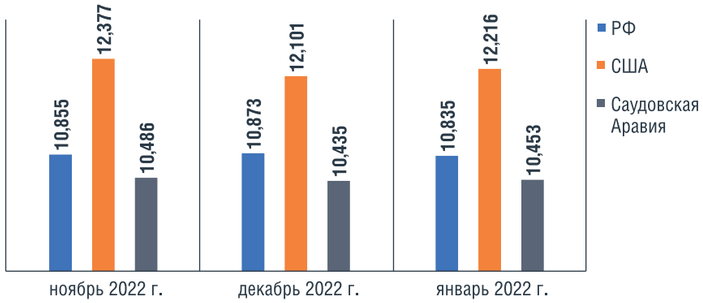
УДК 399.9

На сегодняшний день, невзирая на санкции со стороны Европейского союза, Российская Федерация и Венгрия поддерживают экономические и дипломатические отношения. Значимость данной кооперации довольна высока для обеих стран, так как, с одной стороны, именно Россия играет ведущую роль в обеспечении венгерской стороны энергоносителями, развития ряда отраслей и, с другой стороны, Венгрия отрицательно относится к антироссийским санкциям. Несмотря на санкции ЕС, ТЭК РФ показал стабильную работу: уровень газификации в России превысил 70%, а доход бюджета от нефтегазовой отрасли в 2022 году, несмотря ни на что, вырос почти на треть[1].

В последние годы по количеству добываемой нефти Российская Федерация занимает третье место. Россия также является основным экспортером нефти с учетом нефтепродуктов после США и Саудовской Аравии. Согласно Международному энергетическому агентству (МЭА), общая нефтедобыча России с учетом конденсата достигла 11,3 млн баррелей в сутки против 17,6 млн баррелей в сутки в США и 12 млн – Саудовской Аравии на январь 2022 года. Стоит отметить, что Саудовская Аравия постоянно соперничает с Россией по доле от общемирового объема добычи нефти. Без учета конденсата Россия в сутки добывает 10 млн баррелей сырой нефти. Касательно января 2023 года Россия заняла 2 место по добыче нефти в мире с показателем в 46 млн тонн. В марте 2023 года Россия начала добровольное сокращение добычи нефти на 500 тыс. барр/сутки сроком до июня 2023 г. включительно. Данное предписание касается только нефти без учета газового конденсата, и количество квот распределяется равномерно между нефтяными компаниями. В газовой сфере Россия является крупнейшим экспортером, обладая четвертью

[1] *Первый канал. – «О развитии топливно-энергетического комплекса России говорили в правительстве» – [Электронный ресурс] – URL: https://www.1tv.ru/news/2023-01-16/445376-o_razvitii_toplivno_energeticheskogo_kompleksa_rossii_govorili_v_pravitelstve?ysclid=ld4x9hl6e9384069690 (Дата обращения: 14.01.2023).*

РИСУНОК 1. Добыча нефти (млн барр./сутки)



Источник: *Россия в январе сохранила 2 место в мире по объему добычи нефти [Электронный ресурс] – URL: https://neftegaz.ru/news/dobycha/774155-rossiya-v-yanvare-sokhranila-vtoroe-mesto-v-mire-po-obemu-dobychi-nefti/?ysclid=lfqmwqszge7141860l4 (дата обращения: 03.03.2023)*

мировых запасов. По данным стран ОПЕК, экспорт российского газа достигает 2000 млрд куб. м газа в год[2].

До февраля 2022 года Европа являлась крупнейшим покупателем российской нефти и газа. По данным МЭА, примерно половина экспорта нефти и примерно три четверти экспорта газа Россия экспортировала в ЕС. По данным Центробанка, в 2021 году Россия занималась экспортом 232,6 млн т нефти, 114,5 млн т нефтепродуктов, 204,4 млрд кубометров природного газа и 66,1 млн т сжиженного природного газа (СПГ).

Суммарная выручка от экспорта составила $243,8 млрд. Доля данных статей экспорта составила 49% в общем объеме экспорта страны. Из данного экспорта в страны ЕС было поставлено 155 млрд кубометров российского газа (около 45% от общего объема импорта газа в ЕС), 108,1 млн тонн сырой нефти (около трети всего европейского импорта), 91 млн тонн нефтепродуктов (около 14%)[3].

Россия всегда находилась в списке партнеров Венгрии и являлась одним из лидеров по торговому обороту, однако были и времена, когда их отношения находились в режиме стагнации. Так, с конца 1990-х гг., после вступления Венгрии в Евросоюз в 1994 году, доля стран ЕС во внешней торговле Венгрии стала увеличиваться, в то время как удельный вес России и стран СНГ падал. Кроме этого, обострение отношений Венгрии с Россией происходило в конце 1990 – начале 2000-х гг. в связи с отказом предоставления воздушного коридора над своей территорий для российских миротворцев во время югославского кризиса[4].

В 1999 г. в экспорте Венгрии Россия в 1999 г. заняла 13-е место и в импорте 4-е. В 2000 году Венгрией были введены квоты на ряд товаров из России, на что Россия выступила с ответными пошлинами[5]. По данным на Минэкономразвития, товарооборот между Россией и Венгрией в 2001 году составил 2,9 млрд долл., что на 100 млн долл. ниже уровня 2000 года. 98,5 процента в этом товарообороте составили поставки топливно-сырьевых товаров из России в Венгрию. С 2002 года, после прихода к власти либерально-социалистической коалиции, у России и Венгрия наметился положительный тренд в экономическом сотрудничестве[6]. В период с 2002–2008 гг. российско-венгерский внешнеторговый оборот увеличился более чем в 5 раз. В 2008 г. торговый оборот между Россией и Венгрией превысил 14 млрд долл. Экспорт товаров из Венгрии в Россию достиг почти 4 млрд долл., венгерский импорт товаров из России составил 10,2 млрд долларов США[7]. В 2014 году Россия заняла 3 позицию среди партнеров Венгрии с товарооборотом в 10 208,5 млн долл. Основная часть импорта в Венгрию пришлась на машины и электрическое оборудование, нефть, топливо, транспортные средства, пластмассы и фармацевтическую продукцию[8]. В связи с санкциями 2014 года во внешней торговле

[2] *Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации Мировой рынок нефти: новые правила игры для России // Деловой журнал Энергетические тренды. – 06.2022 – № 109. – С. 3–4 [Электронный ресурс] – URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/2022/Energo_№109.pdf.*

[3] *Forbes – «Российский нефтегаз через год после начала «спецоперации»: что дальше» – [Электронный ресурс] – URL: https://www.forbes.ru/biznes/485246-rossijskij-neftegaz-cerez-god-posle-nacala-specoperacii-cto-dal-se?ysclid=lfspyy5so6957251894 (Дата обращения: 10.03.2023).*

[4] *Гуськова Е.Ю. История югославского кризиса (1990–2000 гг.) М.: Русское право, 2001. – 714 с. [Электронный ресурс] – URL: https://na5ballov.pro/lib/evropa/1118-guskova-eyu-ist.*

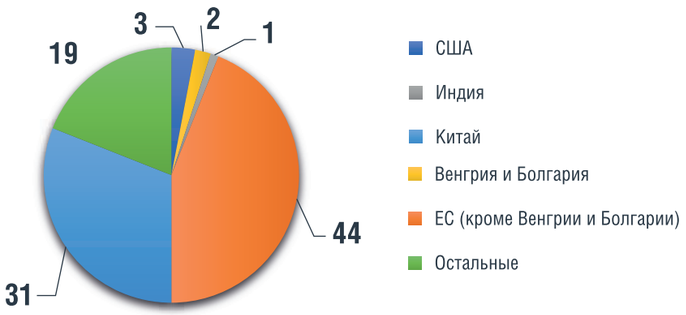
[5] *Бахлов И.В., Бахлова О.В. Российско-венгерские отношения: этапы эволюции // Журнал «Финоугорский мир». – 2018 – Т. 10, № 1 – С. 62–74. [Электронный ресурс] – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rossiysko-vengerskie-otnosheniya-etapy-evolyutsii/viewer.*

[6] *NewsFront – «Кому мешает сотрудничество России с Венгрией? » – [Электронный ресурс] – URL: https://news-front.info/2018/12/22/komu-meshaet-sotrudnichestvo-rossii-s-vengriej/ (Дата обращения: 11.03.2023).*

[7] *Бахлов И.В., Бахлова О.В. Российско-венгерские отношения: этапы эволюции // Журнал «Финоугорский мир». – 2018. – Т.10, № 1 – С. 62–74. [Электронный ресурс] – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/rossiysko-vengerskie-otnosheniya-etapy-evolyutsii/viewer.*

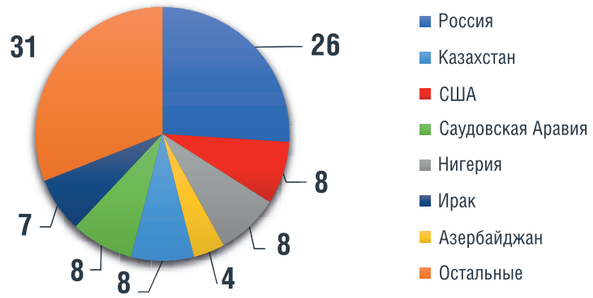
[8] *Total-rating.ru – «Сальдо внешней торговли стран мира 2014» – [Электронный ресурс] – URL: https://total-rating.ru/1147-saldo-vneshney-torgovli-stran-mira-2014.html (Дата обращения: 09.03.2023).*

РИСУНОК 2. Структура российского экспорта сырой нефти в 2021 году, %



Источник: *Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации Мировой рынок нефти: новые правила игры для России // Деловой журнал Энергетические тренды. – 06.2022 – № 109. – С. 3–5 [Электронный ресурс] – URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/2022/Energo_№109.pdf (дата обращения: 09.03.2023)*

РИСУНОК 3. Структура импорта нефти в ЕС в 2020 году, %



Источник: *Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации Мировой рынок нефти: новые правила игры для России // Деловой журнал Энергетические тренды. – 06.2022 – № 109. – С. – 3–5 [Электронный ресурс] – URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/2022/Energo_№109.pdf (дата обращения: 09.03.2023)*

Венгрии Россия переместилась в 2015 году на 12 позицию[9]. Однако, невзирая на санкции, к 2021 году товарооборот между двумя странами увеличился по сравнению с аналогичным периодом 2020 года (год пандемии) на 42% – до 5 миллиардов долларов, что поставило Венгрию в число ведущих партнеров России, как указывается в Венгерском агентстве развития экспорта (HEPA). Стоит отметить, что 2021 год стал самым успешным за всю современную историю российско-венгерских отношений[10].

В январе 2022 года Россия экспортировала товаров на 786 млн долл. и импортировала на 157 млн долл. из Венгрии, в результате чего положительное сальдо торгового баланса составило 629 млн долл. В период с января 2021 года по январь 2022 года экспорт России увеличился на 489 млн долл. (165%) – с 297 млн долл. до 786 млн долл., а импорт увеличился на 3 млн долл. (1,95%) – с 154 млн долл. до 157 млн долл[11].

Значимыми сферами двустороннего взаимодействия между Венгрией и Россией является топливно-энергетический сектор и атомная энергетика Венгрии. Российские поставки нефти в Венгрию составляют 70%, а также Россия поставляет 65% газа, потребляемых Венгрией. «Лукойл» является основным поставщиком нефти, однако Венгрия сотрудничает также с рядом других российских компаний: «Роснефтью», «Транснефтью», «Русснефтью»[12]. Основной логистический путь поставки нефти в Венгрию – газопровод «Дружба». Так, в 2016 году по магистральному нефтепроводу «Дружба» Россия поставила в Венгрию 4,658 млн тонн нефти и нефтепродуктов на сумму 1,28 млрд долл.

По данным «Аргус», в марте 2019 г., до начала проблем с нефтепроводом «Дружба», по системе «Транснефти» в Венгрию было поставлено 420 тысяч тонн нефти. В апреле 2019 года было обнаружено загрязнение нефти, поступающей по трубопроводу из России, вследствие чего была приостановлена ее транспортировка. Прием нефти Венгрия временно прекратила 26 апреля 2019 г. В общей сложности объем загрязненной российской нефти, которую получила Венгрия по трубопроводу «Дружба», составил от 350 тысяч до 1 миллиона тонн, однако основная ее часть была задержана до того, как попала в венгерскую систему нефтепереработки, по словам министерства инноваций и технологий Венгрии Петера Кадеряка в апреле 2019 года. Для скорейшего возобновления транспортировки сырой нефти по трубопроводу «Дружба» нефтеперерабатывающие заводы венгерской компании MOL, как другие компании в затронутых этой ситуацией странах, приняла около 100 килотонн (100 тысяч тонн) загрязненной нефти. В мае экспорт по трубопроводу в Венгрию снизился в 2–3 раза. 29 мая поставки чистой нефти в Венгрию были возобновлены Россией по нефтепроводу «Дружба». В связи с урегулированием вопросов компенсации из-за форс-мажора на нефтепроводе «Дружба», в октябре 2019 года компания «Лукойл» в коллаборации с «Транснефтью» подписала соглашение с венгерской компанией «МОЛ» по поводу увеличения экспорта российского топлива в Венгрию по трубопроводу «Дружба» до 2025 года. Стоит отметить, что до заключения соглашения «Лукойл» поставлял в Венгрию 600 000 тонн нефти в месяц. С заключением долгосрочного соглашения «Лукойл» планирует стабилизировать поставки на уровне 300 000–500 000 тонн в месяц. Также, в соответствии с соглашением, российские партнеры возместят финансовые убытки крупнейшей венгерской компании MOL, вызванные инцидентом, включая расходы на очистку полученной нефти.

Кроме того, как было отмечено ранее, Россия поставляет в Венгрию примерно 65% газа[13]. В то же время в связи с СВО на Украине ряд стран начали отказываться от закупок энергоносителей из России. Так, 3 июня 2022 года против Российской Федерации был введен 6-й пакет санкций, где было предусмотрено частичное эмбарго на импорт нефти российского происхождения. Частичное эмбарго на нефть не было чем-то новым, так как ранее такие решения были приняты США, Канадой и Австралией. Однако такие же ограничения со стороны ЕС оказали заметное влияние на Россию и на мир в общем. Стоит отметить, что не все страны ЕС были за установление эмбарго: так, для Венгрии российские поставки нефти играют очень важную роль (они обеспечивают ее энергетическую безопасность). В связи с этим ЕС принял решение включить в эмбарго ряд исключений: под ограничения поставок нефти подпадают только морские поставки, ряд стран (Болгария и Венгрия) получают отсрочку по имплементации достигнутых договоренностей.

[9] Пахомов А. Торговые партнеры России: 100 лет спустя // Журнал «Экономическое развитие России». – 2014 – № 2. – С. 42–48 [Электронный ресурс] – URL: https://www.iep.ru/files/RePEc/gai/ruserr/148Pakhomov.pdf.

[10] Прайм, агентство экономической информации. – «Россия и Венгрия достигли рекордного товарооборота» – [Электронный ресурс] – URL: https://1prime.ru/world/20220110/835731221.html?ysclid=lfsr3bgh4f510603944 (Дата обращения: 14.01.2023).

[11] OEC.– «Russia/Hungary» – [Электронный ресурс] – URL: https://oec.world/en/profile/bilateral-country/rus/partner/hun (Дата обращения: 07.01.2023).

[12] TASS – «История конфликта между Венгрией и Евросоюзом» – [Электронный ресурс] – URL: https://tass.ru/info/5557751 (Дата обращения: 02.03.2023).

[13] Газпром экспорт – «Венгрия» – [Электронный ресурс] – URL: http://www.gazpromexport.ru/partners/hungary/ (Дата обращения:17.03.2023).

Поставки нефти из России в Европу по трубопроводу, были также исключены из перечня ограничений шестого пакета санкций. Таким образом, единственный участок, не попавший под ограничения, – южный участок нефтепровода «Дружба» (около 10% общего объема экспорта российской нефти в ЕС)[14].

Рост поставок произошел, несмотря на стремление стран Евросоюза отказаться от российской нефти. Так, сильнее всего выросли поставки нефти по трубопроводу «Дружба» в Венгрию – на 45% до 4,9 млн т.

Далее последовало эмбарго ЕС на морские поставки нефти, которое вступило в силу 5 декабря 2022 г. одновременно с введением потолка цен на российскую нефть в 60 долл./барр. Но поставки по «Дружбе» не попали под санкции ЕС: для Венгрии, Чехии и Словакии были сделаны исключения[15].

Что касается поставок газа, то здесь всегда наблюдалась стабильность. Долгосрочные контракты на поставку 225 млрд куб. м российского газа (на сумму свыше 24 млрд долл.) в Венгрию действовали в 1996–2015 годах. В 2017 году Россия и Венгрия продлили контракт до 2021 года.

Стоит отметить, что для надежного удовлетворения долгосрочных потребностей Венгрии в 1994 году было создано венгерско-российское акционерное общество газовой промышленности «Панрусгаз», чьей главной задачей является импорт природного газа[16].

До 2021 года транспортировка газа из России в Венгрию осуществлялась по газопроводу «Союз» через газоизмерительную станцию в Берегово на украинско-венгерской границе и Центрально-европейский газовый хаб Баумгартен, находящийся на словацко-австрийской границе.

Затем контракт был продлен в соответствии с 15-летним соглашением, подписанным венгерской энергетической компанией «MVM CEEnergy Ltd.» и «Газпромом» в сентябре 2021 года. Венгрия в настоящее время получает 4,5 миллиарда кубометров газа в год через Болгарию и Сербию в рамках долгосрочной сделки с Россией. То есть с октября 2021 г. Будапешт получает газ через «Турецкий поток». Стоит отметить, что Венгрия также получает газ по цене в пять раз ниже рыночной в связи с тем, что она стала первой страной в ЕС и, можно сказать, первой в мире, кто перешел на оплату в рублях[17].

Российская компания «ТВЭЛ», входящая в госкорпорацию «Росатом», поставляет ядерное топливо на венгерскую АЭС «Пакш» с момента запуска первого блока станции в 1982 году. АО «Атомстройэкспорт» в рамках долгосрочного рамочного контракта совместно с объединенной компанией АО «НИАЭП» – АО АСЭ (с 2012 г. проект реализуется совместно) поставляет сменное оборудование и запасные части, необходимые для обеспечения надежной эксплуатации АЭС «Пакш». В конце 2014 года между Россией и Венгрией были подписаны документы на постройку пятого и шестого блоков АЭС «Пакш» с реакторами по российской технологии ВВЭР-1200. Россией был выделен Венгрии на проект «Пакш-2» государственный кредит до 10 млрд евро, что составило 80% общей стоимости работ в 14,5 млрд долл.

В декабре 2015 г. был подписан контракт на поставку топлива и оказание сопутствующих услуг для будущих пятого и шестого блоков АЭС «Пакш» на 10-летний период. Технический проект АЭС «Пакш-2» был утвержден в октябре 2019 года. В сентябре 2019 года между ТВЭЛ и Институтом энергетических исследований Венгерской академии наук был заключен контракт на поставку российского ядерного топлива для Будапештского исследовательского реактора (BRR), построенного по советскому проекту и введенного в эксплуатацию в 1959 году. Со времени ввода в эксплуатацию установка работает на топливе производства Новосибирского завода химконцентратов (НЗХК, предприятие ТВЭЛ)[18].

На сегодняшний день Венгрия и Россия ускоряют работу над строительством атомной электростанции, согласно заявлению министра иностранных дел и внешней торговли Венгрии Петера Сийярто. В конце августа венгерское управление по атомной энергии выдало генеральную лицензию на строительство пятого и шестого блоков АЭС «Пакш», реакторного здания пятого энергоблока и шесть разрешений на строительство «ядерного острова». Стоит отметить, что Венгрия является единственной страной Европейского союза, где Россия занимается строительством атомных станций.

• • •

Таким образом, на сегодняшний день 85% газа и 65% нефти и нефтепродуктов Будапешт получает из России. В топливно-энергетическом и атомном секторе в качестве перспективных сфер для кооперации России и Венгрии продолжает развиваться проект «Пакш-2». Традиционная энергетика продолжает оставаться самым перспективным направлением в сотрудничестве России с другими странами, так как в данном секторе российские компании являются конкурентоспособными. Стоит отметить, что планы Венгрии в данных областях способствуют разработке и реализации новых проектов взаимовыгодного торгово-экономического сотрудничества. ●

KEYWORDS: *International Energy Agency, trade turnover, oil and gas supplies, PAKS, nuclear energy.*

[14] БКС Экспресс – «Нефть по «Дружбе». Сколько нефти из РФ останется в Европе» – [Электронный ресурс] – URL: https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/neft-po-druzhbe-skol-ko-nefti-iz-rf-ostanetsia-v-evrope?ysclid=ld1trbdjk8942068704 (Дата обращения: 10.03.2023).

[15] Ведомости – «Трубопроводный экспорт нефти в Европу вырос на 7% благодаря Венгрии и Чехии» – [Электронный ресурс] – URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2023/01/16/959103-eksport-nefti-v-evropu-viros?ysclid=lfsrtawro2733007186 (Дата обращения: 14.03.2023).

[16] Панрусгаз – [Электронный ресурс] – URL: https://www.panrusgas.hu/ru/ceginf.htm (Дата обращения: 17.03.2023).

[17] Газпром – «Заключены 15-летние контракты на поставку российского газа в Венгрию» – [Электронный ресурс] – URL: https://www.gazprom.ru/press/news/2021/september/article538438/?ysclid=lfss7ygdwd949234543 (Дата обращения: 14.03.2023).

[18] Росатом – «Венгерская компания «Атомэнергомаша» изготовила гидротурбины для малой гидрогенерации в России» – [Электронный ресурс] – URL: https://www.rosatom.ru/journalist/news/vengerskaya-kompaniya-atomenergomasha-izgotovila-gidroturbiny-dlya-maloy-gidrogeneratsii-v-rossii/?sphrase_id=1378658 (Дата обращения: 16.03.2023).

[19] Росатом – «Проект АЭС «Пакш-2» (Венгрия) получил строительную лицензию» – [Электронный ресурс] – URL: https://www.rosatom.ru/journalist/news/proekt-aes-paksh-2-vengriya-poluchil-stroitelnuyu-litsenziyu/?sphrase_id=3709490 (Дата обращения: 20.03.2023).

Neftegaz.RU
номер 5/2023 г.

УДК 553.982

НЕФТЕХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЙ:

особенности микроэлементного состава и экологические риски

Пунанова Светлана Александровна
ведущий научный сотрудник Института проблем нефти и газа (ИПНГ) РАН, д.г.-м.н.

Михайлова Анастасия Николаевна
старший научный сотрудник Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ, к.х.н.

АВТОРЫ РАССМАТРИВАЮТ КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ (МЭ) В НЕФТИ, ЕЕ ПРОИЗВОДНЫХ И СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ФОРМАЦИЯХ. ПОКАЗАНА ИХ ОБОГАЩЕННОСТЬ БОЛЬШИМ КОМПЛЕКСОМ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К КЛАРКОВЫМ СОДЕРЖАНИЯМ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЛИНИСТЫХ ПОРОДАХ, МНОГИЕ ИЗ КОТОРЫХ ЯВЛЯЮТСЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ (ПТЭ). ПРОАНАЛИЗИРОВАНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕТАЛЬНЫХ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ, ПРИУРОЧЕННЫХ К РАЗЛИЧНЫМ ФРАКЦИЯМ, ИЗВЛЕКАЕМЫМ ИЗ СЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЙ. НАИБОЛЬШАЯ ОБОГАЩЕННОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ ХАРАКТЕРНА ДЛЯ КАРБЕНО-КАРБОИДНЫХ ФРАКЦИЙ, ЧТО СЛУЖИТ УКАЗАНИЕМ НА ВОЗМОЖНОСТЬ И, ГЛАВНОЕ, ЭФФЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННО ВАЖНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОТНОСИТЕЛЬНО УЗКИХ ФРАКЦИЙ. НЕОБХОДИМОСТЬ МОНИТОРИНГА СОСТАВА МЭ КАК В САМИХ ФОРМАЦИЯХ, ТАК И В СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕВОДОРОДАХ (УВ) ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЛАНЦЕВОЙ НЕФТИ ОБУСЛОВЛЕНА ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. НЕФТЕХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАНОВЯТСЯ НЕОТЪЕМЛЕМЫМ КОМПЛЕКСОМ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЛАНЦЕВЫХ ФОРМАЦИЙ

THE AUTHORS CONSIDER THE CONCENTRATIONS OF TRACE ELEMENTS (TE) IN OIL, ITS DERIVATIVES AND SHALE CARBONACEOUS PLAYS. THEY SHOW THE ENRICHMENT IN A LARGE COMPLEX OF ELEMENTS IN RELATION TO THE CLARKE CONTENTS OF ELEMENTS IN CLAY MATERIALS, MANY OF WHICH ARE POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS (PTE). THE RESULTS OF DETAILED PETROCHEMICAL STUDIES OF THE CONCENTRATIONS OF ELEMENTS ASSOCIATED WITH VARIOUS FRACTIONS EXTRACTED FROM SHALE PLAYS ARE ANALYZED. THE HIGHEST ENRICHMENT IN TRACE ELEMENTS IS TYPICAL FOR CARBENE-CARBOID FRACTIONS, WHICH INDICATES THE POSSIBILITY, AND MOST IMPORTANTLY, THE EFFECTIVE EXTRACTION OF INDUSTRIALLY IMPORTANT METALS FROM RELATIVELY NARROW FRACTIONS. THE NEED TO MONITOR THE COMPOSITION OF TRACE ELEMENTS BOTH IN THE PLAYS THEMSELVES AND IN SHALE HYDROCARBONS (HC) DURING THE DEVELOPMENT OF SHALE OIL DEPOSITS IS DUE TO ECOLOGICAL RISKS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY ORGANOMETALLIC COMPOUNDS. PETROCHEMICAL STUDIES ARE BECOMING AN INTEGRAL PART OF ANALYTICAL METHODS IN THE DEVELOPMENT OF SHALE PLAYS

Ключевые слова: *сланцевые формации, доманик, микроэлементы, разработка месторождений, экологические риски, нефтехимические исследования.*

Возможные предстоящие ограничения добычи и освоения нефтяных и газовых ресурсов в стране приводят к активизации научных и производственных разработок. Энергозатратные нужды собственной страны, а также экспорт нефтяных УВ в страны Азии способствуют усилиям по наращиванию ресурсной базы России. Показателен ряд решений о создании новой парадигмы развития нефтегазового комплекса России с учетом предложений академика А.Э. Конторовича, направленной на усиление развития энергетического комплекса России за счет технологий разведки и разработки месторождений традиционной нефти и освоения залежей нетрадиционной нефти (сланцевая нефть, тяжелая нефть, природные битумы и др.), с учетом всех запасов нефтяных залежей, включая не только кондиционные пласты и пропластки, но и нефть во всех нефтесодержащих породах.

Изучение состава углеводородных объектов, нефти и ее производных, в частности микроэлементного и углеводородного составов, может пролить свет на их происхождение, историю развития, преобразование и всевозможные варианты грядущего рассеяния, приоткрывая завесу их онтогенеза, т.е. историю генерации, последующей миграции, аккумуляции и разрушения, выявляя при этом нефтехимические показатели этих процессов. Нефтехимические исследования в нефтяной геологии имеют все большую значимость и актуальность, кроме чисто теоретических разработок, приобретают весомое прикладное значение. Нефтехимия стала обязательным элементом исследований при прогнозе, поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа [1–4].

При выявлении особенностей процессов нефтегазообразования предлагается использовать абсолютные концентрации МЭ и концентрационные ряды всей гаммы МЭ в нефти и битумоидах. При изучении вторичных процессов изменения нефти в залежах, а также миграционной нефти и нефти в зонах катагенеза успешно используются сопоставление величин парных отношений концентраций МЭ, приуроченных к различным фракциям, компонентам нефти и битумоидов. Дифференцированное распределение МЭ по компонентам и фракциям УВ дает возможность с успехом применять содержания и соотношения МЭ в комплексе с УВ составом и физико-химическими свойствами нефти для оценки перспектив нефтегазоносности, т.е. получать информацию для решения важных геолого-геохимических вопросов нефтегазопоисковой геологии. При этом большое значение имеет использование результатов лабораторных исследований, моделирующих процессы миграции, гипергенеза и катагенеза [5].

Промышленно-сырьевой аспект базируется на оценке металлоносности каустобиолитов как рудного сырья, поскольку содержания некоторых элементов в них иногда превышают рудные концентрации и существует возможность их попутного

ФАКТЫ

Черные сланцы

это тонкоплитчатые тонкозернистые осадочные породы черного или бурого цвета, содержащие ОВ (от 8 до 20%) сапропелевого типа значительной стадии преобразования

РИСУНОК 1. Аспекты изучения и применения данных о содержании микроэлементов в нефти и их производных в нефтехимических исследованиях



промышленного извлечения из побочных продуктов при процессах их переработки. Технологический аспект обусловлен негативным влиянием некоторых элементов, содержащихся в каустобиолитах, на используемое оборудование при их добыче и переработке. Не менее важный аспект изучения содержаний ПТЭ в каустобиолитах связан с образованием в процессах их переработки и в меньшей степени при добыче высоких концентраций токсичных соединений этих МЭ, например радиоактивных, ртути и др., представляющих угрозу окружающей среде, т.е. экологический аспект проблемы (рис. 1). Разработанные УВ и МЭ показатели этих процессов широко применяются и при изучении сланцевых углеродсодержащих формаций.

ФАКТЫ

Горючие сланцы

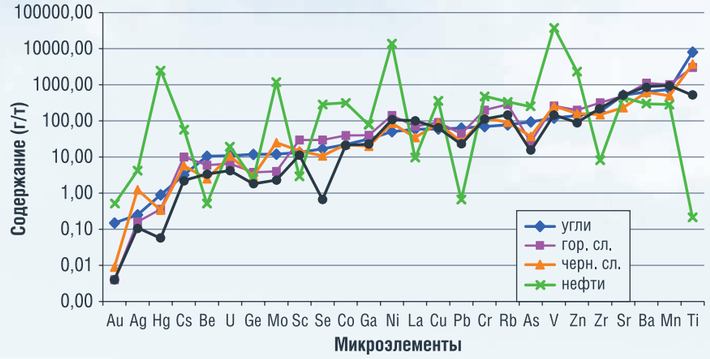
на современном этапе их развития – это слабо преобразованные аналоги будущих нефтематеринских отложений, характеризующиеся высокими концентрациями ОВ – от 20 до 80 %

Общие представления о сланцевых формациях

Сланцы являются породами смешанного литологического состава, состоят из алевритовой и пелитовой фракций, обладают сланцеватостью и высоким содержанием органического вещества (ОВ). По содержанию ОВ можно условно разделить сланцы на черные и горючие. Черные сланцы – это тонкоплитчатые тонкозернистые осадочные породы черного или бурого цвета, содержащие ОВ (от 8 до 20 %) сапропелевого типа значительной стадии преобразования. Именно черные сланцы, по представлениям геохимиков, – типичные нефтематеринские свиты. В мире известны многочисленные аналоги классического типа черносланцевых нефтематеринских формаций: доманикиты – доманиковый горизонт (среднефранский ярус верхнего девона) Волго-Уральского и Тимано-Печорского нефтегазоносных бассейнов (НГБ); баженити – верхнеюрско-нижнемеловые отложения баженовской свиты или ее возрастных аналогов в Западной Сибири, киммерийские глины бассейна Северного моря, менилитовые сланцы олигоценового возраста Северо-Предкарпатского НГБ в Польше и Западной Украине, в США свиты Баккен, Барнетт, формации Грин Ривер бассейна Юинта, свита Монтерей (кремнистые глины Калифорнийского бассейна), свита Ла Луна Маракаибо (Венесуэла) и др. Горючие сланцы на современном этапе их развития – это слабо преобразованные аналоги будущих нефтематеринских отложений, характеризующиеся высокими концентрациями ОВ – от 20 до 80 %. Сланцы интересны как возможные исходные нефтематеринские свиты, а дополнительная информация, связанная с большой заинтересованностью современного мира в изучении сланцевого газа и сланцевой нефти для последующей разработки, важна в научном и практическом аспектах. Стоит привести слова В.И. Вернадского, звучащие сейчас очень актуально и современно: «Можно отметить два типа месторождений для скоплений нефти: скопление в осадочных породах и проникновение углеводородами битуминозных сланцев. Оба типа могут рассматриваться как части одного и того же явления. Нахождение в сланцах содержит наибольшие массы нефти» [6]. По мнению В.И. Вернадского, подтвержденного дальнейшими геохимическими исследованиями по многим территориям (А.Э Конторович, С.Г. Неручев, Э.М. Галимов, В.И. Скоробогатов и др.), общее количество рассеянной нефти в осадочной оболочке Земли намного превышает общее количество нефти в месторождениях.

Отмечено, что для черносланцевых формаций характерны чрезвычайно низкие темпы седиментации (т.е. условия резкой недокомпенсации) и фоссилизация ОВ органомонтмориллонитовыми соединениями в относительно глубоководных морях или внутриконтинентальных бассейнах [7]. В разрезе они образуют маломощные (первые десятки м) и однородные пачки, распространенные на огромных площадях. Наиболее благоприятные условия для формирования сланцевых формаций, по А.Ф. Сафронову [8], связаны с зонами перехода от континента к океану. В пределах этих зон в ходе эволюции

РИСУНОК 2. Среднее содержание микроэлементов в золе каустобиолитов и глинистых породах (ранжировано по углям) [21]



происходила смена рифтового режима режимом формирования континентальной окраины. Именно здесь наблюдается накопление огромных масс фито- и зоопланктонного ОВ с элементами бентоса. Наиболее продуктивными являются зоны апвеллинга (подъем глубинных холодных вод к поверхности), где отмечается уникальная обогащенность отложений ОВ (300 г $C_{орг}$/м^2 в год), например, над континентальным шельфом западного побережья Американского и Африканского континентов. При этом процессе происходило внедрение богатых питательными солями растворов в бассейн седиментации, в результате чего наблюдалась вспышка развития планктона и другого биоса. Как считают [7], резкая обогащенность доманикитов МЭ обусловлена длительным соприкосновением осадков с морскими водами – источниками этих элементов, интенсивным диагенезом, в том числе сульфидообразованием, высокой сорбционной и консервирующей способностью органомонтмориллонитовых соединений. Именно в диагенезе в гуминовых кислотах, помимо органических соединений, видимо, концентрируются тяжелые металлы U, V, Cu, Ni и др. [9].

Доманиковые отложения представляют особый тип низкопроницаемых коллекторов со сланцеватой текстурой, индивидуальность которого определяется минералогическим составом – совокупностью кремнистой, карбонатной и глинистой составляющих, повышенным содержанием органического вещества (ОВ), степенью его катагенетической преобразованности и высокой металлоносностью пород [10–17]. Данные толщи содержат как легкую сланцевую нефть в низкопроницаемых коллекторах, так и твердое ОВ – керген, преобразование которого в подвижные нефтяные УВ возможно в результате термических воздействий на породу. Стоит разграничивать понятия доманик – как сланцевые отложения интервала семилукского (доманикового) и речицкого (мендымского) возраста, и доманиковые отложения, т.е. отложения сланцевых формаций, обогащенные ОВ. Их деление рекомендовано проводить по содержанию ОВ [18] – доманикиты с $C_{орг}$ = 5–25 % и низкой плотностью 2,2–2,4 г/см^3, а доманикоды с $C_{орг}$ = 0,5–5 % и плотностью 2,5–2,9 г/см^3. Подобная терминология часто используется для характеристики сланцевых толщ других регионов и отложений другого возраста.

ФАКТЫ

Доманиковые отложения

это тип низкопроницаемых коллекторов со сланцеватой текстурой, индивидуальность которого определяется минералогическим составом – совокупностью кремнистой, карбонатной и глинистой составляющих, повышенным содержанием ОВ, степенью его катагенетической преобразованности и высокой металлоносностью пород, содержат как легкую сланцевую нефть, так и твердое ОВ

Содержание рудных элементов в нафтидах и сланцевых формациях

В нефти содержатся ничтожные количества минеральных примесей (зольность обычно ≤0,1 %), и МЭ сосредоточены только в металлоорганических соединениях в относительно небольшой доле с высокой молекулярной массой, вследствие чего содержание МЭ в них обычно невелико. По этим причинам концентрация МЭ в нефти значительно меньше его среднего содержания в глинистых породах. Для нижеприводимых сопоставлений средних концентраций более информативно использование содержаний МЭ в расчете на золу нефти (рис. 2). Обращает на себя внимание большой диапазон изменения концентраций элементов в природных объектах, существенно повышенные концентрации многих элементов в золе каустобиолитов, отличие золы нефти по содержанию МЭ от золы углей, сланцев и глинистых пород: обогащение золы нефти Hg, Mo, Se, Co, Ni, V и обеднение Be, Sc, La, Pb, Zr, Ti [19]. Столь существенные отличия по большому числу МЭ можно объяснить различным исходным органическим материалом (высшей и низшей наземной растительностью для углей и планктоногенным для нефти и сланцев), а также условиями дальнейшего преобразования ОВ (окислительно-восстановительной обстановкой, скоростью захоронения, глубиной и стадией компенсированности прогибания) [20].

На рис. 3 показана степень концентрирования МЭ в расчете на золу каустобиолитов по отношению к кларкам глин (кларки по А.П. Виноградову). Наиболее резкие отличия наблюдаются при сравнении содержаний МЭ в золе нефти и глинистых породах. Выделяется большая группа элементов, которыми зола нефти по сравнению с глинами значительно обогащена – Co, As, Zn, Cs, Ag, Ni, Au, V, Se, Mo, Hg, Cu. Содержания Ti, Pb, Zr, Th, La, Be существенно ниже их содержаний в глинах, а концентрации Sc, Mn, Ba, Sr, Ge, Rb, Ga, Cr очень близки. Концентрации большинства МЭ в углях либо меньше, либо статистически не отличаются от их средних содержаний в глинистых породах и только для Au, Se, Mo, Hg, Ge, As статистически выше. Значительно меньше различия в

РИСУНОК 3. Степень концентрирования микроэлементов в золе каустобиолитов и сланцев (по отношению к кларкам глин, ранжировано по сортам нефти) [21]

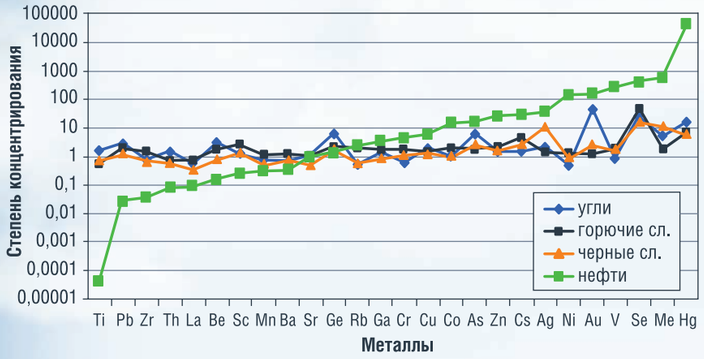


РИСУНОК 4. Содержание МЭ в сланцах формации Барнетт



степени обогащения МЭ горючих и черных сланцев по сравнению с кларками глинистых пород: черные сланцы обогащены Ag, Se, Mo, Hg, а горючие – Cs, Se.

Можно констатировать, что одни и те же МЭ (по А.П. Виноградову – биофильные элементы) характеризуются наиболее высокой степенью концентрирования во всех видах каустобиолитов, что подтверждает их генетическое единство и значительное отличие от осадочных пород. Полученные выводы, очевидно, справедливы только для средних содержаний МЭ в каустобиолитах, тогда как сопоставительные показатели для нефти, сланцев и углей отдельных месторождений могут быть иными вследствие значительного отличия содержания МЭ от средних.

Проанализируем более подробно содержание МЭ в сланцевых формациях на примере отдельных регионов. Анализ содержаний большой группы МЭ в *сланцах формации Барнетт США* (по аналитическим данным [22]) указывает на высокие концентрации в них целого ряда МЭ, в том числе и ПТЭ. Четко проявляется большая обогащенность МЭ глинистых отложений Нижнего и Верхнего Барнетта, характеризующихся высоким содержанием ОВ, по сравнению с известковистыми, обедненными ОВ, разностями Среднего Барнетта (рис. 4). Концентрация основных породообразующих элементов составляет целые проценты (Fe, Ca, Si, Mg, Al, K, Ti, Sr), а содержание ряда ПТЭ приближается или превышает 100 г/т (Ni, Rb, V, Cr, Mn, Zn).

ФАКТЫ

Максимальное содержание МЭ

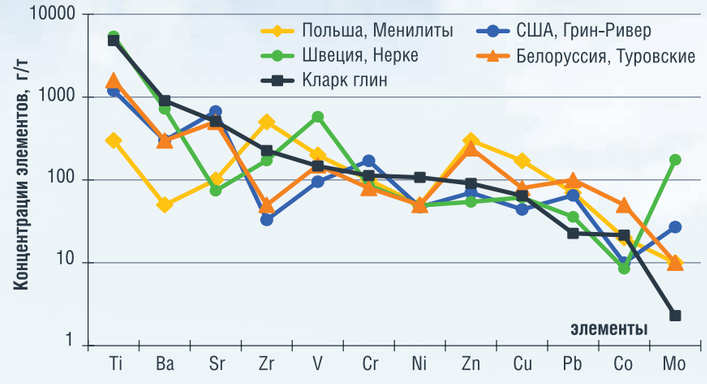
в сланцах часто связано с платформенными формациями, но и некоторые глинисто-сланцевые формации геосинклинальных областей также могут быть обогащены МЭ

В глинисто-кремнистых разностях пород *верхнеюрско-нижнемелового возраста баженовской свиты* Западно-Сибирского НГБ, по данным [23], содержатся повышенные концентрации (в г/т): Au (0,035–0,02), Pt (0,013–0,005), Ni (336,7, что в 5,3 раза превышает встречающиеся значения для обычных глинистых пород), Mo (264,5, превышение в 9 раз), Co (30,3, превышение в 2,6 раза), U (66,5), Th (5,0), K (0,81). Исследованные отложения сланцев характеризуются наиболее высоким содержанием органического углерода и пирита, как показателями восстановительного режима, при пониженном содержании глинистого материала и являются металлоносными. Геохимические исследования высокоуглеродистых пород *куонамской горючесланцевой формации* глинисто-карбонатного и кремнисто-карбонатно-глинистого состава, развитой на востоке Сибирской платформы в разрезе кембрийской части осадочного чехла, показали, что они характеризуются высоким содержанием МЭ: Mo, U, Cu, V, Ni, Co, Cr, Sr, Ba и др., и могут рассматриваться как комплексное энергетическое и минеральное сырье [24]. Геохимический фон пород этой толщи по ванадию оценивается в 220 г/т. В высокоуглеродистых породах бороулахского горизонта содержание V составляет 2277 г/т. Средние концентрации V, Ni и Mo достигают соответственно 1500, 230 и 100 г/т, повышаясь в бороулахском «металлоносном» горизонте примерно в полтора раза. В краевой части прогиба (р. Джелинда) средние концентрации этих же металлов соответственно равны 811, 123 и 96 г/т [24].

На рис. 5 показаны концентрации элементов в сланцах различных бассейнов мира. Содержания следующих рудных элементов выше, чем кларки глин – в сланцах: Республики Беларусь – Zn, Cu, Pb, Co, Mo, V; Польши – Zr, Zn, Cu, Pb, Mo, Ag, V; Грин-Ривер – Sr, Cr, Pb, Mo, Ag; Швеции – V, Pb, Zn, Mo, Ti [25, 26].

Сопоставление содержаний МЭ в сланцах различного возраста показывает, что четкой связи с возрастом сланценосных формаций выявить не удается. Это объясняется влиянием других факторов, а именно фациальным

РИСУНОК 5. Концентрация рудных элементов в сланцах различных регионов, г/т



типом осадков и геоструктурным положением сланценосного бассейна. Максимальное содержание МЭ в сланцах часто связано с платформенными формациями (битуминозными породами доманика Русской платформы, баженовской свитой Западной Сибири), однако и некоторые глинисто-сланцевые формации геосинклинальных областей также могут быть обогащены МЭ (Байсунское месторождение Узбекистана, сузакские сланцы Таджикистана) [19, 21]. Такая приуроченность повышенных концентраций МЭ в каустобиолитах связана с тем, что именно в указанных бассейнах или их частях создавались благоприятные возможности как для сингенетичного (с максимальным проявлением транспортных, ресурсных, барьерных, средообразующих и других функций живого и ОВ), так и для эпигенетичного (температурные, гидротермальные, геодинамические) накопления МЭ в изученных каустобиолитах [20]. Детализированные усредненные данные по 36 МЭ, приведенные в табл. 1, подтверждают повышенные концентрации МЭ в черных и горючих сланцах (содержание многих рудных элементов выше 100 г/т).

Следовательно, сопоставление абсолютных содержаний и соотношений большого числа МЭ в различных типах каустобиолитов позволяет более ясно представить процессы генезиса последних и оценить перспективность их комплексного использования с получением товарных соединений тех или иных промышленно ценных элементов.

ФАКТЫ

Аномально высокие

концентрации зафиксированы в карбено-карбоидах Муслюмовского месторождения: V – 12460,28 ppm и Zn – 27618,69 ppm

Распределение микроэлементов в отложениях доманика Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна

Нехватка топливно-энергетических и сырьевых ресурсов в связи с истощением запасов нефти в основных нефтедобывающих регионах ставит перед геологами, геохимиками и химиками актуальную задачу поисков и оценки альтернативных источников УВ. К категории трудноизвлекаемых традиционно относятся запасы в сланцевых отложениях доманика Волго-Уральского НГБ.

Отложения доманика отличаются высокой металлоносностью пород и извлекаемых нефтяных УВ. Данные по распределению МЭ в нефти и асфальтенах, в частности по содержанию токсичных и радиоактивных элементов, позволяют оценить качество нефтяного сырья, а также подобрать наиболее оптимальные условия его переработки. Остановимся кратко на результатах исследований (детально рассмотрено в работах автора [27, 28]). Был проанализирован МЭ состав экстрактов и асфальтенов из высокоуглеродистых карбонатно-кремнистых отложений доманика Ромашкинского, Первомайского и Муслюмовского месторождений, расположенных в центральной части, на севере и востоке Татарстана, отличающихся минеральным составом, содержанием и типом ОВ пород, а также сами породы. Методом масс-спектрометрии изучено около 45 элементов, дифференцированных достаточно условно, согласно классификациям В.И. Вернадского и В.В. Ковальского [29–31], на биогенные, радиоактивные и редкоземельные.

МЭ биогенной группы (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Li, Cd, Sb, Ba, Mo, Ga, Ge, As, Se), представляющей наибольшую информативность при изучении процессов нефтеобразования, содержатся в исследуемых породах, экстрактах и асфальтенах в наиболее высоких концентрациях по сравнению с радиоактивными и редкоземельными. В составе пород преобладают элементы

ТАБЛИЦА 1. Усредненные данные содержания МЭ в минеральном веществе сланцев

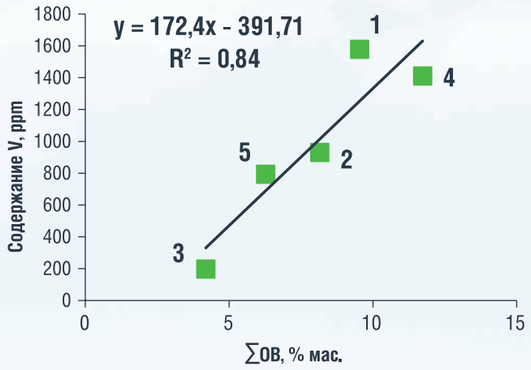
Объект	Концентрация микроэлементов в сланцах (по декадам), г/т						
	< 0,01	0,01 – 0,1	0,1 – 1,0	1,0 – 10	10 – 100	100 – 1000	>1000
Черные сланцы	Au		Hg, Re, Ag	Ge, W, Be, U, Hf, Th, Sn, Cs, Se	Sc, Nb, Co, Ga, Pb, Y, Mo, As, La, Li, Cu, Ce, B, Rb, Ni, Cr	Zr, Sr, Zn, V, Mn, Ba	Ti
Горючие сланцы	Re, Au	Ag	Hg	Ge, Mo, W, Be, U, Hf, Th, Sn, Cs	As, Se, Sc, Nb, Co, Ga, Pb, Y, La, Cu, Li, Ni, Ce, Cr, Zn	Rb, Zr, B, V, Sr, Mn, Ba	Ti

семейства железа и меди. Наибольшие концентрации приходятся на Fe (4492–12143 ppm), V (198–2579 ppm), Ti (438–1358 ppm), Zn (41–862 ppm), Ni (64–307 ppm). Значения основного геохимического параметра микроэлементного состава V/Ni для всех пород > 1 и меняется в пределах 3,08–6,01. Достаточно широко в породах представлены *радиоактивные МЭ*: Sr<Zr<Rb<U<Pb<Nb<Th<Tl<Cs <Hf<W<Re<Bi, с концентрациями от 0,06 до 323,07 ppm. Наибольшие содержания приходятся на Sr (94–323,07 ppm), Zr (17–58 ppm), U (5–37 ppm), Rb (13–35 ppm), Pb (7–12 ppm). В исследуемых породах *редкоземельные микроэлементы* (РЗЭ) составляют такой концентрационный ряд Ce< La<Nd<Gd<Pr<Dy<Sm<Yb<Er<Eu<Tb<Ho<Tm< Lu. Максимальная концентрация МЭ – до 38 ppm. Данная группа МЭ широко используется при изучении минералогии, образования и эволюции земной коры, магматических, метаморфических и др. процессов, а также в области нефтяной геологии при выявлении влияния эндогенных процессов при нефтегазообразовании [32]. Коэффициент L/H, характеризующий отношение легких РЗЭ к тяжелым РЗЭ [33], для всех образцов пород имеет близкие значения и отражает обогащение всех пород легкими лантанидами.

Анализ распределения МЭ в породе позволил выявить высокую корреляционную связь (R = 0,84) содержания ОВ и ванадия (рис. 6). Согласно [34], большая часть ванадиевых соединений образовалась при выветривании осадочных пород с последующим переходом в природные воды, откуда ванадий извлекается живыми организмами и вместе с их телами переходит в осадки и осадочные породы.

В экстрактах, как и в типичной нефти, преобладают *биогенные МЭ*, в частности V и Ni, которые находятся в породах в виде металлорганических соединений и легко извлекаются растворителями. Наибольшая концентрация V в экстракте из породы Муслюмовского месторождение – 3495,10 ppm, наименьшая – из породы Первомайского месторождения – 927,00 ppm, отличающегося наименьшим содержанием асфальтенов. Наибольшее содержание Ni в экстрактах из пород Березовской и Чишминской площадей Ромашкинского месторождения и Муслюмовского месторождения – 304,01–310,98 ppm. Помимо V и Ni, в экстрактах среди биогенных МЭ в высоких концентрациях содержатся Zn, Fe, Cu, Co, Li, Ba, Mo.

РИСУНОК 6. Зависимость концентрации V в отложениях доманика от содержания в них ОВ



ФАКТЫ

Карбено-карбоиды

отличаются наибольшими концентрациями и РЗЭ, суммарное содержание всех РЗЭ в карбено-карбоидах Муслюмовского месторождения составляет 4,40 ppm, по сравнению с 0,04 ppm в асфальтенах

В асфальтенах присутствуют те же *биогенные МЭ*, что и в нефтяных экстрактах, но в больших концентрациях, среди которых преобладают также V и Ni. МЭ семейства железа по концентрации располагаются в ряд V>Ni>Fe>Ti>Cr>Co>Mn.

Особый интерес представляет распределение биогенных МЭ в карбено-карбоидах, присутствующих в экстрактах из пород Муслюмовского месторождения и Сармановской площади Ромашкинского месторождения. Так, в карбено-карбоидах Муслюмовского месторождения зафиксированы аномально высокие концентрации V – 12460,28 ppm и Zn – 27618,69 ppm (рис. 7). По-видимому, распределение МЭ в карбено-карбоидах отражает информацию о микроэлементном составе керогена исходных нефтевмещающих пород, и на их накопление и высокие концентрации в данной фракции могли повлиять процессы накопления ОВ

РИСУНОК 7. Диаграммы распределения биогенных микроэлементов в карбено-карбоидах из экстрактов х пород доманика



РИСУНОК 8. Диаграммы распределения редкоземельных (а) и радиоактивных (б) элементов в карбено-карбоидах из экстрактов доманиковых пород [27]

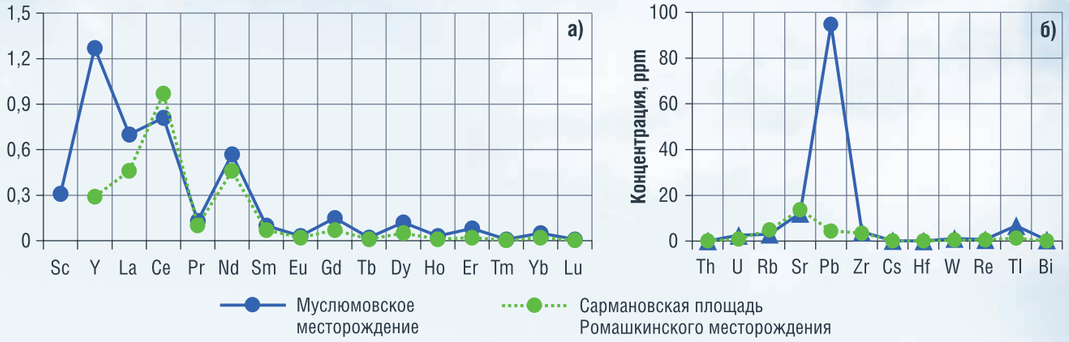
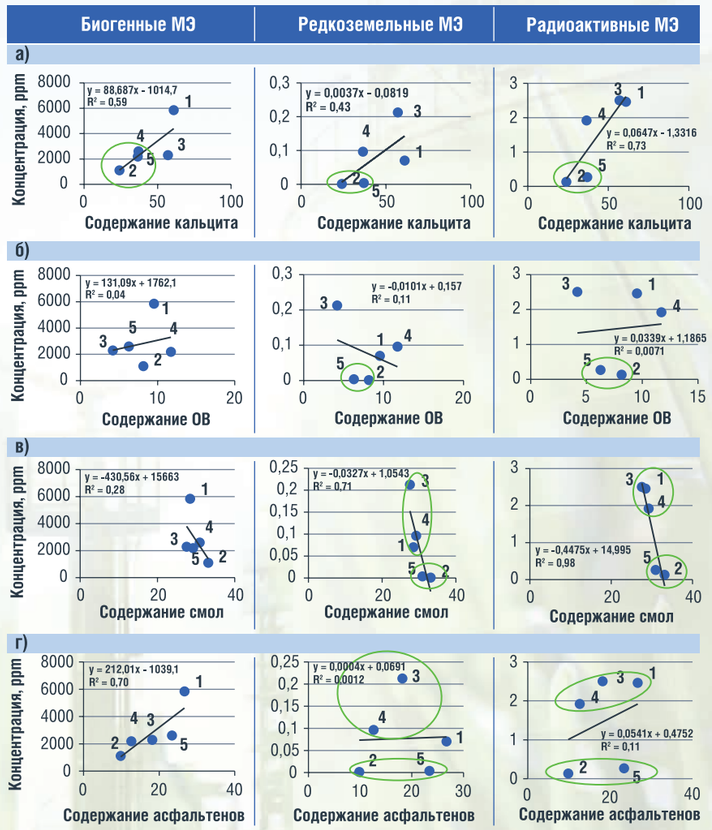


РИСУНОК 9. Зависимости суммарного содержания биогенных, редкоземельных и радиоактивных МЭ в экстрактах из пород исследованных месторождений от содержания в них кальцита (а); ОВ (б); содержания смол (в) и асфальтенов (г). 1) Муслюмовское месторождение; 2) Первомайское месторождение; 3) Сармановская площадь, 4) Березовская площадь, 5) Чишминская площадь Ромашкинского месторождения [27]



и породообразования, в частности магматические, метаморфические, рудообразующие и другие [28].

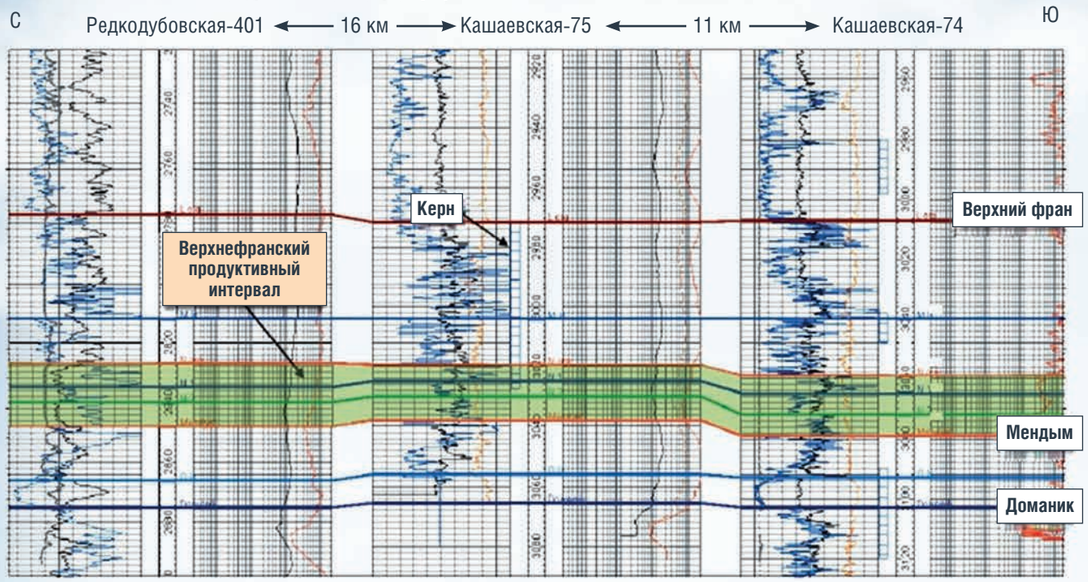
РЗЭ, несмотря на малые концентрации в породах и в нефтяных УВ, используются при изучении образования и эволюции земной коры и в области нефтяной геологии [32, 33]. В исследованных экстрактах и асфальтенах распределение РЗЭ имеет концентрационный ряд Ce<La <Nd<Gd<Pr<Dy<Sm<Yb<Er<E u<Tb<Ho<Tm<Lu. Отсутствие Eu и низкие концентрации Ce в составе экстрактов Первомайского месторождения и Чишминской площади Ромашкинского месторождения, выявленные нами, указывают на отсутствие влияния на состав РЗЭ в данных отложениях гидротермальных флюидов [35]. Наличие в нефти отрицательных аномалий по европию [36] может быть обусловлено заимствованием МЭ из ОВ осадочных комплексов и в данном регионе не связанным с глубинными восстановленными флюидами РЗЭ из кристаллического фундамента.

Карбено-карбоиды отличаются наибольшими концентрациями и РЗЭ (рис. 8 а). Суммарное содержание всех РЗЭ в карбено-карбоидах Муслюмовского месторождения составляет 4,40 ppm, по сравнению с 0,04 ppm в асфальтенах. Наибольшие концентрации приходятся на Y (1,27 ppm), La (0,70 ppm), Nd (0,57 ppm), Gd (0,15 ppm). Концентрации радиоактивных МЭ в карбено-карбоидах превышают их содержание в асфальтенах и экстрактах в десятки раз (рис. 8 б).

На рис. 9 приведены зависимости между суммарным содержанием каждой группы МЭ: биогенных, редкоземельных и радиоактивных и содержанием в породах кальцита, ОВ, смол и асфальтенов.

Исследование биогенных МЭ в экстрактах показало высокую корреляционную связь их концентрирования с содержанием

РИСУНОК 10. Пример корреляции верхнефранских отложений доманиковой толщи, показывающий широкое распространение протяженного потенциально продуктивного резервуара [41]



в экстрактах асфальтенов (R = 0,70), которые являются основными концентраторами литофильных породообразующих элементов – V, Ti, Cr, Mo, Mn, Li, Ba [36]. Концентрация РЗЭ в экстрактах связана с содержанием в экстрактах смол – R = 0,71. Концентрация радиоактивных МЭ в экстрактах имеет очень высокую корреляцию с содержанием смол в экстрактах (R = 0,98): с увеличением содержания смол в составе экстрактов суммарное содержание радиоактивных МЭ в них снижается. Изучение концентрирования биогенных, редкоземельных и радиоактивных МЭ в экстрактах от содержания в породах ОВ показало отсутствие корреляционной связи между данными параметрами (рис. 9 б).

Таким образом, исследование микроэлементного состава экстрактов и асфальтенов из высокоуглеродистых карбонатно-кремнистых доманиковых отложений Ромашкинского, Первомайского и Муслюмовского месторождений Татарстана выявило, что по составу и распределению в них биогенных, редкоземельных и радиоактивных МЭ все объекты, независимо от пространственного расположения, дифференцируются на две группы. Установлено, что экстракты и асфальтены из пород Сармановской и Березовской площадей Ромашкинского месторождения и Муслюмовского месторождения, характеризующихся наибольшим содержанием кальцита, высоким содержанием керогена в породах, меньшими значениями выходов экстрактов (0,78–1,92 мас. %) и наличием в экстрактах фракции карбенов-карбоидов, образуют отдельную группу и отличаются высокими концентрациями всех групп МЭ. Суммарное содержание биогенных МЭ в экстрактах составило от 2189,12 до 5846,77 ppm, радиоактивных МЭ – от 1,92 до 2,50 ppm и редкоземельных – от 0,07 до 0,21 ppm. Наибольшие концентрации приходятся на V, Ni, Zn и Fe. Экстракты и асфальтены из пород Первомайского месторождения и Чишминской площади Ромашкинского месторождения, которые отличаются высоким содержанием кварца, большим содержанием УВ и более высокими значениями выходов экстрактов (2,56 и 2,40 мас. %), образуют вторую группу. Для них выявлены низкие концентрации всех групп МЭ и отсутствие большей части редкоземельных и радиоактивных МЭ, таких как Th, Nb, Hf, Y, Nd, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Особенности распределения МЭ, даже в пределах одного месторождения, по-видимому, связаны с разными источниками их привноса, в частности, высокая обогащенность МЭ экстрактов и асфальтенов из пород месторождений первой группы может быть связана с привносом МЭ глубинными флюидами через разломные зоны осадочной толщи и пород фундамента исследуемой территории.

ФАКТЫ

Нетрадиционные ловушки

в сланцевых формациях зафиксированы на американском континенте, в Волго-Уральском регионе и Западно-Сибирском НГБ

Коллизии сланцевых УВ: нетрадиционные ловушки, богатство рудными элементами, экологические риски

При разработке и добыче нефтегазовых ресурсов углеродсодержащих формаций необходимо учитывать большие содержания ПТЭ, концентрирующихся в них. К ним относят Fe, As, Be, Cl, Co, Cr, F, Hg, Mn, Ni, Pb, Sr, Sb, Se, Tl, V, Zn, U, Th, Rn и др. При гидроразрыве пласта (ГРП), широко применяемого при разработке сланцевых формаций методом горизонтального бурения, возможно попадание токсичных элементов как из сланцев, так из содержащихся в них нафтидов в окружающую среду. Существует несколько причин обратить внимание на эту проблему при оценке экологических рисков разработки сланцев.

Одна из них – это нетрадиционность ловушек УВ в сланцевых формациях, которые носят название «протяженных», «непрерывных» резервуаров (continuous reservoirs) или тонких ловушек несогласия (unconformity subtle traps). Зафиксированы такие протяженные на многие километры ловушки на американском континенте (штаты Техас, Луизиана, сланцы Austin Chalk и Eagle), в Волго-Уральском регионе (доманиковая формация, рис. 10), в Западно-Сибирском НГБ (баженовская свита) [37, 38 и др.]. В соответствии с типами резервуаров-ловушек нефтематеринская (или исходная) нефтяная система (source-rock petroleum system SPS) является основной в осадочных бассейнах [39]. Для этой системы характерны: непрерывность резервуара, одновременное образование и накопление УВ в породах-источниках и ловушках; миграция не является необходимой, а лишь незначительной и/или на короткие расстояния; распределение УВ обширное, непрерывное и не имеющее четких границ; резервуарами являются исходные породы, коллектора-ловушки не требуются; сохранность скоплений считается отличной. Типичная аккумуляция: сланцевые нефть и газ [40, 41]. При разработке сланцевых пород, представляющих собой многокилометровые обогащенные УВ прослои, при проведении многоразовых перфораций с закачкой пропантов и жидкости под давлением и при высокой температуре образуется большая площадь новых трещин и дополнительных контактов. При этом соответственно и возможность для попадания ПТЭ в окружающую среду оказываются много больше.

Нетрадиционность поведения УВ соединений и ассоциированных с ними МЭ при разработке сланцевых формаций – вторая причина необходимости проведения мониторинга содержаний ПТЭ в сланцевых формациях. Высокие концентрации МЭ присущи не только сланцевым породам. Около 15–20 % добываемого УВ сырья уже содержат в своем составе ПТЭ в количествах, превышающих их безопасный уровень, и объемы его добычи с годами возрастают. Но при этом обычно многие элементы (V, Ni, Co, Mo, Cr, Cu, Zn и др.) образуют биологически инертные в природной нефти и битумах прочно химически связанные металлоорганические соединения. Однако эти элементы становятся активно опасными в микродисперсном состоянии после техногенного, особенно высокотемпературного (>450 °C), воздействия на сырье. Тепловое воздействие на пласт, увеличение давлений, закачка химических реагентов при ГРП при большом количестве перфораций на протяжении длинного горизонтального участка (нетрадиционные многокилометровые ловушки) часто приводят к высвобождению элементоорганических компонентов, образованию газообразных соединений ПТЭ и их выбросу в окружающую среду. Процесс перехода металлов и неметаллов из одной УВ субстанции в другую достаточно сложный и многофакторный. Об этом свидетельствуют исследования [42], основанные на детальном изучении образцов из углеродсодержащих формаций Баккена, подвергшихся в лабораторных условиях запрограммированному пиролизу с получением данных по T_{max}, Ro УФ-флуоресценции мацеральной группы липтинита и по результатам ядерно-магнитно-резонансной спектроскопии. При этом хорошими индикаторами процессов термального преобразования ОВ в изучаемых отложениях, наравне с УВ показателями, явились концентрации редокс-чувствительных металлов, например, V и Mo. Авторы считают, что существует вероятность того, что увеличение термической зрелости может привести к высвобождению некоторых чувствительных к окислительно-восстановительному потенциалу металлов, таких как Mo и V, являющихся ПТЭ, и способствовать увеличению их концентраций в перемещающейся УВ фракции и в поровой воде.

ФАКТЫ

Данные

по составу широкого комплекса МЭ могут быть использованы для оценки качества нефтяного сырья, возможности практического извлечения промышленно значимых металлов и предотвращения неблагоприятных воздействий на окружающую среду при разработке сланцевых формаций

При массовом применении ГРП возникает большой объем новообразованных поверхностей и трещин, что порождает опасность загрязнения геосреды ранее практически изолированными в углеродсодержащих формациях и неактивными металлоорганическими соединениями. Такая опасность особенно возрастает при тепловой обработке пласта и закачке большого объема химически активного реагента.

Заключение

Рассмотрены особенности сланцевых формаций – их неоднозначность и нетрадиционность с точки зрения общепринятых основ нефтяной геологии. А именно – необычность ловушек, вернее их практическое отсутствие, рудные концентрации промышленно важных элементов, являющихся одновременно и потенциально токсичными, как в самих сланцевых отложениях, так и в добываемом из них УВ сырье, и высокие экологические риски, существующие при разработке и добыче сланцевых углеводородов. Для минимизации экологических

рисков необходимо оценивать последствия разработки сланцевых формаций в связи с ожидаемыми высокими содержаниями в добываемом сырье ПТЭ и неконтролируемого их перехода в окружающую среду.

Детальные нефтехимические исследования сланцевых отложений месторождений Республики Татарстан свидетельствуют о высоких концентрациях металлов – Fe, Ni, Ti, Cu, Zn и др., которые представляют интерес для изучения возможностей их использования в качестве катализаторов превращения нефтяных УВ при разработке углеродсодержащих толщ с применением термических и паротепловых воздействий. Высокие концентрации V и Ni, в частности в породах Муслюмовского месторождения и Березовской площади Ромашкинского месторождения, позволяют рассматривать данные породы перспективными и для промышленной добычи металлов. Полученные авторами впервые результаты о высоком рудном содержании ряда промышленно значимых металлов в узкой фракции керогена – карбено-карбоидах (до нескольких кг/т), при учете резко возросших цен на металлы в современном мире, являются актуальными и востребованными, давая возможность при выработке методов извлечения металлов из нефти опираться именно на эту фракцию.

Таким образом, данные по составу широкого комплекса МЭ могут быть использованы как в научном плане, для оценки качества нефтяного сырья, так и в плане возможности практического извлечения ценных промышленно значимых металлов, а также для предотвращения неблагоприятных воздействий на окружающую среду радиоактивных и токсичных элементов при разработке сланцевых формаций. ●

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПНГ РАН по теме: «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла» 122022800253-3, при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2020-931 в рамках программы развития НЦМУ «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты».

Литература

1. *Конторович А.Э. Геология нефти и газа: Избранные тр. Т. III. Методы прогноза нефтегазоносности. Планирование геолого-разведочных работ. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2008. – 331 с.*
2. *Дахнова М.В. Применение геохимических методов исследований при поисках, разведке и разработке месторождений углеводородов // Геология нефти и газа. – 2007. – № 2. – С. 81–89.*
3. *Пунанова С.А. Оценка микроэлементного состава нафтидов – необходимый этап нефтехимических исследований // Деловой журнал «Neftegaz.RU». – 2022. – № 2 [122]. – С. 56–63.*
4. *Пунанова С.А. О классификационном разнообразии ловушек нефти и газа и геохимических критериях продуктивности сланцевых формаций // SOCAR Proceedings. – 2021. – S. I2. – P. 1–15.*
5. *Пунанова С.А. Прикладная металлогения нафтидов // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2017. – Вып. 2 (17). [http://oilgasjournal.ru].*
6. *Вернадский В.И. Биосфера. 5-е изд. В книге: Библиотека трудов академика В.И. Вернадского. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994. – С. 315–401.*
7. *Гольдберг И.С., Мицкевич А.А., Лебедева Г.В. Углеводородно-металлоносные провинции мира, их формирование и размещение. Проблемы оценки ресурсов и комплексного освоения природных битумов, высоковязкой нефти и сопутствующим им металлов. Л.: ВНИГРИ, 1990. – С. 49–60.*
8. *Сафронов А.Ф. Мат. Всеросс. науч.-практ. конф. «Черные сланцы: геология, литология, геохимия, значение для нефтегазового комплекса, перспективы использования как альтернативного углеводородного сырья. Якутск: Ахсаан, 2015. – С. 63.*
9. *Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. – 501 с.*
10. *Грунис Е.Б., Барков С.Л., Мишина И.Е. Проблемы и инновационные пути расширения ресурсной базы углеводородов за счет нетрадиционных источников Российской Федерации // Георесурсы. – 2014. – № 4 (59). – С. 28–34.*
11. *Гилаев Г.Г., Манасян А.Э., Летичевский А.Е., Парфенов А.Н., Хамитов И.Г., Гилаев Г.Г. Гидравлический разрыв пласта как инструмент разработки месторождений Самарской области // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 11. – С. 65–69.*
12. *Прищепа О.М., Аверьянова О.Ю. Понятийная база и первоочередные объекты нетрадиционного углеводородного сырья // Георесурсы. – 2014. – Вып. 2 (10). – 11 с.*
13. *Хисамов Р.С., Базаревская В.Г., Михайлова О.В., Подавалов В.Б. Доманиковые продуктивные отложения Татарстана – аналог «сланцевых плев» США // Недропользование XXI век. – 2016. – № 3. – С. 82–91.*
14. *Вашкевич А.А., Стрижнев К.В., Шашель В.А., Захарова О.А., Касьяненко А.А., Заграновская Д.Е., Гребенкина Н.Ю. Прогноз перспективных зон в отложениях доманикового типа на территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 12. – С. 14–17.*
15. *Муслимов Р.Х., Булыгин Д.В., Ганиев Р.Р. Особенности моделирования крупных месторождений нефти на примере березовской площади Ромашкинского месторождения // Георесурсы. – 2008. – № 2 (25). – С. 4–9.*
16. *Муслимов Р.Х. Нефтегазоносность республики Татарстан. Геология и разработка нефтяных месторождений. В 2-х томах. Т. 1. Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2007. – 316 с.*
17. *Тахауов А.А., Титов А.А. Изучение литологических особенностей доманиковых отложений Первомайского месторождения // Георесурсы. – 2018. – Т. 20. – № 4. – Ч. 1. – С. 324–330.*
18. *Баженова О.К., Бурлин Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е. Геология и геохимии нефти и газа – М.: Изд-во Московского университета, 2012. – 432 с.*
19. *Шпирт М.Я., Пунанова С.А. Особенности микроэлементного состава углей, сланцев и нефти различных осадочных бассейнов // Химия твердого топлива. – 2010. – № 4. – С. 57–65.*
20. *Юдович Я.Э., Кэтрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург. УИФ: Наука, 1994. – 304 с.*
21. *Шпирт М.Я., Пунанова С.А. Микроэлементы каустобиолитов и сланцев: проблемы их генезиса и промышленного использования // Геохимия. – 2009. – № 2. – С. 216–224.*
22. *Chizoba C.N. Chemostratigraphy of the mississipian – age Barnett Formation, Fort Worth Basin, Wise County, Texas. USA. University Of Texas At Arlington May. – 2013. – 80 p.*
23. *Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Закономерности распределения некоторых элементов в различных типах пород баженовской свиты Якутск: Ахсаан. – 2015. – С. 128–132.*
24. *Зуева И.Н., Чалая О.Н. и др. О возможности использования высокоуглеродистых пород куонамской формации как комплексного минерального сырья. Якутск: Ахсаан. – 2015. – С. 133–137.*
25. *Punanova S.A., Shpirt M.Ya. Ecological Consequences of the Development of Shale Formations Containing Toxic Elements // Solid Fuel Chemistry. – 2018. – V. 52. – № 6. – P. 396–405.*
26. *Punanova S. Trace element composition of shale formations. 29-th International Meeting on Organic Geochemistry (EAGE-IMOG). September 2019, Gothenburg, Sweden. All Abstracts. – 2019. – P. 495–496.*
27. *Михайлова А.Н., Каюкова Г.П., Вахин А.В., Гарвев Б.И. Микроэлементный состав нефтяных экстрактов и асфальтенов из пород высокоуглеродистых доманиковых отложений Татарстана // Нефтехимия. – 2022. – Т. 62. – № 2. – С. 216–230.*
28. *Mikhailova A., Kayukova G., Vakhin A., Gareev B. Composition and distribution features of microelements in high-carbon Domanic rocks, extracts from rocks and asphaltenes // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. – 2020. – Sci. 516 012030.*
29. *Филиппова В.А., Лысенкова А.В. Химия биогенных элементов (обзорная статья) // Проблемы экологии. – 2013. – Т. 4. – № 38. – С. 72–78.*
30. *Вернадский В.И. Очерки геохимии. Избр. сочинения. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 7–391.*
31. *Ковальский В.В. Биогенные элементы. БСЭ. Т. III. 3-е издание. М., 1970. – С. 327–328. с.*
32. *Готтих Р.П., Винокуров С.Ф., Писоцкий Б.И. Редкоземельные элементы как геохимические критерии эндогенных источников микроэлементов в нефти // Доклады академии наук. – 2009. – Т. 425. – № 2. – С. 223–227.*
33. *Xu, J., Cheng B., Deng Q., Liang Y., Faboya O. L., Liao Z. // Acta Geochimica. – 2018. – Vol. 37. – P. 886–900.*
34. *Архангельский А.Д., Копченова Е.В. Заметка об органическом веществе, фосфоре и ванадии в отложениях Черного моря // Известия Академии наук СССР. – 1930. – VII серия. – Выпуск 3. – С. 205–215.*
35. *Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Дуб С.А., Мельник Д. С., Парфенова Д.М., Колесников А.В., Чередниченко Н.В., Киселева Д.В. Укская свита верхнего рифея Южного Урала: седиментология и геохимия (первые результаты исследований) // Литосфера. – 2019. – Т. 19. – № 5. – С. 659–686.*
36. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И., Журавлев Д.З. Геохимические особенности нефти различных регионов и возможный источник металлов в ней // Геохимия. – 2008. – Т. 422. – № 1. – С. 1–5.*
37. *Punanova S. Features of the Trace Element Composition of Carbonaceous Formations // Moscow University Geology Bulletin. – 2022. – Vol. 77. – №. 5. – P. 540–551.*
38. *Пунанова С.А., Родкин М.В. Геоэкологические риски при освоении сланцевых углеводородных ресурсов // Геология нефти и газа. – 2022. – № 1. – С. 95–104.*
39. *Jing-Zhou Zhao, Jun Li, Wei-Tao Wu, Qing Cao, Yu-Bin Bai, Chuang Er. ().The petroleum system: a new classification scheme based on reservoir qualities // Petroleum Science. – 2019. – V. 16. – P. 229–251.*
40. *Ступакова А.В., Фадеева Н.П., Калмыков Г.А., и др. Поисковые критерии нефти и газа в доманиковых отложениях Волго-Уральского бассейна // Георесурсы. – 2015. – Т. 2 (61). – С. 77–86.*
41. *Ульмишек Г.Ф., Шаломеенко А.В., Холтон Д.Ю., Дахнова М.В. Нетрадиционные резервуары нефти в доманиковой толще Оренбургской области // Геология нефти и газа. – 2017. – № 5. – С. 57–67.*
42. *Abarghani, A., Gentzis, T., Bo Liu, et all. Preliminary Investigation of the Effects of Thermal Maturity on Redox-Sensitive Trace Metal Concentration in the Bakken Source Rock, North Dakota, USA // ACS Omega. – 2020. – № 5 (13). – P. 7135–7148.*

Keywords: *shale formations, domanic, trace elements, field development, environmental risks, petrochemical research.*



От нефтяных санкций Запада Россию спас один маленький порт у Владивостока

DER SPIEGEL

Россия продолжает продавать нефть по ценам, значительно превышающим установленный для нее со стороны США и ЕС ценовой потолок в 60 долл. Через порт Козьмино Россия уже много месяцев продает нефть по цене значительно выше. В первые три месяца 2023 года средняя цена нефти в Козьмино была более чем на 20% выше установленного максимума, по этой цене уходило 95% всей загруженной в порту нефти. Похожая картина в черноморском порту Новороссийск, там нефть продавали за 47,89 долл. за барр. Фактически сейчас Россия имеет не один, а два рынка. В отношении нефти, которую Россия загружает в танкеры в своих западных портах, ей приходится мириться с довольно сильным понижением цен. А вот нефть, предлагаемая в Азии, продается значительно дороже. Самые главные покупатели – Индия и Китай. Но они также покупают больше российской нефти и в портах на Балтийском и Черном морях. То есть разница в ценах связана не с покупателями, а с расстановкой сил на рынках Запада и Востока. В действительности цена на нефть марки Urals служит лишь для оценки экспорта российской нефти из портов, расположенных на западе страны. Ценообразование в Азии от этого показателя практически не зависит.

Новая валюта БРИКС бросит вызов доллару

FP Foreign Policy

Разговоры о дедолларизации звучат повсеместно. В прошлом месяце заместитель председателя Госдумы РФ А. Бабаков заявил, что Россия возглавляет разработку новой валюты для торговли между странами БРИКС. Эти события усложняют нарратив о стабильности господства доллара на фоне евро, иены и юаня. С одной стороны, доллар в настоящее время используется в 84,3% трансграничной торговли, тогда как для китайского юаня этот показатель составляет всего 4,5%. Валюта, выпущенная странами БРИКС, могла бы вытеснить



доллар США в качестве резервной валюты членов БРИКС. В отличие от предлагавшихся в прошлом вариантов, таких как цифровой юань, эта гипотетическая валюта обладает реальным потенциалом. Странам БРИКС не придется торговать только друг с другом. Поскольку каждый член группы является экономическим тяжеловесом в своем регионе, все остальные страны не откажутся от бизнеса с ними.

Если страны БРИКС проведут дедолларизацию, бóльшая часть мира по-прежнему будет использовать доллары, и глобальный валютный порядок станет многополярным. В любом случае, господство доллара вряд ли закончится в одночасье, но валюта стран БРИКС будет постепенно подмывать его доминирование.

Чехия рассказала, чем заменила российский газ

Seznam Zprávy

В первом квартале 2023 года в Чешскую Республику российский газ не поступал. Из 1,71 млрд м³ газа, импортированного в Чехию, 100% поступило через Германию.



В основном через нее поставляется СПГ из Бельгии и Нидерландов, а также газ из Норвегии. Существует единственный путь, откуда могут идти поставки из России, – трасса через Украину и Словакию.
С января по март объем поставок по этому маршруту равнялся нулю. По словам главы Ассоциации независимых поставщиков энергии Чехии Й. Гавора, ничего не случится, если в будущем так и останется. Еще год назад Чехия зависела от российского газа почти на 100%. «Мы все внесли свой вклад в это достижение, поскольку принципиальную роль сыграло снижение потребления», – говорит министр промышленности и торговли Й. Сикела. Но не вся Европа сумела добиться того же. Около 10% потребления газа Европой обеспечиваются за счет поставок из РФ. По словам Й. Сикела, эти поставки нестабильны. Если прервется работа газопроводов Ямал и Турецкий поток, Чешской Республике напрямую ничего не будет угрожать, но Венгрия и страны Прибалтики пострадают. Государства начнут искать альтернативные поставки, а это поднимет цены. ●



ТВЕРДОЕ БИОТОПЛИВО И НИЗКОУГЛЕРОДНАЯ ЭКОНОМИКА в России и мире

Аким Эдуард Львович
заведующий кафедрой технологии целлюлозы и композиционных материалов СПб ГУПТД, Почетный Член Консультативного Комитета ФАО ООН по устойчивости Лесного сектора, Член научного совета РАН по лесу, профессор, д.т.н.

Пекарец Александр Андреевич
доцент кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов СПб ГУПТД, Научный руководитель Лесной Технологической Компании, к.т.н.

Аким Михаил Эдуардович
профессор Высшей школы бизнеса НИУ ВШЭ, PHD, MBA

Луканин Павел Владимирович
Первый проректор СПб ГУПТД, Директор Высшей школы технологии и энергетики, профессор, д.т.н.

Федорова Олеся Вячеславовна
доцент кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов СПб ГУПТД, проректор по дистанционному обучению СПб ГУПТД, к.т.н.

Роговина Светлана Захаровна
ведущий научный сотрудник Института Химической Физики им. Н.Н. Семенова РАН, д.х.н.

Берлин Александр Александрович
Академик РАН – Научный руководитель Института Химической Физики им. Н.Н. Семенова РАН

УДК 620.97

ЗА ДВАДЦАТЬ ПЯТЬ ЛЕТ В МИРЕ РОДИЛАСЬ И БЫСТРЫМИ ТЕМПАМИ РАЗВИВАЕТСЯ ПРАКТИЧЕСКИ НОВАЯ ПОДОТРАСЛЬ ЛЕСНОГО СЕКТОРА – ТВЕРДОЕ БИОТОПЛИВО ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ – ПЕЛЛЕТЫ И БРИКЕТЫ. В 2022 ГОДУ МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНЫХ ПЕЛЛЕТ ДОСТИГЛО 50 МЛН ТОНН; В 2021 ГОДУ РОССИЯ ПОСТАВИЛА НА МИРОВЫЕ РЫНКИ 2,3 МЛН ТОНН ДРЕВЕСНЫХ ПЕЛЛЕТ, ПРИБЛИЗИВ СВОЮ ДОЛЮ К 5%. В НЕДАВНО ОПУБЛИКОВАННОМ НОВОМ ОТЧЕТЕ BRITISH PETROLEUM – REPORT 2023, ПРОГНОЗИРУЕТСЯ УТРОЕНИЕ ТЕМПОВ РОСТА БИОТОПЛИВА ДО 2050 ГОДА

IN TWENTY-FIVE YEARS, A NEW SUB-SECTOR OF THE FORESTRY INDUSTRY HAS BEEN BORN AND IS RAPIDLY DEVELOPING IN THE WORLD, NAMELY THE PRODUCTION OF PELLETS AND BRIQUETTES, WHICH IS A SECOND-GENERATION SOLID BIOFUEL. IN 2022, THE GLOBAL PRODUCTION OF WOOD PELLETS REACHED 50 MILLION TONS; IN 2021, RUSSIA SUPPLIED 2.3 MILLION TONS OF WOOD PELLETS TO WORLD MARKETS, BRINGING ITS SHARE CLOSER TO 5%. BRITISH PETROLEUM'S RECENTLY RELEASED NEW 2023 REPORT PREDICTS A TRIPLING OF BIOFUEL GROWTH RATES BY 2050

Ключевые слова: *биотопливо, пеллеты, изменение климата, древесина, антропогенные выбросы.*

Россия – экспортер пеллет и брикетов

В 2019–2020 годах Россия экспортировала 2,32 млн тонн древесных пеллет – 6% от мирового объема производства пеллет. (ФАО 2019 – Древесные пеллеты и прочие агломераты – 46 миллионов тонн). В первом полугодии 2021 года производство топливных пеллет увеличилось на 19%, цены на гранулы прибавили 17%.

В значительной степени рождение и быстрые темпы развития твердого биотоплива второго поколения (пеллет и брикетов) обусловлено тем, что они, как правило, производятся из опилок, т.е. многотоннажных отходов переработки древесины, и тем самым решается проблема их утилизации. Кроме того, благодаря использованию современных систем сжигания резко увеличивается энергоэффективность.

При этом, если весь объем производства пеллет в России изготавливался на импортном оборудовании и по зарубежным технологиям, то производство брикетов осуществляется по разработанной в России инновационной энергосберегающей технологии – древесных брикетов

с плотностью до 1300–1320 кг/м³ [5–10]. Нами разработаны не только описываемые далее научные основы и принципы этой технологии, но и сама технология; она запатентована и реализована в России на 5 технологических линиях, производящих древесные, древесно-угольные и торрефицированные брикеты. Все эти линии работают на опилках и древесных отходах. Кроме того, в Латвии, в Риге не только запущено аналогичное производство брикетов, но и организован выпуск оборудования и самих технологических линий малыми сериями – до 10–15 линий в год. Эта технология обеспечивает получение твердого биотоплива высокой плотности (HDSBF) – целлюлозных композитов энергетического назначения, древесных брикетов с плотностью до 1300–1320 кг/м³ [5–10], в то время как плотность кристаллических областей целлюлозы – около 1500 кг/м³. Такая высокая плотность качественно меняет многие свойства как самих брикетов, так и их поведение при дальнейшей торрефикации и карбонизации. Именно это позволяет называть их «твердым биотопливом третьего поколения». По инновационной технологии биотоплива третьего поколения (твердого биотоплива высокой плотности (HDSBF) – целлюлозных композитов энергетического назначения, из отвалов гидролизного лигнина, станция Зима) получены топливные брикеты со свойствами торрефицированных брикетов. Основы инновационной технологии были представлены на многих международных конференциях, включая доклад в Женеве на Международной лесной неделе ФАО ООН/ЕЭК ООН [10].

МГЭИК и биотопливо

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) 20 марта 2023 г. опубликовала Шестой доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [11]. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) – это орган Организации Объединенных Наций, ответственный за оценку состояния научных знаний, связанных с изменением климата. Она была учреждена в 1988 году Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и Всемирной метеорологической организацией (ВМО) для предоставления политическим лидерам регулярных научных оценок, касающихся изменения климата [12].

В МГЭИК, являющейся ведущим международным органом по оценке изменения климата, входят 195 государств-членов, которые являются членами ООН или ВМО. Цель МГЭИК, созданной при Организации Объединенных Наций – прежде всего обобщить наиболее устоявшуюся и тщательно проверенную совокупность знаний об изменении климата. Опубликованное исследование является серьезнейшим документом, качество которого обеспечивается вовлечением лучших ученых из 65 стран. В трех рабочих группах, принимавших участие в отчете, 782 ученых (и еще сотни авторов) проанализировали более 66 000 исследований. Таким образом, нет оснований ставить под сомнение результаты данного исследования, так как аргументированно опровергать представленные в нем сценарии можно было бы только на основании сопоставимых по масштабам исследований. На данный момент это самый большой, наиболее хорошо проверенный массив научных знаний, который преобразуется в полезную и эффективную политику на уровне государств и компаний.

Обобщающий доклад МГЭИК, утвержденный в ходе недельной сессии в Интерлакене (Швейцария), – это первый всеобъемлющий отчет климатической группы ООН после Парижского соглашения 2015 года, который знаменует собой заключительную главу шестого цикла оценки группы. Ожидается, что его результаты послужат руководством по преодолению чрезвычайной климатической ситуации [13].

В связи с публикацией Шестого доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш охарактеризовал отчет как «настоятельный призыв к массовому ускорению усилий по борьбе с изменением климата каждой страной, каждым сектором и в любой период времени».

В отчете, опубликованном Межправительственной группой экспертов ООН по изменению климата (МГЭИК), ведущие ученые-климатологи призывают к корректировке курса по борьбе с климатическими изменениями: текущих или даже запланированных мер недостаточно; в нем говорится, что мир, вероятно, не достигнет в течение десятилетия своей самой амбициозной климатической цели – ограничения потепления на 1,5 °C выше доиндустриального уровня. МГЭИК заявила, что беспрецедентная проблема удержания глобального потепления стала еще более серьезной в последние годы из-за неуклонного увеличения глобальных выбросов парниковых газов. Эксперты считают, что глобальные выбросы должны быть сокращены почти вдвое к 2030 году. Температурный порог в 1,5 °C признан критически важным, поскольку за пределами этого уровня более вероятны так называемые переломные моменты, то есть пороги, при которых небольшие изменения могут привести к резким сдвигам во всей системе жизнеобеспечения Земли. «Внедрение эффективных и справедливых мер по борьбе с изменением климата не только сократит потери и ущерб для природы и людей, но и принесет более широкие выгоды», – считает председатель МГЭИК Ли Хоесун [11].

В Шестом докладе МГЭИК изложены краткосрочные действия и поэтапный отказ от ископаемого топлива, необходимые для поддержания повышения температуры ниже 1,5 °C. Показано, что существует огромный потенциал для расширения реальных решений, включая меры по сокращению спроса на энергию, для быстрого сокращения, необходимого для удержания повышения температуры ниже 1,5 °C.

Древесина и ЦУР – смена концепций?

Для начала отметим те события (исключая политические), которые произошли на планете Земля за последние месяцы.

- Население нашей планеты превысило восемь миллиардов человек и продолжает расти.
- Индия стала самой многочисленной страной мира, обогнав Китай.

- Индия 1 декабря 2022 года стала на год председателем в G20, объявив, что в период своего председательства, постарается организовать глобальный Биотопливный альянс.
- Опубликован новый доклад Консультативного Комитета ФАО ООН по устойчивости Лесного сектора [14].
- Опубликован новый доклад ФАО ООН [15].
- В Российской Федерации вопросы использования твердого биотоплива (пеллет) в муниципальных котельных стали обсуждаться на высшем уровне.
- Опубликован новый отчет British Petroleum [4] – report 2023, в котором прогнозируется утроение темпов роста биотоплива до 2050 года.
- Министры G7 установили новые цели для развития солнечной и ветровой энергетики [19 АПРЕЛЯ 2023].
- Австралийское правительство заявило, что не рассматривает биотопливо как углеродно-нейтральное.

В последние годы начал формироваться еще один важнейший аспект получения и использования твердого биотоплива и его роли при переходе к низкоуглеродной экономике – это возможность использовать в твердом биотопливе второго поколения, а в еще большей степени – третьего поколения, твердые отходы органического происхождения. К ним относятся и все древесные отходы, и сельскохозяйственные отходы, и отходы крупнотоннажных полимеров, и отходы текстильной промышленности. Эта особенность особенно важна, например, для Индии, ставшей в 2022 году крупнейшей по населению страной на Земле. Для Индии одной из острейших экологических проблем стало сжигание на полях рисовой соломы, остающейся после уборки урожая. После уборки риса в ряде штатов образуется около 30 млн т растительных остатков. Почти половина из них сжигается на полях, создавая огромную экологическую проблему. Для уменьшения загрязнения окружающей среды Центральное правительство Индии намерено продвигать использование зеленого топлива. Министерство энергетики Индии ранее предлагало использовать от 5 до 10% биомассы для совместного сжигания на угольных теплоэлектростанциях. Однако прогресс был ограничен из-за отсутствия производителей пеллет и электростанций, работающих на биомассе.

Всю свою историю человечество использовало древесину, точнее древесную энергию, для приготовления пищи и обогрева. Древесное топливо определяется в Совместном вопроснике Евростата / ФАО / МОТД / ЕЭК ООН по лесному сектору как «круглый лес, который будет использоваться в качестве топлива для таких целей, как приготовление пищи, обогревание или производство электроэнергии. Сюда входит древесина, заготовленная из основных стволов, веток и других частей. круглых или колотых деревьев (если они заготавливаются для топлива), а также древесина, которая будет использоваться для производства древесного угля, древесных гранул и других агломератов. Сюда также входит древесная щепа, которая будет использоваться в качестве топлива, которое производится напрямую из круглого леса. Исключая древесный уголь, пеллеты и другие агломераты, оно указывается в кубических метрах твердого объема под корой (то есть без учета коры». Следует отметить, что в этих материалах биотопливо (дрова, древесная щепа) измеряется в кубометрах, а пеллеты (древесные гранулы) и древесный уголь – в тоннах. Древесина и сегодня остается основным источником энергии не только на большей части Африки и во многих развивающихся странах мира, но играет существенную роль и на других континентах. В результате роста численности населения общее потребление древесного топлива в мире все еще растет и до 2018 года оно превышало промышленное использование древесины! Так, в 2020 году мировая заготовка древесины как топлива составляла 1,9 млрд кубометров, а для промышленного использования – 2,1 млрд кубометров. Конечно, в промышленно развитых странах благодаря растущему уровню доходов и растущей урбанизации для приготовления пищи используются более удобные вида топлива – электричество и газ. Однако последние данные показывают, что в 2019 году на выработку энергии было направлено свыше четверти (25,3%) европейского заготовленного круглого леса, а в каждой четвертой стране субрегиона на топливную древесину приходится около половины вывозимой из лесов древесины, а в таких странах, как Албания, Италия и Северная Македония, 80% или более древесины, вывозимой из леса, используется в качестве древесного топлива.

Учтенный объем заготовки древесины в мире составляет около 4 млрд кубометров в год, половина используется как топливо в самых бедных странах мира; производство и использование древесного угля в мире превышает 50 млн тонн в год, при этом на Африку, в которой древесный уголь является основным топливом для приготовления пищи, приходится около двух третей мирового производства – 33 млн тонн в год. Особо следует отметить, что в странах экваториальной Африки сохраняется древняя, экологически очень несовершенная технология изготовления древесного угля.

В то же время в мире ежегодно добывается около 7,5 млрд тонн каменного угля, а содержание общей серы в углях обычно колеблется, в основном, от 0,2 до 10%. В мире также ежегодно добывается около 4, 5 млрд тонн нефти в год, а сернистых соединений в различных видах нефти может быть более 10 процентов, хотя обычно этот показатель не превышает шести процентов. Содержание серы в этих видах топлива приводит при их сжигании к образованию сернистого газа и, как следствие, к кислотным дождям. Объем потребления крупнотоннажных полимеров в мире, изготавливаемых путем переработки нефти и газа, составил в 2020 году свыше 265 млн тонн, а их повторное использование не превышает 10–15%; объем потребления бумаги и картона в мире – свыше 430 млн тонн, причем свыше 50% бумаги и картона используются многократно – 6–8 и более раз; объем потребления текстильных волокон в мире – около 100 млн тонн, из них около 25 млн т – хлопковое волокно, а свыше 5 млн т – вискозные волокна, включая лиоцелл. Таким образом, рассматривая пути секвестирования углерода в лесном секторе,

РИСУНОК 1. Пень в парке Дворца Наций в Женеве



целесообразно анализировать не только биотопливо, но и другие виды органических отходов, а также анализировать всю совокупность потребностей человечества, вызывающих сегодня климатические проблемы и загрязнение планеты, например, пластиковое.

В последние годы наблюдается рост использования биоэнергии в качестве стратегии декарбонизации для сектора ископаемых видов энергии с высоким уровнем выбросов. Однако этот вопрос не столь ясен и вызывает некоторые споры. В своем последнем докладе МГЭИК пояснила, что биоэнергетика призвана играть важную роль в обезуглероживании энергетического сектора. Это было признано еще в 2012 году, когда в специальном докладе МГЭИК по возобновляемым источникам энергии и смягчению последствий изменения климата было указано, что использование остатков и отходов биомассы и усовершенствованные системы сжигания способны обеспечить сокращение выбросов на 80–90 процентов по сравнению с исходным уровнем для ископаемых видов энергии (МГЭИК, 2012 год).
В докладе МГЭИК 2022 обращается внимание на риски, связанные с плохим управлением земельными ресурсами, которые не учитывают потребности в различных ресурсах [16]. В докладе отмечается, что биоэнергия может увеличивать или уменьшать выбросы в зависимости от масштабов ее применения, используемой технологии, логистики поставок, вытеснения топлива и того, как и где производится биомасса.

С точки зрения снижения уровня антропогенных выбросов углерода устойчивое использование биоэнергетических ресурсов играет важную роль в большинстве сценариев развития мировой экономики. Согласно расчетам экспертов по изменению климата и энергетической трансформации, топливо, произведенное из биомассы, станет вносить все более существенный вклад в минимизацию углеродного следа.

Использование топлива из биомассы вместо ископаемых углеводородов само по себе не является панацеей и не обеспечивает легкую победу над последствиями изменения климата – существует гораздо больше нюансов. Они зависят от того, как выращиваются, перевозятся и обрабатываются биоресурсы, из какого сырья изготавливается биотопливо и как оно сжигается.

Рассматривая в данной статье проблемы твердого биотоплива и низкоуглеродной экономики в России и мире, мы попробуем показать их взаимосвязь с проблемами энергосбережения при производстве твердого биотоплива, повышения энергоэффективности при сжигании твердого биотоплива и пути перехода от свалок и не организованного сжигания к организованному, контролируемому процессу.

Экологически чистые материалы, в том числе лесные продукты, являются ключом к переходу к устойчивой климатически-нейтральной экономике. Удаление углерода, начатое в деревьях (рис. 1), может быть «значительно продлено» путем переработки биомассы древесины в материалы и изделия с длительным жизненным циклом.

Сохранение биомассы в природных резервуарах (корни вековых деревьев в лесах и парках – рис. 2, торфяники) может сочетаться с секвестированием углерода, о которых пойдет речь ниже.

Соответственно, Лесная стратегия направлена на дальнейшее увеличение (количественно и качественно) предложения экологически чистой и законно выращенной древесины для материалов и энергии (ЕС, 2018), а также на реализацию «каскадного принципа»

РИСУНОК 2. Корни векового дерева в одном из парков США



ТАБЛИЦА 1. Части типичного заготовленного дерева

Часть дерева или продукт	Процентная доля (%)
Оставляемые в лесах	
Вершина, ветви и листва	23
Пень (исключая корни)	10
Опилки	5
Лесопиление	
Горбыль, кромки и обрезки	17
Опилки и мелкая щепа	7,5
Различные потери	4,0
Кора	5,5
Пиломатериалы	28
Всего	**100**

РИСУНОК 3. Сжигание лесосечных отходов в Иркутской области



использования древесины. «Принцип каскадирования» описывается в FPAMR 2021 [17] как: «последовательное использование ресурсов, например, древесины, путем их повторного использования, переработки и, возможно, конечного производства энергии, для сохранения своего материального статуса и твердого углерода, насколько это практически возможно, совместимого с рыночными механизмами и логистикой». Из этого принципа вытекает, что именно использование древесины в виде биотоплива является наиболее эффективной заключительной стадией жизненного цикла древесины. Рыночные стимулы считаются решающими, и также важна «циркулярная, круговая» роль изделий из древесины с более коротким сроком службы, которые могут быть повторно использованы или переработаны.

В регионе ЕЭК сырьем для энергоносителей на базе древесины в настоящее время являются в основном отходы деревообработки. Например, лесопильное предприятие может иметь в своей структуре работающую на биомассе когенерационную электростанцию, которая использует отходы лесопиления для снабжения предприятия электроэнергией, а тепловую энергию использовать для сушки пиломатериалов. С точки зрения лесопильного предприятия это означает и снижение производственных затрат, и извлечение пользы из того, что раньше было отходами. Кроме того, с точки зрения устойчивости использование отходов на месте (например, непосредственно на лесопильном предприятии) может также снизить воздействие на окружающую среду (поскольку, например, отсутствует необходимость в транспортировке и дальнейшей переработке).

Российское законодательство дает следующее определение для возобновляемых источников энергии [18]: «энергия солнца, энергия ветра, энергия вод ... биомасса, включающая в себя специально выращенные для получения энергии растения, в том числе деревья, а также отходы производства и потребления, ... биогаз, газ, выделяемый отходами производства и потребления на свалках таких отходов, газ, образующийся на угольных разработках».

В таблице 1 приведены данные ФАО ООН по частям типичного заготовленного дерева; в случае ЦБП как части ЛПК, картина становится несколько иной, т.к. она содержит и балансовую древесину, используемую в ЦБП и являющуюся важнейшим компонентом комплексного использования биомассы древесины.

Таким образом, по данным ФАО ООН, свыше половины биомассы древесины является потенциальным сырьем для производства биотоплива второго и третьего поколения; прежде всего сюда относятся лесосечные отходы (рис. 3). Кроме того, имеют право на жизнь и специальные энергетические плантации, например салекса, мискантуса и др.

В июне 2021 года в РФ принят Федеральный закон об ограничении выбросов парниковых газов [19], по которому Регулируемые организации, деятельность которых сопровождается выбросами парниковых газов, масса которых эквивалентна 150 и более тысячам тонн углекислого газа в год, представляют отчеты о выбросах парниковых газов начиная с 1 января 2023 года, а масса которых эквивалентна 50 и более тысячам тонн углекислого газа в год – начиная с 1 января 2025 года. Тем самым практически все крупные целлюлозно-бумажные предприятия РФ подпадают под действие этого закона. В отличие от ряда других отраслей промышленности России, многократно снизивших объемы производства после распада СССР и при переходе к рыночной экономике, отечественная целлюлозно-бумажная промышленность не только сохранила свои объемы производства, но и стала экспортно ориентированной отраслью, успешно интегрированной в мировую экономическую систему.

При этом ЦБП России выступает не как сырьевой экспортер, а как поставщик наукоемкой продукции – высокопрочных армирующих волокон беленой северной целлюлозы, а также картона и бумаги из первичных волокон. Это – один из существенных факторов, позволивших перейти в мировой ЦБП к многократному использованию вторичного волокна – до 6–8 раз. Благодаря этому мировая ЦБП сегодня

лидирует среди всех отраслей в переходе к циркулярной экономике и к низкоуглеродной экономике.

Президент РФ В.В. Путин провел 10 февраля 2023 г. специальное совещание по вопросам развития лесопромышленного комплекса (ЛПК). В информации, опубликованной на сайте Кремля, подчеркивается большое внимание к проблемам использования биотоплива, прежде всего пеллет [20]. В развитие этих решений 28 апреля 2023 г. в Сенате РФ прошло специальное заседание Совета по лесному комплексу [21].

Лес как системообразующая среда обитания человечества

Авторы данной статьи рассматривают лес как системообразующую среду обитания человечества, животного и растительного мира как биоценоз, многопланово обеспечивающий, что отмечалось в 1990 г. на Совещании в Рио-де Жанейро, устойчивое развитие планеты Земля и ее обитателей. В связи с этим особое значение приобретают не древесные полезности леса, включая прежде всего функции сохранения генного многообразия планеты Земля в джунглях и бореальных лесах, а также рекреационные емкости и способности лесов. В то же время мы рассматриваем древесину прежде всего как заслуживающий фундаментальных исследований великолепный природный композит, состоящий из природных полимеров (целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз), с великолепными усталостными свойствами. Но одновременно мы рассматриваем древесину и как многокомпонентное воспроизводимое органическое сырье. Можно отметить, что такому толкованию роли лесов соответствует и произошедшее несколько лет назад изменение названия профильного Комитета ФАО ООН – со старого названия «Консультативный Комитет ФАО ООН по бумаге и древесным продуктам» на новое – «Консультативный Комитет ФАО ООН по устойчивости Лесного сектора».

Особого рассмотрения заслуживает роль леса в водном балансе планеты Земля, т.к. благодаря испарению воды с поверхности листьев и хвои обеспечивается в значительной степени баланс пресной воды на планете.

Называемый транспирацией процесс движения воды через растение и испарение воды через наружные органы растения, такие как листья, хвоя, стебли и цветки, обеспечивает испарение 99,0–99,5% воды, поступающей в деревья через корни. Только небольшая часть воды, необходимой для жизнедеятельности растения, используется непосредственно для нужд роста и метаболизма. Оставшиеся испаряются через транспирацию. Процесс транспирации в биологии растений известен давно, однако уже в XXI веке было показано наличие в природе большого числа так называемых ГЭРов – глубоких эвтектических растворителей, с температурами замерзания намного ниже 0 °C.

Так, нами было показано, что в древесине лиственницы ее основной вид гемицеллюлозы – арабиногалактан находится в виде аква-комплекса «АГ-вода», являющегося глубоким эвтектическим пластификатором древесины [6].

Важнейшим регулятором водотока и крупнейшим наземным хранилищем углерода в мире являются торфяники. Площадь водно-болотных угодий в мире составляет от 7 до 10 млн кв. км – они занимают более 6% поверхности суши; при этом они хранят в 2–3 раза больше углерода, чем все леса в мире, и в 500 раз больше, чем океаны, а скорость их исчезновения – в 3 раза выше, чем у лесов. Торфяники – ключевая составляющая водно-болотных угодий с точки зрения климатических проектов: они составляют 3% суши и содержат 30% почвенного углерода. Россия обладает самыми большими болотными ресурсами в мире – в России торфяниками покрыто около 20% всей площади суши, при этом осушены и заброшены около 8 млн га. Торфяники поддерживают и изменяют качество и количество воды, действуют как поглотители одних веществ (например, углерода, загрязнителей воздуха и воды), производят другие, например, растворенные и твердые органические вещества, и влияют на временную структуру подачи воды в реки и озера. Нетронутые торфяники – это уникальные природные ресурсы, образующие отдельные экосистемы, важные для поддержания биоразнообразия на генетическом, видовом и средовом уровнях. Торфяники улавливают углерод из атмосферы и накапливают большие количества торфа, они зависят от климата, особенно от количества осадков и температуры, необходимых для их образования и поддержания, осуществляют гидрологию и водное регулирование, обеспечивают биоразнообразие. Россия обладает колоссальным потенциалом в области реализации климатических проектов по вторичному обводнению торфяных болот.

Климатообразующая роль лесов мира чрезвычайно велика. Она связана прежде всего с балансом пресной и соленой воды на Земле, а также с поддержанием в атмосфере земли баланса между кислородом и углекислым газом [22–24]. Так, в статье «Полимерные загадки химической физики – почему атмосфера земли содержит 21% кислорода?», посвященной 125-летию академика Н.Н. Семенова, получившего Нобелевскую премию за теорию горения, академик А.А. Берлин пишет «Возможным ключом к ответу является процесс горения лесов. Леса увеличивают концентрацию кислорода, а пожары снижают. Существенным моментом в этом динамическом равновесии оказываются критические условия горения древесины. При исследовании и сравнении горючести различных материалов пользуются такой характеристикой, как кислородный индекс. Это минимальная концентрация кислорода в подаваемой смеси «азот–кислород», при которой поддерживается самостоятельное горение образца материала в определенных стандартных условиях. Удивительным образом для древесины такая величина (~21%) совпадает с составом атмосферы Земли».

Обычно существующие модели ограничивают лесной сектор лишь его ролью в отдельных аспектах жизни человека и человечества. Рассмотрение леса как системообразующей среды обитания человечества, как фактора поддержания заданного

соотношения кислорода и азота в атмосфере Земли, как регулятора соотношения пресной и соленой воды на планете Земля приводит к возникновению потребности создания новой интеграционно-исследовательской модели лесного сектора и взаимодействия человечества с лесами планеты Земля. Суть нашей модели заключается в том, что леса мира рассматриваются прежде всего как важнейший компонент планеты Земля (наряду с морями, океанами, реками и озерами, снежным покровом, океанскими льдами и ледниками и др.), а леса – как хранилища генного запаса планеты, поглотитель углекислого газа и генератор кислорода, регулятор состава атмосферы, генератор пресной воды, начало пищевых цепочек и сырьевое начало ряда современных технологий, базирующихся на воспроизводимых видах сырья и энергии. (Следует отметить, что лес поглощает углекислый газ и выделяет кислород лишь до определенного возраста. Так называемые «перестойные леса» не только поглощают кислород и выделяют углекислый газ, но и являются источником болезней лесов и их пожаров.)

В России начато производство топливных брикетов сверхвысокой плотности 1300–1320 кг/м^3, получаемых по инновационной технологии [7–10]. Благодаря своим специфическим свойствам они могут рассматриваться как «биотопливо третьего поколения». По инновационной технологии, в дополнение к 5 работающим в России производствам древесных, древесноугольных и торрефицированных брикетов, в Риге не только запущено аналогичное производство брикетов, но и организован выпуск самих линий малыми сериями – до 10–15 линий в год. Эта технология пригодна не только для переработки древесных отходов, вторичной древесины, сульфатного и гидролизного лигнина и др., но и для переработки отходов синтетических полимеров и текстиля. В данной технологии переплетаются механическая, тепловая и электрическая энергия. Для суммарной оценки энергоэффективности данной технологии, по нашему мнению, перспективен метод приращения эксергий [25–26].

Эксергетический метод термодинамического анализа учитывает как первый, так и второй закон термодинамики.

Рассмотрение леса как системообразующей среды обитания человечества заставляет по-новому подойти к вопросу об объемах допустимого изъятия древесины из лесного покрова планеты Земля, а вопрос об объемах производства биотоплива становится производной от структуры биорефайнинга древесины как направления комплексной переработки лесных ресурсов. Земля не может производить нефть, газ и уголь с той же скоростью, с которой они потребляются человечеством, что определяет их как не возобновляемые ресурсы, а потенциал использования биотоплива еще достаточно велик. ●

Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет2030».

Литература

1. *E. Hansen, R. Panwar, R. Vlosky. «The Global Forest Sector: Changes, Practices, and Prospects», Taylor & Francis Group, 2014, NY, 462 p.*
2. *FAO. 2022. Global forest sector outlook 2050: Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy – Background paper for The State of the World's Forests 2022. FAO Forestry Working Paper, No. 31. Rome. https://doi.org/10.4060/cc2265en.*
3. *Forest Products in the Global Bioeconomy. Enabling substitution by wood-based products and contributing to the Sustainable Development Goals. Prepared by: Verkerk, P.J., Hassegawa, M., Van Brusselen, J., Cramm, M., Chen, X., Imparato Maximo, Y., Koç, M., Lovrić, M., Tekle Tegegne, Y. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS on behalf of the Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries (ACSFI) Rome, 2021.*
4. *bp annual 2023.*
5. *Аким Э.Л., Пекарец А.А., Роговина, С.З., Берлин А.А. Релаксационное состояние древесины и получение целлюлозных композитов энергетического назначения – древесных брикетов и пеллет. ВСЕ МАТЕРИАЛЫ. Энциклопедический справочник. 2020, № 3, 2–8.*
6. *Akim E.L., Rogovina S.Z., Berlin A.A. Fatigue Strength of Wood and the Relaxation State of Its Polymer Components // Doklady Physical Chemistry. 2020. Vol. 491. Part 1. P. 33–35. ISSN 0012-5016. DOI: 10.1134/S0012501620030045.*
7. *А.А. Берлин. Об усталостной прочности природных материалов, Все материалы. Энциклопедический справочник, 2019, № 7, с. 2–3. DOI: 10.31044/1994-6260-2019-0-7-2-3.*
8. *Аким Э.Л., Пекарец А.А., Мандре Ю.Г. Изменение релаксационного состояния полимерных компонентов древесины при проведении ее высокотемпературного биорефайнинга // Химические волокна. – 2019. – №3. – С. 14–18.*
9. *Патенты РФ 2 596 683; 2 628 602; 2 653 513; 2 678 089; 2 785 534.*
10. *Pekaretz, A.A. Innovative technology for the production of charcoal briquettes in the Russian Federation. Forest product markets in the UNECE – coping with global change. Forêt 2019, Palais des Nations, Geneva.*
11. *Срочные меры по борьбе с изменением климата могут обеспечить пригодное для жизни будущее для всех. МГЭИК. Press Release Number: 20032023.*
12. *Аким М. О чем говорилось в последнем докладе об изменении климата. И что это значит для России. Ведомости, Устойчивое развитие. 18.04.2023.*
13. *Парфененкова М. МГЭИК представила заключительную часть последнего отчета о состоянии глобального потепления, Ведомости. 20 марта, 2023.*
14. *FAO. 2022. Global forest sector outlook 2050: Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy – Background paper for The State of the World's Forests 2022. FAO Forestry Working Paper, No. 31. Rome. https://doi.org/10.4060/cc2265en.*
15. *FOREST PRODUCTS IN THE GLOBAL BIOECONOMY. Enabling substitution by wood-based products and contributing to the Sustainable Development Goals. Prepared by: Verkerk, P.J., Hassegawa, M., Van Brusselen, J., Cramm, M., Chen, X., Imparato Maximo, Y., Koç, M., Lovrić, M., Tekle Tegegne, Y. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS on behalf of the Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries (ACSFI) Rome, 2021.*
16. *МГЭИК, 2022. IPCC 2022 report.*
17. *FPAMR 2021.*
18. *Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ с изменениями на 11 июня 2021 г. (редакция, действующая с 1 июля 2021 г.).*
19. *Проект Федерального закона № 1116605-7 «Об ограничении выбросов парниковых газов» (окончательная ред., принятая ГД ФС РФ 01.06.2021).*
20. *Сайт Kremlin.Ru 10.02.2023.*
21. *Сайт Senat.Ru. 27.04.2023. 27 апреля 2023 Заседание Экспертно-консультативного совета по лесному комплексу при Комитете Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию на тему: «Проблемы и перспективы использования биотоплива в коммунальной энергетике».*
22. *Берлин А.А., Полимерные загадки химической физики // Высокомол. соед., Серия С, 2021, том 63, № 1, с. 3–13. DOI: 10.31857/S2308114721010015.*
23. *Берлин Ал. Ал., Загадки химической физики // Горение и взрыв, 2020, Том 13, № 3, С. 3–18. DOI: 10.30826/CE20130301.*
24. *Берлин А.А. Научные загадки при решении прикладных задач, Химические волокна, 2019, № 3, С. 4-9.*
25. *Луканин П.В., Федорова О.В., Пекарец А.А., Аким Э.Л. Особенности сжигания биотоплива и их взаимосвязь с упруго-релаксационными свойствами исходного сырья и его химическим составом // Материалы VI Международной научно-технической конференции посвященной памяти профессора В.И. Комарова «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», 09–11 сентября 2021 года, Архангельск, Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 426 с. – С. 383–388.*
26. *Луканин П.В. Оценка энергетической эффективности производства сульфатной целлюлозы методом приращения эксергий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – № 2. – С. 3–11.*

KEYWORDS: *biofuels, pellets, climate change, wood, anthropogenic emissions.*

МЕЖДУНАРОДНЫЙ АРКТИЧЕСКИЙ САММИТ

«АРКТИКА: ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ И РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ»

АРКТИКА 2023 СПБ

31 МАЯ 2023
МОСКВА

1–2 ИЮНЯ 2023
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА
РУТ (МИИТ)

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С.О. МАКАРОВА

www.arctic-summit.ru
www.arcticas.ru

МГИМО · УНИВЕРСИТЕТ МИЭП

ИИФ РФ

РЕКЛАМА

ВОДА ИЗ ВОЗДУХА:

частичное решение проблемы дефицита воды с помощью газотурбинных электростанций на нефтегазовых месторождениях

ПРОДОЛЖАЮЩИЕСЯ ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИХ ПРЯМОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ДОПОЛНЕНИЕ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА К ПОСТНЕФТЯНОЙ ЭРЕ МОГУТ СПРОВОЦИРОВАТЬ СЛОЖНЫЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ПОЛИТИЧЕСКИЕ КРИЗИСЫ В ЗАВИСЯЩИХ ОТ ДОБЫЧИ НЕФТИ СТРАНАХ РЕГИОНА ПЕРСИДСКОГО ЗАЛИВА (РПЗ). ЧТОБЫ ОЦЕНИТЬ РОЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СТОРОНУ АРИДИЗАЦИИ И СВЯЗАННОЙ С НИМ ПОЛИТИКИ, НАПРАВЛЕННОЙ НА ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ УХУДШЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И СВЯЗАННЫХ С ЭТИМ ПРОЦЕССОМ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В РПЗ, МЫ ИСПОЛЬЗОВАЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДОСТУПНЫЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ НАБОРЫ ОПУБЛИКОВАННЫХ ДАННЫХ. СТРАНЫ РПЗ ПРОВОДЯТ НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕФОРМ ДЛЯ СМЯГЧЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА, ОДНАКО ЭТИ ПОПЫТКИ НИЧТОЖНЫ ПО СРАВНЕНИЮ С МОЩЬЮ ПРИРОДНЫХ КАТАКЛИЗМОВ. СИТУАЦИЯ ОСЛОЖНЯЕТСЯ ТЕМ, ЧТО СТРАНЫ РПЗ ЯВЛЯЮТСЯ ОСНОВНЫМИ ПОСТАВЩИКАМИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА МИРОВОЙ РЫНОК, НО ДОБЫЧА ИХ СОПРЯЖЕНА С ИСТОЩЕНИЕМ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ: ПО МЕРЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ КОЛИЧЕСТВО НЕФТИ УМЕНЬШАЕТСЯ. В РАБОТЕ ПОКАЗАНО, ЧТО ОТСРОЧИТЬ НЕИЗБЕЖНЫЙ РОСТ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В СТРАНАХ РПЗ МОЖЕТ ПОВСЕМЕСТНОЕ ВНЕДРЕНИЕ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ МИНИ-ГТЭС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕСНОЙ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

THE ONGOING GLOBAL CHANGES AND THEIR DIRECT IMPACT ON THE ENVIRONMENT, IN ADDITION TO PROVIDING AN ECONOMIC TRANSITION TO A POST-OIL ERA, MAY CAUSE COMPLEX SOCIAL AND ECONOMIC, ENVIRONMENTAL AND POLITICAL CRISES IN THE OIL-DEPENDENT COUNTRIES OF THE PERSIAN GULF REGION (PGR). TO EVALUATE THE ROLE OF CLIMATE CHANGE TOWARDS ARIDIZATION AND RELATED POLICIES AIMED AT PREVENTION OF THE ENVIRONMENTAL DEGRADATION AND THE ASSOCIATED SOCIAL AND ECONOMIC IMPACTS IN THE PGR, WE USED AVAILABLE GLOBAL PUBLISHED DATASETS FOR ANALYSIS. THE PGR COUNTRIES ARE UNDERTAKING SOME TYPES OF SOCIAL AND ECONOMIC REFORMS TO MITIGATE THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE, BUT THESE ATTEMPTS ARE INSIGNIFICANT COMPARED TO THE MAGNITUDE OF NATURAL DISASTERS. THE SITUATION IS COMPLICATED BY THE FACT THAT THE PGR COUNTRIES ARE THE MAIN SUPPLIERS OF HYDROCARBONS TO THE WORLD MARKET, BUT THEIR EXTRACTION IS ASSOCIATED WITH THE DEPLETION OF WATER RESOURCES: AS WATER CONSUMPTION INCREASES, THE AMOUNT OF OIL RELEASED DECREASES. THE WORK SHOWS THAT THE INEVITABLE INCREASE IN THE WATER SHORTAGE IN THE PGR COUNTRIES CAN BE DELAYED BY THE WIDESPREAD INTRODUCTION OF MINI GAS TURBINE POWER PLANTS IN OIL AND GAS FIELDS TO OBTAIN FRESH WATER FROM ATMOSPHERIC AIR

Ключевые слова: *страны региона Персидского залива, водные ресурсы, изменение климата, добыча углеводородов, мини газотурбинная электростанция.*

Мани Момени Ардешир
аспирант МГТУ им. Баумана

Митина Наталья Николаевна
ведущий научный сотрудник Института водных проблем РАН, профессор, заместитель заведующего кафедры управления природными ресурсами факультета государственного управления МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.н.

Дефицит пресной воды – явление, знакомое человечеству с древнейших времен. Не раз он становился причиной кризисов и социальных катастроф. В традиционном обществе дефицит воды случался в локальных масштабах, и обусловленные им кризисы тоже оставались локальными, но по мере развития человечества увеличивались масштабы и водного дефицита. Именно водный кризис, обусловленный последствиями грандиозных работ по гидромелиорации (а именно – вторичным засолением почвы), стал причиной упадка стран Междуречья Тигра и Евфрата. Аналогичные проявления неумелого водопользования привели к экономическому ослаблению Карфагена, последовавшему затем его поражению в войнах с Римом и фактическому исчезновению с карты Древнего Средиземноморья. В наши дни водный кризис снова приобретает глобальные масштабы [7].

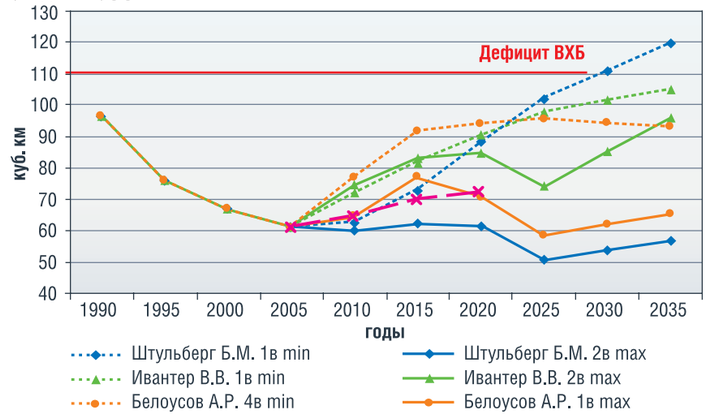
Вода обеспечивает три важнейшие для человечества функции:

1) производство продовольствия,
2) производство энергии и промышленной продукции,
3) бытовое водопотребление и удовлетворение санитарно-гигиенических потребностей.

Беспрецедентный рост мировой экономики в XX в., сопутствующее этому увеличение антропогенной нагрузки на экосистемы и природные водные объекты стали причиной возникновения дефицита воды во многих регионах мира. Конечно, с нехваткой воды человечество знакомо едва ли не с момента своего возникновения, но ее сегодняшние масштабы совершенно беспрецедентны.

По данным ООН [1], уже сейчас более 2,2 млрд людей живут в условиях постоянного дефицита пресной воды, около 2 млрд страдают от него регулярно (в сухой сезон и т. п.). По прогнозам ФАО, к середине третьего десятилетия XXI в. численность живущих при перманентной нехватке воды превысит 4 млрд человек. Количество стран с большим дефицитом воды к 2025 г. увеличится до 51, охватывая еще 21 страну: Буркина-Фасо, Китай, Камерун, Доминиканская Республика, Эфиопия, Гана, Индия, Иран, Луанда, Лесото, Мавритания, Нигерия, Пакистан, Перу, Судан, Сирия, Танзания, Того, Уганда, Зимбабве. Подобные прогнозы представляются весьма правдоподобными [1, 8, 17].
Еще в 1997 г. Дж. Родда [18] экстраполировал растущую кривую глобального водопотребления (при трех возможных сценариях) и падающую кривую экономически доступных водных ресурсов. Отметим, что при экстраполяции учитывались только сложившиеся тенденции, уже действующие факторы негативного антропогенного воздействия на водные источники (загрязнение, истощение вследствие недопустимо высокого водозабора, осушение верховых болот с неизбежным высыханием питаемых ими малых рек, сведение лесов на водосборе и т.д.). Ожидаемые, но еще практически непроявившиеся факторы (например, потепление климата) в прогнозах такого рода не могут быть учтены. Получилось, что кривые водопотребления и доступных ресурсов пересекаются в 2035–2045 гг. (в зависимости от сценария). Однако за прошедшие 10 лет выяснилось, что потребление растет «круче», чем в самом неблагоприятном сценарии, а объем доступных ресурсов сокращается быстрее, чем в период, взятый за базу при экстраполяции: при соответствующих корректировках пересечение приходится уже примерно на 2025–2030 гг. [7–9]. Из-за нехватки воды и перспектив изменения климата в странах с дефицитом водных ресурсов могут возникать региональные конфликты и, соответственно, может начаться масштабное переселение из региона миллионов людей, как было не раз в истории Ближнего Востока.

РИСУНОК 1. Динамика объемов водопользования в соответствии с ростом ВВП (МОДЕЛ РФ) [2]





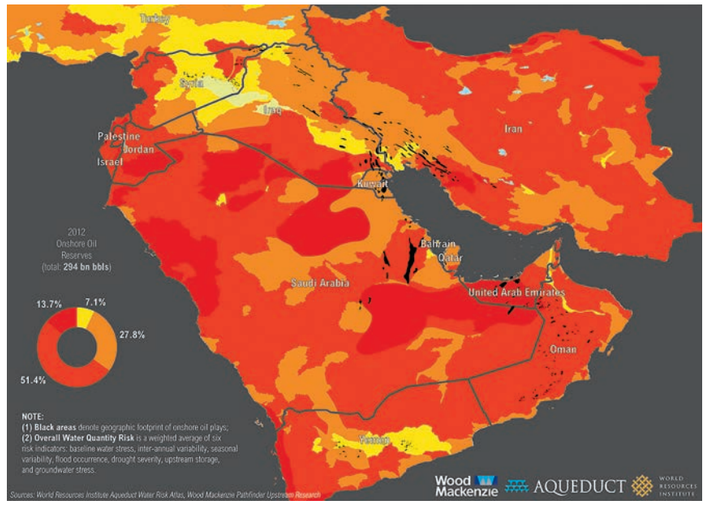
Экологическая ситуация в странах региона Персидского залива

Основной природно-ресурсной проблемой стран Персидского залива является постоянно растущий дефицит пресных вод, особенно в летние месяцы (рисунок 1).

Частые продолжительные засухи в сочетании с чрезмерным забором поверхностных и подземных вод через большую сеть гидротехнических сооружений и глубоких колодцев обострили ситуацию с водой в странах РПЗ до критического уровня. Об этом свидетельствуют высыхание озер, рек и водно-болотных угодий, снижение уровня грунтовых вод, проседание земель, ухудшение качества воды, эрозия почвы, опустынивание и участившиеся пыльные бури. Кроме того, в регионе участились экстремальные погодные явления, такие как удлиняющиеся год от года периоды сильной жары и засухи, что также отрицательно сказалось на качестве и количестве водных ресурсов. Такие отрасли, как сельское хозяйство, энергетика и водоснабжение, производство и туризм, страдают от нехватки воды.

Отсутствие достаточного количества пресной воды является серьезной проблемой, поскольку проникающая в пресноводные подземные воды соленая вода отрицательно сказывается на здоровье населения, ухудшает качество почв и снижает урожайность. Согласно публикации Всемирного банка [7, 19], более

РИСУНОК 2. Запасы нефти на суше и риск нехватки воды в регионе Персидского залива: 1) Черная область – обозначение географического охвата береговых нефтяных месторождений; 2) Риск общего количества воды представляет собой средневзвешенное значение шести индикаторов риска: исходный водный стресс, межгодовая изменчивость, сезонная изменчивость, нехватка пищи, интенсивность засухи, запасы воды вверх по течению и нагрузка на почву [5, 6]



70–90% воды, потребляемой в регионе, используется в сельском хозяйстве, и только малая ее часть приходится на промышленное и бытовое использование. Нехватка водных ресурсов приводит к неблагоприятным последствиям для местной промышленности, вплоть до закрытия водоемких производств, особенно в южных регионах. Рост энергопотребления в странах Персидского залива становятся все более серьезным из-за изменения климата и быстрой индустриализации, особенно в нефтегазовом секторе экономики, что способствует увеличению загрязнения природных вод. В странах региона жаркий и влажный климат. Используя три климатические модели, исследователи оценили изменения сухого и влажного тепла в регионе к 2071–2100 гг. [12].

На рисунке 2 показан термический режим на обширной территории стран Персидского залива за период 1948–2013 гг. Анализ низкочастотных колебаний приземной температуры воздуха в регионе выявил тенденцию длительного долгого перехода от зимы к лету: зимой в течение 1948–2013 гг. (66 лет) температурный режим мало изменчив, летом наблюдается достаточно интенсивный рост температуры воздуха, что усиливает засушливость климата региона в целом (рисунок 3). Рост биоклиматических индексов – «индекса жары» и эффективной

ТАБЛИЦА 1. Средние значения температуры воздуха, °С [5,6]

Регион	Среднегодовая	СКО	январь	СКО	июль	СКО
1	13,78	0,72	0,48	2,16	27,11	0,90
2	11,27	0,81	-1,93	2,87	24,27	0,92
3	14,34	0,77	3,75	2,25	26,47	1,08
4	22,10	0,77	9,60	1,64	33,33	1,06
5	19,94	0,73	7,07	2,00	32,05	1,05
6	15,97	0,68	3,00	2,15	28,60	1,32

РИСУНОК 3. Многолетний ход осредненной по всему региону стран Персидского залива приземной температуры воздуха: а) январь; б) июль [20]

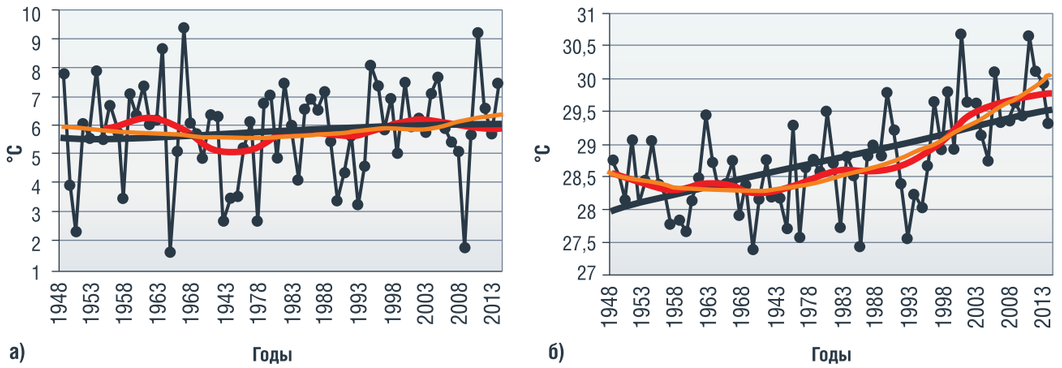
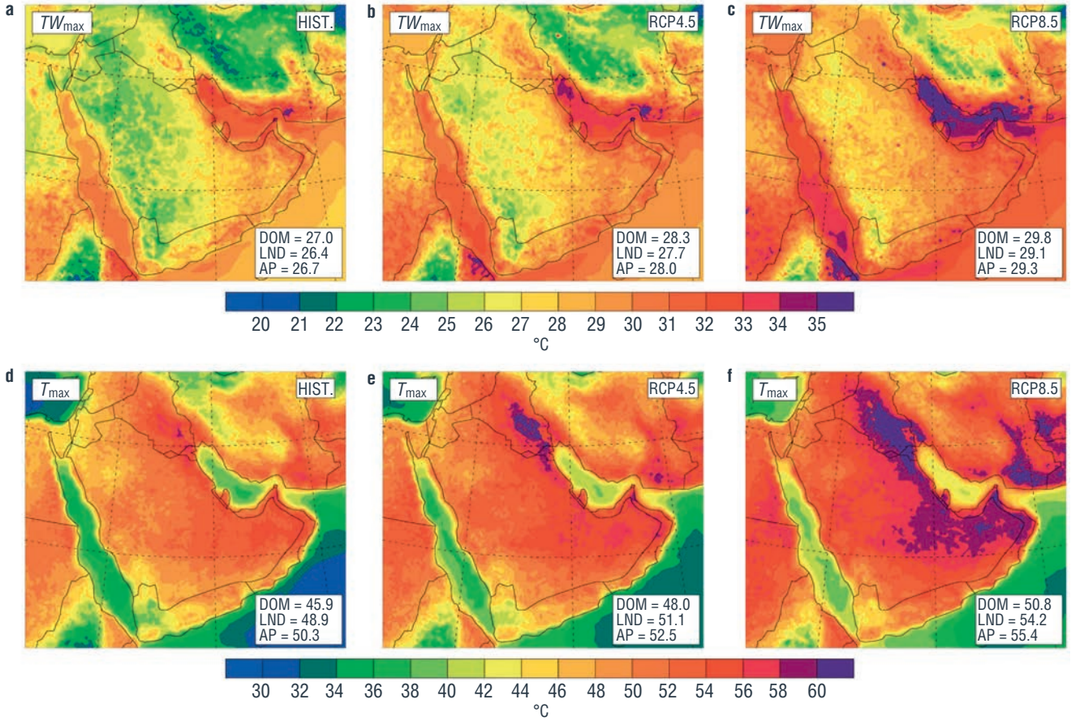


РИСУНОК 4. Карты наблюдаемых и прогнозируемых температур по влажному термометру (верхний ряд) и по сухому термометру (нижний ряд) для Персидского залива и соседних стран. Карты показывают результаты для недавнего климата с 1976 по 2005 годы (карты слева) и будущего климата в соответствии с RCP4.5 (в центре) и RCP8.5 (справа). Источник: Пал и Эльтахир (2015 г.) [14]



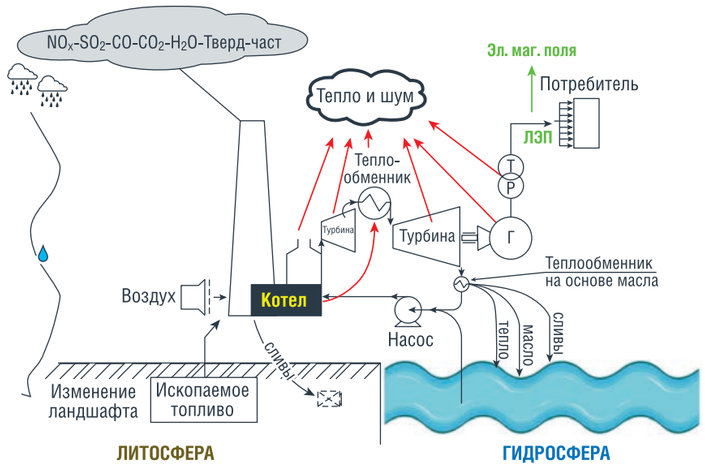
температуры в летний период свидетельствует о снижении уровня комфортности местного климата. Согласно результатам корреляционного анализа установлено, что на термический режим стран Персидского залива оказывает влияние Северная Атлантика и Арктика через механизм североатлантического и арктического колебаний [13]. Таким образом, влажное тепло в регионе к 207–2100 гг., стремительно будет расти, и нахождение на открытом воздухе может стать опасным для здоровья человека. При экстремальных погодных условиях вдоль побережья Персидского залива также могут ограничить расширение развития, поскольку для рабочих станут более опасными такие виды деятельности, как строительство, портовые операции и добыча нефти и газа.

Хотя климатические изменения и экономические санкции (в случае Ирана) называют основными причинами проблем с водой, страны РПЗ в основном страдают от «социально-экономической засухи», т.е. налицо «водное банкротство», когда спрос на воду превышает естественное водоснабжение. Теоретически эту проблему можно решить путем восстановления баланса между спросом и предложением воды за счет развития дополнительных источников водоснабжения и водоотведения. Для решения этих проблем региональные и местные органы власти внедряют ряд инициатив по сокращению потребления энергии и воды, стимулированию использования возобновляемых источников энергии и инвестированию в более совершенные методы управления водными ресурсами, которые, однако, не способны решить главную проблему нехватки воды и только приводят к отсрочке неминуемого коллапса.

Опреснительная промышленность является эффективным решением для стран Персидского залива, но используется некоторыми монархическими арабскими странами не так давно, а это не лучший способ для таких стран, как Ирак с критической энергетической ситуацией, так как процесс опреснения связан не только с большими затратами энергии, но и с огромными вложениями капитала [3]. Этот процесс также наносит вред окружающей среде, так как производит токсичный газ при выработке электроэнергии, которая расходуется на опреснение морской воды. С другой стороны, сточные воды, образующиеся в процессе опреснения морской воды, сильно загрязнены сверхтяжелыми и/или радиоактивными элементами, и они сбрасываются непосредственно в Персидский залив (рисунок 4). что приводит к экологической катастрофе в регионе, становится угрозой для водного и рыбного хозяйства региона (рисунок 5) [10, 11].

В отличие от многих стран, в РПЗ добывают воду и нефть из одного и того же ресурса. Нехватка воды и добыча нефти взаимосвязаны: когда количество нефти уменьшается, то же самое происходит и с водоснабжением. Другими словами, по мере увеличения потребления воды количество извлекаемой нефти уменьшается [22]. Это вызывает

РИСУНОК 5. Укрупненная схема взаимодействия ТЭС с окружающей средой [2]



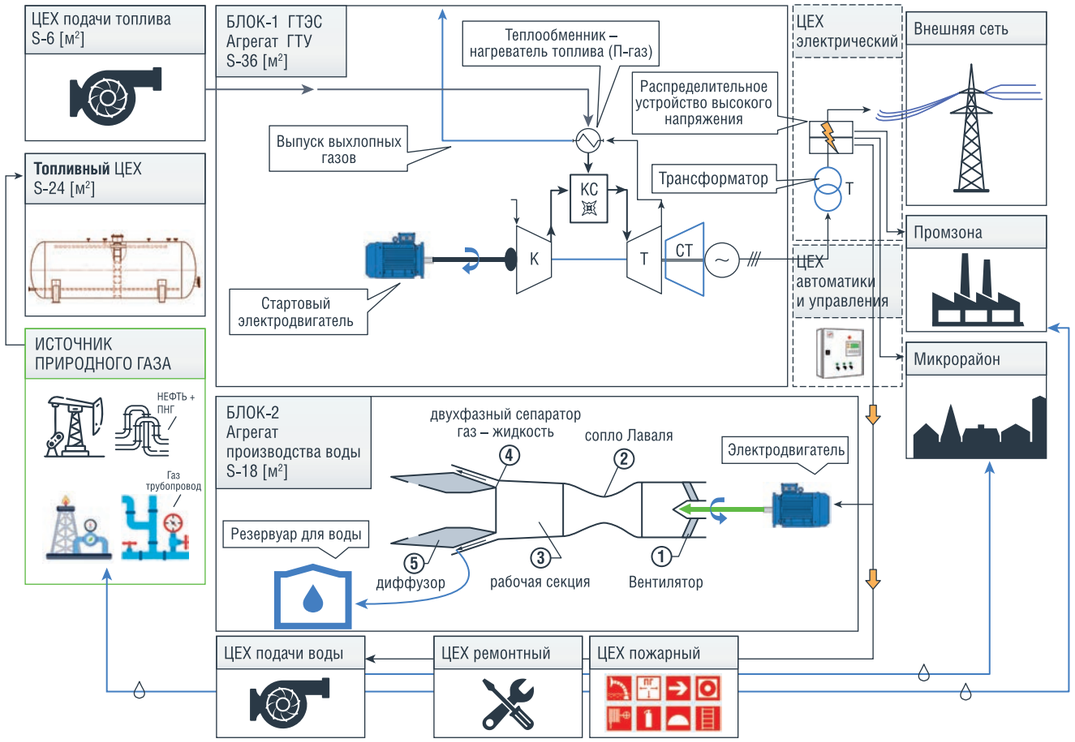
серьезную озабоченность в связи с растущими трудностями, с которыми сталкивается регион при добыче нефти. Опреснительные установки используют нефтяное топливо, таким образом, страны РПЗ, по сути, превращают нефть в электроэнергию и воду. Этот неэффективный способ снабжения региона водой может стать проблемой в ближайшие годы из-за сокращения запасов нефти и усиления глобальной конкуренции за доступ к водным ресурсам и окажет непосредственное влияние на устойчивость внутренней и внешней экономики стран РПЗ. Таким образом, распространенное в странах РПЗ опреснение воды за счет сжигания нефти является малоэффективным методом, потому что он в значительной степени способствует мировой конкуренции за нефть.

Чтобы решить данную проблему, помимо новых стандартов водопотребления, необходим новый подход к фундаментальным решениям проблемы нехватки воды, таким как другие способы производства пресных вод и инновации в управлении водными ресурсами.

Мини газотурбинные электростанции для использования на нефтегазовых месторождениях как частичное решение водной проблемы

В качестве альтернативной установки получения пресных вод авторы предлагают использование мини газотурбинной электростанции из атмосферного воздуха. Схема управления

РИСУНОК 6. Автономная мини-станция с производством воды как сопутствующего продукта [4]



электростанциями для получения пресной воды из атмосферного воздуха с цеховой структурой представлена на рисунке 6.
В соответствии с технологическим процессом производства электрической и тепловой энергии на газотурбинных электростанциях (ГТЭС) и общими требованиями управления, организационная структура ГТЭС состоит из производственных подразделений (цех ремонтный, цех подачи топлива, цех пожарный, цех электрический, цех управления и автоматики, цех производственно-технической службы) и функциональных отделов. и ГТУ находится в отделе БЛОК 1. Также ниже ГТУ находится в БЛОК 2 с агрегатом для производства воды из воздуха. Для данного блока тоже существует цех насоса воды и резервуар воды. Данный аппарат работает на основе 3S и функционального сопла Лаваля. В начале сопла существует вентилятор, который получает электроэнергию из блока-1. Соответственно, воздух (теплый и с высокой влажностью в районе Персидского залива) со скоростью входит в агрегат и через сопла Лаваля достигает большой скорости и охлаждается на основе теории термофизики и газодинамики. Надо отметить, что после второй части (сопла Лаваля) образуется двухфазовый поток с вихревым явлением из-за влияния вращения вентилятора. Третья часть состоит из сепаратора, который способен выделить тяжелый поток со смесью вода–воздух и в результате выпускать сухой воздух из диффузора. Как уже написано, двухфазовая смесь выходит в другой аппарат, и там образующиеся капли воды собираются и направляются в резервуар.

Эффективность потребления топлива данного агрегата очевидна при условии, что двигатель ГТЭС является авиадвигателем (в котором установлена камера сгорания (КС) с переходом на СПГ). В этом случае КПД выше и потребление топлива меньше по сравнению с дизель-поршневым генератором. Также отметим, что, в отличие от больших ТЭС (рисунок 4), себестоимость воды и количество выбросов вредных веществ значительно ниже [21]. Это помогает сохранить окружающую среду в РПЗ и обеспечить электроэнергией и водой одновременно нефтегазовые предприятия региона.

Заключение

Основная проблема проистекает из того факта, что политические разногласия между странами РПЗ мешают им управлять природной экосистемой Персидского залива как интегрированной климатической зоной. Следовательно, страны вынуждены ограничивать усилия в пределах своих границ, независимо от того, что происходит в других частях системы. Переход стран к альтернативным топливно-энергетическим источникам доходов требует социально-экономической готовности, в то время как существуют экологические препятствия, политическая напряженность и геополитическое соперничество. Если не будет выработан совместный подход к смягчению последствий изменения климата, сопровождающийся переориентацией экономики РПЗ, ситуация скорее ухудшится, чем улучшится. Для решения проблем, связанных с изменением климата, необходимо комплексное региональное сотрудничество.

Для успешного перехода от сырьевой экономики к экономике, основанной на знаниях законов экологии региона, требуются коллективные действия, такие как увеличение инвестиций в региональные исследования и разработки и участие новых игроков, таких как РФ и КНР, с их масштабными возможностями, капиталом и технологиями.

Отсрочить неизбежный рост дефицита водных ресурсов в странах РПЗ может повсеместное внедрение на нефтегазовых месторождениях мини-ГТЭС для получения пресной воды из атмосферного воздуха.

Литература

1. *Д.А. Шимко, О.Б. Бондарчик Проблема дефицита пресной воды в мире // Alfabuild. – 2017. – № 1 (1). – С. 7–15.*
2. *Щинников П.А. Природоохранные технологии на ТЭС и АЭС. Конспект лекций. – Калининградский государственный технический университет: 2014 URL: https://studfile.net/preview/1193524/.*
3. *Amin Shirvani, Seyed Mohammad Jafar Nazemosadat, Ercan Kahya Analyses of the Persian Gulf sea surface temperature: prediction and detection of climate change signals // Arabian Journal of Geosciences (Springer). – April 2014. – № 8 (4). – С. 2121–2130. URL: https://www.researchgate.net/publication/276101271_Analyses_of_the_Persian_Gulf_sea_surface_temperature_prediction_and_detection_of_climate_change_signals.*
4. *Mani Momeni, M.N. Zakharov. Новый подход к применению газотурбинного двигателя в маломощной электростанции на нефтегазовых платформах, Международный молодежный научный форум «Ломоносов-2022».*
5. *Всемирный институт ресурсов, атлас рисков воды в акведуках. Вуд Маккензи, первооткрыватель разведывательных исследований.*
6. *Aqueduct Water Risk Atlas // Water risk atlas url: https://www.wri.org/data/aqueduct-water-risk-atlas (дата обращения: 2023).*
7. *В.И. Данилов-Данильян // Глобальная проблема дефицита пресной воды // Век глобализации. – Москва: 2008 – № 1. – С. 45–56.*
8. *Rodda, G. On the problems of Assessing the World Water Resources // Geosci and Water Resource Environment Data Model. – Berlin: Heidelberg, 1997. – P. 14–32.*
9. *Water Desalination in the Persian Gulf Region: A Potential Cause of Global Political Havoc // medium URL: https://medium.com/@nckb/water-desalination-in-the-persian-gulf-region-a-potential-cause-of-global-political-havoc-4319736f3ab4 (дата обращения: 14.02.2023).*
10. *Satellite Monitoring of Oil Pollution in the Persian Gulf // scanex.ru URL: https://new.scanex.ru/en/company/news/satellite-monitoring-of-oil-pollution-in-the-persian-gulf/ (дата обращения: 14.02.2023).*
11. *A. Shirvani & S. M. J. Nazemosadat & E. Kahya Analyses of the Persian Gulf sea surface temperature;prediction and detection of climate change signals // Arabian Journal of Geosciences (Springer). – 2014. – № 8 (4).*
12. *Pal, S.J. and Eltahir, E.A.B. (2015) Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability, Nature Climate Change, doi:10.1038/nclimate2833.*
13. *Mani Momeni, Ardeschir Momeni, M.N. Zakharov Новое применение сопла Лаваля // Деловой журнал Neftegaz.RU. – September 2022. – № 8 (128). – С. 86–89. URL: https://www.researchgate.net/publication/366249848_Novoe_primnenie_sopla_lavala.*
14. *Глобальная экологическая перспектива 3. – М.: ИнтерДиалект, 2002; Вода для людей, вода для жизни. Доклад ООН о состоянии водных ресурсов мира. Обзор (Программа оценки водных ресурсов мира). – М., 2022 [URL] – https://www.un.org/en/global-issues/water.*
15. *The Silent Tsunami: Summer Course Examines Food Insecurity and Poverty // United Nation URL: https://www.un.org/en/academic-impact/silent-tsunami-summer-course-examines-food-insecurity-and-poverty (дата обращения: 13.03.2023).*
16. *В.И. Данилов-Данильян Глобальная проблема дефицита пресной воды // Проблема дефицита пресной воды. – С. 584–596.*
17. *Irrigation in the Middle East region in figures. – 34 изд. – Rome: Fa O Water Reports, 2008. – 423 с.*
18. *Сакова Наталья Владимировна Анализ экологичности газотурбинной теплоэлектростанции // ОНВ. 2010. № 3 (93). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ekologichnosti-gazoturbinnoy-teploelektrostantsii (дата обращения: 13.03.2023).*
19. *Antonia A. Sohns, Diego J. Rodriguez, Anna Delgado is a Thirsty energy (ii): The importance of Water for oil and Gas extraction // Live Wire. – 2016. – № 56. – С. 1–8.*

KEYWORDS: *countries of the Persian Gulf region, water resources, climate change, hydrocarbon production, mini gas turbine power plant.*

НЕФТЕГАЗ-2023

УДК 06.06

В ЭКСПОЦЕНТРЕ ПРОШЛА ГЛАВНАЯ ОТРАСЛЕВАЯ ВЫСТАВКА НЕФТЕГАЗ. ПОЧТИ ВОСЕМЬСОТ КОМПАНИЙ ИЗ ДВЕНАДЦАТИ СТРАН, ПРОДЕМОНСТРИРОВАЛИ НА СВОИХ СТЕНДАХ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

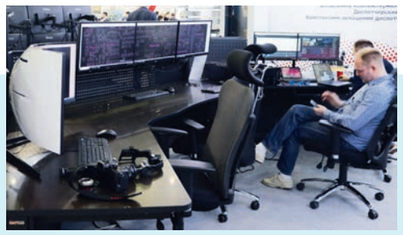




На площади, превышающей пятьдесят тысяч квадратных метров, свои стенды разместили ведущие предприятия нефтегазовой отрасли, среди которых ВСМПО «Ависма», «Газпром», Завод взрывозащищенного оборудования «ГОРЭЛТЕХ», Казахстанский завод нефтяного оборудования, «Камский кабель», ОКБ «Вектор», ОМК, НПП «Спецкабель», «Татнефть-Пресскомпозит», «Транснефть», ТМК, «Трэм Инжиниринг», Уральский трубный завод, «Уфагидромаш», «Уралмаш НГО Холдинг» и другие.











Традиционно на стендах экспонируются продукты, завоевавшие симпатию потребителей и пользующиеся наибольшим спросом, а также новинки, которые только-только поступили на рынок или представлены промышленному сообществу впервые.







Экспонаты павильонов никогда ранее не могли похвастаться такой масштабностью. Аэролодки и грузовые вездеходы собирали посетителей не только вокруг, но и внутри. Гости стенда не ограничивали свое любопытство одним лишь осмотром причудливых экспонатов, пользуясь возможностью, они изучали транспортные средства в прямом смысле слова изнутри.



Демонстрация работы оборудования привлекает внимание не только специалистов, но и посетителей, просто любующихся инженерным прогрессом. Роботы собирают вокруг себя оживленные компании, автоматикой своих действий наглядно показывая, что год за годом они становятся все более независимыми в производственной деятельности от участия своих создателей.





А вот роботы, привычно гулявшие по дорожкам между стендами на выставке в предыдущие годы, в этот раз посетителям не встречались. Им так и не довелось поговорить ни с мультяшным роботом Total, ни с пристающей с расспросами роботом Вероникой. Зато выставка стала местом встречи давних партнеров, коллег и друзей, которых успели запечатлеть наши вездесущие корреспонденты. Заодно они побеседовали с участниками выставки и собрали их мнения о мероприятии.

Максим Колесов,
директор департамента промышленных проектов Группы ПОЛИПЛАСТИК

Группа ПОЛИПЛАСТИК в очередной раз принимает участие в выставке Нефтегаз. Как и в прошлом году, мы представляем инновационные полимерные решения для нефтегазовой промышленности. В этом году мы презентуем новую разработку – трубу ФИБРОНПАЙП. Это гибкая полимерно-армированная труба высокого давления монолитной конструкции в ППУ-изоляции. Она предназначена для транспортирования нефти, газа и воды. Имеет многослойную конструкцию, особую прочность которой обеспечивает армирующий слой из навитой полимерно-композиционной ленты. Трубы выдерживают рабочее давление от 40 до 210 бар и могут эксплуатироваться при температуре до 80 °С. На российском рынке нет аналогичного производства.



Выставка Нефтегаз позволяет не только продемонстрировать новую продукцию, но и установить новые партнерские отношения, а также получить обратную связь от заказчиков. Уверен, наша компания максимально эффективно использует эти возможности на главном нефтегазовом форуме страны.



Григорий Коршунов,
Акситех

Сегодня на выставке мы экспонируем контроллеры КАМ-214 с расширяющими модулями. Контроллер позволяет гибко конфигурировать, он оснащен специальным конфигуратором, благодаря которому можно настроить всю логику обработки входящих сигналов. Также мы демонстрируем посетителям нашего стенда веб-решение Аксискада, которое позволяет сформировать практически любой кабинет для диспетчеризации, обработки входящих сигналов оборудования. Это свежее решение на рынке, аналогичного на рынке мы не встречали, оно уже реализовано в региональных газовых компаниях. Наша компания впервые принимает участие в этой выставке, но уже в первый день работы мы встретили немало наших партнеров.

Артем Горбунов,
продакт-менеджер дивизиона КТМ Куйбышевтелеком – метрология

В этом году на выставку мы привезли ультразвуковые счетчики газа, кориолисовые расходомеры. На нашем стенде представлена факельная установка, с размещенным на ней КТМ-100. Это ультразвуковой счетчик для учета факельных газов и усредняющая трубка Пито. В прошлом году мы уже экспонировали это оборудование, на тот момент было получено описание типа, сертификаты. Сейчас мы занимаемся улучшением и проводим некоторые доработки, но это незначительные технические нюансы. Оборудование уже работает на ряде предприятий: Роснефть, СИБУР, ЛУКОЙЛ, Газпром нефть. На выставке огромное количество людей, много иностранцев, в основном – китайцы и корейцы. Это очень наукоемкое оборудование, чтобы проводить



качественные измерения надо кропотливо относиться к сбору информации. Наше оборудование пользуется вниманием посетителей, и, что любопытно, даже китайцы интересуются его покупкой.



Сергей Подоляк,
Элметроинжиниринг

На выставке мы представляем ультразвуковые расходомеры, массовые расходомеры и контрольно-измерительные приборы. Наибольший интерес посетителей вызывают бесконтактные уровнемеры, они чрезвычайно востребованные в нефтегазовой отрасли. Прежде всего, их уникальность состоит в том, что это надежное решение для работы в условиях высоких температур и давления. Ультразвуковой расходомер применяется для подготовки газа. Массовый расходомер – это универсальное решение как для газа, так и для жидкости. Выставка всегда очень теплая, мы встречаем своих заказчиков, общаемся, после таких выставок всегда появляется много контактов.



Никита Мишеин,
КМЗ групп

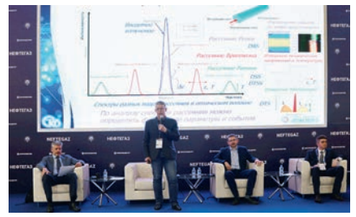
Мы экспонируем внутрискважинное оборудование, в частности теплоизоляционные лифтовые трубы. Из числа нового оборудования мы привезли на выставку металлокордовый пакер и циркуляционный клапан. Пока это оборудование нигде не эксплуатируется, оно находится в стадии проведения испытаний. Остальное наше оборудование находит широкое применение среди российских добывающих компаний. В частности, оно применяется на месторождениях в высоких широтах, например на Бавненковском месторождении. Представленные экспонаты вызывают интерес посетителей, выставка проходит активно, приятные люди, мы ожидаем новых контактов.



Мансур Янбердин,
заместитель генерального директора ООО «Уфа Гидромаш»

Наш завод презентовал на выставке оборудование собственного производства – гидравлические ключи серии ГКШ и спайдера серии СПГ. Это оборудование предназначено для быстрого, безопасного, высокоточного свинчивания и развинчивания разных типоразмеров труб. Для каждого вида работ применяются различные ключи. Посетителям нашего стенда мы демонстрируем работу ключей-роботов, это «живые» экспонаты. Из новинок мы привезли ключ ГКШ-7300Б «Батыр». Его универсальность – это реверсивный механизм. Суть в том, что в его конструкции применен новый тип ротора, позволяющий не переставлять челюсти. Также из новшеств – вертикально открывающаяся заслонка. Хотелось бы отметить, что все узлы на нашем оборудовании мы производим сами.

Участвуем в выставке не первый раз, могу сказать, что развитие есть, среди гостей очень много представителей Китайской Народной Республики. Любые новые участники это интересно, хотелось бы видеть больше участников из России. В целом, выставка отличная.



В рамках выставки прошла обширная деловая программа. В этом году она получила название одной из постоянных рубрик нашего журнала, хорошо знакомой читателям Neftegaz.RU – «Нефтегаз.LIVE». Мы всегда рады быть вдохновителями интеллектуальных проектов.



НОВЫЕ УЧАСТНИКИ И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

на выставке Нефтегаз-2023

УДК 06.06

ПО ТРАДИЦИИ В АПРЕЛЕ ПРОШЛА ВЫСТАВКА НЕФТЕГАЗ. ПОСЕТИТЕЛИ МОГЛИ ПОЗНАКОМИТЬСЯ С НОВИНКАМИ, ПРИВЕЗЕННЫМИ НА ВЫСТАВКУ КОМПАНИЯМИ ИЗ ДВЕНАДЦАТИ СТРАН. В ЭТОМ ГОДУ ЭКСПОЗИЦИИ ПОПОЛНИЛИСЬ СТЕНДАМИ АЗЕРБАЙДЖАНСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ. О ХОДЕ ВЫСТАВКИ И ЕЕ РОЛИ В ЖИЗНИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СТРАНЫ РАССКАЗАЛА РУКОВОДИТЕЛЬ ВЫСТАВКИ «НЕФТЕГАЗ» АЛЕНА АЗОВСКАЯ

ACCORDING TO THE ESTABLISHED TRADITION, THE NEFTEGAZ EXHIBITION WAS HELD IN APRIL. VISITORS COULD GET ACQUAINTED WITH THE NOVELTIES BROUGHT TO THE EXHIBITION BY COMPANIES FROM TWELVE COUNTRIES. THIS YEAR, THE EXPOSITIONS JOIN THE STANDS OF AZERBAIJANI ENTERPRISES. ALENA AZOVSKAYA, HEAD OF THE NAFTOGAZ PROJECT, SPOKE ABOUT THE EXHIBITION AND ITS ROLE IN THE LIFE OF THE COUNTRY'S FUEL AND ENERGY COMPLEX

Ключевые слова: *нефтегазовый комплекс, оборудование, выставка, технологии, бизнес.*



Алёна Азовская

руководитель выставки «Нефтегаз»

– В конце апреля завершила свою работу выставка «Нефтегаз-2023», расскажите о ее масштабе и составе, представители каких стран и какие крупные компании принимали участие в этом году?

– Это была масштабная выставка, в ней приняли участие 779 компаний, среди которых производители и поставщики из 12 стран мира: Азербайджана, Германии, Израиля, Индии, Ирана, Италии, Казахстана, Китая, Республики Беларусь, Республики Корея, России и Турции. Спонсорами и партнерами выставки «Нефтегаз-2023» стала 21 компания. Крупные компании нефтегазовой отрасли приняли участие в выставке: Газпром, Группа Фид, НКМЗ, ОМК, Прософт Системы, Таграс Холдинг, ТМК, Транснефть, Уралмаш НГО Холдинг, Уфагидромаш, Элемер, Энергомаш, Jereh, Sinopec и многие другие. 12 региональных экспозиций, среди которых постоянные участники, – региональные экспозиции Алтайского края и Краснодарского края, организованные Минэкономразвитием Алтайского края и Фондом развития промышленности Краснодарского края. Результаты впечатляют. Красивые, креативные стенды очень привлекали внимание.

– На протяжении многих лет выставка отражала запросы отрасли. Какие тематические направления были представлены в этом году наиболее активно и с чем, на Ваш взгляд, это связано?

– На выставке «Нефтегаз» наиболее ярко были представлены такие тематические разделы, как: насосы, компрессорная техника, пневматика, приводы, двигатели, используемые в нефтегазовом комплексе, запорно-регулирующая арматура, трубная продукция, нефтегазопереработка и нефтехимия, оборудование и технологии, средства метрологического обеспечения, автоматизация и КИП, энергетическое и электротехническое оборудование, кабельная продукция.

Каждый раздел был представлен широким кругом компаний и заслужил особое внимание заказчиков и производителей.

– Какую роль играет выставка для предприятий отрасли?

– Выставка «Нефтегаз» – это знаковое мероприятия для ТЭК. Выставка стимулирует производство и торговлю, рост экспорта, внедрение инноваций, развитие бизнеса. Выставка оказывает влияние на формирование и насыщение рынка новым оборудованием и услугами. А для нашей страны в условиях антироссийских санкций выставка приобретает еще большее значение для поддержания высокого уровня деловой активности и поиска новых логистических цепочек.

– Какое главное преимущество получают компании, участвуя в выставке?

– Выставка «Нефтегаз» позволяет продемонстрировать компаниям свои новейшие разработки, возможность найти заказчика для проекта, изучить спрос, установить контакт с российскими и зарубежными партнерами, закрепить свое место на рынке. Участвуя в выставке, компания одновременно решает коммерческие, производственные, инвестиционные и маркетинговые задачи. Каждая выставка «Нефтегаз» оставляет хороший след не только в решении технологических и производственных задач, но и в сердцах людей благодаря деловой и позитивной атмосфере.

– Насколько выгодно сегодня инвестировать в выставочную деятельность, если говорить о нефтегазовой сфере?

– Об этом говорят цифры: в 2022 году участвовала 351 компания, в этом – 779. Многие компании увеличили площадь стенда, многие решили впервые представить свою компанию на выставке, а есть и ряд компаний и даже стран, которые долгое время не участвовали. В 2023 году решились, например Азербайджан.

– «Нефтегаз» – выставка с богатой историей, в последние годы она расширила свой формат и проводится одновременно с ННФ, появилась и с каждым годом укрупняется деловая программа самой выставки, с чем связана необходимость такого совмещения?

– Объединение двух мероприятий позволяет собрать на одной площадке ведущих специалистов нефтегазового комплекса и смежных отраслей, в едином формате обсудить как теоретические подходы к решению основных проблем НГК, так и практические направления развития отечественного топливно-энергетического комплекса. Наконец, это дает возможность выстроить эффективный диалог между разработчиками технологий и производителями оборудования, с одной стороны, и потенциальными заказчиками из числа компаний отрасли, с другой.

– Что Вы можете сегодня рассказать о планах в проведении выставки Нефтегаз-2024?

– Планируем расти, как по площади, так и по количеству участников, часть компаний уже оставили заявки на 2024 год. В самое ближайшее время мы начнем комплектовать выставку следующего года. Приглашаем всех к участию в выставке «Нефтегаз», которая традиционно пройдет 15–18 апреля 2024 года. ●

Keywords: *oil and gas complex, equipment, exhibition, technologies, business.*



Ученые из Перми предложили новую методику прогнозирования нефтеотдачи

УЧЕНЫЕ ПЕРМСКОГО ПОЛИТЕХА ИЗУЧИЛИ ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТАХ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И РАЗРАБОТАЛИ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ. В ходе исследования ученые установили, что использование низкочастотных волн приводит к росту отдачи за счет изменения проницаемости пласта, тогда как высокочастотное воздействие в первую очередь влияет на снижение вязкости нефти. Наибольшее изменение параметров наблюдается при низкочастотном воздействии до 20 Гц и высокочастотном – 20 Гц. Увеличение частоты приводит к снижению технологической эффективности. При увеличении частоты с 10 Гц до 25 000 Гц выработка снижается в восемь раз. Продолжительность эксплуатации скважин с повышенными дебитами также уменьшается. Поэтому в Пермском крае рекомендуется использовать технологии волнового воздействия с частотами до 100 Гц.

Катализаторы максимальной эффективности от химиков СПбГУ

УЧЕНЫЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ВЫЯСНИЛИ, ЧТО ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬЮ, ВАЖНЕЙШИМ ФАКТОРОМ ЯВЛЯЕТСЯ СРЕДА, В КОТОРОЙ ОНИ РАБОТАЮТ. Многие используемые в химии растворители заметно снижают активность органокатализаторов, поэтому выбор правильного растворителя играет ключевую роль. Органокатализаторы можно назвать современной экологичной альтернативой обычным металлсодержащим катализаторам. Однако они уступают в активности традиционным и не могут эффективно ускорять химическую реакцию. В своей работе ученые показали, что растворитель зачастую играет ключевую роль в процессе связывания катализатора с нужным субстратом реакции. Одним из таких растворителей оказался диметилсульфоксид – безопасный, недорогой и распространенный в промышленности растворитель. Выяснилось, что он может полностью подавлять активность некоторых катализаторов. При этом в менее распространенном ацетонитриле катализаторы проявляли заметную каталитическую активность при использовании в той же самой реакции.

Программа ученых ЮУрГУ смоделирует аварию на буровой

УЧЕНЫЕ ЮУРГУ РАЗРАБОТАЛИ ПРОГРАММЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ БУРОВЫХ УСТАНОВОК. Цифровое моделирование поможет оценить плюсы и минусы модернизации буровых установок, способствует поиску решения для безопасного и менее дорогостоящего аварийного отключения электропривода системы верхнего привода установки. В 2019 году ученые ЮУрГУ предложили заменить два электрических двигателя с разными характеристиками на один, имеющий планетарный редуктор с переменным передаточным числом. Программа позволяет понять, какие нагрузки испытывает электропривод и выдержит ли их новое строение конструкции. При математическом моделировании важно рассчитать и проанализировать переходные процессы электропривода. Другая программа, зарегистрированная учеными ЮУрГУ, моделирует аварийное отключение верхнего привода буровой установки на базе работы двух электрических двигателей. В программе моделируются различные варианты системы управления и рабочие характеристики буровой установки. Моделирование помогает понять, как нужно действовать в критической ситуации, чтобы уменьшить финансовые потери предприятия и обеспечить безаварийность работы.



Получение углекислого газа из биогаза

УЧЕНЫЕ ИНСТИТУТА КАТАЛИЗА СО РАН ПРИСТУПИЛИ К РАЗРАБОТКЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ БИОГАЗА. Биогаз является побочным продуктом, образующимся в результате брожения биомассы. Его основной компонент – метан – используют в качестве топлива. Чистый углекислый газ необходим для химической и деревообрабатывающей промышленности, металлургии, сельского хозяйства и медицины. Для выделения двуокиси углерода используют обратимые сорбенты, которые работают в циклическом режиме: сначала впитывают углекислый газ из биогаза, а затем отдают его при нагреве. Задача ученых – снизить температуры этого процесса, чтобы получение углекислого газа было рентабельным. Ученые намерены сделать материал, который будет эффективен на стадии выделения углекислого газа при 100 °С. Помимо энергоэффективности, сорбенты должны быть емкими и стабильными, чтобы выдерживать несколько циклов. В качестве активного компонента для систем ученые выбрали разветвленный полиэтиленимин. Носители для сорбентов на основе оксидов алюминия будут создавать с помощью темплатного синтеза с использованием частиц, при выжигании которых в материале образуются поры. На следующем этапе ученые синтезируют материалы на основе диоксида кремния и сравнят перспективность и эффективность полученных композитов.

Первая методика оценки срока службы полимерного трубопровода

УЧЕНЫЕ ИЗ ПНИПУ И МГТУ ИМ. Н. БАУМАНА РАЗРАБОТАЛИ МЕТОДИКУ, ПОЗВОЛЯЮЩУЮ ИЗМЕРЯТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ И УЧИТЫВАЮЩУЮ РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ НАПРЯЖЕНИЯ, КОТОРОЕ ВОЗНИКАЕТ В ТРУБОПРОВОДАХ. Нагрузки создают динамическое напряжение в теле трубы, которое ведет к появлению микротрещин и разрушению трубопровода. Для определения срока службы трубы ученые с помощью спроектированной ими установки провели эксперимент по нагружению труб из стеклопластика диаметром 75 и 130 мм. Измерение проводилось виброакустическим методом. Для этого образец помещается в экспериментальную установку, где под воздействием создаваемой нагрузки в образце возникает виброакустическое поле. Его сигналы регистрируются датчиками и обрабатываются специализированным ПО. Расшифрованная информация о вибрациях в трубах позволяет оценить наличие в них дефектов и повреждений. Предложенный метод уже проходит полевые испытания на трубопроводах ЛУКОЙЛ-Пермь.

Водород из отходов химического производства

ХИМИКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА РАЗРАБОТАЛИ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АЦЕТИЛЕНА ИЗ КАРБИДА КАЛЬЦИЯ. В результате гидролиза карбида кальция – реакции получения ацетилена – в качестве второго продукта образуется так называемый остаток, по существу являющийся отходом. В химической промышленности ежегодно образуется около 23 млн тонн такого остатка. Ученые разработали способ, позволяющий превратить эти отходы в водород. Они обнаружили, что нагревание карбидного шлама с определенными металлами приводит к выделению водорода. Варьируя металлы и условия реакции, удалось достигнуть увеличения его количественного выхода. Таким образом, остаток от гидролиза карбида может быть полностью разложен до водорода и оксида металла. Это может быть использовано для переработки отхода химического производства. Ученые проверили условия реакции таких металлов, как цинк, железо, алюминий, магний и кальций. Наилучшие результаты были достигнуты при использовании цинка и кальция. Так, при использовании кальция вторым продуктом реакции оказался реагент, используемый для синтеза карбида кальция. Таким образом ученым удалось замкнуть цикл и вернуть оба остатка в химическую промышленность уже не в виде отходов, а в качестве ценных реагентов.

Посетители выставки Нефтегаз-2023

Участники выставки Нефтегаз-2023

Стенд компании Петролай-А на выставке Нефтегаз-2023

Стенд компании Прософт Системы на выставке Нефтегаз-2023

Н. Лопатин

Стенд компании Тяжпрессмаш на выставке Нефтегаз-2023

Посетители выставки Нефтегаз-2023 у стенда компании CMD

Участники деловой программы выставки Нефтегаз-2023

Участники деловой программы выставки Нефтегаз-2023

Участники выставки Нефтегаз-2023

Стенд компании Finder на выставке Нефтегаз-2023

Стенд компании Heklya на выставке Нефтегаз-2023

Участники деловой программы выставки Нефтегаз-2023

Стенд компании Атомик софт на выставке Нефтегаз-2023

Стенд компании Камкабель на выставке Нефтегаз-2023

Стенд компании Инвард на выставке Нефтегаз-2023

Стенд компании ТЭМПО на выставке Нефтегаз-2023

Стенд компании Akkutronics на выставке Нефтегаз-2023

Стенд компании Электронстандарт прибор на выставке Нефтегаз-2023

Посетители выставки Нефтегаз-2023

Участники выставки Нефтегаз-2023

Участники выставки Нефтегаз-2023

ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ИБП VGD II-M: VGD-II-80M33 – VGD-II-600M33

- ***Оборудование и инструмент в НГК***
- *Общее и сопутствующее оборудование для нефтегазового комплекса*
- *Прочее*



СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ	СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ	ОСОБЕННОСТИ
ИБП VGD II-M подойдут для коммерческих ЦОД, централизованного питания ЛВС предприятия, а также для защиты другого вычислительного и телекоммуникационного оборудования, требующего высокого качества трехфазного электроснабжения. Отлично справятся с защитой банковских компьютерных систем, медицинского и фармакологического оборудования, а также с обеспечением электроснабжения в торговых центрах	• Защита от перегрузки и короткого замыкания – входной тепловой автомат и автоматическое выключение для защиты электронных схем • Повышенное / пониженное напряжение электросети – стабилизация с двойным преобразованием • Пропадание напряжения электросети – работа от внутренних аккумуляторных батарей • Искажение формы синусоидального входного напряжения – нагрузка всегда питается от работающего инвертора • Отклонение частоты – стабилизация с двойным преобразованием • Переходные процессы в электросети	• Единичный коэффициент мощности (кВА = кВт) • Надежный инвертор на IGBT-транзисторах или их сборках (six-pack), использующий трехуровневую топологию построения • Модульная архитектура ИБП • Высокий КПД – до 96 % • Полное управление ИБП с использованием DSP-процессора • Широкий диапазон выходных напряжений от 304 до 478 В без перехода на питание от внутренних батарей • Вертикальное и горизонтальное расширение с шагом от 25 кВА • HOT SWAP для всех узлов ИБП • Резервирование по схеме N+1 на уровне модулей • Интуитивно понятный русскоязычный пользовательский интерфейс • Цветной сенсорный ЖК-дисплей • Простота установки и обслуживания

ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ИБП INF-1100 / INF-1500

- ***Оборудование и инструмент в НГК***
- *Общее и сопутствующее оборудование для нефтегазового комплекса*
- *Прочее*



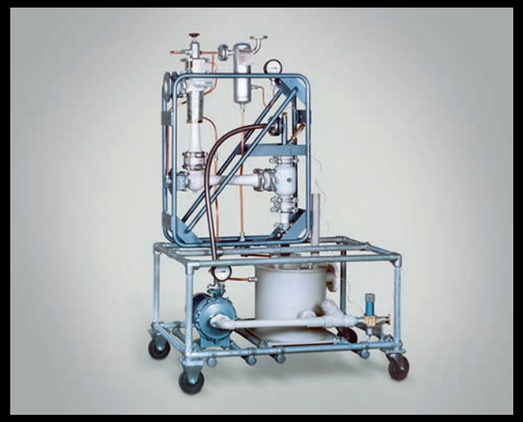
СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ	ОСОБЕННОСТИ
Модели INF-1100 / INF-1500 предназначены для защиты различного оборудования, требующего напряжения питания синусоидальной формы и длительного времени автономии. Это может быть, как вычислительное, серверное, коммуникационное оборудование, так и электрооборудование частного дома или коттеджа (котлы отопления, насосы, освещение и т.п.)	• Линейно-интерактивная технология с выходным напряжением в виде чистой синусоиды • Микропроцессорное управление • LCD панель с богатым набором индикаторов работы • Синусоидальная форма выходного сигнала во всех режимах работы • Автоматический регулятор напряжения AVR (Auto Voltage Regulation) • Обеспечение большого времени автономии за счет подключения внешних 12В батарей • Улучшенное управление батареями для продления их срока службы • Защита от короткого замыкания и перегрузки на выходе • Автоматическая зарядка аккумуляторов в выключенном состоянии • Коммуникационный порт USB

Старшие модели INFINITY выполнены в мощностях 1100ВА и 1500ВА и работают с напряжением шины 24 В, что означает необходимость подключения минимум двух последовательно соединенных внешних батарей номинальным напряжением 12 В каждая или комплекта из нескольких параллельных линеек, включающих по две последовательно соединенные батареи в каждой. Рекомендуемая емкость подключаемых батарей 100-200Ач. Максимальный ток заряда старших INF тоже выше и составляет 15А, что способствует быстрой зарядке достаточно больших аккумуляторных батарей.

Данные ИБП предназначены для использования только с внешними аккумуляторными батареями. Без внешних аккумуляторных батарей ИБП не будет работать корректно. Использование его в качестве стабилизатора напряжения недопустимо. ●

ЛАБОРАТОРНЫЕ ПАРОСТРУЙНЫЕ ВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ ТИПА LDP1

- ***Оборудование и инструмент в НГК***
- ***Общее и сопутствующее оборудование для нефтегазового комплекса***
- ***Прочее***



Лабораторные пароструйные вакуумные насосы типа ldp1 основаны на проверенной технологии струйного насоса и часто используются в качестве генераторов вакуума в химических лабораториях, для опытных установок и на небольших производственных предприятиях.

Области применения

Лабораторные пароструйные вакуумные насосы используются в качестве генераторов вакуума в химических лабораториях, для опытных установок и на небольших производственных предприятиях. Они в основном требуются для создания вакуума на короткие периоды работы, например, для прерывающихся технологических процессов.

Лабораторные пароструйные вакуумные насосы являются передвижными. Крупные комплектные установки оснащаются колесиками, если только они не предназначены для стационарного использования. Они могут быть быстро подключены посредством коротких линий всасывания к любому потребителю вакуума. Это важная особенность, потому что исключается необходимость использования разветвленных линий всасывания, в том числе запорных клапанов и т.д. Снижена вероятность входа воздуха утечки и, следовательно, время понижения сокращено. Это особенно важно для более высоких рабочих уровней вакуума.

Режим работы

Лабораторные пароструйные вакуумные насосы состоят из двух пароструйных ступеней, соединенных последовательно и поддерживаемых жидкостным вакуумным насосом. В отличие от многоступенчатых паровых струйных вакуумных насосов они не используют никаких дренажных насосов или барометрических труб.

Специфические требования к пару и охлаждающей воде выше по сравнению с многоступенчатыми пароструйными вакуумными насосами, которые предназначены для непрерывной работы в течение более длительных периодов эксплуатации.

Расход воды лабораторных пароструйных вакуумных насосов относительно высок, поскольку струйный вакуумный насос предназначен не только для конденсации, но и для сжатия воздуха и газов до уровня атмосферного давления. Потребность в пресной воде может быть снижена за счет рециркуляции воды.

Когда потребление охлаждающей воды является важным фактором, лабораторные пароструйные вакуумные насосы оснащаются полной системой рециркуляции воды. Она состоит из следующих частей: водяной резервуар, насос с двигателем, регулятор температуры воды, клапан подачи охлаждающей воды, термометр и соединительный трубопровод между насосом и струйным конденсатором. Все части системы рециркуляции защищены от коррозии.

Клапан автоматической подачи охлаждающей воды обеспечивает поддержание температуры воды в допустимых пределах. ●

ПЛАСТИНЧАТЫЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС

- ***Оборудование и инструмент в НГК***
- ***Нефтепромысловое оборудование***
- ***Прочее***



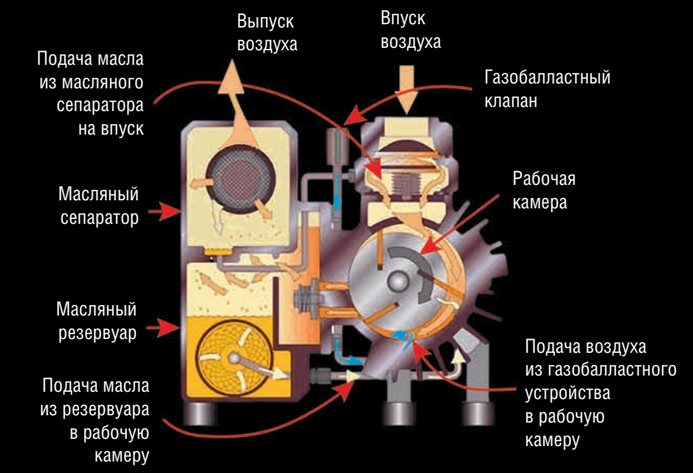
Пластинчатый вакуумный насос относится к насосам роторного типа, который сжимает откачиваемую воздушную смесь посредством изменения объема рабочей камеры.

Конструкция пластинчатого насосного оборудования зависит от типа вакуумного насоса, который бывает масляным и безмасляным. Масляный пластинчато-роторный насос дополнительно снабжен системой для смазки и узлами для очистки воздуха.

Устройство

- Литой корпус с крышкой.
- Электрический привод с редуктором.
- Вал с насаженным на него ротором.
- Система смазки (для масляных насосов).
- Система очистки воздуха (для масляных насосов).
- Газобалластное устройство.

Корпус насоса имеет форму цилиндра, внутри которого происходит процесс сжатия. На корпусе и крышке находятся впускное и выпускное отверстия, снабженные специальными клапанами.



Ротор неподвижно закреплен на валу, смещенного относительно центра корпуса.

Вал соединен с двигателем, который приводит в действие весь механизм. На роторе имеются пазы с пружинами и пластинами. Пластины размещены под определенным углом, сжимая пружины в пазах. При увеличении расстояния между ротором и корпусом, пружина выталкивает лопасть, чтобы сохранялась герметичность рабочей полости.

Лопасти ротора изготавливаются из стали или из графита, все зависит от типа насоса: графитовые пластины применяются в сухих насосах, а металлические – в масляных.

Масло в рабочую камеру масляных насосов подается через систему смазки. Для очистки воздуха предусмотрен специальный масляный сепаратор – резервуар, в котором оседают масляные пары. Дальше отфильтрованное масло снова попадает в систему смазки и используется повторно. Это позволяет экономно расходовать смазочный материал.

Насос снабжен приборами измерения и контроля давления, фильтрами для очистки входящего воздуха и уплотнителями. ●

ОСУШИТЕЛЬ ГАЗА. БЛОК ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

1. Оборудование и инструмент в НГК

1.1. Оборудование для добычи нефти и газа

1.1.3. Оборудование для сбора и подготовки нефти и газа



Блоки осушки для очистки и осушки природного газа

Блоки осушки природного газа (БОПГ) предназначены для очистки и осушки природного газа, подаваемого в газоиспользующее оборудование, в том числе и в компрессорные установки автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС).

БОПГ (блок осушки природного газа) предварительно очищает газ от механических примесей и капельной влаги, затем осушает его с помощью адсорбента, находящегося в адсорберах.

Конструкция

Схема блока осушки состоит из двух адсорберов. Первый адсорбер поглощает влагу из природного газа в поверхность адсорбента, в то время как другой находится в процессе регенерации (десорбции), адсорбция и десорбция проходят поочередно. В результате, данное оборудование может непрерывно выпускать чистый и сухой природный газ.

Регенерация адсорбента осуществляется в закрытом контуре, тем самым снижается потребление газа на регенерацию до минимального уровня. Переключение режима осуществляется системой автоматического управления (САУ) по мере насыщения адсорбента влагой.

Эта система обеспечивает работу блока в автоматическом либо в полуавтоматическом режиме, предусмотрена возможность ее подключения к САУ АГНКС или к САУ высшего уровня.

Блоки осушки природного газа рассчитаны на работу с газом, имеющим 100% влажность при температуре газа +10°С.

Параметры товарного газа после блока в соответствии с ГОСТ27577-2000.

БОПГ рассчитаны на пропускную способность до 2300 нм^3/ч при рабочем давлении до 1,2 МПа (12 кгс/см^2), выполнены в блочном исполнении, что позволяет осуществить их быстрый монтаж на месте.

По требованию заказчика может быть поставлено оборудование, рассчитанное на другую производительность. ●

УСТАНОВКА КОМПЛЕКСНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

1. Оборудование и инструмент в НГК

1.1. Оборудование для добычи нефти и газа

1.1.3.10. Комплексы и установки для подготовки нефти и газа



Установка комплексной подготовки попутного нефтяного газа

производительностью по входящему газу 150 млн нм^3/год.

Вырабатываемая продукция – СОГ (сухой отбензиненный газ) по СТ РК 1666-2007, полностью соответствующий СТО Газпром 089-2010 и ШФЛУ (широкая фракция легких углеводородов).

Состав оборудования

1. Компрессорная станция

Компрессорная станция, состоящая из 3-х современных поршневых компрессоров, предназначена для компримирования попутного нефтяного газа до давления 60 бар изб. Компрессоры установлены в просторном здании из сендвич-панелей, что делает процесс эксплуатации, очередного сервисного обслуживания и ремонта легким и доступным.

2. Блок низкотемпературной сепарации

Для осуществления процесса отбензинивания попутного нефтяного газа применена технологическая схема низкотемпературной сепарации с внутренним холодильным циклом на основе хладагента фреон 134А. Холодильный цикл основан на базе 2-х фреоновых компрессоров. Компрессоры установлены в отдельном домике, что делает процесс эксплуатации, очередного сервисного обслуживания и ремонта легким и доступным.

3. Блок осушки газа и регенерации гликоля с циркуляцией 0,9 м^3/час

Предотвращение гидратообразования при охлаждении газа обеспечивается впрыском раствора диэтиленгликоля на трубные решетки теплообменников установок НТС. В дальнейшем насыщенный гликоль отправляется в отпарную печь, откуда опять поступает в основную технологию. Такое техническое решение позволяет дешево и эффективно убирать влагу из потока газа и предотвращать гидратообразование. Потери гликоля при таком методе минимальны.

4. Блок фракционирования с получением ШФЛУ до 50 000 тонн/год и СОГ до 120 млн. нм^3/год.

5. Блок производства воздуха КИПиА и азота с производительностью по азоту 30м^3/час, по воздуху – 200 м^3/час.

6. Блок низкотемпературной сепарации мощностью 1200 кВт. на базе 2 компрессоров GEA 400GLE мощностью 261 кВт.

7. Блок хранения и отгрузки ШФЛУ объемом 1600 м^3

Блок хранения и отгрузки ШФЛУ предназначен для хранения ШФЛУ, поступающей из колонны-стабилизатора, с дальнейшей ее отгрузкой в АЦН. Резервуарный парк, состоящий из семи рабочих и одного резервного резервуара по 200 м^3 каждый. Отгрузка ШФЛУ в автоцистерны осуществляется насосами через стояки налива.

8. Блок факельной системы с пропускной способностью 21000 нм^3/час

Блок факельной системы предназначен для аварийного сжигания попутного нефтяного газа. Факел высокого давления оснащен двумя дежурными горелками, работающими на топливном газе НД. Конструкция факелов обеспечивает дистанционный розжиг и контроль пламени. В качестве резервного топлива для дежурных горелок предусмотрены баллоны с пропаном. Контроль процесса горения каждой горелки осуществляется датчиком температуры. Для розжига каждой горелки установлен электронный блок.

9. Комплектная система управления РСУ и ПАЗ. ●

ЦИТАТЫ



Р. Карчаа

Запасов американского ядерного топлива на Запорожской АЭС хватит на четыре года



Д. Речан

У нас есть очень амбициозный план перехода на зеленую энергетику



Д. Йелен

Шаг, который ОПЕК решила предпринять, вызывает сожаление



Х.С. Пури

Индия, чтобы обеспечить надежные поставки сырой нефти, укрепила связи с США и Россией



А. Новак

Если брать только Китай, то было поставлено 67 млн т. Это почти треть всей нефти, которая у нас экспортируется



Ф. Донмез

Разведанных Турцией запасов газа в Черном море хватит для удовлетворения ее внутреннего спроса на 35 лет



А. Хохштейн

Мы все еще находимся в середине энергетического перехода



Н. Шульгинов

Это картельный какой-то сговор против нас (*о потолке цен на нефть*)



Е. Грабчак

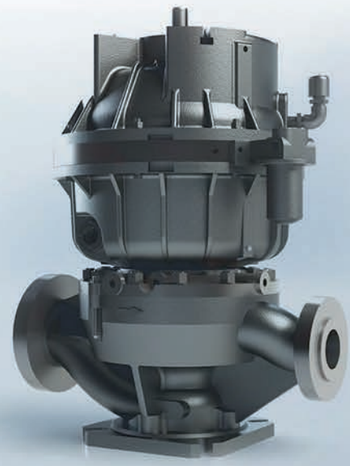
Рост потребления электроэнергии в 2023 г. составит 1–2 %

BAPTEEC LTD

ПРЕЖНЕЕ НАЗВАНИЕ «BEIJING AEROSPACE PETROCHEMICAL TECHNOLOGY AND EQUIPMENT ENGINEERING CORPORATION LIMITED»



Высокоскоростной центробежный насос со встроенным редуктором (API 610 OH6)



Вертикальный насос (OH6)

Насосные агрегаты • Запасные части • Сервис

- **Расход** 1~360 м³/ч, напор: 80~3600 м
- **Мощность двигателя** 5,5~2000 кВт
- **Температура** -130~+340 °C
- **Область применения:** нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, химическая отрасли
- **Типичное применение:** этилен, пропилен, ПЭ, ПП, ТФК и др.
- **ISO Сертификаты:** ISO9001, ISO14001, OHSAS 18001
  EAC Сертификаты: ТР ТС 010/2011, ТР ТС 012/2011, ТР ТС 020/2011
- **Квалифицированный поставщик:** BASF, BP, CTCI, Daelim, Enter, Fluor, Foster Wheeler, GS, Hyundai, Saipem, Samsung, Tecnimont, Toyo
- **Насосы применялись** в процессах, лицензированных Invista, BP,Univation, Technip, UOP, Axens, Fluor, Siemens и Johnson Matthey
- **Конечные потребители в СНГ:** ООО «Амурский газохимический комплекс» (Сибур), Иркутская нефтяная компания, АО «ПОЛИЭФ» (Сибур), Русоксо и ПКОП Шымкентский НПЗ



Цех



Испытательный стенд



Сервис на площадке Сибур

РЕКЛАМА

Штаб-квартира
г. Пекин, Китай
Контактное лицо: Лю Сяо
Тел: +86-10-87094356, 87094328
+8617319371970
E-mail: liux@calt11.cn, burw@calt11.cn

Авторизованный дилер
ООО «Юникс Инжиниринг»
Тел/Факс: +7(495) 648-62-78
E-mail: office@unix-eng.ru

www.calt11.com

ООО «ПетроИнжиниринг»
Производство энергетического оборудования по индивидуальным требованиям заказчика

PETRO ENGINEERING



- Блочно-модульные комплектные трансформаторные подстанции 6-35 кВ.
- Блочные комплектные распределительные устройства 6 кВ, 10 кВ.
- Распределительные устройства высокого напряжения.
- Низковольтные комплектные устройства.
- Устройства компенсации реактивной мощности.

НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС

ЭНЕРГЕТИКА

КАПИТАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ







ООО «ПетроИнжиниринг»
Российская Федерация, 117630,
г. Москва, парк Воронцовский, 3А.
Телефон:+7 (499) 372-07-07
E-mail: info@petroin.ru

РЕКЛАМА