



КОМПЬЮТЕРНЫЙ
АНАЛИЗ
ГИДРООЧИСТКИ ДТ

ТЕХНОЛОГИИ
СЖИЖЕНИЯ
ГАЗА

«КРАСНАЯ КНИГА»
НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Нефтегаз.RU

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

ISSN 2410-3837

2 [122] 2022

РЕАКТИВНОЕ ТОПЛИВО



Входит в перечень ВАК

КАК РОССИЙСКАЯ НЕФТЯНКА ПОДГОТОВИЛАСЬ К НОВОЙ БЕЗУГЛЕРОДНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Мировая декарбонизация — это, в том числе, новый способ конкурентной борьбы, следствием которой может стать изменение карты распределения энергоресурсов, а значит и мирового влияния. При этом Россия претендует на статус одного из лидеров «зеленого» мейнстрима. О возможностях и перспективах нашей страны на «зеленой» энергетической арене расскажет наш спецпроект.

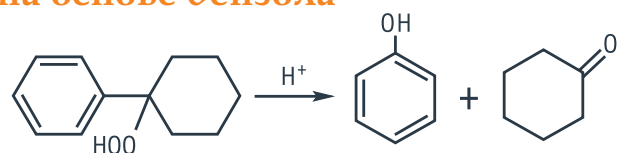


Технология сжижения газа с использованием в качестве хладагента гелийсодержащих смесей



14

Совместный способ получения фенола и циклогексанона на основе бензола



20

СОДЕРЖАНИЕ

Влияние технологий производства реактивных топлив РТ и ТС-1 на эксплуатационные свойства



28

Разработка мембраны из анионообменной смолы для превращения CO₂ в CO



34

Эпохи НГК

4

РОССИЯ *Главное*

«Северный поток», развернись на восток!

6

Маркировка моторного масла изменит рынок нефтепродуктов

8

События

10

Первой строчкой

12

ГАЗОПОДГОТОВКА

Технология сжижения газа с использованием в качестве хладагента гелийсодержащих смесей

14

ПЕРЕРАБОТКА

Совместный способ получения фенола и циклогексанона на основе бензола

20

Влияние способа введения α-Al₂O₃ и цеолита на каталитические свойства цеолитсодержащих катализаторов крекинга

24

Влияние технологий производства реактивных топлив РТ и ТС-1 на эксплуатационные свойства

28

Разработка мембраны из анионообменной смолы для превращения CO₂ в CO

34

«Красная книга» нефтехимической промышленности: исчезающие институты

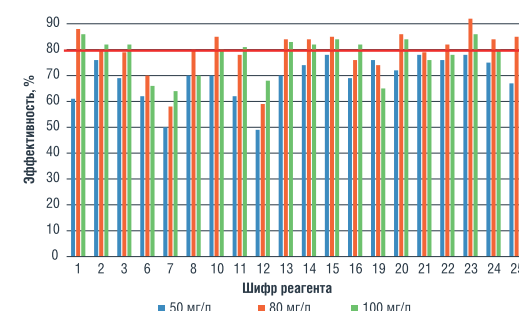
40

Синтез пиромеллитовых индикаторов для трассерных исследований нефтяного пласта



44

Выбор эффективного ингибитора солеотложения для группы месторождений Западной Сибири



50

Компьютерный анализ гидроочистки дизельного топлива – реальность и перспективные решения



80

Новые способы и оборудование для очистки нефтезагрязненных производственных сточных вод



88

ПРОМЫСЛОВАЯ ХИМИЯ

Синтез пиромеллитовых индикаторов для трассерных исследований нефтяного пласта

44

Выбор эффективного ингибитора солеотложения для группы месторождений Западной Сибири

50

ПРИКЛАДНАЯ НАУКА

Оценка микроэлементного состава нафтидов – необходимый этап нефтехимических исследований

56

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Роботизированный комплекс для оценки технологических трубопроводов

64

Моделирование системы транспортно-логистического обеспечения месторождений Обской и Тазовской губ

70

Компьютерный анализ гидроочистки дизельного топлива – реальность и перспективные решения

80

ЭКОЛОГИЯ

Новые способы и оборудование для очистки нефтезагрязненных производственных сточных вод

88

ГОСРЕГУЛИРОВАНИЕ

Таможенное законодательство в борьбе с изменением климата

96

Россия в заголовках

98

Календарь событий

99

Хронограф

100

Новости науки

102

Нефтегаз *Life*

104

Классификатор

106

Цитаты

112

2472 года назад

В 450 году до н.э. греческий историк Геродот описал ямы с жидкими полезными ископаемыми вблизи Вавилона.

749 лет назад

В 1273 году Марко Поло, посетив персидский город Баку, записал, что на берегу Каспийского моря видел вещество, собираемое из земли для использования в медицине и освещении.

428 лет назад

В 1594 году в Баку, в поселке Балаханы, Аллахяр Магомед вручную вырыл нефтяную скважину глубиной 35 метров.

375 лет назад

В 1647 году турецкий путешественник Эвлия Челеби, описывая месторождения в Баку, отмечает, что нефть приносит шаху 7000 туманов годового дохода и экспортируется в Персию, Среднюю Азию, Турцию и Индию.

158 лет назад

В 1864 году на Кубани, в долине реки Кудако пробурена первая в России эксплуатационная скважина.

136 лет назад

В 1886 году Ротшильды выкупили акции Батумского нефтепромышленного и торгового общества, образованного промышленниками Бунгом и Палашковским, и переименовали предприятие в Каспийско-Черноморское нефтепромышленное общество.

49 лет назад

В 1973 году мировые цены на нефть поднялись с 3 до 12 долл. за барр., промышленное производство в США и Европа сократилось на 13–14%, цены на бензин выросли на 50–70%.

46 лет назад

В 1976 году в Западной Сибири добывали 9,9 млн барр. нефти в день.

34 года назад

В 1988 году Советский Союз прошел пик добычи нефти, составивший 11,4 млн барр. в день (569 млн тонн в год).

25 лет назад

В 1997 году в результате демополизации и приватизации нефтегазовой отрасли прекратилось падение объемов добычи нефти.

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Аналитики
Артур Гайгер
Дарья Беляева

Журналисты
Анна Игнатова
Елена Алифинова
Сабина Бабаева
Екатерина Свинцова

Дизайн и верстка
Елена Валетова

Корректор
Виктор Блохин

РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

Алюнов
Александр Николаевич
Вологодский государственный университет

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

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

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

Данилов-Данильян
Виктор Иванович
д.з.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 РАН, д.т.н.,
профессор,
РГУ нефти и газа (НИУ)
им. И.М. Губкина

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

Мастепанов
Алексей Михайлович
д.з.н., профессор,
академик РАН,
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



Издательство:
ООО Информационное агентство
Neftegaz.RU

Директор
Ольга Бахтина

Отдел рекламы
Дмитрий Аверьянов
Ольга Щербакова
Валентина Горбунова
Анна Егорова

pr@neftgaz.ru
Тел.: +7 (495) 778-41-01

Представитель в Евросоюзе
Виктория Гайгер

Служба технической поддержки
Сергей Прибыткин
Евгений Сукалов

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.neftgaz.ru
e-mail: info@neftgaz.ru
Подписной индекс МАП11407

Отпечатано в типографии
«МЕДИКОЛОП»

Заявленный тираж
8000 экземпляров



КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ: в центре внимания, в центре Москвы

НАЦИОНАЛЬНЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ ФОРУМ

www.oilandgasforum.ru

21-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА НЕФТЕГАЗ-2022

www.neftgaz-expo.ru

18–21 апреля 2022
Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

12+
Реклама



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ





«СЕВЕРНЫЙ ПОТОК», РАЗВЕРНИСЬ НА ВОСТОК!

США НЕ ОСТАВЛЯЮТ ПОПЫТОК ПРЕСЕЧЬ ЗАПУСК МГП «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-2», НО У РОССИИ ЕСТЬ ЗАПАСНЫЕ ВАРИАНТЫ, ОНА ВСЕГДА МОЖЕТ РАЗВЕРНУТЬ СВОИ ГАЗОВЫЕ ПОТОКИ НА ВОСТОК, УТВЕРЖДАЮТ ЭКСПЕРТЫ. ТАК ЛИ ЭТО?

Анна Павлихина

Самым ярким событием февраля, безусловно, стали Олимпийские игры в Пекине и предшествующая им встреча российского и китайского президентов. Интригующими стали два момента. Главы двух государств сделали совместное заявление о международных отношениях, вступающих в новую эпоху, и глобальном устойчивом развитии, в котором Китай поддержал Россию в вопросе нерасширения НАТО на восток, а Россия в свою очередь поддержала принцип «одного Китая», признав, что Тайвань является неотъемлемой частью Китая. Второе заявление, вызвавшее чуть ли не больше толков, чем первое, сделал В. Путин: он объявил о новом контракте на поставку Китаю газа с дальневосточных месторождений.

На первый взгляд сюжеты разные, но, как это часто бывает, когда дело касается востока, увесистые обстоятельства всегда бывают связаны тонкой нитью, определяющей основной контекст.

Декарбонизирующаяся Европа этой зимой потерпела фиаско, сделав слишком большую ставку на альтернативную энергетику. Но едва ли это заставит ее отказаться от идеи ВИЭ-генерации. Рано или поздно МГП «Северный поток-2», если он сможет преодолеть политическое сопротивление, как газопровод будет бесполезен. В лучшем случае его можно будет перекалвалифицировать в водородопровод.



Это само по себе наталкивает на мысль о поиске альтернативных рынков сбыта российского газа и обращает взгляд на восток.

У России и КНР уже есть тридцатипятилетний контракт на поставку 38 млрд м³ газа в год по трубопроводу «Сила Сибири», заключенный восемь лет назад.

Потребности Китая в газе постоянно превышают уровень его собственной добычи. По оценкам «Газпрома», к 2030 г. спрос на газ в КНР вырастет до 501 млрд м³, и китайцы заблаговременно контрактуют для себя эти объемы. В декабре 2021 года китайские компании заключили долгосрочные контракты с США и Катаром на 9,5 млн тонн СПГ в год (более 13 млрд м³). Договоренности на поставки сжиженного газа были заключены ранее и с Россией, но в гораздо меньшем объеме – 4 млн тонн СПГ в год (5,5 млрд м³).

В пик декабрьским контрактам Россия спешит взять реванш, договорившись с Китаем об увеличении поставок своего трубопроводного газа на те самые 10 млрд м³, о которых гордо заявил российский президент на встрече с китайским лидером.

К слову, теперь объемы по контрактам уравниваются с небольшим перевесом в пользу России: 13 млрд м³ СПГ из Штатов и Катара против 15 млрд м³ российского газа (5,5 млрд м³ СПГ плюс 10 млрд м³ согласно новому договору).

Учитывая, что ресурсной базой для нового газового контракта «Газпрома» с CNPC выступит Южно-Кириновское месторождение, добычу газа на котором планируют начать через два года, можно предположить, что поставки начнутся примерно с того же времени. К тому моменту можно будет

как раз достроить недостающий участок второй нитки МГП «Сила Сибири». Таким образом общий объем поставок по газопроводу составит 48 млрд м³, что немного меньше, но сравнимо с объемом, который «Газпром» планировал поставить европейским потребителям по «Северному потоку-2» мощностью 55 млрд м³.

Значимость этого договора для России именно сейчас подчеркивает тот факт, что контракт был заключен по проекту «Сила Сибири-3», менее привлекательному для российской стороны, чем проект «Сила Сибири-2». Кроме того, отраслевые эксперты предполагают, что российский газ Китай будет получать по более низкой цене, как это обычно и бывает, когда речь идет о трубопроводном газе (или реверансе в сторону бизнес-партнера). А ведь наращивание поставок именно трубопроводного газа, в свете нестабильности ситуации в Мьянме и связанных с этим угроз поставкам по МГП Мьянма – Китай (12 млрд м³ в год), для КНР как никогда актуально.

Готовность России делать книксены Китаю очевидна и самому Китаю, который, конечно, понимает, что бонусы он получает за счет российско-американского противостояния. Поэтому говорить о том, что у России с Китаем дружба больше, чем газ, не приходится, и, как не крути, совместное предоллимпийское заявление двух президентов – это еще не стратегический союз.

Китай хороший друг, пока он – рынок сбыта. Доля энергоресурсов в российском экспорте в КНР в прошлом году составила 65%. Китай тоже видит в России в первую очередь поставщика энергоресурсов. Доказательство тому – попытки России сотрудничать в высокотехнологичных областях, от которых китайцы, по-восточному мягко, увиливают. Когда разделение труда в мире изменится, а это вполне может произойти при переходе энергетической революции в активную фазу, может измениться и характер отношений двух стран, и тогда Россия останется с пустыми газопроводами на западе и востоке.

Такая малопривлекательная перспектива – вопрос отдаленного будущего, но произойдет это много раньше, чем в российских недрах закончится газ. Один из альтернативных путей, способных с максимальной эффективностью заменить экспорт сырых углеводородов – их переработка. Номер, который вы держите в руках, мы посвятили тому, как эта отрасль промышленности развивается в России и какие инновации в области переработки нефти и газа предлагают российские ученые. ●

МАРКИРОВКА МОТОРНОГО МАСЛА ИЗМЕНИТ РЫНОК НЕФТЕПРОДУКТОВ

Е. Свинцова

Замминистра промышленности и торговли В. Евтухов сообщил, что уже в 2022 г. могут ввести маркировку на автомобильные масла. Предполагаемое внедрение маркировки стандартизирует процедуру и позволит снизить число контрафактов. Сейчас реализация моторных масел не регулируется никакими нормами, продавцы обязаны предоставить достоверную информацию о происхождении, характеристиках и качестве товара.

Продукция, ввозимая в РФ из других стран, проходит процедуру маркировки ЕАЭС, которая подтверждает соответствие товара ГОСТу 1510-84. Также иностранные производители должны предоставить паспорт качества каждой поставляемой партии и паспорт безопасности. Маркировка моторного масла должна быть четкой и читаемой на протяжении всего периода годности масла. На продуктах, которые могут навредить здоровью потребителей или окружающей среде, должны присутствовать предупредительные надписи.

С 2018 г. на территории России реализуется проект по внедрению обязательной маркировки продукции средствами идентификации – цифровыми кодами DataMatrix, это позволяет отследить движение продукта от производителя до потребителя.

В 2022 г. использование средств DataMatrix может стать обязательным для автомобильных масел.

При этом введение маркировки – это отдельный процесс, требующий модернизации производства, а значит, дополнительных затрат на переоборудование производственных линий в ритейле и логистике.

На российском рынке только около 50 компаний производят моторное масло, это, как правило, очень технологичные предприятия. С введением маркировки у покупателей появится возможность самостоятельно проверять оригинальность продукта, на них же, вероятнее всего, лягут и расходы. ●

Рейтинги Neftegaz.RU

Аналитики агентства S&P Global Ratings утверждают, что стоимость нефти в ближайшем будущем может превысить отметку в 100 долл. США за барр. С чем это связано?

Что способно спровоцировать потенциальное повышение стоимости нефти выше 100 долл. США за барр.?

34 %

Россия – второй по величине производитель нефти, санкции в отношении нее, аналогичные иранским, приведут к перебоям с поставками и взлету цены

10 %

В посткризисный период спрос существенно превысил предложение и продолжает расти

41 %

Принципы ESG запрещают инвестировать в добычу УВ, нехватка инвестиций скажется на объемах добычи и цене

15 %

Неопределенность долгосрочных перспектив спроса отразится на стоимости нефти

Постпред РФ при ЕС В. Чижов считает, что МГП «Северный поток-2» нужен в первую очередь Европе, а Россия всегда найдет, кому продать свой газ. Так ли это, и куда именно могут быть переориентированы газовые маршруты?

Куда пойдет российский газ, если Европа откажется от МГП «Северный поток-2»?

25 %

В Турцию. Поставки российского газа по МГП «Голубой поток» в 2021 г. достигли рекордного значения

39 %

В Китай. По результатам прошедших 4 февраля российско-китайских переговоров Газпром и CNPC подписали 25-летний контракт на поставку 10 млрд м³ газа в год в Китай по МГП «Сила Сибири-3»

26 %

В Европу, но вместо трубопроводного газа будут продавать СПГ

10 %

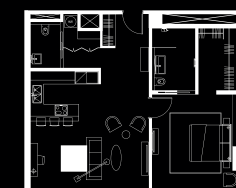
На внутренний рынок для развития газохимических проектов, в том числе на производство водорода

ПРЕМИАЛЬНЫЕ АПАРТАМЕНТЫ С ОТДЕЛКОЙ, КУХНЕЙ И ТЕХНИКОЙ

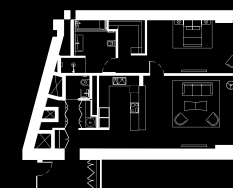


T O W E R S

АКЦИЯ НА 10 САМЫХ ЭФФЕКТНЫХ АПАРТАМЕНТОВ НЕБОСКРЕБА ОКО В «МОСКВА-СИТИ»



Апартаменты 909
Этаж 9
Площадь 85.7 м²



Апартаменты 5905
Этаж 59
Площадь 80.6 м²



Апартаменты 5602
Этаж 56
Площадь 171.4 м²

СМОТРЕТЬ СТОИМОСТЬ
ВСЕХ АКЦИОННЫХ АПАРТАМЕНТОВ



495 181 33 32

CG CAPITAL GROUP

Реклама. Предложение ограничено. Акция действует до 31.03.2022 или момента окончания акционных лотов. Условия акции на сайте застройщика oko.top. Застройщик ООО «Лисарио Трейдинг Лимитед»

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

Новая установка очистки на Белозерном ГПЗ

На Белозерном ГПЗ СибурТюменьГаза запущена новая установка, предназначенная для очистки углеводородного конденсата от воды, механических примесей, серосодержащих соединений и других примесей. Технология очистки УВК разработана в R&D центре СИБУР-НИОСТ, где провели исследования по подбору оптимальных реагентов, их дозировки, смешения и последующего отделения примесей. В результате были подготовлены исходные данные для проектирования установки очистки и доведения качества



УВК до уровня требований, предъявляемых к ШФЛУ. Реализация позволит вовлечь в производство дополнительно 14 тыс. т углеводородного конденсата в год. Стоимость инвестпроекта составила около 1 млрд руб.

Льготы для ТриЗ в Коми

Минфин предложил перевести крупнейшие месторождения трудноизвлекаемой нефти ЛУКОЙЛа – Ярегское и Усинское – на стимулирующий режим НДД. Документ должен вступить в силу с 2023 г. Сейчас для месторождений действует режим НДПИ, что, как утверждает в уведомлении Минфина, не позволяет эффективно вести их разработку.



В частности, НДД предлагают распространить на участки третьей и четвертой групп.

До 2021 г. добыча на обоих участках облагалась по льготной ставке, однако затем правительство отменило ряд льгот, в том числе по высоковязкой нефти. В результате компания лишилась большей части налоговых льгот по разработке Ярегского и Усинского месторождений и приняла решение прекратить инвестиции в проекты по добыче такого сырья. В компании утверждали, что с прекращением действия льгот фискальная нагрузка выросла по сверхвязкой нефти в 25 раз, по высоковязкой – 1,5 раза.

СИБУР инвестирует в нефтехимию

СИБУР и Минэнерго РФ заключили соглашения о модернизации действующих и создании новых мощностей Нижнекамскнефтехима, Казаньоргсинтеза и ЗапСибНефтехима. В рамках соглашений компания реализует комплекс проектов, направленных на расширение производства, в том числе запуск производства продуктов мало- и среднетоннажной химии, которые пока не имеют отечественных аналогов.

Холдинг изучает около 20 проектов, из которых на наиболее перспективные в ближайшие несколько лет направят инвестиции в размере 400 млрд руб. Государство планирует контролировать исполнение обязательств обратным акцизом на перерабатываемое сырье, этан и СУГ. Также СИБУР принял на себя обязательства в период 2022–2027 гг. инвестировать в развитие производственных



площадок в Тобольске не менее 110 млрд руб., в предприятия на территории Татарстана – не менее 285 млрд руб. При этом предварительная оценка общей стоимости всего пула проектов, рассматриваемых к реализации в рамках инвестсоглашений, превышает 560 млрд руб.

Второй этап ВСТО
Богучанская ГЭС запущена
Продажа квот
Дочери руды до Арктики
Южный поток
Цены на газ
Северный поток достроили

Новый способ заправки авто на КПГ

Роспатент внес в государственный реестр изобретений предложенный специалистами компании «Газпром трансгаз Екатеринбург» способ заправки автотранспортных средств и оборудования, работающего на компримированном природном газе, а также устройство для его осуществления – заправочный пистолет. Суть нового способа в том, что природный газ отбирают из газопровода, осушают, компримируют до необходимого давления, направляют в аккумуляторы, из которых КПГ подают в трубопровод высокого давления. Далее через гибкий рукав



топливо подается непосредственно в заправочный пистолет. Это малогабаритное устройство, которое также выполняет функцию измерения количества отпущенного топлива, сможет заменить топливную колонку на АГКС.

«Газпром нефть» инвестирует в нефтепереработку

«Газпром нефть» по итогам первых двух этапов модернизации НПЗ на 80% обновила их мощности, а в ближайшие три года планирует довести глубину переработки до 99%. За это время введено в эксплуатацию



35 новых технологических установок, инвестировано более 500 млрд руб. За 10 лет, которые реализуется эта программа, удалось снизить совокупное воздействие на окружающую среду в два раза. Сейчас идет реализация третьего этапа модернизации, который рассчитан на три года, за это время инвестиции должны составить 300 млрд руб. В Омске компания реализует три крупных проекта: строительство новой катализаторной фабрики, завода по производству базовых масел и производство графитированных электродов. Инвестиции в эти три проекта составят порядка 100 млрд руб.

Российская технология для производства премиальных марок полимеров

СИБУР и Technip Energies заключили соглашение о сотрудничестве в области разработанной СИБУРом технологии HEXSIB для производства сомономера гексен-1 из этилена. Гексен-1 применяется при производстве полиэтилена высокой и низкой плотности и является

обязательным компонентом в производстве специальных марок этого полимера. Его использование позволяет улучшить свойства полиэтилена по сравнению с базовыми марками и получить продукт премиального качества. Так, применение гексен-1 позволяет уменьшить толщину пленки при сохранении ее барьерных свойств, что сокращает удельный расход пластика на единицу конечной продукции и снижает воздействие на окружающую среду.



В отличие от распространенных на международном рынке технологий по выпуску сомономеров широкого спектра, HEXSIB позволяет получать гексен полимеризационной чистоты с высокой селективностью, минимизируя выход других олефинов. ●

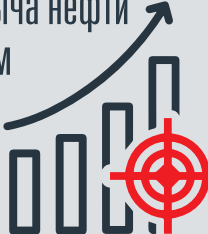
15,98
млрд м³
газа



было поставлено
в 2021 г. по МГП «Голубой
поток» из России в Турцию

На **8,7** тыс.
тонн

выросла добыча нефти
с конденсатом
в РФ
в январе,
сделка ОПЕК+
перевыполнена на **11%**



За 2021 г.
Украина купила
у России угля



на **1,5** млрд
долл.
США

в денежном выражении импорт
составил **\$ 2 488 696**

В 2021 г. «Газпром нефть»
переработала

43,5
млн тонн нефти



Более **1** млрд
руб.



вложат в модернизацию
энергообъектов в Приморском
крае в 2022 году

56 млрд руб.



может потерять бюджет
из-за демпфера по топливу
в 2022 – 2024 гг.

7,6 млрд руб.



заемных средств потратит
Петербургский нефтяной
терминал на модернизацию

«Транснефть-Дружба»
реконструировала

140,6
км



магистральных
трубопроводов
в 2021 году

1 000 000
тонн нефти



добыли на
Немчиновском
месторождении,

вклад месторождения в общую
добычу нефти Тямкинского хаба
превысил **40%**

На **2,4** %



выросла добыча
нефти в Югре
за 2021 год,
нефтедобывающие предприятия
добыли **215,7 млн т** нефти

На **282** %

восполнил запасы нефти
РН-Няганьнефтегаз
в 2021 г.



На **3,3** %

снизило выработку
электроэнергии
«РусГидро»
в 2021 г.,
с учетом
Богучанской ГЭС
по итогам 2021 г. выработано
116,26 млрд кВт·ч



24,4 млн
тонн
угля



достиг грузооборот
Ростерминалугля в 2021 году,
за год было обработано **340** балкеров

На **4,5** %

сократился
импорт нефти
из России
в Китай
в 2021 г.



11,5 млрд
руб.



достигла
суммарная
прибыль РОСНАНО от
проектов по строительству
объектов и локализации
оборудования ВИЭ

«Газпром» планирует
транспортировать



до **30** млрд м³

жирного газа в год на ГХК
в Татарстане, еще **45 млрд м³**
в год с 2024 г. пойдет на КПЭГ
в п. Усть-Луга

Свыше **100** млрд руб.



выделят на газификацию Сибири
к 2025 г.

До **2** %
ВВП в год

могут составить расходы
России на снижение
углеродного
следа



На **36** %



вырос несырьевой
неэнергетический экспорт
РФ в 2021 г.

Китай в 2021 г. нарастил
добычу нефти на



2,4 %,
газа – на **8,2%**

ТЕХНОЛОГИЯ СЖИЖЕНИЯ ГАЗА

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ХЛАДАГЕНТА ГЕЛИЙСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ

Мещерин Игорь Викторович

доцент кафедры газохимии
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
к.т.н.

Разарёнова Елизавета Павловна,

инженер первой категории «Мособлгаз»,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
магистр

В РАБОТЕ РАССМОТРЕНА ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЦИКЛА СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА СМЕШАННОМ ХЛАДАГЕНТЕ, В СОСТАВ КОТОРОГО БУДЕТ ВХОДИТЬ ГЕЛИЙ. БЫЛО ИЗУЧЕНО ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГЕЛИЯ НА УДЕЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ УСТАНОВКИ СЖИЖЕНИЯ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВНЕШНИХ ПАРАМЕТРАХ. ЦИКЛ МОДЕЛИРУЕТСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ASPEN HYSYS

THE PAPER CONSIDERS THE POSSIBILITY OF CREATING A NATURAL GAS LIQUEFACTION CYCLE USING A MIXED REFRIGERANT, WHICH WILL INCLUDE HELIUM. THE INFLUENCE OF THE HELIUM CONTENT ON THE SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION OF THE LIQUEFACTION PLANT WAS STUDIED UNDER CHANGING EXTERNAL PARAMETERS. THE CYCLE IS SIMULATED USING THE ASPEN HYSYS SOFTWARE PACKAGE

Ключевые слова: сжиженный природный газ, гелий, хладагент, моделирование.

Индустрия СПГ сегодня

В 2008 году Совет директоров ОАО «Газпром» утвердил Стратегию развития сегмента СПГ, где предусматривалось через 15 лет обеспечить ежегодное производство до 90 млн тонн сжиженного газа на собственной сырьевой базе. Решению предшествовала жесткая дискуссия о рыночных рисках амбициозного плана. На тот момент в России завершалось строительство завода на Сахалине, а в США и Австралии не планировали собственных СПГ-производств. Сегодня Россия силами НОВАТЭКа и Газпрома производит всего лишь около 30 млн тонн СПГ. США заявили о мощностях в 95 млн тонн в год, а Австралия о 85 млн тонн в год. В отличие от ситуации начала 2000-х, одним из серьезных препятствий развитию сегмента СПГ в России сегодня стали технологические санкции. Поиск отечественных технологий и оборудования по-прежнему является актуальной научно-технической задачей.

Основные тенденции развития технологий сжижения

Существует два пути развития производства СПГ – экстенсивный и интенсивный. Вариант экстенсивного развития связан с увеличением производительности технологической линии. Здесь ключевую роль играют следующие параметры:

- 1) число холодильных циклов;
- 2) производительность компрессоров;
- 3) мощность приводов компрессоров;
- 4) размеры и конструкции теплообменников.

Вариант интенсивного развития связан с совершенствованием самой технологии сжижения. Например, замена клапанов Джоуля-Томсона на жидкостные или двухфазные детандеры.

Перспективный путь интенсивного развития технологий сжижения природного газа – это оптимизация состава смешанного хладагента. При подборе состава хладагента необходимо учитывать множество факторов – состав сырьевого газа, климатические условия, в которых осуществляется технологический процесс, производительность технологической линии и др. В связи с этим состав хладагента необходимо подбирать для каждой технологической линии индивидуально [1].

ФАКТЫ

Технологические санкции

стали одним из серьезных препятствий развитию сегмента СПГ в России

C₃MR

Технологический процесс APCI – самая распространенная технология сжижения в мире

Технологический процесс C₃MR (APCI) (C₃ – пропан, MR – multicomponent refrigerant – многокомпонентный хладагент) – самая распространенная технология сжижения в мире. Процесс получил такое широкое распространение благодаря сочетанию преимуществ каскадного процесса на чистых хладагентах с технологией на смешанном хладагенте, из-за чего энергозатраты минимизируются, вывод установки на режим облегчается, а за счет применения в предохлаждении однокомпонентного хладагента – пропана – расчет цикла упрощается. Однако существуют недостатки при размещении завода, работающего по данной технологии на Севере. Такой процесс в холодном, тем более в арктическом климате будет менее эффективным, чем в теплой климатической зоне, поскольку пропановое предохлаждение позволяет охлаждать природный газ лишь до -35 °С, а в арктическом климате температура окружающего воздуха может опускаться и ниже указанной температуры. Для того, чтобы обеспечить работу пропанового цикла зимой, завод на Ямале получает сырьевой газ месторождения с температурой, близкой к пластовой, поэтому не использует в полной мере преимущества. Авторы считают, что для холодного климата можно подобрать более подходящие технологии [2].

В целях изучения дальнейших перспектив технологий сжижения было рассмотрено расширение состава смешанного хладагента путем добавления в него гелия, который обладает уникальными физическими свойствами и является достаточно распространенной средой в криогенных системах. Производство гелия растет как в мире,

РИС. 1. Технологическая схема сжижения с контуром предварительного охлаждения

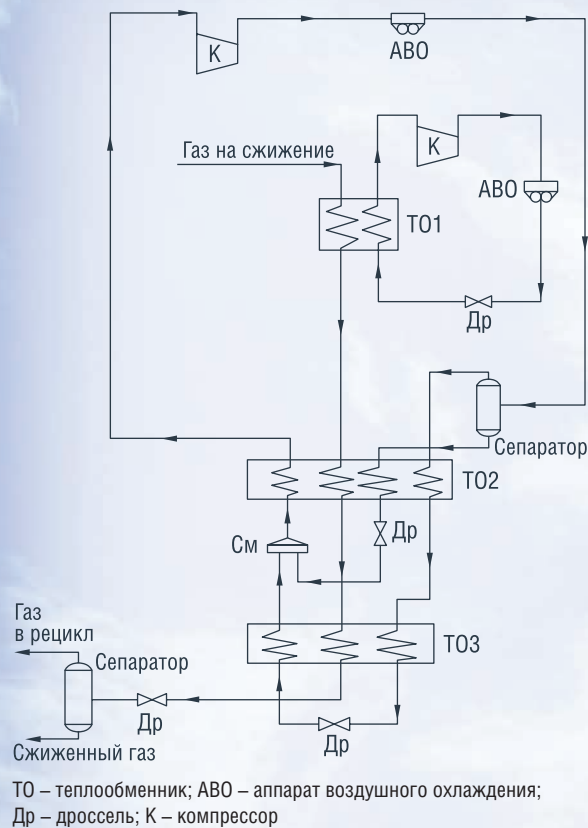
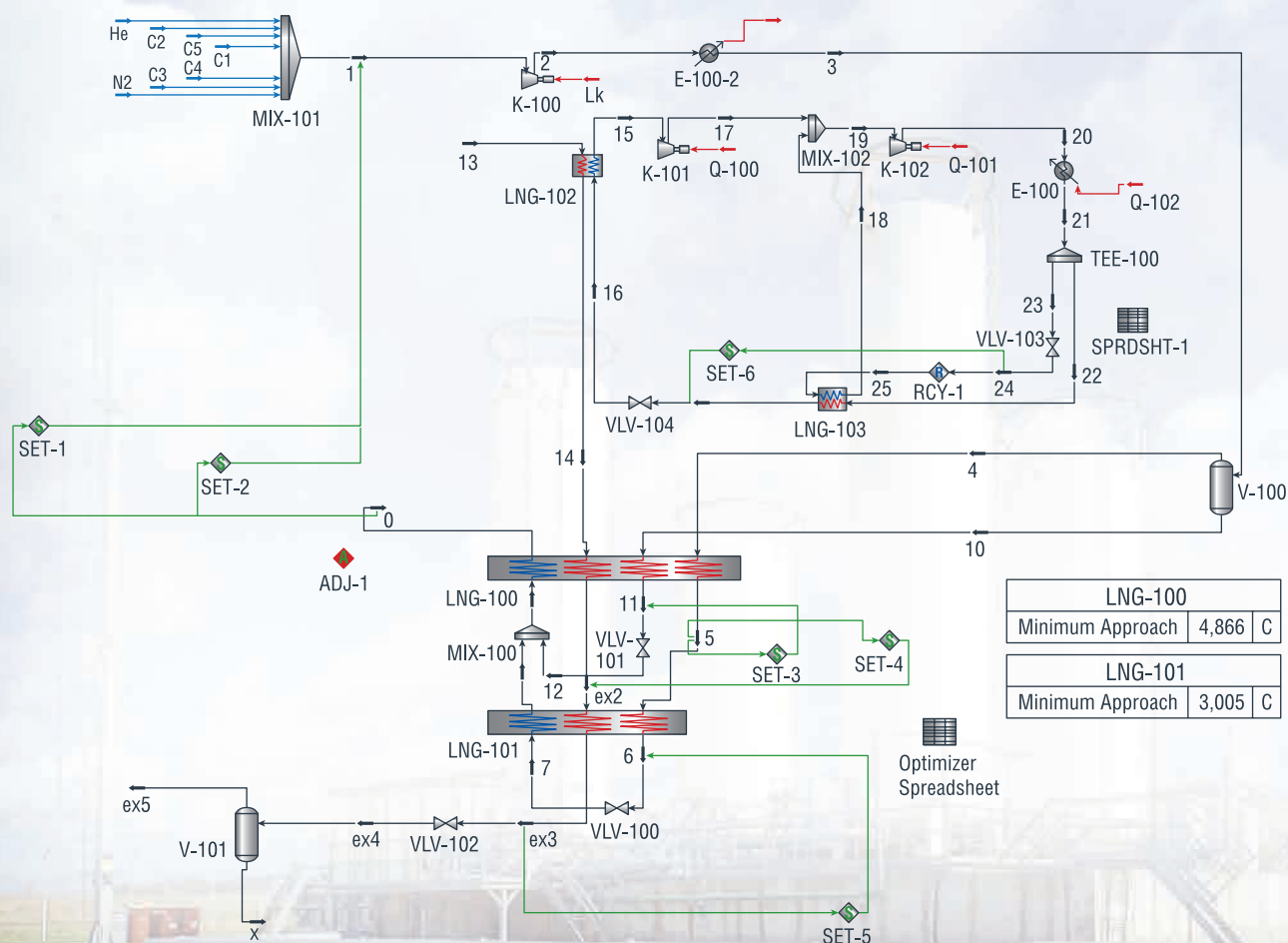


РИС. 2. Модель сжижения с предварительным охлаждением



ФАКТЫ

60

млн м³ в год
максимальная проектная мощность Амурского завода, благодаря которому Россия может стать лидером мирового рынка гелия

При увеличении

до 3%

содержания Не величина удельных энергозатрат снижается

так и в России. Благодаря вводу в эксплуатацию Амурского завода, максимальная проектная мощность которого составляет 60 млн м³ в год, Россия может стать лидером мирового рынка гелия. Таким образом, предлагаемый способ может стать дополнительной областью реализации производимого в стране гелия, а с учетом ввода Амурского завода данный вопрос является достаточно актуальным.

Моделирование цикла сжижения

Для исследования влияния содержания гелия на параметры процесса сжижения был выбран один из самых распространенных в мире процессов – холодильный цикл на смешанном хладагенте с пропановым предварительным охлаждением, схема которого представлена на рисунке 1, где смешанный хладагент, состоящий из гелия, азота и углеводородов от метана до изопентана, циркулирует по замкнутому контуру при помощи компрессора.

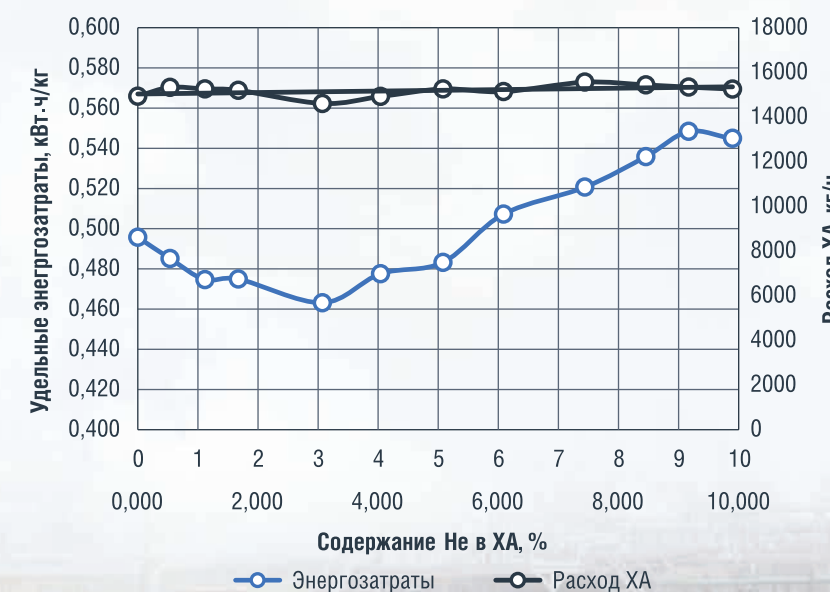
ТАБЛИЦА 1. Исходные данные

Состав газа	100 % CH ₄
Температура газа на входе	40 °С
Давление газа на входе	36 бар
Давление СПГ	4 бар
Температура после АВО	40 °С
КПД компрессора	0,65 для компрессора объемного действия
Величина недорекуперации для теплообменников	5 К и 3 К

ТАБЛИЦА 2. Результаты моделирования

Суммарная работа сжатия в компрессоре в контуре СХА, кВт	Суммарная работа сжатия в компрессоре, кВт	Удельные энергозатраты на получение 1 кг СПГ, кВт·ч/кг
931,6	991,5	0,496
910,4	970,3	0,485
889,4	949,3	0,475
890,1	950,0	0,475
866,4	926,3	0,463
895,3	955,2	0,478
906,6	966,5	0,483
954,6	1014,5	0,507
981,4	1041,3	0,521
1011,9	1071,7	0,536
1036,9	1096,8	0,548
1030,1	1090,0	0,545
1034,3	1094,2	0,547

РИС. 3. Изменение удельных энергозатрат



Модель технологии выполнена при помощи программного пакета Aspen Hysys V10. Смоделированный цикл представлен на рисунке 2.

Для исследования влияния содержания гелия в составе хладагента на параметры процесса была использована функция оптимизатора, где массовый расход гелия постепенно увеличивался таким образом, чтобы его доля в общем потоке хладагента постепенно изменялась от 0 до 10%. Для этого также была задана минимальная недорекуперация в теплообменниках: в LNG-100 5 К, в LNG-101 3 К. При помощи оптимизатора для каждого содержания гелия было подобрано такое соотношение остальных компонентов, чтобы величина минимальной недорекуперации для каждого из теплообменников максимально приближалась к заданной, а на Q-T диаграммах теплообменников отсутствовали температурные засечки. При этом были выбраны такие точки, у которых примерно одинаковый массовый расход итогового смешанного хладагента, чтобы исключить влияние этого фактора на итоговое изменение энергозатрат.

Состав хладагентов подобран с учетом исходных данных, указанных в таблице 1.

В результате изменения содержания гелия от 0 до 10% были получены следующие данные, представленные в таблице 2 и на рисунке 3.

По графику на рисунке 3 видно, что при увеличении содержания Не до 3% величина удельных энергозатрат снижается.

Анализ изменения удельных энергозатрат

Для изучения влияния содержания гелия в смешанном хладагенте на удельные энергетические затраты завода по сжижению было необходимо оценить изменение состава хладагента при изменении различных параметров – температуры окружающей среды, давления газа на входе в установку и увеличении производительности установки.

ТАБЛИЦА 3. Сравнение показателей крупнотоннажных установок

Производительность, т/ч	Снижение энергозатрат, %	Содержание He, мольн. %	Расход He, т
100	6,65	2,98	2,50
200	6,31	3,01	5,00
300	6,69	2,91	7,50
400	7,55	2,70	9,00
500	6,64	3,02	12,50
600	2,20	9,16	11,00

ТАБЛИЦА 4. Сравнение показателей малотоннажных установок

Производительность, т/ч	Снижение энергозатрат, %	Содержание He, мольн. %	Расход He, т
2	6,62	3,07	0,05
4	7,64	3,02	0,10
6	9,17	2,20	0,11

РИС. 4. Изменение удельных энергозатрат

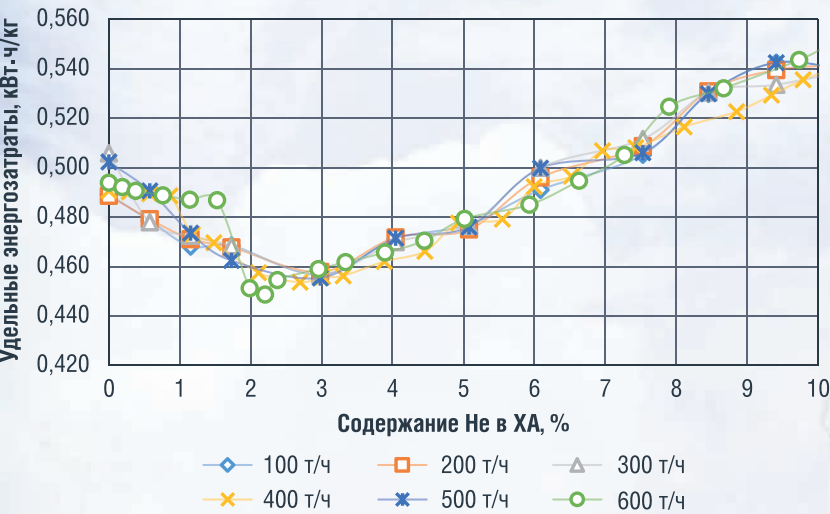
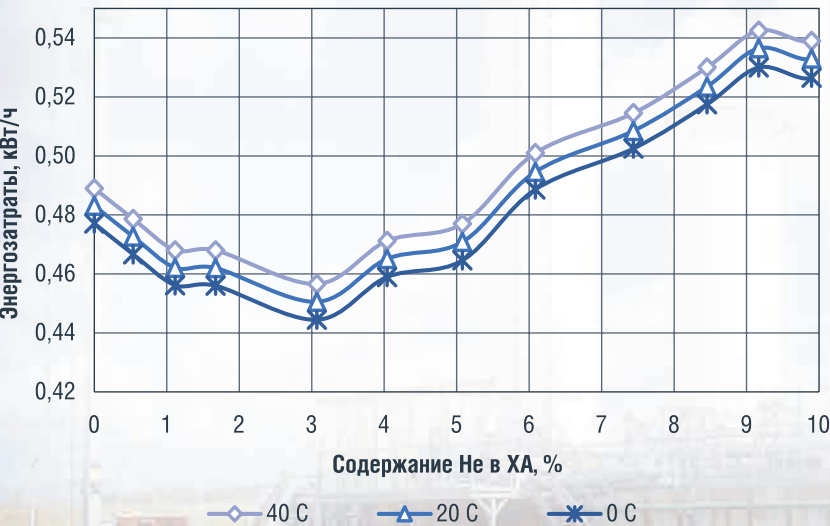


РИС. 5. Изменение удельных энергозатрат



Производительность установки

Были проанализированы модели как крупнотоннажных, так и малотоннажных установок. Результаты сведены в таблицы 3 и 4. При увеличении содержания гелия до 3 мольн. % величина удельных энергозатрат достигает минимума для каждой из рассмотренных производительностей (рисунок 4).

Температура окружающей среды

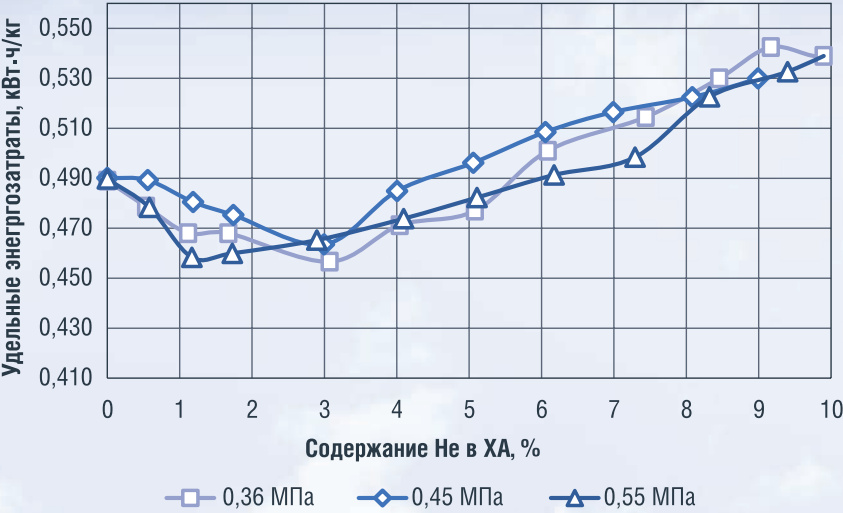
В рамках модели проанализировано несколько вариантов изменения температуры природного газа на входе в установку: 40, 20 и 0 °С. Результаты отражены на рисунке 5. При снижении температуры окружающей среды удельные энергозатраты уменьшаются на всем интервале измерений. Аналогичные результаты получены для всех рассмотренных ранее производительностях установок.

Давление природного газа на входе в установку

Рассмотрено три варианта давления на входе в установку: 36, 45 и 55 бар. Результаты отражены на рисунке 6. Как видно из полученной зависимости, с увеличением давления природного газа на входе величина удельных энергозатрат колеблется в пределах одного значения, однако общий характер кривой сохраняется. Минимум энергозатрат достигается при содержании гелия от 1 до 3 %.

Исходя из теоретических основ процесса, увеличение давления влияет на конечную температуру потока природного газа за счет увеличения дроссель-эффекта, благодаря чему можно сократить количество хладагента и соответственно снизить энергозатраты на его циркуляцию. В рамках данной модели такой зависимости выявить не удалось. Такой неоднозначный результат можно объяснить подбором состава хладагента в каждой точке и невозможностью фиксации состава всех компонентов, помимо гелия, в условиях моделирования.

РИС. 6. Изменение удельных энергозатрат



Выводы

В рассмотренной модели цикла сжижения газа на смешанном хладагенте при изменении содержания гелия в составе хладагента от 0 до 10 % были выявлены следующие закономерности:

- Введение гелия в небольших количествах в состав смешанного хладагента позволяет снизить энергетические затраты цикла сжижения.
- При снижении температуры окружающей среды величина удельных энергетических затрат снижается, при этом характер графика не изменяется и проходит через минимум.
- При увеличении производительности установки величина удельных энергетических затрат колеблется в пределах одного значения для каждого участка кривой, характер графика сохраняется и проходит через минимум.

ФАКТЫ Минимум энергозатрат

достигается при содержании гелия от 1 до 3 %

Такой характер кривой можно объяснить тем, что при увеличении содержания гелия общий состав смеси хладагента облегчается, благодаря чему достигается снижение энергозатрат.

Также их снижению может способствовать низкая критическая температура гелия и его близость к идеальным газам. Суммарная затрата работы компрессора снижается при равном отношении давлений между ступенями [3], и для реального газа добиться такого распределения гораздо сложнее, чем для идеального. Дальнейшее увеличение энергозатрат можно объяснить возрастающими потерями гелия, который обладает высокой проницаемостью [4].

Таким образом, можно говорить о целесообразности использования гелия в качестве компонента смешанного хладагента. Результаты работы возможно интерпретировать относительно технологий, в которых присутствует контур, работающий на смешанном хладагенте. Снижение энергетических затрат установки позволит снизить общие эксплуатационные затраты завода по сжижению при незначительном увеличении капитальных затрат [5]. ●

Литература

1. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2011 г. – 159 с.
2. Мещерин И.В., Настин А.С. Анализ технологий получения сжиженного природного газа в условиях арктического климата // Труды РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина. 2016 г. № 3 (284). – С. 144–157.
3. Френкель М.И. Поршневые компрессоры. Теория, конструкции и основы проектирования. – М.: Машиностроение, 1969 г. – 744 с.
4. N.S. Walimbe, K.G. Narayankhedkar, M.D. Atrey Experimental investigation on mixed refrigerant Joule – Thomson cryocooler with flammable and non-flammable refrigerant mixtures // Cryogenics № 50, 2010 г. – С. 653–659.
5. Мещерин И.В., Разоренова Е.П. Технология сжижения газа с использованием в качестве хладагента гелийсодержащих смесей // Газовая промышленность № 5 (816), 2021 г. – С. 92–99.

KEYWORDS: liquefied natural gas, helium, refrigerant, simulation.



СОВМЕСТНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОНА на основе бензола

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

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

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

**Рыбина
Галина Викторовна**
директор Института химии
и химической технологии,
к.х.н.

**Лебедева
Нина Валентиновна**
доцент кафедры
«Общая и физическая химия»,
к.х.н.

**Кабанова
Виктория Сергеевна**
студент 5 курса

ФГБОУ ВО «Ярославский
государственный технический
университет»

ФЕНОЛ И ЦИКЛОГЕКСАНОН ШИРОКО ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. НЕСМОТЯ НА ТО, ЧТО ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ХОРОШО ОТРАБОТАНА, ПРОЦЕССЫ ИМЕЮТ РЯД НЕДОСТАТКОВ. РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ РАЗРАБОТАЛИ ПРОЦЕСС СОВМЕСТНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ФЕНОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОНА НА ОСНОВЕ БЕНЗОЛА, УСТРАНЯЮЩИЙ ЭТИ НЕДОСТАТКИ

PHENOL AND CYCLOHEXANONE ARE WIDELY USED IN VARIOUS INDUSTRIES. DESPITE THE FACT THAT THE TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF THESE PETROCHEMICAL SYNTHESIS PRODUCTS IS WELL DEVELOPED, THE PROCESSES HAVE A NUMBER OF DISADVANTAGES. RUSSIAN SCIENTISTS HAVE DEVELOPED A PROCESS FOR THE JOINT PRODUCTION OF PHENOL AND CYCLOHEXANONE BASED ON BENZENE, WHICH ELIMINATES THESE SHORTCOMINGS

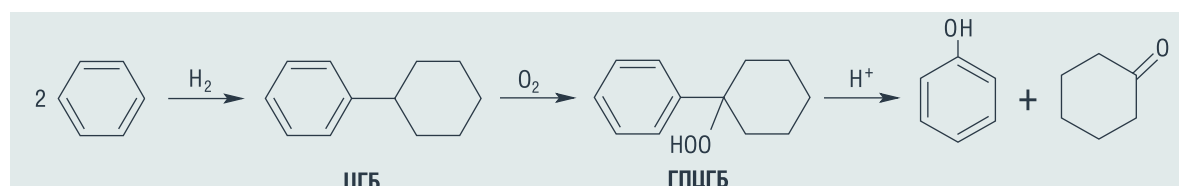
Ключевые слова: бензол, фенол, циклогексанон, полимеры, снижение капитальных затрат.

Фенол и циклогексанон – крупнотоннажные продукты нефтехимического синтеза, которые широко используются в различных отраслях народного хозяйства [1, 2]. Циклогексанон (ЦГОН) является базовым мономером в индустрии полиамидных полимеров, пластмасс, изоляционных материалов и др. [3]. Фенол используется для получения дифенилолпропана, фенолформальдегидных смол, алкилфенолов, красителей, лекарственных веществ, а также для получения полимеров и пластмасс [4, 5].

Основное количество фенола и циклогексанона как у нас в стране, так и за рубежом производят кумольным методом и жидкофазным каталитическим окислением циклогексана (ЦГ) соответственно. Несмотря на хорошо отработанную технологию и значительный опыт эксплуатации, эти процессы имеют ряд недостатков. К ним в первую очередь следует отнести

тот факт, что образующийся в кумольном процессе ацетон не находит эквивалентного фенолу рынка сбыта, а при окислении циклогексана имеет место крайне низкая (4–5%) конверсия углеводорода при селективности образования кетона не более 80–85%. Устранить указанные выше недостатки призван разрабатываемый процесс совместного получения фенола и циклогексанона на основе бензола, который включает следующие стадии:

- гидродимеризацию бензола с образованием циклогексилбензола (ЦГБ);
- селективное жидкофазное окисление циклогексилбензола до трет-гидропероксида (трет-ГПЦГБ);
- кислотное разложение трет-гидропероксида циклогексилбензола в фенол и циклогексанон по схеме:



УДК 547.562

Первой стадией разрабатываемого процесса совместного синтеза фенола и циклогексанона является получение циклогексилбензола. Известные методы синтеза ЦГБ – алкилирование бензола циклогексаноном или циклогексеном, а также дегидрирование бифенила – оказались неприемлемыми для организации крупнотоннажного производства фенола [6, 7]. Альтернативой этим методам получения ЦГБ является процесс гидродимеризации бензола [8–10]. Информация о закономерностях этого процесса в научно-технической литературе практически



Процесс получения ЦГБ гидродимеризацией бензола отличается высокой эффективностью и может быть оформлен по технологии, которая существует в производстве циклогексана

полностью отсутствовала. В этой связи нами был проведен комплекс исследований этой реакции, который подтверждает эффективность и практическую значимость этого метода получения ЦГБ.

Результаты проведенных исследований позволили рекомендовать для проведения процесса мелкодисперсный катализатор, содержащий 3% Ni, 20% WO3 на алюмосиликатном носителе, в качестве которого был использован промышленный катализатор каталитического крекинга марки «цеокар-2», содержащий 12–14% алюмосиликата в форме «НУ» и 2,5% окислов редкоземельных элементов [11]. Оптимальные температурные режимы приготовления катализатора: сушки (100–120 °С), прокаливания (560–590 °С), восстановления водородом (200 °С) и регенерации были установлены экспериментально с использованием метода ДТА и ДТГ, рентгеноструктурного анализа, метода ртутной порометрии. Разработанный мелкодисперсный Ni-WO3 алюмосиликатный катализатор позволил осуществлять процесс гидродимеризации бензола в статических условиях с конверсией последнего до 50 мол. % при селективности образования ЦГБ 60–65 мол. % [12–13].

Наряду с этим был проработан вариант осуществления процесса гидродимеризации бензола на формованном катализаторе в реакторе барботажного типа. В результате изучения оптимальных условий проведения процесса методом математического планирования эксперимента были получены уравнения регрессии для конверсии бензола и селективности образования ЦГБ, которые могут быть использованы для управления и корректировки параметров процесса. В выбранных условиях: температура 175–195 °С, давление H2 36 атм, скорость подачи водорода 24–44 нл/час, время реакции 2,0–2,5 часа, выход ЦГБ на прореагировавший бензол составил 70–75 мол. % при конверсии бензола 30–35 мол. % [14].

В качестве побочных продуктов при этом образуются циклогексан и дициклогексилбензола (ДЦГБ), выход каждого из которых в расчете на превращенный бензол составил около 10–15 мол. %. Было установлено, что смесь бензола с циклогексаном может быть легко выделена из реакционной смеси и подвергнута дегидрированию (катализатор ДВ-3М6, температура 540–560 °С, объемная скорость 0,5–0,65 час⁻¹). В этих условиях выход бензола близок к количественному при полной конверсии циклогексана.

Образующиеся при этом бензол и водород могут быть возвращены на стадию гидродимеризации. Нами установлено также, что в аналогичных условиях ЦГБ количественно превращается в дифенил, причем последний можно получать и дегидрированием продуктов гидродимеризации бензола без их предварительного разделения. Эти исследования послужили основой для разработки принципиально нового каталитического метода получения дифенила из бензола. Реакцией деалкилирования с бензолом в присутствии AlCl3 ДЦГБ полностью превращается в ЦГБ [15–16]. Таким образом, процесс получения ЦГБ гидродимеризацией бензола отличается высокой эффективностью и может быть оформлен по технологии, которая существует в производстве циклогексана.

Изучение закономерностей жидкофазного окисления циклогексилбензола было направлено на выбор условий, обеспечивающих высокую скорость окисления ЦГБ до гидропероксида и селективность его образования.

При изучении инициированного окисления циклопентилбензола было выяснено влияние природы и концентрации инициатора, температуры и продолжительности реакции на конверсию углеводородов и селективность образования гидропероксида, изучена кинетика накопления продуктов реакции при различных температурах. В качестве инициатора рекомендовано использовать гидропероксиды этих углеводородов.

Исследовано влияние вторичных продуктов окисления ЦГБ (*n*-амилфенилкетона, 2-ФЦлогексанола, 1-фенилциклогексанола) на скорость и селективность реакции. Показано, что кетоны увеличивают скорость реакции, все перечисленные соединения снижают ее селективность. Дано объяснение влиянию вторичных продуктов на процесс окисления ЦГБ. В оптимальных условиях (температура 125 °С, концентрация инициатора 0,049 моль/л (1,0 вес. %) конверсия ЦГБ 11–12 % достигается за 4 часа при селективности реакции 94–96 мол. % [17–22]. Окисление циклогексилбензола кислородом воздуха под давлением позволило осуществлять данную реакцию в среде растворителей. Проведенными исследованиями показано, что использование в качестве растворителя ацетонитрила (АЦН) в количестве 5,5 моль/л (25 вес. %) обеспечивает увеличение скорости окисления ЦГБ в 1,4–1,5 раза при селективности образования гидропероксида 93–95 мол. % и конверсии углеводорода 12–14 %. Последняя достигается в течение 2,5 часа при температуре 125 °С и концентрации инициатора 0,047 моль/л. Увеличение скорости окисления в среде АЦН объяснено образованием более прочного комплекса гидропероксида ЦГБ с этим растворителем ($\Delta H = 11,7$ кДж/моль) по сравнению с ЦГБ. В оптимальных условиях были проведены укрупненные опыты по окислению ЦГБ, которые подтвердили полученные при исследовании результаты.

Интенсифицировать процесс образования ГПЦГБ удалось путем его окисления с использованием различных каталитических систем в присутствии инициатора и без него при температурах 110–130 °С. В результате этого установлено, что резинат марганца в сочетании с соединениями металлов постоянной валентности (стеарат и гидроокись натрия) позволяют увеличить скорость реакции в 1,2–1,4 раза, глубину окисления с 11 до 16 % по сравнению с некатализированным процессом при сохранении высокой селективности окисления.

При окислении ЦГБ в присутствии *N*-гидроксифталимида (*N*-ГФИ) при температуре 110–130 °С удается повысить скорость его

окисления примерно в три раза при селективности образования *трет*-ГПЦГБ 88–92 % [23].

Достигнутые при окислении ЦГБ в присутствии *N*-ГФИ показатели скорости окисления и селективности образования *трет*-ГПЦГБ соответствуют аналогичным показателям кумольного процесса [24], что, безусловно, повышает целесообразность внедрения процесса совместного получения фенола и циклогексанола в производство.

Исследование реакции кислотного разложения гидропероксида циклогексилбензола, содержащегося в продуктах окисления ЦГБ в присутствии серной кислоты показали, что выход фенола не превышает 50–75 %, а циклоалканов 40–60 % на прореагировавший гидропероксид при продолжительности реакции 80–100 мин. При конверсии гидропероксидов около 90 % в реакционной массе остаются втор-гидропероксиды. Стремление увеличить продолжительность реакций, что служит причиной получения низких выходов фенола и циклоалканов [25].

Технико-экономическая оценка процесса совместного получения фенола и циклогексанола на основе бензола подтвердила его экономическую эффективность перед отдельными производствами этих веществ

Осуществление этой реакции с использованием перекиси водорода, несмотря на лучшие показатели процесса (выходы целевых продуктов возрастают на 10–15 %), связано с применением дорогостоящего реагента и значительной продолжительности реакции (более 2 часов).

С целью интенсификации процесса и выбора условий, при которых весь *трет*-гидропероксид достаточно быстро и количественно превращался бы в целевые продукты, было исследовано кислотное разложение *трет*-ГПЦГБ, в результате чего был предложен растворитель – ацетонитрил, позволяющий в 4–5 раз увеличить скорость реакции по сравнению с осуществлением ее в присутствии

ЦГБ и других растворителей. При этом *трет*-ГПЦГБ количественно превращается в фенол, а выход циклогексанола составляет 80–82 мол. % при полной конверсии ГП.

Снижение выхода циклогексанола по сравнению с фенолом объяснено протеканием реакции кротеновой конденсации циклогексанола с образованием циклогексенилциклогексанола и более высокомолекулярных соединений. Значительное увеличение скорости реакции наблюдается и в двухкомпонентном растворителе ЦГБ – АЦН при весовом соотношении 3:1, что позволило рекомендовать ацетонитрил для разложения продуктов окисления циклогексилбензола [26].

Результаты исследований по кислотному разложению *трет*-ГПЦГБ подтвердили необходимость и целесообразность осуществления процесса кислотного разложения продуктов окисления ЦГБ в среде АЦН и позволили рекомендовать условия ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3\text{--}4\cdot 10^{-3}$ моль/л, $C(\text{ГП}) = 0,4\text{--}0,8$ моль/л, весовое соотношение ЦГБ к АЦН 1:1), в которых выход фенола составил 87–95, а циклогексанола 75–78 мол. % при полной

конверсии *трет*-гидропероксида и времени реакции 10–20 мин. С учетом того, что применение ацетонитрила на стадии окисления ЦГБ до гидропероксида и его кислотного разложения способствует повышению скорости и селективности этих реакций, введение этого растворителя в процесс можно считать обоснованным.

В связи с разработкой технологической схемы процесса и последующей его технико-экономической оценкой были изучены вопросы выделения фенола и циклогексанола из реакционной смеси методом ректификации. Для обоснования данного технического решения были проведены исследования

ТАБЛИЦА 1. Основные показатели процесса совместного получения фенола и циклогексанола на основе бензола

Стадия процесса	Температура, °С	Давление, атм	Время, час	Катализатор	Конверсия, %	Выход, %	
Гидродимеризация бензола	175–195	Водород 35–40	2,0–2,5	Ni/W на Al/Si	30,0–35,0	ЦГБ	ЦГ
						75,0	20,0
Окисление циклогексилбензола до гидропероксида	120–130	Кислород 1,0	3,0	<i>N</i> -ГФИ	30,0–35,0	<i>трет</i> -ГПЦГБ 85,0–90,0	
Кислотное разложение гидропероксида циклогексилбензола	30–50	1,0	0,5	H ₂ SO ₄	100,0	фенол	ЦГОН
						99,5	75,0

по изучению равновесия жидкость – пар и жидкость – жидкость в системах, образованных компонентами, содержащимися в реакционной смеси [27].

Установлено, что бинарные системы циклогексанон – ЦГБ и фенол – ЦГБ являются азеотропными. Система циклогексанон-фенол образует азеотроп с максимумом температуры кипения, равным 112,4 °С при давлении 60 мм рт. ст. и содержит 74,9 мол. % фенола. Диаграмма фазового равновесия жидкость-пар и ход изотермо-изобар в системе циклогексанон – фенол – ЦГБ указывают на отсутствие в ней тройного азеотропа. При ректификации данной системы в чистом виде могут быть выделены полностью ЦГБ и циклогексанон, избыточный по отношению к его содержанию в азеотропе циклогексанон – фенол, для разделения которого предложен метод азеотропной ректификации с использованием воды в качестве разделяющего агента.

Основные количественные показатели процесса представлены в таблице.

Выполненная на основе результатов проведенных исследований технико-экономическая оценка процесса совместного получения фенола и циклогексанола на основе бензола подтвердила его экономическую эффективность перед отдельными производствами этих веществ.

Установлено, что удельные капиталовложения в расчете на 1 т фенола в 1 т циклогексанола (при мощности производства 120 тыс. т в год) с учетом сопряженных затрат на сырье и энергопроизводства на 24 % ниже, чем на получение эквивалентного количества продукции при отдельных методах производства. ●

Литература

- Харлампович Г.Д., Чуркин Ю.В. Фенолы // *М., Химия*, 1974, 376 с.
- Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза // *М., Химия*, 1988, 592 с.
- Фурман М.С., Гольдман А.М. Производство циклогексанола и адипиновой кислоты окислением циклогексана // *М.: Химия*, 1967, 240 с.
- 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.
- Динциес А.И. Основы технологии нефтехимического синтеза. // *М.: Гостоптехиздат*, 1960. С. 508–509.
- Залыгин Л.Л., Кошель Г.Н., Фарберов М.И. Синтез фенилциклогексана алкилированием бензола циклогексанолом. *Сб. научн. трудов ЯТИ «Химия и химическая технология»*, 1972, Т. 22, № 2, С. 62–64.
- Цукерваник И.П., Сидорова Н.Г. Циклоалкилирование ароматических соединений. *Журнал органической химии*, 1951, Т. 28, № 1, С. 255–260.
- Кошель Г.Н., Фарберов М.И., Макаров М.М., Глазырина И.И., Бычков Б.Н. Одностадийный метод гидродимеризации бензола в фенилциклогексан и некоторые промышленные синтезы на этой основе. *ДАН СССР*, 1977, Т. 237, № 1, С. 164–167.
- Slaugh L.H., Leonard J.A. Hydrodimerisation of benzene to phenylcyclohexane over supported transition metal catalysis. *J. Catalysis*, 1969, V.13, N 4, P. 385–396.
- Louvar J.J., Franco A. Hydroalkylation of aromatic compounds. *J. Catalysis*, 1970 V. 16, № 1, P. 62–68.
- Кошель Г.Н., Макаров М.М., Фарберов М.И., Бычков Б.Н., Фрехтман А.А., Розов С.Ю. Синтез фенилциклогексана гидродимеризацией бензола. *Межвузовский сб. науч. трудов «Основной органический синтез и нефтехимия»*. Ярославль, 1975, вып. 3. С. 8–13.
- Кошель Г.Н., Фарберов М.И., Макаров М.М., Бычков Б.Н. Синтез фенилциклогексана гидродимеризацией бензола. *Нефтехимия*, 1977, Т. 17, № 5, С. 705–709.
- Фарберов М.И., Кошель Г.Н., Макаров М.М., Яншевский В.А. Способ получения фенилциклогексана. Авторское свидетельство СССР 443588 Бюл. № 45, 1977.
- Фарберов М.И., Кошель Г.Н., Антонова Т.Н., Залыгин Л.Л., Соловьева Г.Д. Совместное получения фенола и циклогексанола окислением циклогексана. *Нефтехимия*. 1969, Т. 9, № 1, С. 107–115.
- Кошель Г.Н., Фарберов М.И., Черный И.Р., Большаков Д.А., Макаров М.М. Способ получения дифенила и бензола. Авторское свидетельство СССР 416338 Бюл. № 45, 1977.
- Фарберов М.И., Кошель Г.Н., Залыгин Л.Л., Большаков Д.А., Черный И.Р., Макаров М.М. Способ получения дифенила. Авторское свидетельство СССР 416339 Бюл. № 45, 1977.
- Фурман М.С., Гольдман А.М. Производство циклогексанола и адипиновой кислоты окислением циклогексана. *М.: Химия*, 1967. 240 с.
- Кошель Г.Н., Глазырина И.И., Яблонский О.П., Ласточкина Н.С. Исследование водородной связи гидроперекиси фенилциклогексана методом ЯМР. *Известия ВУЗов «Химия и химическая технология»*, 1975, Т. 18, № 3, С. 427–429.
- Кошель Г.Н., Глазырина И.И., Фарберов М.И., Изучение некоторых кинетических закономерностей жидкофазного окисления фенилциклогексана. *Известия ВУЗов «Химия и химическая технология»*, 1975, Т. 18, № 3. С. 414–417.
- Фарберов М.И., Матюков Г.Д., Кошель Г.Н., Яншевский В.А., Бычков Б.Н., Ефимова Н.С., Глазырина И.И. Способ получения фенола и циклогексанола. Авторское свидетельство СССР 442181 Бюл. № 33, 1974.
- Кошель Г.Н., Глазырина И.И., Фарберов М.И., Бычков Б.Н., Кириченко Г.Н. Способ получения фенола и циклогексанола. Авторское свидетельство СССР 586157 Бюл. № 48, 1977.
- Изучение состава продуктов жидкофазного окисления циклогексилбензола / Кошель Г.Н., Курганова Е.А., Фролов А.С., Коршунова А.И. // *От химии к технологии шаг за шагом*, 2020, Т. 1, Вып. 1. С. 70–77.
- Кошель Г.Н., Смирнова Е.В., Курганова Е.А., Лебедева Н.В., Плахтинский В.В., Екимова И.Д., Романова М.В. Интенсификация реакции окисления циклогексилбензола в процессе совместного получения фенола и циклогексанола. *Химическая промышленность сегодня*, 2010, № 4, С. 40–44.
- Кружалов Б.Д., Голованенко Б.И. Совместное получение фенола и ацетона. М: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1963, 200 с.
- Мантюков Г.Д., Бычков Б.Н., Кошель Г.Н., Фарберов М.И., Ефимова Н.С. Кинетические закономерности кислотного разложения гидроперекиси фенилциклогексана. *Известия ВУЗов «Химия и химическая технология»*, 1975, Т. 18, № 4, С. 542–545.
- Кошель Г.Н., Глазырина И.И., Бычков Б.Н., Фарберов М.И. Кислотное разложение гидроперекиси фенилциклогексана. *Журнал прикладной химии*, 1978, том 51, № 10, С. 2325–2329.
- Караваева А.П., Кошель Г.Н., Осетров В.А. Фазовые равновесия жидкость-пар в тройной системе циклогексанон-фенол-фенилциклогексан. *Журнал прикладной химии*, 1975, Т. 48, № 12, С. 2659–2663.

KEYWORDS: *benzene, phenol, cyclohexanone, polymers, reduction of capital costs.*

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВВЕДЕНИЯ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ И ЦЕОЛИТА

на каталитические свойства цеолитсодержащих катализаторов крекинга

Мельников Вячеслав Борисович
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
д.х.н., профессор

Макарова Наталья Петровна
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
доцент, к.х.н.

В ДАННОЙ СТАТЬЕ РАССМОТРЕНО ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СПОСОБА ВВЕДЕНИЯ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ И ЦЕОЛИТА РЗЭУ В РЕНТГЕНОАМОРФНУЮ АЛЮМОСИЛИКАТНУЮ ОСНОВУ НА КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ. ПОКАЗАНО, ЧТО СПОСОБ ВЗАИМНОГО ИЛИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РАЗДЕЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ ЦЕОЛИТА РЗЭУ И $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ В АЛЮМОСИЛИКАТНЫЙ ГИДРОГЕЛЬ ИЛИ ГИДРОЗОЛЬ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ КАТАЛИЗАТОРОВ ПОЗВОЛЯЕТ РЕГУЛИРОВАТЬ ИХ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПОЛУЧИТЬ КАТАЛИЗАТОР С ВЫСОКОЙ АКТИВНОСТЬЮ ПО ВЫХОДУ БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИМЕЮТ ВАЖНОЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

THIS ARTICLE CONSIDERS THE INFLUENCE OF THE PHASE COMPOSITION AND METHOD OF INTRODUCING $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ AND REEY ZEOLITE INTO AN X-RAY AMORPHOUS ALUMINOSILICATE BASE ON THE CATALYTIC PROPERTIES OF ZEOLITE-CONTAINING ALUMINOSILICATE CATALYSTS. IT HAS BEEN SHOWN THAT THE METHOD OF MUTUAL OR SEQUENTIAL SEPARATE INTRODUCTION OF REEY AND $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ZEOLITE INTO ALUMINOSILICATE HYDROGEL OR HYDROSOL DURING THE PREPARATION OF CATALYSTS MAKES IT POSSIBLE TO CONTROL THEIR CATALYTIC PROPERTIES AND OBTAIN A CATALYST WITH HIGH ACTIVITY IN TERMS OF THE GASOLINE FRACTION YIELD. THE RESULTS OBTAINED ARE OF GREAT PRACTICAL IMPORTANCE IN THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PREPARATION OF CATALYTIC CRACKING CATALYSTS

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каталитический крекинг, катализатор, цеолит, алюмосиликатный гидрогель, переработка нефти.

Каталитический крекинг является наиболее крупнотоннажным среди каталитических процессов переработки нефти. В процессах каталитического крекинга различного технологического и аппаратурного оформления применяют алюмосиликатные цеолитсодержащие катализаторы и получают фракции высокооктанового бензина и дизельного топлива. Эффективность работы установок каталитического крекинга во многом определяется использованием более активных и селективных цеолитсодержащих катализаторов. Современные цеолитсодержащие катализаторы крекинга представляют собой гетерогенные пористые системы, состоящие из матрицы (основы), в которой равномерно распределен цеолитный компонент. Матрица может состоять из связующего и наполнителя [1–5].

Методика проведения исследований

При синтезе катализаторов использовали цеолит Y в ультрастабильной редкоземельной форме (цеолит РЗЭУ), широко применяемый в настоящее время при производстве катализаторов крекинга.

Цеолит РЗЭУ имел следующую характеристику: молярное отношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 4,8; содержание Na_2O , % масс. 0,4; содержание оксидов РЗЭ, % масс. 18,2; статическая влагоемкость при $P/P_s = 0,1$, $\text{см}^3/\text{г}$ 0,28; статическая емкость по C_6H_6 при $P/P_s = 0,1$, $\text{см}^3/\text{г}$ 0,27.

Наполнитель $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ имел следующий состав, % масс.: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – 93–95; SiO_2 – 0,15; Fe_2O_3 – 0,10; сумма $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ в пересчете на Na_2O – 0,60.

Перед испытанием микросферические катализаторы прокаливали при температуре 600 °С в течение 6 часов в паровоздушной атмосфере (40 % об. водяного пара и 60 % об. воздуха) и затем стабилизировали температуре 750 °С в течение 6 часов в атмосфере 100%-ного водяного пара.

Для оценки каталитических свойств катализаторов использовали керосино-газойлевую фракцию следующей характеристики: плотность при 20 °С 872 $\text{кг}/\text{м}^3$, фракционный состав: н.к., 10%, 50%, 98%, к.к. выкипает соответственно при 248, 263, 294, 347 и 350 °С. Крекинг осуществляли на стандартной лабораторной установке со стационарным слоем

ФАКТЫ

РЗЭУ

широко применяемый в настоящее время при производстве катализаторов крекинга Цеолит, использованный при синтезе катализаторов

катализатора при следующих условиях: температура 500 °С, массовая скорость подачи сырья 7,0 ч⁻¹.

Состав крекинг-газа определяли хроматографически.

Групповой состав бензиновых фракций определяли методом ИК-спектроскопии в области 600–1800 см^{-1} , в слое 0,035 мм, в кювете KBr. Интерпретацию полос поглощения в инфракрасной области 600–1800 см^{-1} осуществляли с использованием литературных данных [6, 7].

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены фазовые составы синтезированных микросферических катализаторов и способы введения РЗЭУ и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в алюмосиликатную основу.

Предварительно было найдено, что наилучшими каталитическими свойствами обладает катализатор, содержащий 17,5 % масс. цеолита РЗЭУ.

Для исследования каталитических свойств данных катализаторов были синтезированы следующие катализаторы (табл. 1):

- катализаторы № 1, 2 были приготовлены введением цеолита РЗЭУ в алюмосиликатный гидрогель в момент его образования, а $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – в алюмосиликатный гидрогель (катализатор № 1) или в алюмосиликатный гидрогель (катализатор № 2);
- катализаторы № 3, 4 были приготовлены введением цеолита РЗЭУ в алюмосиликатный

ТАБЛИЦА 1. Фазовый состав микросферических алюмосиликатных катализаторов с цеолитом РЗЭУ и α -Al₂O₃, введенными различными способами

Номер катализатора	Содержание компонентов катализатора, % масс.					
	Компоненты, введенные в алюмосиликатный гидрозоль в момент его образования		Компоненты, введенные в алюмосиликатный гидрогель		Компоненты, механически смешанные с алюмосиликатом	
	Цеолит РЗЭУ	α -Al ₂ O ₃	Цеолит РЗЭУ	α -Al ₂ O ₃	Цеолит РЗЭУ	α -Al ₂ O ₃
1	17,5	10,0	–	–	–	–
2	17,5	–	–	10,0	–	–
3	–	10,0	17,5	–	–	–
4	–	–	17,5	10,0	–	–
5	–	–	–	–	17,5	10,0

ТАБЛИЦА 2. Каталитические свойства катализаторов

Номер катализатора	Выходы продуктов крекинга, % масс. на сырье			Конверсия сырья, %
	Бензиновая фракция (C5–200°С)	Газ	Кокс	
1	57,7	19,5	0,9	78,1
2	59,6	20,3	0,8	80,7
3	59,8	21,5	1,0	82,3
4	57,8	20,1	1,0	78,9
5	50,4	16,7	0,9	68,0

ТАБЛИЦА 3. Групповой состав бензиновой фракции крекинга

Номер катализатора	Содержание, %			
	Ароматические	Парафиновые	Нафтеновые	Непредельные
1	33,3	38,8	18,6	9,3
2	32,8	38,8	18,7	9,7
3	33,6	39,3	17,8	9,3
4	31,8	39,9	18,2	10,1
5	31,0	36,6	21,4	11,0

гидрогель, а α -Al₂O₃ в алюмосиликатный гидрозоль (катализатор № 3) или в алюмосиликатный гидрогель (катализатор № 4);

- катализатор 5 был приготовлен механическим смешиванием цеолита РЗЭУ и α -Al₂O₃ с высушенным гидрогелем алюмосиликата.

В табл. 2–4 представлены результаты исследований каталитических свойств приготовленных микросферических катализаторов введением РЗЭУ и α -Al₂O₃ в алюмосиликатную основу различными способами.

Рассматривая каталитические свойства катализаторов № 1 и № 2, можно отметить, что введение α -Al₂O₃ в алюмосиликатный цеолитсодержащий гидрогель (катализатор № 2) по сравнению с введением в алюмосиликатный

цеолитсодержащий гидрозоль (катализатор № 1) приводит к более высокой активности катализатора: выход бензиновой фракции соответственно составляет 59,6 и 57,7 % масс. на сырье, конверсия сырья – 80,7 и 78,1 % масс. (табл. 2).

Также можно отметить, что введение α -Al₂O₃ в цеолитсодержащий алюмосиликатный гидрогель по сравнению с совместным введением с цеолитом РЗЭУ в алюмосиликатный гидрозоль на полученных катализаторах при крекинге групповой состав бензиновой фракции крекинга изменяется незначительно и содержание углеводородов составляет: ароматических углеводородов – 33,3–32,8 %, нафтеновых углеводородов – 18,6–18,7 %, непредельных углеводородов – 9,3–9,7 %, парафиновых углеводородов – 38,8 % (табл. 3).

Введение α -Al₂O₃ в цеолитсодержащий алюмосиликатный гидрогель или совместно с цеолитом РЗЭУ в алюмосиликатный гидрозоль приводит к незначительному изменению состава газа, полученного при крекинге на данных катализаторах (табл. 4).

Сравнивая каталитические свойства катализаторов, полученных введением α -Al₂O₃ и цеолита РЗЭУ в алюмосиликатный гидрогель (катализатор № 4) и введением α -Al₂O₃ в гидрозоль алюмосиликата и цеолита РЗЭУ в полученный гидрогель (катализатор № 3), можно отметить, что более активным оказывается катализатор № 3: выход бензиновой фракции и конверсия сырья на катализаторе № 3 составляют 59,8 % масс. на сырье и 82,3 % масс. соответственно, а на катализаторе № 4 соответственно 57,8 % масс. и 78,9 % масс. (табл. 2).

Выход крекинг-газа на катализаторе № 3 незначительно выше выхода крекинг-газа на катализаторе № 4: 21,5 против 20,1 % масс. на сырье, соответственно (табл. 2). Выход кокса на данных катализаторах одинаков – 1,0 % масс. на сырье (табл. 2).

Сравнивая составы бензиновых фракций, полученных при крекинге на катализаторах, приготовленных введением α -Al₂O₃ в гидрозоль алюмосиликата и цеолита РЗЭУ в полученный гидрогель

ТАБЛИЦА 4. Состав газа крекинга

Номер катализатора	Компонентный состав, % масс.								
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₆	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	ΣC ₄ H ₈
1	0,16	2,83	3,45	2,10	23,86	11,71	29,02	7,51	19,36
2	0,16	2,76	2,72	2,07	21,99	12,52	30,58	7,74	19,46
3	0,13	2,65	3,69	2,89	20,89	13,91	31,34	8,85	15,65
4	0,12	3,41	3,20	2,53	21,38	12,55	30,58	8,36	17,87
5	0,21	3,87	3,22	3,02	23,72	10,03	26,44	6,75	22,74

(катализатор № 3) и введением α -Al₂O₃ и цеолита РЗЭУ в алюмосиликатный гидрогель (катализатор № 4), можно отметить, что при использовании катализатора № 3 в составе бензиновой фракции больше ароматических углеводородов и меньше непредельных (табл. 3).

Рассматривая составы газов, полученных при крекинге на катализаторах, приготовленных введением α -Al₂O₃ в гидрозоль алюмосиликата и цеолита РЗЭУ в полученный гидрогель (катализатор № 3) и введением α -Al₂O₃ и цеолита РЗЭУ в алюмосиликатный гидрогель (катализатор № 4) можно отметить, что при использовании катализатора № 3 в составе газа содержится больше пропан-бутановой и этан-этиленовой фракций, а при использовании катализатора № 4 в составе газа содержится больше пропилена и бутиленов.

Наибольшей активностью по выходу бензиновой фракции обладают катализаторы № 2 и № 3, введением цеолита РЗЭУ в алюмосиликатный гидрозоль в момент его образования и α -Al₂O₃ в алюмосиликатный цеолитсодержащий гидрогель (катализатор № 2) и введением α -Al₂O₃ в алюмосиликатный гидрозоль, а цеолит РЗЭУ – в полученный алюмосиликатный гидрогель с α -Al₂O₃ (катализатор № 3): выходы бензиновой фракции составляют 59,6 и 59,8 % масс. соответственно.

Малоэффективным способом получения катализатора крекинга является способ, заключающийся в механическом смешивании цеолита РЗЭУ и α -Al₂O₃ с высушенным гидрогелем алюмосиликата. Такой катализатор, обладает наименьшей каталитической активностью: выход бензиновой фракции составляет 50,4 % масс. на сырье, конверсия сырья – 68,0 % масс., выход газа – 16,7 % масс., выход кокса отличается незначительно и составляет 0,9 % масс. на сырье.

Таким образом, полученные экспериментальные данные указывают на то, что способ взаимного или последовательного раздельного введения цеолита РЗЭУ и α -Al₂O₃ в алюмосиликатный гидрогель или гидрозоль при синтезе катализаторов позволяет регулировать их каталитические свойства и получить катализатор с высокой активностью по выходу бензиновой фракции, что имеет важное значение при разработке технологий приготовления катализаторов каталитического крекинга.

Сравнивая результаты проведенных исследований каталитического крекинга с использованием катализаторов, приготовленных введением цеолита РЗЭУ и α -Al₂O₃ в алюмосиликатный гидрогель или гидрозоль, и механической смеси цеолита РЗЭУ

ФАКТЫ

17,5

% масс.

цеолита РЗЭУ содержит катализатор, обладающий наилучшими каталитическими свойствами

и α -Al₂O₃ с высушенным гидрогелем алюмосиликата, можно отметить, что в зависимости от способа приготовления алюмосиликатного цеолитсодержащего катализатора протекают процессы физико-химические взаимодействия фаз и это приводит к различному формированию количества активных центров и их доступности для реагирующих молекул. Известно, что цеолитсодержащие системы с цеолитом типа Y проявляют своеобразные каталитические и физико-химические свойства, не подчиняющиеся закону аддитивности, который обусловлен фазовыми, дисперсными и структурными особенностями системы в сравнении с ее составляющими [8]. ●

Литература

- Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах. Под ред. С.Н. Хаджиева / С.Н. Хаджиев, Ю.П. Суворов, В.Р. Зиновьев, Гайрбекова С.М., Светозарова О.И., Матаева Б.В. – Химия М, 1982. – 280 с.
- Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти. Часть вторая. Деструктивные процессы. Том 2. М.: Колос, 2007. – 334 с.
- Melnikov V.B., Levinbuk M.I., Pavlov M.L., Patrikeev V.A. The improvement of catalytic cracking process through the utilization of new catalytic materials. ACS 5-th Int. Symp on the Advances in Fluid Catalytic Cracking. 22–26 august 1999, New Orleans, USA.
- Levinbuk M.I., Melnikov V.B., Numan S., Pavlov M.L., Patrikeev V.A. The improvement of catalytic cracking process through the utilization of new catalytic materials. Studies in Surface Science and Catalysis. 2001. Т. 134. С. 107–110.
- Росс Дж., Руа Р., Готье Т., Андерсон Л. Р. Тонкая настройка процесса ККФ в соответствии с изменением топливного рынка. – Нефтегазовые технологии, 2006, № 1, с. 96–100.
- Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. – М.: Иностранная литература, 1963. – 590 с.
- Современные методы исследования нефтей / Под редакцией Богомолова. – Л.: Недра, 1984. – 430 с.
- Мельников В.Б., Нефедов Б.К., Чукин Г.Д. Взаимодействие кристаллов цеолита с окружающей основой в цеолитсодержащих системах. – Кинетика и катализ, 1985, № 3 (письмо).

KEYWORDS: catalytic cracking, catalyst, zeolite, aluminosilicate hydrogel, oil refining.

ФАКТЫ

600

°C – температура, при которой в течение 6 часов в паровоздушной атмосфере прокачивали микросферические катализаторы перед испытанием

РЕАКТИВНОЕ ТОПЛИВО ТС-1 И РТ

Влияние технологий производства на эксплуатационные свойства

Яновский Леонид Самойлович

Институт проблем химической физики РАН,
заведующий отделом горения и взрыва,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет),
профессор кафедры «Ракетные двигатели»,
член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор

Варламова Наталья Ивановна

Институт проблем химической физики РАН,
отдел горения и взрыва, инженер

Молоканов Александр Александрович

Институт проблем химической физики РАН,
отдел горения и взрыва, инженер, НИУ «МЭИ»,
старший преподаватель кафедры ИТНО, к.т.н.

Тарасов Георгий Александрович

Институт проблем химической физики РАН,
отдел горения и взрыва, инженер, НИУ «МЭИ»,
кафедра, ИТНО, аспирант



ПРОВЕДЕНО СРАВНЕНИЕ ПО КЛЮЧЕВЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА ТОПЛИВ
МАРКИ ТС-1, ПОЛУЧЕННЫХ С УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
(НИЖНЕВАРТОВСКОЕ НПО), С УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ (ТАНЕКО),
С УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА (ТАНЕКО) И МАРКИ РТ С УСТАНОВКИ
ГИДРООЧИСТКИ (ОРСКНЕФТЕОРГСИНТЕЗ), С УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА
(ОРСКНЕФТЕОРГСИНТЕЗ), С УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА (ТАНЕКО).
КЛЮЧЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА БЫЛИ ВЫБРАНЫ ИЗ ЧИСЛА
ОБЩЕПРИНЯТЫХ И ВХОДЯЩИХ В ТАКИЕ НОРМАТИВЫ, КАК ГОСТ 10227-86,
КМКО ТОПЛИВ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ОСТ 1
00397-91. ПОКАЗАНО ДЛЯ ОБЕИХ МАРОК ТОПЛИВ, ЧТО РЕАКТИВНОЕ ТОПЛИВО,
ПОЛУЧАЕМОЕ С УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА, ОБЛАДАЕТ В ПОДАВЛЯЮЩЕМ
БОЛЬШИНСТВЕ ЛУЧШИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ В СРАВНЕНИИ С ТОПЛИВАМИ,
ПОЛУЧАЕМЫМИ НА УСТАНОВКЕ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ И ГИДРООЧИСТКИ

A COMPARISON WAS MADE ON KEY QUALITY INDICATORS OF TC-1 FUELS
OBTAINED FROM THE PRIMARY DISTILLATION UNIT (NIZHNEVARTOVSK
NPO), FROM THE HYDROTREATING UNIT (TANECO), FROM THE
HYDROCRACKING UNIT (TANECO) AND RT BRAND FROM THE HYDROTREATING
UNIT (ORSKNEFTEORGSIINTEZ), FROM THE HYDROCRACKING UNIT
(ORSKNEFTEORGSIINTEZ), FROM THE HYDROCRACKING UNIT (TANECO). KEY
QUALITY INDICATORS WERE SELECTED FROM AMONG THE GENERALLY ACCEPTED
AND INCLUDED IN SUCH STANDARDS AS GOST 10227-86, KMKO FUELS FOR
AVIATION GAS TURBINE ENGINES, OST 1 00397-91. IT IS SHOWN FOR BOTH
BRANDS OF FUELS THAT JET FUEL OBTAINED FROM THE HYDROCRACKING PLANT
HAS OVERWHELMINGLY BETTER PERFORMANCE IN COMPARISON WITH FUELS
OBTAINED AT THE PRIMARY DISTILLATION AND HYDROTREATING PLANT

Ключевые слова: реактивное топливо, газотурбинный двигатель, РТ, ТС-1,
гидрокрекинг.

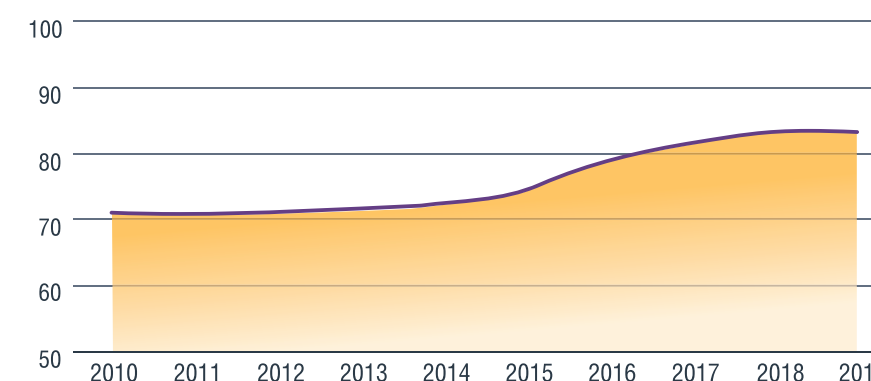
На сегодняшний день, несмотря на
развитие технологий производства
синтетических топлив [4, 8],
которые можно производить из
природного газа, угля и биомассы,
основным исходным продуктом для
производства реактивного топлива
остается нефть.

Нефтеперерабатывающая
промышленность в России за
последние 10 лет сделала большой
шаг в повышении качества
переработки нефтяного сырья
(рисунок 1). Так, по данным
официального сайта Министерства
энергетики РФ [7], глубина

переработки за период с 2010 по
2019 годы возросла в среднем по
всем нефтеперерабатывающим
заводам на 12% и на 2019 год
составляла 82,1%.

Это результат повсеместного
введения высокотехнологичных
процессов вторичной переработки
[5], из которых можно выделить
углубляющие (каталитический
и термический крекинг,
гидрокрекинг, висбрекинг)
и облагораживающие
(каталитический риформинг,
изомеризация и гидроочистка)
процессы.

РИС. 1. Изменение глубины переработки нефти на нефтеперерабатывающих
заводах по годам

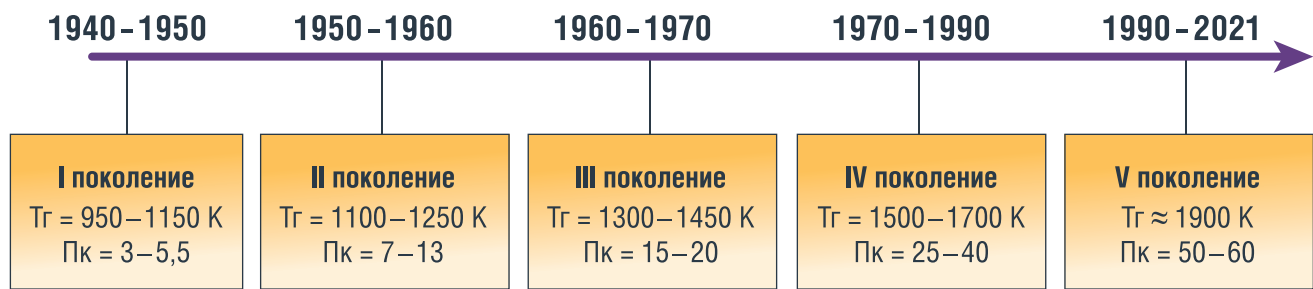


В технологической цепочке изготовления реактивных топлив наиболее широкое распространение имеют процессы гидроочистки и гидрокрекинга, которые используются для получения специального топлива типа Т-6 и для увеличения выработки гражданских топлив массового применения типа ТС-1 и РТ при вовлечении в процесс более тяжелых остаточных фракций нефти.

Гидроочистка керосина протекает при давлении 1,5–4 МПа и температуре 300–400 °С. Содержание водорода в циркулирующем газе около 75 % при кратности циркуляции 180–250 м³/м³. В состав катализаторов могут входить металлы VIII группы, оксиды и сульфиды VI группы, термостойкие носители и различные модификаторы. Цель процесса гидрирования – уменьшение содержания серных и азотистых соединений во вторичном продукте, насыщение непредельных углеводородов, уменьшение смол и кислородсодержащих соединений. Это благоприятно сказывается на качестве конечного продукта.

Гидрокрекинг – это каталитический процесс, предназначенный для получения светлых нефтепродуктов (бензин, керосин и т.д.) в котором исходным сырьем являются более тяжелые остаточные фракции нефти. Он осуществляется под давлением 5–10 МПа при 260–450 °С. Среди основных преимуществ гидрокрекинга перед другими процессами вторичной углубляющей переработки можно выделить то, что, потребляя тяжелые продукты переработки нефти, он производит более легкие высококачественные фракции, в том числе и керосиновые. В сравнении с прямогонным топливом улучшаются термическая стабильность и характеристики сгорания.

РИС. 2. Этапы развития газотурбинных двигателей



Развитие современной авиации в направлении увеличения скорости и продолжительности полета привело к необходимости разработки новых подходов к решению задач надежности оборудования и стабильности его работы. В настоящее время в авиационных газотурбинных двигателях пятого поколения (рисунок 2) температура продуктов сгорания топлива может достигать 1900 К, что устанавливает высокие требования к используемым материалам, в том числе и топливу [5].

Повышение качества топлива, обеспечивающее надежность современных авиационных газотурбинных двигателей, способствует улучшению летно-технических и эксплуатационных характеристик летательных аппаратов. Улучшение качества получаемой керосиновой фракции на нефтеперерабатывающем заводе – это один из основных способов улучшения качества реактивного топлива. В этом направлении в мире активно ведутся прикладные и технологические исследования. В работе [2] показано, что путем введения процесса гидрокрекинга на нефтеперерабатывающем заводе можно значительно увеличить объемы выпускаемого топлива с повышением его качества. В работе [1] изучено влияние осуществления процесса гидрокрекинга тяжелых фракций нефти на качество реактивного топлива и показана его эффективность в сравнении с более ранними способами переработки нефти. В работе [3] доказана эффективность введения углубленной переработки нефти с целью повышения качества топлива. В большинстве работ по данному направлению указывается, что гидрокрекинг один из самых эффективных процессов переработки нефти, позволяющий улучшить характеристики реактивного топлива.

1. Объекты и методы исследований

С целью определения влияния технологии производства реактивного топлива на его ключевые показатели качества были проведены исследования со следующими образцами топлив:

- марка ТС-1, полученная
 - с установки первичной перегонки (Нижневартовское НПО),
 - с установки гидроочистки (Танеко),
 - с установки гидрокрекинга (Танеко);
- марка РТ, полученная
 - с установки гидроочистки (Орскнефтеоргсинтез),
 - с установки гидрокрекинга (Орскнефтеоргсинтез),
 - с установки гидрокрекинга (Танеко).

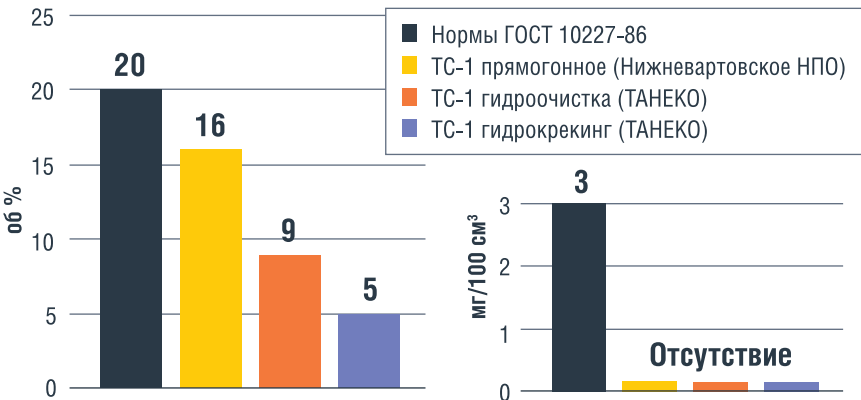
Были определены показатели качества топлив, которые входят в состав таких нормативных документов, как ГОСТ 10227-86, КМКО топлив для авиационных ГТД, ОСТ 1 00397-91.

2. Результаты исследований и их обсуждение

По результатам исследований установлено, что все рассматриваемые марки топлива удовлетворяют предъявляемым к ним нормативным требованиям. При этом обнаружено, что по большинству показателей для топлив обеих рассматриваемых марок характерно:

- отсутствие или незначительное (менее 3 %) наличие расхождений в таких показателях, как плотность при 20 °С, низшая теплота сгорания, высота некоптящего пламени, температура вспышки в закрытом тигле;
- незначительное (порядка 3–5 %) расхождение в вязкости (меньше этот показатель после гидроочистки);

РИС. 3. Содержание ароматических углеводородов, об. % в образцах топлива ТС-1



в среднее (от 3 до 10 %) расхождение в показателях противоизносных свойств (лучше у гидроочищенного). Это обусловлено тем, что при гидрокрекинге удаляются естественные серосодержащие смазывающие вещества.

Отдельное внимание было уделено анализу показателей, отражающих термическую стабильность образцов и их характеристики горения. Выявлено, что они наиболее сильно зависят от технологии производства топлива.

Одной из стратегий совершенствования авиационных газотурбинных двигателей является повышение эффективности термодинамического цикла путем увеличения температуры газов в камере сгорания. Это, как следствие, приводит к повышению теплонапряженности топливных каналов и перегреву топлива. В высокоскоростных летательных аппаратах имеет место дополнительный нагрев топлива вследствие аэродинамического нагрева в полете, что еще более усугубляет условия эксплуатации топливной системы. В связи с этим термическая стабильность топлива становится одним из важнейших ограничивающих факторов роста эффективности ГТД.

На рисунке 3 показана объемная доля ароматических углеводородов в образцах марки ТС-1. Ароматические углеводороды напрямую влияют на характеристики горения. Как видно из рисунка 3, гидрокрекинг значительно уменьшает их количество. На рисунке 4 показана концентрация фактических смол, мг/100 см³, во всех образцах она заметно ниже нормы – фактически отсутствует.

РИС. 4. Концентрация фактических смол, мг/100 см³ в образцах топлива ТС-1



На рисунке 5 показана интенсивность нагарообразования (по методу ЦИАМ) в сравнении с эталонным топливом. Как видно из этого рисунка, уменьшение доли ароматических углеводороды в топливе положительно сказывается на характеристиках сгорания.

РИС. 5. Нагарообразование при горении образцов топлива ТС-1 по методу ЦИАМ

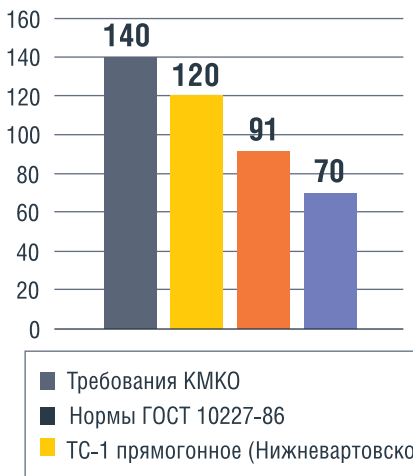
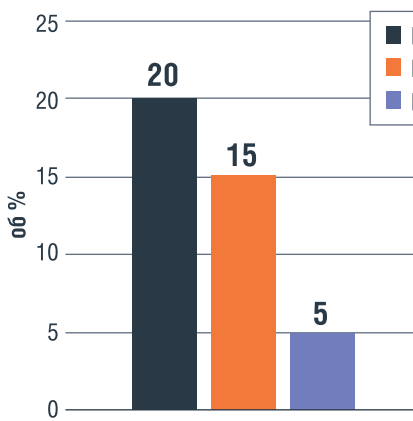


РИС. 7. Содержание ароматических углеводородов, об. % в образцах топлива РТ



Из рисунка 6 можно сделать вывод о том, что в условиях оценки ТОС по ГОСТ 10227-86 гидроочищенный и гидрокрекинг образцы имеют близкую термоокислительную стабильность.

Термоокислительная стабильность и характеристики горения образцов топлива РТ ведут себя аналогично этим показателям топлива ТС-1. Наблюдается подобное уменьшение доли ароматических углеводородов в составе топлива, полученного по технологии гидрокрекинга, по сравнению с (рисунок 6). Так же, как и в случае с топливом ТС-1, концентрация фактических смол не зависит от технологии и фактически отсутствует (рисунок 7).

Из рисунка 8 видно, что уменьшение ароматических углеводородов приводит к улучшению процесса горения топлива. Дополнительно для образцов марки РТ было проведено определение люминометрического числа.

РИС. 6. Термоокислительная стабильность образцов топлива ТС-1 по ГОСТ 11802, мг/100 см³

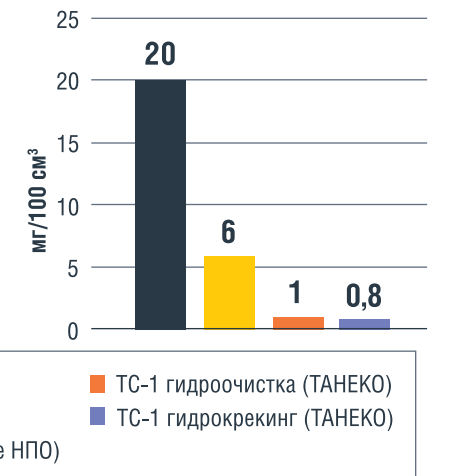


РИС. 8. Концентрация фактических смол, мг/100 см³ в образцах топлива РТ



РИС. 9. Нагарообразование при горении топлив по методу ЦИАМ в образцах топлива РТ

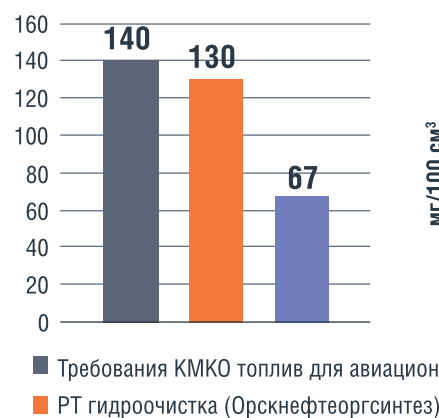
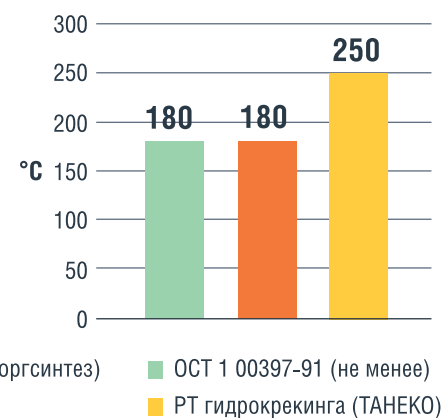


РИС. 10. Термоокислительная стабильность по ГОСТ 11802, мг/100 см³ в образцах топлива РТ



РИС. 11. Температура применения в образцах топлива РТ, °С



Результат также показал, что у топлива, полученного в процессе гидрокрекинга, этот показатель выше, чем у гидроочищенного (68 и 56 соответственно). Так же, как для топлива марки ТС 1, в условиях оценки ТОС по ГОСТ 10227-86 гидроочищенный и гидрокрекинговый образцы показали близкие результаты (рисунок 9). Дополнительные испытания для образцов марки РТ по определению максимальной температуры применения, проведенные в динамических условиях, показали (рисунок 10), что гидроочищенное и гидрокрекинговое топлива обладают не меньшей температурой эксплуатации, чем указано в ОСТ 1 00397-91 (180 °С), но в случае гидрокрекингового этот показатель достигает значения 250 °С. Это значительно расширяет возможности применения такого топлива в теплонапряженных двигателях.

Следует отметить, что в настоящее время основные показатели качества топлив устанавливаются ГОСТ 10227-86, введенным в 1987 году. Как было продемонстрировано в работе, качество продуктов нефтепереработки в России существенно повысилось, в связи с чем может быть целесообразно обновление или создание дополнительного нормативного документа, который позволил бы производителям авиатехники с газотурбинными двигателями при создании новых образцов ориентироваться на более качественное топливо при необходимости. Ярким положительным примером введения таких спецификаций являются производители бензинов и моторных

масел [9], которые фиксируют для своих продуктов повышенные показатели качества. Это позволяет улучшать целевые показатели эффективности продукции производителям автомобилей, такие как повышение экономичности двигателя, уменьшение удельной металлоемкости, улучшение экологичности [6, 11]. Это происходит за счет гарантированного качества топлив и масел, которое учитывается при проектировании и доработке моделей автомобильной техники.

Заключение

1. Использование технологий гидрокрекинга положительно сказывается на качестве реактивных топлив. Исключением являются противоизносные свойства. Остальные показатели качества либо не изменились, либо улучшились.
2. Наиболее заметное улучшение качества произошло в группе показателей, отражающей термоокислительную стабильность и характеристики горения. В перспективе это дает возможность повышения теплонапряженности и тепловой эффективности авиационных газотурбинных двигателей.
3. Показано, что существующие нормы качества реактивного топлива не отражают реальных показателей качества и, что более важно, не фиксируют их жестко. При проектировании авиатехники с газотурбинными двигателями следует опираться на улучшенные показатели качества, что позитивно скажется на развитии отрасли авиаперевозок. ●

Литература

1. Kittel, H., Kadleček, D., Šimáček, P. Factors influencing production of JET fuel by hydrocracking (2021) *Petroleum Science and Technology*.
2. Li, Y. Analysis of technologies and application for increasing jet fuel in refinery (2017) *Petroleum Processing and Petrochemicals*, 48 (6), pp. 54–60.
3. Mo, C., Zhao, G., Zhao, Y., Ren, L., Qian, J., Hu, Z. Effect of Hydrocracking Reaction Parameters on Yield and Properties of Jet Fuel Fraction (2021) *Petroleum Processing and Petrochemicals*, 52 (2), pp. 7–11.
4. Грядунов К.И., Козлов А.Н., Самойленко В.М., Ардешири Ш. Сравнительный анализ показателей качества авиационных керосинов, биотоплив и их смесей // *Научный вестник МГТУ ГА*. 2019. № 5.
5. Капустин В.М., Чернышева Е.А. Современная российская нефтепереработка: итоги и перспективы // *ЭП*. 2019. № 1.
6. Королев А.Е. Износ двигателей в процессе технологической и эксплуатационной обкатки // *Кронос: естественные и технические науки*. 2020. № 5 (33).
7. Министерство энергетики Российской Федерации [Данные с официального сайта]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1212> – Дата обращения: 20.01.2022. – ПЕРЕРАБОТКА НЕФТИ И ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА.
8. Разносчиков В.В., Яновская М.Л. Оценка эффективности применения синтетических жидких топлив на транспортных самолетах // *Транспорт на альтернативном топливе*. 2011. № 2 (20).
9. Сандан Н.Т., Саая К.С., Монгуш Э.С. Влияние горючего и смазочных материалов на эксплуатацию наземных транспортно-технологических машин // *Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки*. 2021. № 1 (74).
10. Федоров Е.П., Варламова Н.И., Яновский Л.С., Попов И.М. Перспективы развития топлив для авиатехники с газотурбинными двигателями // *Двигатель*. – 2015. – № 6 (102). – С. 8–11.
11. Яновский Л.С. Нормативные требования к отечественным и зарубежным смазочным маслам для авиационных газотурбинных двигателей / Л.С. Яновский, В.М. Езов, А.А. Молоканов // *Вестник Московского авиационного института*. – 2012. – Т. 19. – № 4. – С. 81–85.

KEYWORDS: jet fuel, gas turbine engine, RT, TS-1, hydrocracking.

БАДАЕВСКИЙ. ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ В ИСТОРИЮ!

871 КВАРТИРА | 37 АПАРТАМЕНТОВ | 7 НЕБЕСНЫХ ВИЛЛ | ЛАНДШАФТНЫЙ ПАРК 4 ГА |

ДЕТСКИЕ СТУДИИ | ФИТНЕС С БАСЕЙНОМ | РЕСТОРАНЫ И МАГАЗИНЫ | ФЕРМЕРСКИЙ РЫНОК | ПАРКИНГ |

BADAEVSKY.COM

+7 495 021 87 30

МОСКВА, КУТУЗОВСКИЙ ПРОСПЕКТ, 12, С. 14А

Реклама. Застройщик АО «СЗ «Бадаевский».
С проектной декларацией можно ознакомиться на сайте badaevsky.com и наш дом.рф

CG CAPITAL GROUP

ПРЕВРАЩЕНИЕ CO₂ В СО

Разработка мембраны из анионообменной смолы

Шутко Александра Васильевна
студент

Машкова Анастасия Михайловна
проректор по международной деятельности и региональному сотрудничеству, к.и.н.

Соловьев Николай Владимирович
заведующий кафедрой современных технологий бурения скважин, д.т.н., профессор

Щербакова Ксения Олеговна
преподаватель кафедры современных технологий бурения скважин

Овезов Батыр Аннамухаммедович
старший преподаватель кафедры современных технологий бурения скважин

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

В ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ ВСЕ ЧАЩЕ ВЕДУТСЯ ДИСКУССИИ ПО ПОВОДУ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЙ. ЭТА ПРОБЛЕМА ПРИВЕЛА К ПОЯВЛЕНИЮ ТАКОГО ПОНЯТИЯ, КАК ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ. ПОЛИТИКА ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ПРЕДПОЛАГАЕТ ДЕЙСТВИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА СНИЖЕНИЕ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСА УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА РАЗЛИЧАЮТСЯ, ОДНАКО ОСНОВНОЙ ПРИНЦИП У ВСЕХ ОДИН. ФОРСИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДА НА БЕЗУГЛЕРОДНОЕ ТОПЛИВО И ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫЙ, ПО МНЕНИЮ АВТОРОВ, ОТКАЗ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИВЕЛИ К НЕХВАТКЕ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ПОСЛЕДУЮЩИМ НЕГАТИВНЫМ СОБЫТИЕМ ОКАЗАЛАСЬ НЕХВАТКА РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОЛНОЦЕННОГО ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ. ПРИЧИНАМИ ПОСЛУЖИЛИ НЕПОСТОЯННОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И НЕВОЗМОЖНОСТЬ ДОЛГОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ, ВЫРАБОТАННОЙ БЛАГОДАРЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫМ ИСТОЧНИКАМ. РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ ТАКЖЕ РАЗВИВАЕТ ПОЛИТИКУ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ, НЕ ОТКАЗЫВАЯСЬ ОТ ТРАДИЦИОННОГО ТОПЛИВА И ПРИМЕНЯЯ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИИ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ СНИЗИТЬ АКТИВНЫЕ ВЫБРОСЫ. КАКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДЛАГАЮТ РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ?

IN RECENT YEARS, THERE HAVE BEEN MORE AND MORE DISCUSSIONS ABOUT GLOBAL WARMING AND ITS CONSEQUENCES. THIS PROBLEM HAS LED TO THE EMERGENCE OF SUCH A THING AS "DECARBONIZATION". THE DECARBONIZATION POLICY INVOLVES ACTIONS AIMED AT REDUCING CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT. WAYS TO REDUCE CARBON EMISSIONS VARY, BUT THE BASIC PRINCIPLE IS THE SAME. FORCING THE TRANSITION TO CARBON-FREE FUEL AND PREMATURE, ACCORDING TO THE AUTHORS, THE ABANDONMENT OF TRADITIONAL ENERGY SOURCES LED TO A LACK OF RESOURCES FOR INDUSTRY, THE SUBSEQUENT NEGATIVE EVENT WAS THE LACK OF RESOURCES FOR FULL-FLEDGED HEATING OF THE POPULATION. THE REASONS WERE THE FICKLENESS OF ENERGY SOURCES AND THE IMPOSSIBILITY OF LONG-TERM STORAGE OF ENERGY GENERATED FROM ALTERNATIVE SOURCES. THE RUSSIAN FEDERATION IS ALSO DEVELOPING A DECARBONIZATION POLICY, WITHOUT ABANDONING TRADITIONAL FUELS AND USING TECHNOLOGIES IN MINING TO REDUCE ACTIVE EMISSIONS. WHAT TECHNOLOGIES DO RUSSIAN SCIENTISTS OFFER TO REDUCE HARMFUL EMISSIONS?

Ключевые слова: декарбонизация, углеродные выбросы, анионообменная смола, попутный нефтяной газ, мембрана.

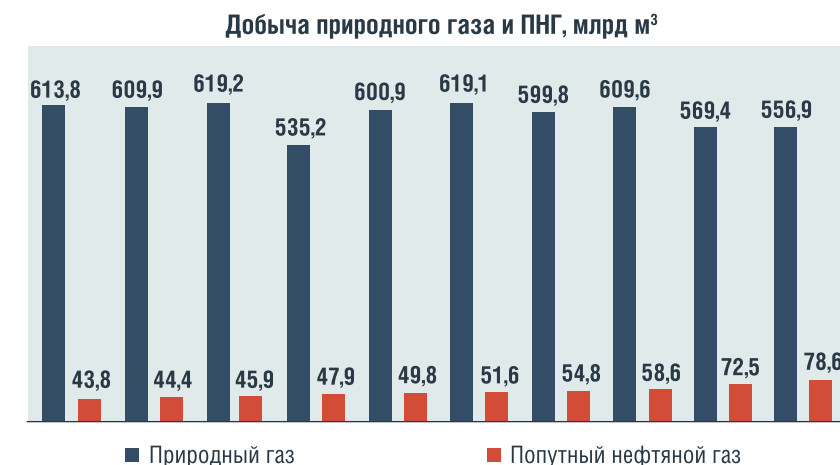
Сегодня все игроки нефтегазового рынка задумываются о том, как снизить выбросы CO₂, в попытке решить этот вопрос они внедряют новые технологии для «очистки» старых процессов. Решить вопрос, со своей стороны, пытается и правительство. Так, 8 ноября 2012 года правительством Российской Федерации было принято постановление «Об особенностях

исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и/или рассеивании попутного нефтяного газа», в котором установлено предельное допустимое значение показателя сжигания или рассеивания ПНГ в размере не более 5%

объема добытого попутного нефтяного газа. [2] Но штрафы за нарушение столь незначительны в масштабах деятельности добывающих компаний, что ими проще пренебречь. Практика показала, что эта мера не возымела должного воздействия и пока Роспотребнадзор пытается ужесточить наказание, ученые решают проблему разрабатывая эффективные технологии.

УДК 502.3

РИС. 1. Добыча ПНГ и природного газа в РФ за последние 10 лет



Распространенными технологиями переработки CO₂ сегодня являются:

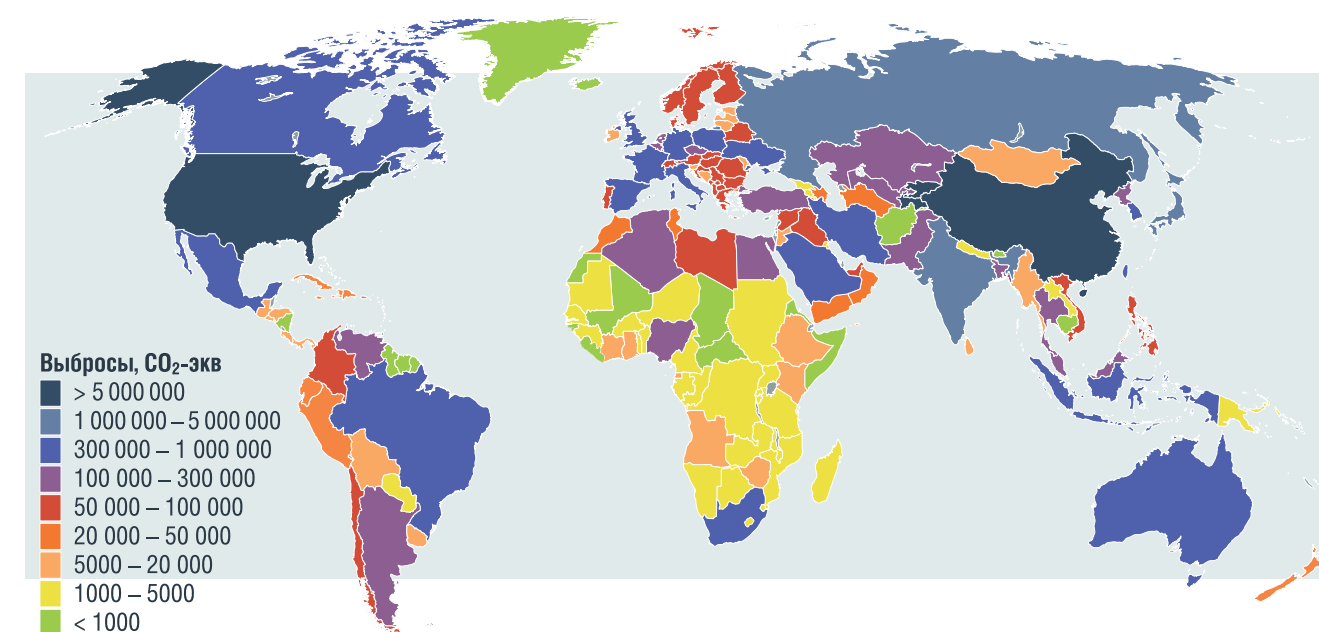
- захват и сохранение углекислого газа (декарбонизация) – захват и сжигание диоксида углерода. Данная технология не является экологичной;
- закачивание в пласт – выделяемый в процессе бурения CO₂ закачивают обратно в пласт для повышения нефтеотдачи. Минусом данной технологии является прямая зависимость от геологических условий. Альтернативным решением данной проблемы может выступить утилизация попутного газа.

Global Carbon Atlas приводит сведения о загрязнении атмосферы, где за годичный период

выбрасывается около 343 млн тонн углекислого газа с горящих факелов на морских платформах. По прогнозам Метеорологического бюро, ожидалось, что в 2021 году концентрация диоксида углерода в атмосфере в очередной раз значительно возрастет, и ожидания оправдались: выбросы превысили объемы предшествующие временам пандемии.

Потребовалось более 200 лет, чтобы уровень CO₂ повысился на 25% в 1990 г, но теперь, чуть более 30 лет спустя, мы приближаемся к увеличению на 50%. Чтобы повернуть вспять эту тенденцию и замедлить рост выбросов CO₂ в атмосфере, необходимо сократить глобальные выбросы. Это должно произойти в ближайшие 40 лет

РИС. 2. Эмиссия диоксида углерода за последний год



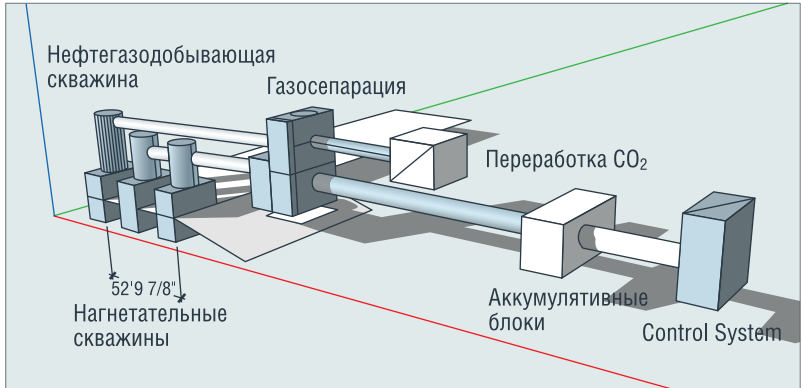
или около того, если глобальное потепление будет ограничено 1,5 °C [2].

Как уже говорилось ранее, существующие попытки утилизации диоксида углерода являются неэффективными. Рассмотрим основные из них.

Переработка ПНГ. Под переработкой природных газов понимается совокупность технологических процессов физического, физико-химического и химического преобразования природного и попутного нефтяного газа в продукты переработки (товарную продукцию с высокой добавочной стоимостью) [4]. Еще одним недостатком данной технологии можно считать возмущенность строительства дополнительных газоперекачивающих станций. Данная разработка хорошо применима на суше, поблизости с населенными пунктами и местами переработки, это создает определенные рамки, которые затрудняют использование данной технологии, к примеру, в зонах Арктики.

Выработка электроэнергии – высокое содержание углеводородных цепочек в ПНГ обуславливает его применение в качестве топлива. При этом возможно применение газа как для приводов газокompрессорного оборудования, так и для выработки электроэнергии

РИС. 3. Установка по переработке ПНГ



на собственные нужды с применением газотурбинных или газопоршневых установок [5]. Для крупных месторождений со значительным дебитом ПНГ целесообразна организация электростанций с выдачей электроэнергии в региональные сети электроснабжения.

К недостаткам этого направления можно отнести жесткие требования широко распространенных традиционных ГТЭС и ГПЭС к составу топлива (содержание сероводорода не выше 0,1 %), что требует увеличенных затрат на применение систем газоочистки и эксплуатационных затрат на техническое обслуживание оборудования. Выдача электроэнергии во внешние электросети невозможна на отдаленных месторождениях по причине отсутствия внешней энергетической инфраструктуры.

Переработка ПНГ методом Фишера–Тропша. Это многостадийный, долговременный и сложный процесс. Первоначально из попутного нефтяного газа окислением при высокой температуре получают смесь СО и Н₂, из которого вырабатывают метанол или синтетические углеводороды, используемые для производства моторного топлива. Недостаток направления – высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

В связи с вышеперечисленными обстоятельствами предлагается установка, которая включает в себя систему искусственного фотосинтеза, по восстановлению СО₂ до СО под действием света и металлических катализаторов с выделением кислорода. Ключевым продуктом будет являться капсула, которая осуществляет процесс искусственного фотосинтеза на нефтегазодобывающих

РИС. 4. Отделение ПНГ от углекислого газа



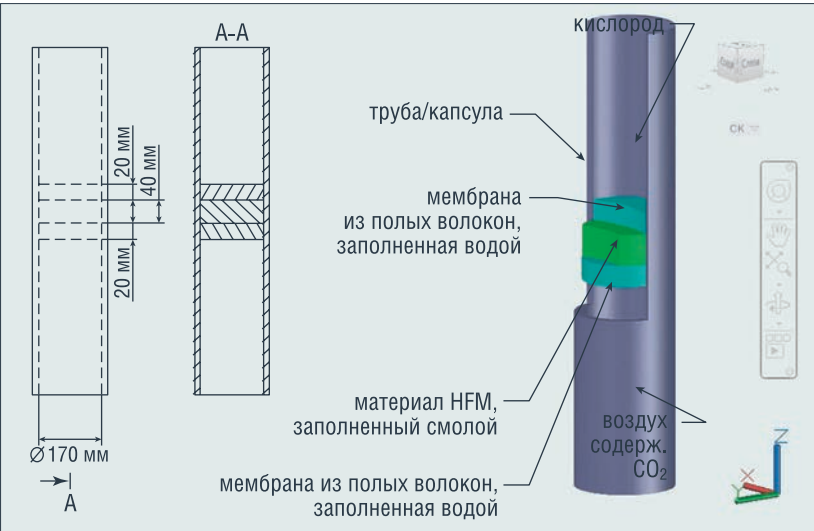
месторождениях. В изделие будет подаваться диоксид углерода, сепарируемый из попутного нефтяного газа, и капсула будет накапливать его в виде иона СО в анионообменной смоле (основной элемент мембраны).

Предполагается размещать капсулы, исходя из существующих технологий первичной переработки ПНГ. После проведения через систему сепарации и прохождение через компрессорные блоки, углекислый газ сжигают. Однако предлагается рассмотреть вариант его переработки или утилизации.

Установка состоит из нескольких последовательно расположенных блоков, которые будут отвечать за определенный этап переработки попутного нефтяного газа.

Первым этапом будет являться разделение ПНГ на базовые компоненты. Фракционирование ПНГ осуществляется на

РИС. 5. Капсула по переработке углекислого газа



газовой установке путем нагрева смешанного потока и его обработки через серию мембранных установок. При фракционировании используются преимущества различных температур кипения различных мембран. Когда поток газа нагревается, самый легкий компонент газовой смеси (с самой низкой температурой кипения) сначала выкипает и отделяется. Верхний пар конденсируется, часть используется в качестве рефлюкса, а оставшаяся часть направляется на хранение продукта в отдельный блок, отвечающий за аккумуляцию ценных газовых составляющих. Более тяжелая жидкая смесь в нижней части первой колонны направляется далее сквозь следующую мембрану, где процесс повторяется, и в качестве продукта отделяется другой компонент газовой смеси. Этот процесс повторяется до тех пор, пока ПНГ не будет разделен на отдельные компоненты и не распределен по местам хранения ценных углеводородов. Таким образом, сорбция углеводородов в полимерную матрицу направляется соотношением температур кипения отделяемых компонентов.

Высокоэффективные неорганические мембраны находят подходящее применение при разделении смесей углеводородов, так как цеолиты обеспечивают идеальные условия сопротивления для разделения органических молекул благодаря их преимущественной адсорбции,

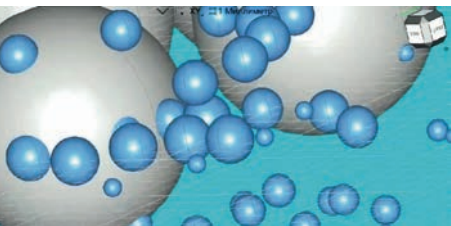
преимущественной диффузии или чистому молекулярному просеиванию.

После разделения ПНГ на несколько составляющих, ценные компоненты отправляются на хранение в специально отведенные для этого блоки, а СО₂ направляется либо в нагнетательные скважины, где под идентичным давлением подается газ для повышения нефтеотдачи, либо направляется в блок по переработке углекислого газа и производству собственного биотоплива. Все напрямую зависит от геологических условий и нефтеотдачи пласта.

В случае если закачка в нагнетательные скважины не требуется, диоксид углерода пропускают сквозь капсулу с мембраной и металлическими катализаторами.

Капсула имеет цилиндрическую форму, в нее внедрено несколько мембран, которые состоят из НФМ материала, анионообменной смолы и катализаторов. НФМ материал является связующим и вмещающим материалом. Помимо вышеперечисленных компонентов, для направления и ускорения

РИС. 6. Ионообменная реакция



реакции требуется постоянная подача воды для смачивания мембраны.

Основные технические параметры, определяющие количественные, качественные и стоимостные характеристики продукции (в сопоставлении с существующими аналогами, в т.ч. мировыми):

Специальная мембрана из анионообменной смолы, которая при смачивании будет подавать СО₂ в сторону реакции и превращать СО₂ в СО.

Основные технические характеристики разработки:

1. Ожидаемый КПД процесса искусственного фотосинтеза – 14 %.
2. Переработка СО₂ в сутки – 0,4 т.
3. Эффективность в 5 раз выше, чем при фотосинтезе растений.
4. Снижение концентрации СО₂ в сутки на 10 % на территории в радиусе 100 метров при площадных условиях размером 1,7–0,2 метра.

При этом, принимая форму капсулы, мембрана будет оснащена необходимым количеством металлических катализаторов, ускоряющих реакцию, доводя реакцию до частоты оборота 58,3 в секунду.

ТАБЛИЦА. Производительность полимерных мембран для разделения ароматических/алифатических углеводородов

Система (бинарные жидкие смеси)	Мембранный материал	Селективность (α)	Поток (кг мкм м ⁻² ч ⁻¹)	Температура (°С)
Толуол (10–70 %)/н-гексан	Полиуретан	2,8–5,8	1,1–3,5	25
Толуол (11%)/п-октановое число	Сульфонилсодержащий полиимид	155	1,1	40
Толуол (50%)/i-октановое число	Ионно сшитые сополимеры метила, этила, н-буталякрилата с АА	2,5–13	20–1000	40
Бензол(8%)/н-гексан	Мембрана, пересаженная плазмой	210	0,9	70
Бензол/н-гексан	Сульфонилсодержащий полиимид	22	1,2	40
Бензол(60%)/циклоксан	HDPE-g-GMA	19–22	3–3.7	70
Бензол(50%)/циклоксан	PS/PAA	48,4	9,6	20
Бензол(10%)/циклоксан	Композит углерод-графит-нейлон 6	435	–	–
Бензол/циклоксан (5/15)	ПЕРВАП®2200 (композитная мембрана)	71	76,7	25
Бензол/циклоксан (5/15)	ПЕРВАП®2200 (композитная мембрана)	68	151	25

РИС. 7. Состав металлического катализатора

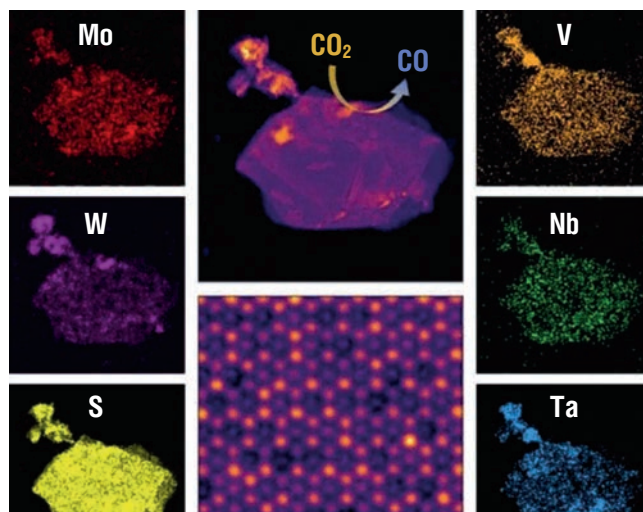
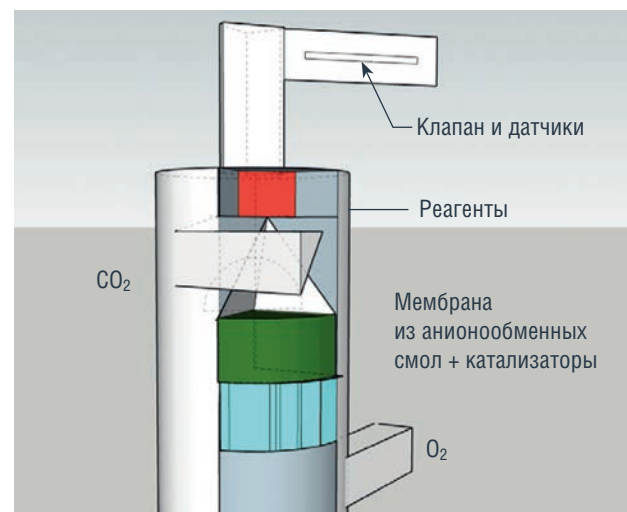


РИС. 8. Утилизация CO из мембраны



Катализаторы должны быть в виде сплава из следующих металлов: молибден, вольфрам, ванадий, ниобий и тантал – вместе с серой в качестве халькогена.

Процесс очищения мембраны от CO будет производиться путем химической реакции. Выше капсулы будут находиться реагенты, которые благодаря специальным датчикам автоматизировано будут подаваться на мембрану. При срабатывании датчиков, срабатывает рычаг, спуская реагенты.

В системе присутствует блок с контролирующей системой. При повышении концентрации природного или угарного газа до уровня порога соответствующий сигнализатор загазованности выдает световой, звуковой и электрический сигналы

в линию связи. В системах САКЗ-МК-2, САКЗ-МК-3 этот сигнал через цепочку сигнализаторов поступает на блок сигнализации и управления БСУ или БСУ-К, который также осуществляет световую индикацию (БСУ-К включает звуковую сигнализацию), срабатывает сигнализация порога, по этому сигналу БСУ (в модификации САКЗ-МК-2) или БСУ-К (в модификации САКЗ-МК-3) выдает импульсы на клапан, который закрывается и прекращает подачу газа.

Для каждого газа подбираются свои датчики. Данная система поможет контролировать степень заполненности аккумулятивных блоков, степень изношенности анионообменных мембран, также сможет определять уровень содержания газов в системе.

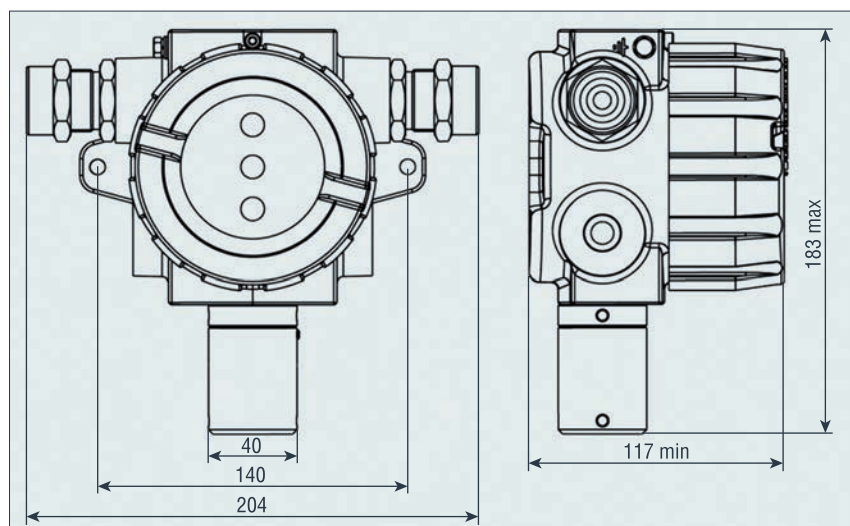
Исходя извышеизложенного, следует отметить, что проблема экологии будет затрагивать наше общество ещедолгие годы. При этом стоит отметить, что проблемы и их последствия, которые могут стать необратимыми, необходимо решать уже сейчас. Данная разработка нацелена на сдерживание и сохранение современной экологической ситуации и является довольно актуальной и важной не только в нефтегазовой сфере. Технологию переработки углекислого газа в последующем будет возможно применять повсеместно. ●

Литература

1. Меры по борьбе с изменением климата [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/climate-change/>.
2. Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и/или рассеивании попутного нефтяного газа: постановление Правительства Рос. Федерации от 8 ноября 2012 г. № 1148 // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2012. – № 1148. – Ст. 16.3, п. 13.
3. Росэкспертиза Проблемы использования попутного нефтяного газа в России (<http://rostehexpertiza.ru/analitics/png/>).
4. Сведения о загрязнении атмосферы [Электронный ресурс] // Global Carbon Atlas – Режим доступа: <http://www.globalcarbonatlas.org/ru/CO2-emissions>.
5. Сланцевые углеводороды, технологии добычи, экологические угрозы, В.В. Тетельмин, В.А. Язев, А.А. Соловьев, Долгопрудный: Издательский Дом «ИНТЕЛЛЕКТ», 2014. – 296 с. Глава 9 п. 9.6 на с. 256.

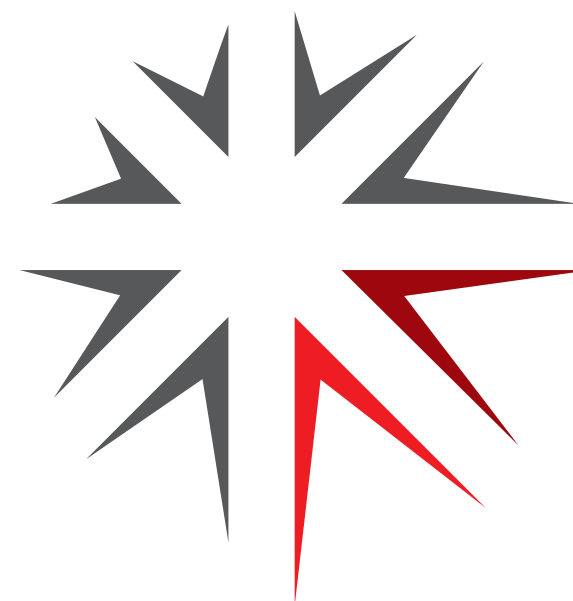
KEYWORDS: decarbonization, carbon emissions, anion exchange resin, associated petroleum gas, membrane.

РИС. 9. Схема датчика



26–28
АПРЕЛЯ 2022

КЛЮЧЕВАЯ
ПЛОЩАДКА
СФЕРЫ ТЭК



РОССИЙСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РМЭФ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ФОРУМ

XXIX МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
**ЭНЕРГЕТИКА И
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**



18+

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

ENERGYFORUM.RU
rief@expoforum.ru
+7 (812) 240 40 40, доб.2626

EXPOFORUM

ENERGETIKA-RESTEC.RU
energo@restec.ru
+7 (812) 303 88 68

РЕСТЭК
выставочное объединение



«КРАСНАЯ КНИГА» НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: исчезающие институты



РОЛЬ УГЛЕВОДОРОДОВ В МИРОВОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ ЕЖЕГОДНО СНИЖАЕТСЯ, НО ЭТО НЕ ОЗНАЧАЕТ, ЧТО НЕФТЬ И ГАЗ МОГУТ ОКАЗАТЬСЯ НЕВОСТРЕБОВАННЫМИ, ПОСКОЛЬКУ ОПЕРЕЖАЮЩИМИ ТЕМПАМИ РАЗВИВАЕТСЯ НЕФТЕГАЗОХИМИЯ, ЗНАЧЕНИЕ КОТОРОЙ ДЛЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА ТРУДНО ПЕРЕОЦЕНИТЬ. ДОСТАТОЧНО ВСПОМНИТЬ М.В. ЛОМОНОСОВА, КОТОРЫЙ ЕЩЕ В ДАЛЕКИЕ ВРЕМЕНА ПИСАЛ: «ШИРОКО ПРОСТИРАЕТ ХИМИЯ РУКИ СВОИ В ДЕЛА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ», А ВЕЛИКИЙ РУССКИЙ ПИСАТЕЛЬ М. ГОРЬКИЙ ОХАРАКТЕРИЗОВАЛ РОЛЬ ХИМИИ ЕЩЕ БОЛЕЕ ОБРАЗНО: «ХИМИЯ – ЭТО ОБЛАСТЬ ЧУДА, В НЕЙ СКРЫТО СЧАСТЬЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА, ВЕЛИЧАЙШИЕ ЗАВОЕВАНИЯ РАЗУМА БУДУТ СДЕЛАНЫ ИМЕННО В ЭТОЙ ОБЛАСТИ». НАША СТРАНА, ОБЛАДАЮЩАЯ ОГРОМНЫМИ ЗАПАСАМИ НЕФТИ И ГАЗА, ДОЛЖНА АКТИВИЗИРОВАТЬ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ С ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ. И ХОТЯ ЭТА ВСЕМ ОЧЕВИДНАЯ МЫСЛЬ ТРАНСЛИРУЕТСЯ САМЫМИ АВТОРИТЕТНЫМИ ЭКСПЕРТАМИ, ИНСТИТУТ, ЗАНИМАЮЩИЙСЯ ВОПРОСАМИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОХИМИИ, ОКАЗАЛСЯ НА ГРАНИ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ...

THE ROLE OF HYDROCARBONS IN THE GLOBAL ENERGY BALANCE IS DECREASING EVERY YEAR, BUT THIS DOES NOT MEAN THAT OIL AND GAS WILL BE COMPLETELY UNCLAIMED, BUT THAT THEIR PURPOSE WILL CHANGE. A COUNTRY WITH HUGE RESERVES OF FOSSIL FUELS NEEDS TO DEVELOP OIL REFINING AND PETROCHEMISTRY WITH TRIPLE STRENGTH, THOSE INDUSTRIES THAT WILL USE OIL AND GAS AS THE MAIN RAW MATERIAL. AND, WHILE THIS OBVIOUS THOUGHT IS BEING BROADCAST BY THE MOST AUTHORITATIVE EXPERTS, THE INSTITUTIONS WITHOUT WHICH IT WOULD BE IMPOSSIBLE TO DEVELOP PETROCHEMISTRY IN OUR COUNTRY ARE ON THE VERGE OF EXTINCTION

Ключевые слова: нефтехимия, перерабатывающая отрасль промышленности, научно-исследовательский институт, топливно-энергетический комплекс, углеводородное сырье.

**Аминев
Салават Хурматович**
генеральный директор,
ОАО «НИИТЭХИМ»,
К.Э.Н.

Химическая промышленность является драйвером инновационного развития экономики любого государства. Действительно, основными сферами потребления химической продукции являются отрасли, формирующие жизнедеятельность населения: строительство, электроника, упаковка, сельское хозяйство, автомобилестроение, потребительские товары.

Химическая цепочка создания стоимости является одной из самых устойчивых в мире и характеризуется высокими темпами роста: в 2019 году объем мировых продаж продукции химической индустрии составил 3,7 трлн евро/4,1 трлн долларов или порядка 268,2 трлн рублей, увеличившись за 10 лет более чем вдвое. Крупнейшими производителями химической

и нефтехимической продукции являются Китай, США, страны ЕС, Япония, Тайвань, Ю. Корея.

Позиции российской химической индустрии в глобальном производстве химической и нефтехимической продукции не соответствуют потенциальным возможностям, предопределяемым наличием богатейшей сырьевой базы. Советское наследие еще позволяет российскому химическому комплексу входить в 10-ку основных продуцентов химикатов, но только после таких небольших стран, работающих к тому же на импортном сырье, как Р. Корея и Тайвань.

Возникает вопрос: что нужно сделать, чтобы столь важная для экономики страны отрасль смогла выйти на достойные рубежи, а химики смогли существенно увеличить свой вклад в ВВП? (для справки, в Китае доля отрасли в ВВП – порядка 10% против 1,2% в России).

На наш взгляд, ответить на эти вопросы может только отраслевая наука, но в таком случае возникает дополнительный и не менее злободневный вопрос: А как поживает отраслевая наука? Каковы ее перспективы?

К сожалению, действительность такова, что к настоящему времени отраслевой науки в области химии и нефтехимии практически нет. Основная часть отраслевых научно-исследовательских институтов (НИИ) химического комплекса подверглась приватизации, причем во многих случаях новых собственников интересовали исключительно недвижимые активы, которыми в советские времена химики были наделены весьма щедро. Например, Государственный научно-исследовательский и проектный институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза (ГИАП) занимал несколько зданий в районе Садового кольца г. Москвы и имел 5 филиалов в гг. Новгород, Дзержинск, Тольятти, Новомосковск, Гродно. Мощнейшая головная научная организация азотной промышленности, спроектировавшая и запустившая в эксплуатацию более 200 агрегатов по выпуску целого ряда химической продукции, после приватизации фактически прекратила свое существование.

Такая же судьба постигла другой институт химического комплекса – ФГУП НИИ «Синтез» с КБ, г. Москва, усилиями которого были разработаны передовые технологии и создано свыше двухсот различных производств органических и хлорорганических соединений в нашей стране и за рубежом. Институт структурно состоял из научной и проектной частей и опытных заводов, то есть охватывал весь цикл научных, технологических и проектных работ с их опытной проверкой и отработкой.

Примеров уничтожения научных центров российской химической промышленности более чем достаточно и все ближе к финалу своей деятельности Научно-исследовательский институт технико-экономических исследований в области химии и нефтехимии – НИИТЭХИМ, созданный в 1958 году в целях подготовки аналитических и прогнозных исследований, направленных на формирование стратегических направлений развития отечественной химической промышленности. На Украине и в Белоруссии были организованы филиалы НИИТЭХИМа, причем украинский НИИТЭХИМ функционирует до настоящего времени.

В первом квартале 2021 года экспорт химической продукции вырос в годовом сравнении на **28,2%** до 6927,1 млн долл. Увеличение экспорта наблюдается по всем основным видам продукции, в том числе экспорт аммиака вырос в тоннаже на **14,9%**, удобрений – на **29,5%**, полимеров пропилена – на **19%**, полимеров этилена – в **3,6 раза**

С первых лет своего существования НИИТЭХИМ как отраслевой центр стратегических исследований совместно с другими научно-исследовательскими и проектными организациями химической промышленности и практически всеми крупнейшими отраслями-потребителями ее продукции выполнял работы, направленные на решение важнейших экономических задач, стоящих перед химической промышленностью СССР. Среди них – химизация народного хозяйства СССР, территориальное размещение химических

производств по экономическим районам страны, комплексное использование углеводородного и минерального сырья, специализация и кооперирование химических и нефтехимических производств со странами-членами СЭВ.

Производственному успеху НИИТЭХИМа способствовало выделение государством 9-ти этажного здания на ул. Наметкина, что упростило взаимодействие его структур и еще более сплотило коллектив, который в советские времена насчитывал более 800 человек. Институт заслуженно гордился высоким профессионализмом своих работников, выпуском целого ряда публикаций по широкому кругу отраслевых проблем. Среди таковых особое значение имеет монография известного в научных кругах д.э.н. Э.С. Савинского «Химизация народного хозяйства и пропорции развития химической промышленности» (1972 г.), которая не утратила актуальность и в условиях рыночной экономики.

Распад СССР и СЭВ, ликвидация отраслевых министерств и ведомств с последовавшим практически полным приостановлением бюджетного финансирования изменили условия и масштабы деятельности

НИИТЭХИМа. Многие важные направления работ были прекращены или существенно ограничены. Штат института резко сократился.

В 1993 году НИИТЭХИМ акционировался, хотя основной пакет акций сохранился за государством и в результате это помогло институту быстрее адаптироваться к новым экономическим реалиям и не утратить своей роли в процессе обеспечения государственных структур работами стратегического направления, а также важнейшей

технико-экономической информацией в области химии и нефтехимии.

В перечне работ, выполненных в новых рыночных условиях, особую значимость имели разработки стратегий развития химической промышленности страны по контрактам с организациями федерального и регионального значения: «Стратегия развития химической и нефтехимической промышленности Российской Федерации на период до 2015 года» (2008 г.); «Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года (2014 г.), а также стратегии развития регионов и предприятий: «Разработка направлений развития ОАО «Саянскхимпласт» на период до 2020 года» (2004 г.), «Стратегия развития нефтехимической и газовой промышленности Самарской области на период до 2015 года» (2006 г.) и др.

Выполнение таких работ стало возможным в результате применения новых методологических подходов, направленных на оптимальное сочетание рыночного механизма с мерами государственного регулирования, на увязку прогнозируемых показателей с намечаемыми параметрами социально-экономического развития страны и основных сфер потребления химической продукции.

ОАО «НИИТЭХИМ» ежегодно обеспечивает Департамент химического комплекса и биоинженерных технологий Минпромторга аналитическими и информационными материалами по широкому спектру отраслевых проблем

В НИИТЭХИМе продолжал функционировать Ученый совет, в который входили представители министерства и научные сотрудники отраслевых институтов. На заседаниях Ученого совета утверждались планы научных работ и направления дальнейшего развития института исходя из государственных заказов, профиля выполняемых исследований, научно-технических и экономических интересов коллектива. В этих условиях молодые специалисты защищали



кандидатские диссертации, что повышало квалификационный уровень ОАО «НИИТЭХИМ» и способствовало привлечению молодежи к работе в институте.

Важно отметить, что удержанию НИИТЭХИМа «на плаву» в значительной степени способствовало включение института в список стратегических предприятий России, не подлежащих приватизации. Однако в 2008 году НИИТЭХИМ был исключен из списка стратегических предприятий России и в 2011 году государство в лице Минпромторга вторично выставило на продажу акции

НИИТЭХИМа, продав «золотой» пакет акций лицам, далеким от проблем химической промышленности. Новых хозяев купленный пакет акций интересовал только с точки зрения здания и земли, поэтому собственники института, хотя и обеспечивают специалистов рабочими помещениями, в расширении и активном развитии НИИТЭХИМа не заинтересованы и институт, отпущенный на «вольные хлеба», борется за выживание без какой-либо поддержки.

Обладая компетенцией в области разработки стратегических документов и маркетинговых исследований ОАО «НИИТЭХИМ» ежегодно участвует в конкурсах, проводимых Минпромторгом России, и обеспечивает Департамент химического комплекса и биоинженерных технологий аналитическими и информационными материалами по широкому спектру отраслевых проблем. На договорной основе выполняются маркетинговые исследования для коммерческих структур, поддерживается информационная связь с ведущими предприятиями отрасли. В рамках деловой программы отраслевой выставки «ХИМИЯ» ОАО «НИИТЭХИМ» проводит круглые столы по актуальным проблемам российского химического комплекса, участвует в конференциях, тематических дискуссиях. Новое «дыхание» получил выпускаемый институтом журнал «Вестник химической промышленности»: расширился новостной обзор, обострилась тематика статей, изменился дизайн. В результате журнал достойно занял свою нишу на информационном поле в области химии и нефтехимии.

Диверсифицируя свою деятельность, коллектив ОАО «НИИТЭХИМ» старается удержаться на профессиональной волне, но стоимость работ, которые выполняются по госзаказам и договорам с отдельными предприятиями

и коммерческими структурами, не позволяет институту развиваться, привлекать молодежь, закупать необходимую информацию, участвовать в платных конференциях. Коллектив института сокращается.

Больно осознавать, что медленно угасает когда-то головной научно-исследовательский институт технико-экономических исследований в области химии и нефтехимии. Вместе с тем, причины угасания выходят за рамки исчезновения одного института.

К разработке стратегических документов в области химии и нефтехимии привлекаются иностранные компании, которые априори не заинтересованы в успешном развитии российской экономики

Во-первых, вся химическая промышленность России приватизирована и контроль государства чисто условный, тем более, в дополнение к этому изменена система контроля со стороны государства в лице Министерства промышленности и торговли. Она носит методический характер, а не подчиненность, как это было раньше. В советские времена решения министерства носили директивный характер и требовали обязательного исполнения. Сегодня эти требования в большей части не более, чем пожелания.

Во-вторых, правительство также не озабочено детализацией процессов, происходящих в химической промышленности и ограничивается разработкой планов и стратегий. К тому же по непонятным причинам было принято решение о включении Московского университета тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова (МИТХТ), готовившего для отрасли остро востребованных специалистов, в качестве структурного подразделения в Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники (МИРЭА). Даже название этих образовательных организаций указывает на разнородность профессиональной направленности выпускников. Объединение двух отмеченных университетов

в Московский технологический университет привело к сокращению ученого состава, что не могло не отразиться на качестве подготовки специалистов, а также снизила степень самостоятельности химиков в принятии каких-либо профессиональных решений.

И, наконец, к разработке стратегических документов в области химии и нефтехимии стали привлекаться иностранные компании – McKinsey & Company, Strategy Partners Group (SPG), которые априори

не заинтересованы в успешном развитии российской экономики. Так, разработанная компанией SPG «Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года» сохранила ориентир отрасли на выпуск продукции невысокой степени передела сырья и была подвергнута критике со стороны специалистов на многих дискуссионных площадках. Тем не менее «Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года», подготовленная компанией SPG и оплаченная государством по расценкам западных компаний, утверждена приказом Минпромторга России и Минэнерго России от 8 апреля 2014 г. № 651/172.

Возникает вопрос: А нужен ли вообще институт, определяющий стратегические направления развития российской химической и нефтехимической промышленности? Крупные компании имеют собственные центры технико-экономических исследований, предприятия также своими силами разрабатывают стратегии развития...

На первый взгляд, поставленный вопрос чисто риторический, но ответ на него зависит от взгляда на будущее российского химического комплекса. Для соответствия мировому тренду повышения роли химической промышленности в развитии

экономики необходима стратегия развития химического комплекса в целом, направленная на удовлетворение спроса на химическую и нефтехимическую продукцию для инновационного развития отраслей-потребителей и повышение эффективности интеграции России, причем с учетом развернутого в ведущих странах мира курса на декарбонизацию производства.

Объективно, стратегия такого формата должна разрабатываться только российским институтом, имеющим большой опыт выполнения работ стратегического направления. Таким когда-то был НИИТЭХИМ...

Сегодня НИИТЭХИМ, созданный в далеком 1958 году для подготовки документов стратегического направления и ни один десяток лет достойно выполняющий эту задачу, выживает только благодаря энтузиазму оставшихся в институте специалистов. Но энтузиазм без поддержки государства недолговечен... И некогда мощнейший институт по разработке стратегий, программ, концепций развития химической промышленности в целом, по отдельным федеральным округам, субъектам РФ, предприятиям отрасли доведен до критического состояния...

Невозможно определить, как долго может продержаться ОАО «НИИТЭХИМ»... А что делать с огромным информационным фондом, отражающим развитие отечественной химической промышленности? Изрезать, сжечь, как это было сделано в закрытых институтах?

Вопросы, не имеющие ответов, не должны стать нарастающим нарративом. На наш взгляд, для решения задач, стоящих перед российской экономикой, государству необходимо расширить меры поддержки научных организаций, в том числе отраслевых НИИ, деятельность которых способствует повышению эффективности бизнеса и укреплению научно-технического потенциала страны. ●

KEYWORDS: petrochemistry, processing industry, research institute, fuel and energy complex, hydrocarbon raw materials.

СИНТЕЗ ПИРОМЕЛЛИТОВЫХ ИНДИКАТОРОВ для трассерных исследований нефтяного пласта

Нехорошев Виктор Петрович

директор Института естественных и технических наук
Сургутского государственного университета,
профессор, д.т.н.

Нифантьев Илья Эдуардович

Химический факультет,
профессор кафедры органической химии,
Московский государственный университет имени
М.В. Ломоносова,
Институт нефтехимического синтеза
им. А. В. Топчиева РАН,
профессор, д.х.н.

ЦЕЛЬЮ НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЫ ЯВЛЯЕТСЯ РАЗРАБОТКА МЕТОДИК АЦИЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛОВ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ ПИРОМЕЛЛИТОВЫМ ДИАНГИДРИДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОГО ОЛОВА В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА, ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ СИНТЕЗА

THE AIM OF THIS WORK IS TO DEVELOP METHODS FOR THE ACYLATION OF PHENOL DERIVATIVES OF VARIOUS STRUCTURES WITH PYROMELLITIC DIANHYDRIDE USING TIN TETRACHLORIDE AS A CATALYST, AND TO STUDY THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE TARGET SYNTHESIS PRODUCTS

Ключевые слова: синтез, пиромеллитовые индикаторы, трассерные исследования, катализатор, нефтяной пласт.

Трассерные исследования – исследования реальных фильтрационных потоков продуктивного нефтяного пласта путем введения в нагнетательную скважину меченой водорастворимыми химическими маркерами жидкости, которая оттесняется к добывающим скважинам вытесняющим агентом, отбора проб с добывающих скважин, их последующего лабораторного анализа и интерпретации результатов [1]. Индикаторные исследования дают ценнейшую информацию о гидродинамической связи различных зон месторождения, эксплуатационных объектов, пластов, отдельных нагнетательных и добывающих скважин, дифференциальной характеристике направлений потоков, действительных скоростей движения вод и проницаемости пород, оценке емкостных свойств водоносных пород и т.д., то есть об основных гидродинамических и геофильтрационных характеристиках нефтяных месторождений в период эксплуатации, необходимых для создания постоянно действующих гидродинамических моделей нефтяных месторождений.

Продукты ацилирования фенолов фталевым ангидридом, такие как фенолфталеин, крезолфталеин, резорцинфталеин или флуоресцеин (ФЛ) и др., широко используются в качестве кислотно-основных индикаторов, антисептиков в композициях косметических средств и лекарственных препаратов, мономеров для синтеза полимеров с ценным комплексом свойств и химических маркеров для идентификации веществ, материалов и изделий [2, 3, 4]. Известно, что для синтеза фталейнов используют различные методики с применением серной кислоты, хлорида кадмия, хлорида ртути и хлорида цинка в качестве катализаторов и нитробензола, диметилсульфоксида, толуола, пиридина, хлорбензола, ацетонитрила и N-метилимидазола в качестве растворителей. Фталейны не растворяются в воде, что не позволяет использовать их в качестве химических маркеров нагнетаемых в пласт водных жидкостей. В работе [5] проведены поисковые исследования по синтезу пиромеллитовых индикаторов конденсацией пиромеллитового диангидрида (ПМДА) с фенолами различного строения с использованием в качестве катализатора безводного хлорида цинка, который успешно используется при синтезах фталейнов. В реакции с резорцином хлорид цинка оказался малоэффективным катализатором

ФАКТЫ

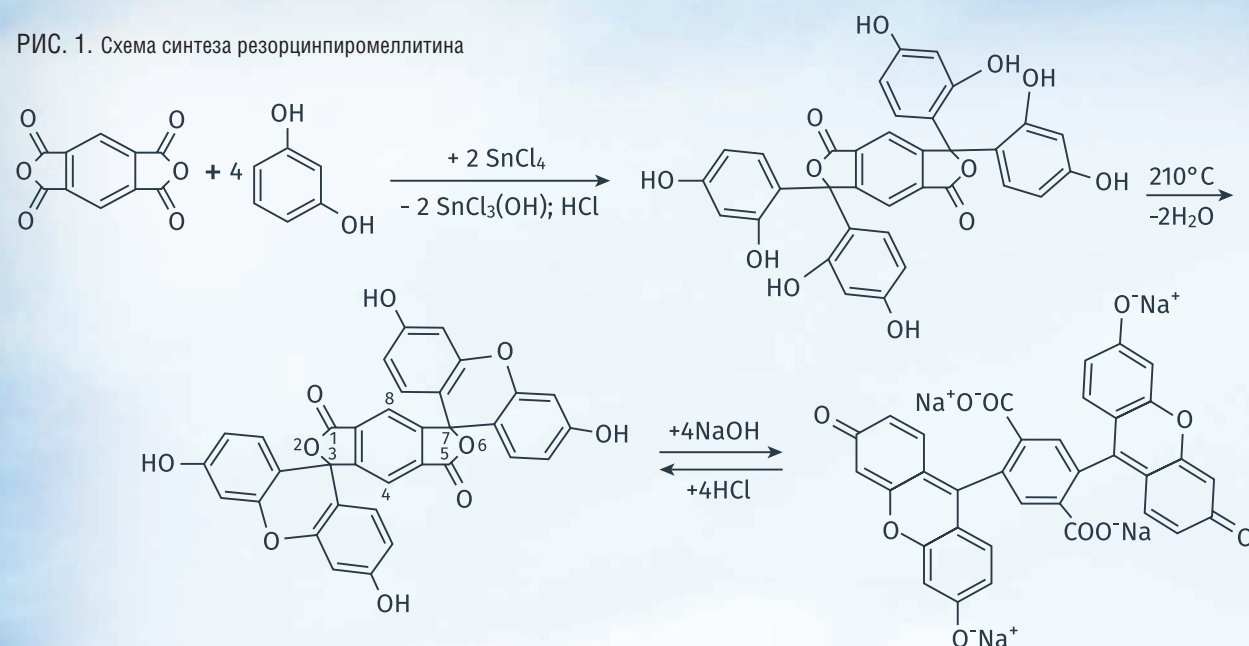
Трассерные исследования

– это исследования реальных фильтрационных потоков продуктивного нефтяного пласта путем введения в нагнетательную скважину меченой жидкости, отбор проб и их лабораторный анализ

с низкой активностью и региоселективностью, выход целевого продукта реакции резорцинпиромеллитина (РП) составлял всего 41 %. С этой точки зрения представляются практический интерес растворимые в воде полифункциональные тетрафенольные продукты ацилирования фенолов пиромеллитовым диангидридом, поскольку возможности их практического использования в качестве химических маркеров при трассерных исследованиях месторождений нефти значительно расширяются.

Сергеев В.А. с соавторами исследовали ацилирование фенола ароматическими тетракарбоновыми кислотами и их диангидридами [6]. Ацилирование фенола проводили в расплаве реагентов с использованием в качестве катализаторов серной кислоты и различных кислот Льюиса. Взаимодействие реагентов контролировали, определяя содержание непрореагировавшего фенола в реакционной смеси. Экспериментально показано, что наилучшим каталитическим эффектом обладает четыреххлористое олово, использование которого позволяет снизить температуру реакции до 80–100 °С и уменьшить до минимума образование побочных и смолообразных продуктов. Степень конверсии фенола при взаимодействии его с ПМДА при 120 °С в течение 8 часов достигала 97,3 %. При ацилировании фенола ПМДА образуются четыре продукта реакции с преобладанием до 80 % дилактонов, изомерных фенолпиромеллитинол или 3,3,7,7-тетракис (4-оксифенил) пиромеллитид и 3,3,5,5-тетракис (4-оксифенил) пиромеллитид с низким выходом 17 и 13 % соответственно.

РИС. 1. Схема синтеза резорцинпиромеллитина



Синтез резорцинпиромеллитина (РП) или 3,3,7,7-тетракис (4-окси-2,2'-оксидифенил) пиромеллитид

Ацилирование проводят в расплаве резорцина при 120 °С в течение 30 часов при следующем молярном соотношении реагентов: ПМДА: SnCl₄: резорцин = 1,0:2,5:5,0. Используют немецкую лабораторную установку фирмы «Hidolph», оборудованную стеклянным пятигорлым реактором на 500 мл, электрической регулируемой мешалкой, электронагревателем с платиновой термопарой и обратным холодильником с хлоркальциевой трубкой.

В реактор загружают 43,6 г (0,2 М) ПМДА, постепенно по каплям при перемешивании дозируют 58,4 мл SnCl₄ (130,25 г; 0,5 М). В реакторе образуется ярко окрашенный фиолетовый комплекс. В реакционную смесь при перемешивании медленно дозируют при 25 °С 110,1 г (1,0 М) резорцина, затем смесь нагревают до 120 °С и выдерживают при интенсивном перемешивании в течение 15 часов. Повышают температуру в реакторе до 210 °С, и выдерживают реакционную смесь при этой температуре в течение 15 часов. Выделение РП из реакционной смеси проводят путем его перевода в щелочном растворе в тетранатриевую соль, которая в сухом виде имеет коричневый цвет. В охлажденную до комнатной температуры реакционную смесь постепенно при перемешивании приливают 130 мл 20%-ного раствора NaOH, затем смесь нагревают до кипения и выдерживают 2,0 часа. Реакционную смесь охлаждают до комнатной температуры и отфильтровывают под вакуумом на воронке Бюхнера от нерастворимого осадка. Осадок на фильтре промывают 200 мл холодной дистиллированной воды. Фильтрат с интенсивной желтой флуоресценцией подкисляют концентрированной соляной кислотой до pH = 3–4, полученный раствор оставляют

ФАКТЫ

97,3 %

достигала степень конверсии фенола при взаимодействии с ПМДА при 120 °С в течение 8 часов

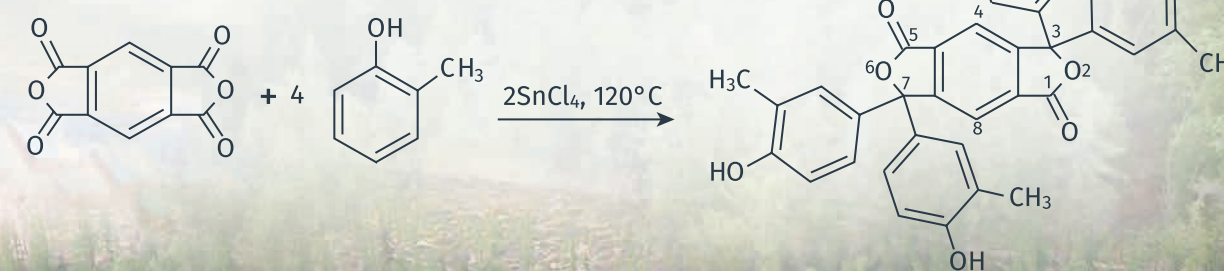
в холодильнике на сутки для выпадения осадка. Выпавший осадок отфильтровывают, сушат и перекристаллизовывают два раза из 50%-ного водно-спиртового раствора. Выход осадка – 101,4 г. Предполагают, что полученное вещество является смесью двух структурных изомеров РП: 3,3,7,7-тетракис (4-окси-2,2'-оксидифенил) пиромеллитид и 3,3,5,5-тетракис (4-окси-2,2'-оксидифенил) пиромеллитид.

Второй изомер имеет больший дипольный момент, что увеличивает его растворимость в полярных соединениях. Разделение изомеров осуществляют путем ацилирования РП. Осадок РП растворяют в 150 мл ледяной уксусной кислоты, приливают 56 мл пиридина (акцептор HCl) и осторожно дозируют при интенсивном перемешивании реакционной смеси 49,5 мл хлористого ацетила. Реакционную смесь нагревают до 115 °С и выдерживают при кипении в течение одного часа, охлаждают сначала до комнатной температуры, а затем выдерживают в течение ночи в холодильнике при 15 °С. Осадок отфильтровывают под вакуумом на воронке Бюхнера, промывают на фильтре холодным спиртом. Фильтрат разбавляют 100 мл воды, упаривают в 3 раза, охлаждают в течение суток в холодильнике. Осадок второго изомера 3,3,5,5-тетракис (4-окси-2,2'-оксидифенил)



пиромеллитид не образуется, что можно объяснить стерическими препятствиями мешающими синтезу этого изомера. Гидролиз ацетильного производного 3,3,7,7-тетракис (4-окси-2,2'-оксидифенил)пиромеллитид проводят следующим образом. В реактор загружают ацетильное производное, приливают 150 мл 20%-ного водно-спиртового раствора NaOH (объемное соотношение вода: спирт = 1:2) нагревают до кипения и выдерживают с обратным холодильником в течение 6 часов. По окончании реакции гидролиза раствор нейтрализуют 10%-ным раствором соляной кислоты до pH = 4–5. Реакционную смесь охлаждают сначала до комнатной температуры, а затем – в холодильнике. Осадок отфильтровывают под вакуумом, промывают на фильтре холодным этиловым спиртом, дважды перекристаллизовывают полученный 3,3,7,7-тетракис (3-метил-4-оксифенил) пиромеллитид из водно-спиртового раствора (1:1 по объему) и высушивают. Выход РП составляет 98,1 г (78,8 % в расчете на ПМДА). Общая схема реакции приведена выше.

В реакции с о-крезолом хлорид цинка оказался малоэффективным катализатором с низкой активностью и региоселективностью, выход целевого продукта реакции о-крезолпиромеллитина (КП) составлял всего 28,0%.



ФАКТЫ

Ацилирование

проводят в расплаве резорцина при 120 °С в течение 30 часов

Синтез о-крезолпиромеллитина

Синтез проводят в расплаве о-крезола при 120 °С в течение 30 часов при следующем молярном соотношении реагентов: ПМДА: о-крезол: SnCl₄ = 1,0:4,1:2,0. Используют немецкую лабораторную установку фирмы «Hidolph», оборудованную стеклянным пятигорлым реактором на 500 мл, электрической регулируемой мешалкой, электронагревателем с платиновой термопарой и обратным холодильником с хлоркальциевой трубкой. В реактор загружают 43,6 г (0,2 М) ПМДА, постепенно по каплям при перемешивании дозируют 104,2 г (0,4 М) SnCl₄. В реакторе образуется ярко окрашенный фиолетовый комплекс. В реакционную смесь медленно дозируют при 25 °С 108,14 г (0,82 М) о-крезола. Реакционную смесь нагревают до 120 °С и выдерживают при интенсивном перемешивании в течение 30 часов. Реакционную смесь охлаждают до комнатной температуры, а затем медленно нейтрализуют 20 % водным раствором едкого натра до pH = 10. Вишневый раствор охлаждают в холодильнике в течение суток. Выпавший осадок оксихлоридов олова отфильтровывают под вакуумом в воронку Бюхнера. Фильтрат из колбы Бунзена нейтрализуют соляной кислотой до pH = 3, охлаждают 12 часов в холодильнике, отфильтровывают выпавший осадок, промывают его ледяной водой и сушат при 60 °С.

Реакция проходит по следующей схеме:

ТАБЛИЦА. Результаты анализа продуктов синтеза методом ТСХ

Образцы	Относительный индекс удерживания (значение R _t)	Цвет хроматографической зоны		
		УФ-254 нм	УФ-365 нм	5%-ная щелочь
КП	0.22	Нет	Нет	Фиолетовый
КФ	0.44	Нет	Нет	Фиолетовый

Осадок помещают в колбу Вюрца установки для перегонки с водяным паром, затем проводят отгонку с водяным паром непрореагировавшего о-крезола. Содержание о-крезола в конденсате контролируют качественной реакцией с 5,0% водным раствором FeCl₃. Отгонку о-крезола прекращают после исчезновения фиолетового окрашивания конденсата при добавлении хлорида железа. Полученный осадок отфильтровывают, сушат и ацилируют при 120 °С в течение одного часа хлористым ацетилом в ледяной уксусной кислоте с добавлением пиридина в качестве акцептора хлористого водорода. В реактор загружают 98,6 г, полученного после отгонки о-крезола, осадка, добавляют 45,7 мл (0,64 М) ацетилхлорида и 49,6 мл пиридина. Реакционную смесь перемешивают и охлаждают в бане со льдом до 20 °С, приливают 200 мл ледяной уксусной кислоты, нагревают до кипения (118 °С) и выдерживают при этой температуре в течение 1 часа. Реакционную смесь охлаждают в холодильнике до 10 °С, затем отфильтровывают выпавший серый осадок и промывают его охлажденным ацетоном. Выход 3,3,7,7-тетраакис (3-метил-4-ацетоксифенил)-пиромеллотида составляет 97,0 г (62,0%). При охлаждении до 10 °С фильтрата, разбавленного 150 мл воды, осадок второго изомера ацильного замещенного 3,3,5,5-тетраакис (3-метил-4-ацетоксифенил)-пиромеллотида не образуется, что можно объяснить стерическими препятствиями мешающими синтезу этого изомера. Гидролиз ацетильного производного осуществляют в стеклянном реакторе объемом 250 мл, снабженным мешалкой, терморегулятором и обратным холодильником. Загружают 97,0 г 3,3,7,7-тетраакис (3-метил-4-ацетоксифенил)-пиромеллотида, 100 мл 20% водно-спиртового раствора (в соотношении 1:2 по объему) NaOH, нагревают реакционную смесь до кипения и проводят гидролиз в течение 6 часов. Фиолетовый раствор охлаждают до комнатной температуры и нейтрализуют 20% раствором соляной кислоты до pH = 3–4, охлаждают в течение суток в холодильнике и отфильтровывают выпавший в колбе осадок. Полученный 3,3,7,7-тетраакис (3-метил-4-оксифенил)пиромеллитид дважды перекристаллизовывают из водно-спиртового раствора (1:1 по объему) и высушивают. Выход – 75,5 г (61,4% в расчете на ПМДА).

Анализ КП проводился на жидкостном хроматографе «UltiMate 3000» (колонка «Agilent Zorbax C18 4,6×100 мм, 5 мкм) с масс-спектрометрическим детектором API 2000 с положительной электрораспылительной ионизацией. Обработка результатов проводилась с помощью программы Analyst 1.5. Хроматограмма содержала один пик КП с временем удерживания 11,26 мин, посторонних примесей не обнаружено.

ФАКТЫ

КП

обладает повышенной гидрофильностью и хорошо растворяется в нейтральных и кислых водных растворах, что позволяет рекомендовать его в качестве химического индикатора в промысловых трассерных исследованиях нефтяных пластов

В масс-спектре содержатся сигналы протонированного молекулярного иона КП с m/z 615 и протонированных осколочных ионов с m/z 579, 571, 535, которые образуются при фрагментации молекулярного иона путем последовательного отщепления молекулы CO₂ и двух молекул воды. КП обладает повышенной гидрофильностью и хорошо растворяется в нейтральных и кислых водных растворах, что позволяет рекомендовать его в качестве химического индикатора в промысловых трассерных исследованиях нефтяных пластов.

Выводы

- Проведены поисковые исследования по синтезу пиромеллитовых индикаторов с использованием реакции конденсации ПМДА с фенолами различного строения. Подобраны оптимальные условия синтеза, с использованием в качестве катализаторов безводных хлоридов цинка и олова при температурах реакции от 120 до 210 °С и временем контакта от 3 до 30 часов. Выход пиромеллитовых индикаторов составляет 20–80%.
- Строение целевых продуктов синтезов доказано физико-химическими методами: элементным анализом, ТСХ, УФ-, ПК и ПМР-спектроскопией, ДСК, ВЭЖХ/МС.
- Изучение свойств 3,3,7,7-тетраакис (4-окси-2,2'-оксидифенил) пиромеллотида и 3,3,7,7-тетраакис (3-метил-4-оксифенил) пиромеллотида позволяет рекомендовать их в качестве химических индикаторов в промысловых трассерных исследованиях нефтяных пластов. ●

Литература

- Соколовский Э.В., Соловьев Г.Б., Тренчиков Ю.И. Индикаторные методы изучения нефтегазовых пластов. – М.: Недра, 1986. 360 с.
- Nekhoroshev S.V., Nekhoroshev V.P., Poleschchuk O.K. et al. Rus. J. of Appl. Chem. 2015. Vol. 88. No. 4. P. 711.
- Патент 2497860 (РФ).
- Nekhoroshev S.V., Nekhoroshev V. P., Turov Yu.P. et al. J. of Anal. Chem. 2010. Vol. 65. No. 10. P. 988.
- Гаспарян А.К., Нехорошее С.В., Князев А.С. et al. Орбиталь. 2017. № 1. С. 1–6.
- Сергеев В.А., Шитиков В.К., Ена А.Б. et al. Ж. орг. химии. 1984. Т. 20. Вып. 6. С. 1284.

KEYWORDS: synthesis, pyromellite indicators, tracer studies, catalyst, oil reservoir.

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА



ФАКУЛЬТЕТ ЭКОНОМИКИ
И УПРАВЛЕНИЯ

ОСНОВАН В 1930 ГОДУ

ОБУЧЕНИЕ ВЕДЕТСЯ

В БАКАЛАВРИАТЕ

ПО НАПРАВЛЕНИЯМ

«ЭКОНОМИКА»

ПРОФИЛЬ

Экономика и проекты
устойчивого развития энергетики

«МЕНЕДЖМЕНТ»

ПРОФИЛЬ

Управление бизнесом
в энергетике

В МАГИСТРАТУРЕ

ПО НАПРАВЛЕНИЯМ

«ЭКОНОМИКА»

ПРОГРАММЫ

Внутренний аудит и контроль
Инженерная экономика в ТЭК*
Цифровая экономика
глобальных систем энергетики*

Экономика нефтегазового комплекса

«МЕНЕДЖМЕНТ»

ПРОГРАММЫ

Управление проектами,
финансами и персоналом
в организациях топливно-
энергетического комплекса*

Управление системой снабжения
на предприятиях
нефтегазового комплекса*

Символом «*» отмечены программы,
на которые объявлен набор в 2022/2023 учебном году



КОНТАКТЫ

119991, г. Москва, Ленинский проспект, дом 65

+7 (499) 507-81-22

economy-dekanat@gubkin.ru

БАЗОВЫЕ КАФЕДРЫ

- Управления системой снабжения в нефтегазовом комплексе (ПАО «НК «Роснефть»)
- Системных исследований энергетических рынков (ИНЭИ РАН)

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО ИНГИБИТОРА СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ

для группы месторождений Западной Сибири

СОСТАВ ПОПУТНО ДОБЫВАЕМЫХ ВОД, КОТОРЫЙ СОДЕРЖИТ РАЗЛИЧНЫЕ СОЛЕОБРАЗУЮЩИЕ ИОНЫ, ЯВЛЯЕТСЯ ОСЛОЖНЯЮЩИМ ФАКТОРОМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПОСКОЛЬКУ ИХ НАЛИЧИЕ ОБУСЛАВЛИВАЕТ ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ, КОТОРЫЕ НЕГАТИВНО СКАЗЫВАЮТСЯ НА ДОБЫЧЕ НЕФТИ, ПРИВОДИТ К ИЗНОСУ ДОРОГОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ И В ИТОГЕ К ЗНАЧИТЕЛЬНОМУ НЕДОБОРУ И УРОНУ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ. ОТ УСЛОВИЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, НАЛИЧИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ ЗАВИСИТ СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОТ СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СКВАЖИН И ОБОРУДОВАНИЯ. НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ В НЕФТЕПРОМЫСЛОВОЙ ПРАКТИКЕ ПРОБЛЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ В ОСНОВНОМ, А ТАКЖЕ ВВИДУ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ, РЕШАЕТСЯ ЗА СЧЕТ ИНГИБИТОРОВ СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ

THE COMPOSITION OF PRODUCED WATERS, WHICH CONTAINS VARIOUS SALT-FORMING IONS, IS A COMPLICATING FACTOR IN THE OPERATION OF OIL FIELDS, SINCE THEIR PRESENCE CAUSES THE FORMATION OF DEPOSITS THAT ADVERSELY AFFECT OIL PRODUCTION, WEARS OUT EXPENSIVE PROCESS EQUIPMENT, INCREASES OPERATING COSTS, AND ULTIMATELY LEADS TO A SIGNIFICANT SHORTAGE AND LOSS OF OIL. THE METHOD OF PROTECTING WELLS AND EQUIPMENT FROM SALT DEPOSITS DEPENDS ON THE CONDITIONS AND FEATURES OF FIELD DEVELOPMENT, THE AVAILABILITY OF TECHNICAL MEANS AND OTHER FACTORS. TO DATE, IN OILFIELD PRACTICE, THE PROBLEM OF PREVENTING SCALING IS MAINLY, AND ALSO DUE TO ECONOMIC FEASIBILITY, BEING SOLVED BY SCALING INHIBITORS

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: солевые отложения, ингибиторы солеотложения, эффективность ингибитора, модель попутно добываемой воды, рейтинг эффективности ингибиторов солеотложения.

Чайкина Яна Игоревна
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, магистрант

Бешагина Евгения Владимировна
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, доцент

Кузьмин Дмитрий Андреевич
генеральный директор, АО «ТОМСКНИПИНефть»

Полубоярцев Дмитрий Сергеевич
заместитель генерального директора по лабораторным исследованиям, АО «ТОМСКНИПИНефть»

Неотъемлемой частью процесса разработки и эксплуатации нефтяных месторождений является водный фактор, в наибольшей степени проявляющийся при заводнении залежей, ставшим базовой технологией.

В настоящее время и в перспективе, ввиду увеличения открытий малопродуктивных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти, для разработки новых и доработки старых месторождений требуются нестандартные технические решения, при этом роль водного фактора усиливается, с чем необходимо считаться.

В процессе эксплуатации нефтяных месторождений наряду с добычей нефти на поверхность извлекаются огромные дебиты попутных вод. В результате этого извлекаемая нефть способна к образованию солевых осадков – неорганических веществ, которые оседают на стенках скважин и систем сбора и подготовки нефти, на всех стадиях разработки месторождения. Образование солей усложняет процесс добычи нефти, что является

следствием вывода из строя дорогостоящего оборудования, и впоследствии затрудняет ремонтные работы. К тому же солевые отложения приводят к значительным потерям нефти при добыче [1].

Предотвратить нежелательный процесс удается с помощью знания причин и физико-химических процессов, приводящих к образованию солей, с учетом геолого-физических условий залегания нефти, особенностей разработки месторождений и их эксплуатации, а также техногенных факторов.

Выбор метода при борьбе с солеотложениями во многом определяется условиями и особенностями разработки нефтяного пласта, наличием сырьевой базы, доступности технических средств и прочих факторов [5]. Одним из повсеместно применяющихся в нефтепромысловой практике методов борьбы с отложением солей является химический метод ингибирующей защиты скважин и технологического оборудования [2, 3].

УДК 622.276.72

ТАБЛИЦА 1. Модельный состав попутно добываемой воды (МПВ)

Содержание иона, мг/л	Месторождение			
	М1	М2	М3	М4
Ca ²⁺	642	955	383	237
Mg ²⁺	107	298	156	39
Ba ²⁺	7	54	50	34
Sr ²⁺	0	0	0	0
Fe	28	23	22	14
HCO ₃ ⁻	1108	711	837	1316
Cl ⁻	26 195	27 084	16 767	16 399
SO ₄ ²⁻	0	0	0	0
K ⁺ + Na ⁺	1643	16147	10415	10762
Общая минерализация, г/л	41,9 – 47,2	18,59 – 49,29	22,19 – 34,23	23,78 – 31,99
Примечание: М1, М2, М3, М4 – шифр месторождений				

Существует большое количество различных ингибиторов, реагентов и их композиций по борьбе с солеотложениями. Ключевое преимущество повсеместного их использования заключается в простоте их применения. Ведь для введения ингибиторов в агрессивную среду и технологические жидкости необходимо их небольшое количество, при этом не нарушаются процессы бурения.

Учитывая вышеизложенное, борьба с солеотложением при добыче нефти является одной из важнейших проблем в нефтедобывающей промышленности и остается в центре внимания широкого круга ученых и промышленных работников как в России, так и за рубежом.

В настоящий момент химический метод является наиболее эффективным и универсальным способом предупреждения солевых отложений при добыче нефти, который заключается в использовании реагентов-ингибиторов. На практике при добыче нефти в основном используют именно этот метод. Исходя из опыта не только российской, но и мировой нефтедобывающей промышленности, использование ингибиторов способствует качественной и длительной защите технологического оборудования от солевых отложений при относительно невысоких затратах.

Цель работы заключалась в оценке эффективности ингибиторов

солеотложения и выборе наиболее универсального ингибитора солеотложения для группы месторождений Западной Сибири.

Экспериментальная часть

Объектом исследования являлись закачиваемые попутно добываемые воды группы месторождений Западной Сибири. Исследуемые образцы были охарактеризованы в соответствии с классификацией [4]. М1, М2 и М3 – группа месторождений, содержащих соответствующие ионы, имеют следующую классификацию:

- тип – хлоркальциевые,
- группа – хлоридные,
- подгруппа – кальциевые воды.

М4 – месторождение, содержащее соответствующие ионы, имеет следующую классификацию:

- тип – гидрокарбонатно-натриевый,
- подгруппа – кальциевые воды.

Далее был определен состав ионов попутно добываемых вод, на основании которого усреднением показателей была составлена модель вод для дальнейшей оценки ингибиторов против солевых отложений (таблица 1).

Методики исследования

Исследования проводили в два этапа.

На первом этапе была исследована коррозионная активность реагентов на модели попутно добываемых вод исследуемых месторождений. Испытания

проводили гравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 9.506-87 «Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности». Образцами исследования являлись плоские прямоугольные пластинки 5×1×0,1 см (сталь Ст.20). Просверлив предварительно в пластинках отверстия диаметром 2 мм, подвешивали их над конической колбой, в которой находился ингибитор солеотложения. Герметично закрыв колбу, выдерживали образец в коррозионной среде в течение 24 часов. По окончании эксперимента образец, предварительно подготовив, помещали в эксикатор на один час. После чего его взвешивали на аналитических весах и определяли потерю массы образца.

На втором этапе проводили испытание регентов на их эффективность в соответствии с РД 39-0148070-026 ВНИИ «Определение эффективности действия ингибиторов солеотложения». При проведении эксперимента использовали два модельных раствора: в одном были ионы кальция хлорида, во втором ионы натрия гидрокарбоната. Раствор ингибитора соложения приготовили с концентрацией 1 мг/мл в объеме 100 мл. Для анализа проводили серию экспериментов. В колбы вносили раствор с ионами кальция хлорида, добавив требуемое количество ингибитора, и раствор с ионами натрия гидрокарбоната. Пробы с ингибитором и без него («холостая» проба) термостатировались при температуре 90 °С в течение 4 часов. По окончании пробы охлаждали, и отфильтровывали полученный осадок. Непрореагировавшее количество катионов кальция в растворе определяли трилонометрическим титрованием.

Эффективность ингибирующей способности реагентов была рассчитана по следующей формуле:

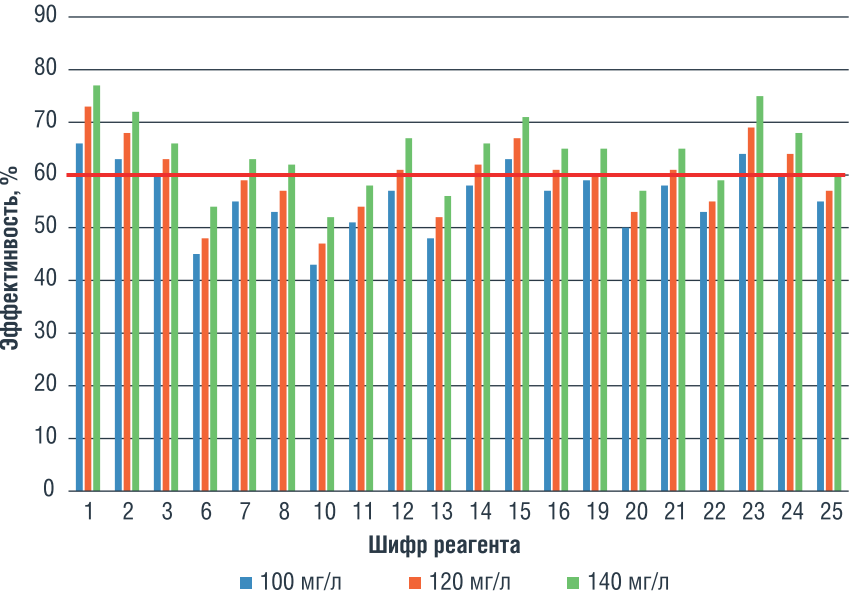
$$\mathcal{E} = \frac{(C_p - C_x)}{(C_0 - C_x)} \times 100\%, \quad (3)$$

где: C₀, C_p, C_x – концентрации катионов кальция в исходном растворе, в пробе с ингибитором после термостатирования и «холостой» пробе, соответственно, мг/л.

ТАБЛИЦА 2. Шифр ингибиторов солеотложения

Шифр	Название	Производитель
1	FX-50	ООО «Нефгетранссервис»
2	Акватек 525E	ООО НПО «Акватек»
3	Dodiscalc V 2870 K	ООО «Клариант (PUC)»
4	Акватек 511M	ООО НПО «Акватек»
5	ПАА	–
6	NALCO® EC6246	«Nalco Company» LLC
7	Dissolvine H-40 PDL	ООО «Интэк-Сервис»
8	Ипроден С-3	ООО «Экспериментальный завод «Нефтехим»
9	ИСБ-1	Республика Башкирия
10	Uniscale RS201	ООО «Юнитек»
11	РХП 70	ЗАО «Группа Компаний «Русхимпром»
12	ФЛЭК ИСО-501	ООО «ФЛЭК»
13	Инсан	ЗАО «Химеко-ГАНГ»
14	Оптимa 017	ОАО «НИИнефтепромхим»
15	DESCUM-2 D 3811C	ООО «МИРРИКО»
16	СКБ-25	ООО НПП «Импульс»
17	ПАФ-1	ООО «Экотек»
18	СНПХ-5301	НПО «Союзнефтепромхим»
19	SCW25039	Бейкер Хьюз
20	Катасол 31	ООО «НПП ХимпромСервис»
21	Нисол-06	ЗАО «Скоропусковский Оргсинтез»
22	СИНОЛ ИС-001(М)	ЗАО «Скоропусковский Оргсинтез»
23	Оксикор-15Н	ООО «Сервисная Компания ОРИОН»
24	Сонсол 2001Б	ЗАО «Опытный завод Нефтехим»
25	Пралыт-31 Б-1	ООО «ВИРАЖ»

РИС. 1. Зависимость эффективности ингибиторов солеотложения от концентрации для модели попутно добываемой воды М1



Методы исследования

В качестве действующих веществ ингибирования взяли 25 реагентов, каждому из которых был присвоен номер шифра (таблица 2).

Результаты обсуждения

Коррозионная активность ингибиторов солеотложения

По окончании эксперимента было установлено, что способностью к коррозионной активности обладают реагенты под следующими шифрами: 4, 5, 9, 17 и 18. Поскольку их норма была превышена данные ингибиторы не подлежали дальнейшему исследованию.

Так после первого этапа круг испытуемых образцов сократился.

Ингибирующая способность ингибиторов солеотложения

Пороговыми значениями защитного эффекта приняли эффективность ингибирования осадкообразования свыше 80 %. Исключением стало М1: эффективность ингибирования осадкообразования составила свыше 60 %.

На рисунке 1 представлена эффективность действия ингибирующей способности ингибиторов солеотложения в попутно добываемой воде М1.

Согласно полученным зависимостям, видно, что наиболее эффективным является реагент № 1, затем идут реагенты № 23, 2, 15 и 24. Рекомендуемая концентрация ингибиторов составила 100 мг/л.

При данной концентрации эффективность ингибирования для № 1 составила 66 % (I место в рейтинге), для № 23 – 64 % (II место в рейтинге), для № 2 – 63 % (III место в рейтинге), для № 15 – 63 % (IV место в рейтинге), для № 24 – 60 % (V место в рейтинге).

Ни один из испытуемых образцов не обеспечил эффективность ингибирования выше 80 % при исследованных дозировках. Повышенная концентрация ингибиторов солеотложения и сравнительно низкая эффективность действия для данного месторождения обуславливается наличием в модели попутно добываемых

вод ионов следующих металлов – Ba²⁺, Ca²⁺, Fe, а также Mg²⁺, которые способствуют снижению эффективности действия ингибирующей способности.

На рисунке 2 представлена эффективность действия ингибиторов солеотложения в попутно добываемой воде М2.

Согласно полученным зависимостям, видно, что наиболее эффективным является реагент № 1, затем идут реагенты № 23, № 15, № 13 и № 2. Рекомендуемая концентрация ингибиторов составила 80 мг/л.

При данной концентрации эффективность ингибирования для № 1 составила 89 % (I место в рейтинге), для № 23 – 87 % (II место в рейтинге), для № 15 – 85 % (III место в рейтинге), для № 13 – 84 % (IV место в рейтинге), для № 2 – 76 % (V место в рейтинге).

Повышенная концентрация ингибиторов солеотложения для данного месторождения обуславливается наличием в модели попутно добываемых вод ионов следующих металлов – Ca²⁺ и Fe, а также Mg²⁺, которые способствуют снижению эффективности действия ингибирующей способности.

На рисунке 3 представлена эффективность действия ингибирующей способности ингибиторов солеотложения в попутно добываемой воде М3.

Согласно полученным зависимостям, видно, что наиболее эффективным является реагент № 23, затем идут реагенты № 1, № 20, № 15 и № 13. Рекомендуемая концентрация ингибиторов составила 80 мг/л.

При данной концентрации эффективность ингибирования для № 23 составила 92 % (I место в рейтинге), для № 1 – 89 % (II место в рейтинге), для № 20 – 87 % (III место в рейтинге), для № 15 – 86 % (IV место в рейтинге), для № 13 – 84 % (V место в рейтинге).

Повышенная концентрация ингибиторов солеотложения для данного месторождения также обуславливается наличием в модели попутно добываемых вод высокого содержания ионов следующих металлов – Ba²⁺ и Fe, а также Mg²⁺, которые способствуют снижению

РИС. 2. Зависимость эффективности ингибиторов солеотложения от концентрации для модели попутно добываемой воды М2

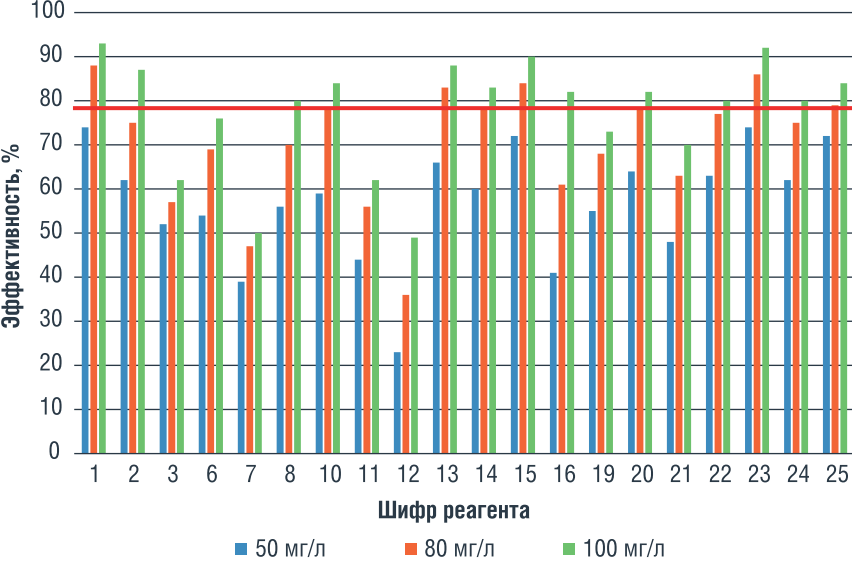
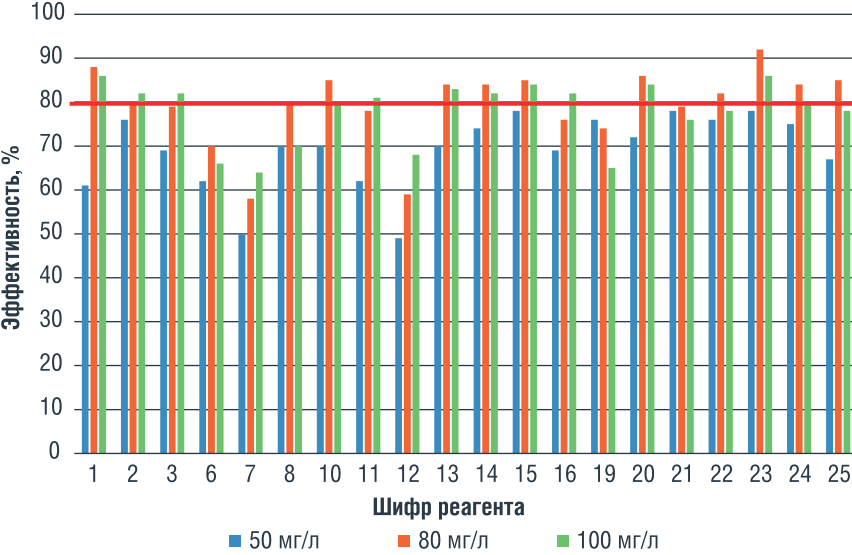


РИС. 3. Зависимость эффективности ингибиторов солеотложения от концентрации для модели попутно добываемой воды М3



эффективности действия ингибирующей способности.

На рисунке 4 представлена эффективность действия ингибиторов солеотложения в попутно добываемой воде М4.

Согласно полученным зависимостям, видно, что наиболее эффективным является реагент № 1, затем идут реагенты № 23, № 2, № 8 и № 24. Рекомендуемая концентрация ингибиторов составила 40 мг/л, кроме ингибитора № 8 и № 24, для которых она составила 50 мг/л.

При концентрации 40 мг/л эффективность ингибирования для № 1 составила 82 % (I место

в рейтинге), для № 23 – 80 % (II место в рейтинге), для № 2 – 80 % (III место в рейтинге),

При концентрации 50 мг/л эффективность ингибирования для № 8 – 84 % (IV место в рейтинге), для № 24 – 80 % (V место в рейтинге).

Относительно невысокие концентрации ингибиторов солеотложения связаны с моделью попутно добываемой воды М4, концентрации ионов которой имеют меньшие значения относительно других месторождений.

На основании проведенных исследований была проведена оценка ингибиторов солеотложения

РИС. 4. Зависимость эффективности ингибиторов солеотложения от концентрации для модели попутно добываемой воды М4

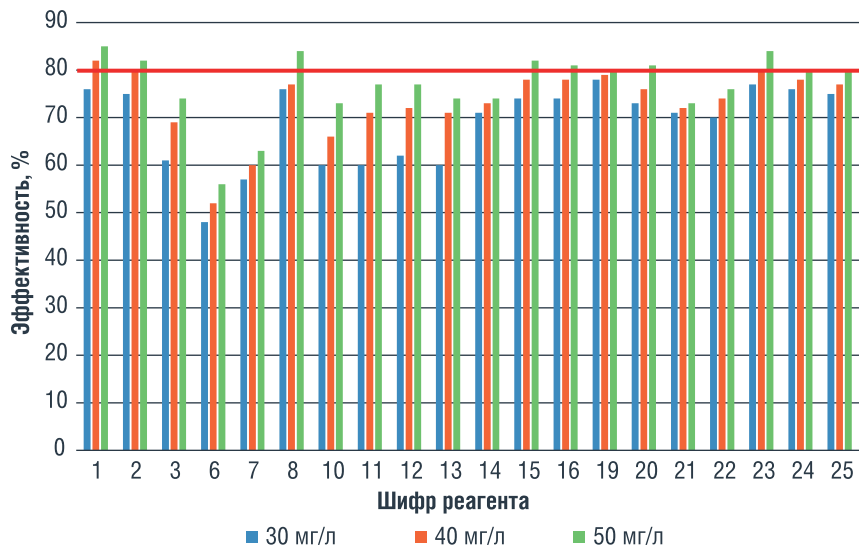
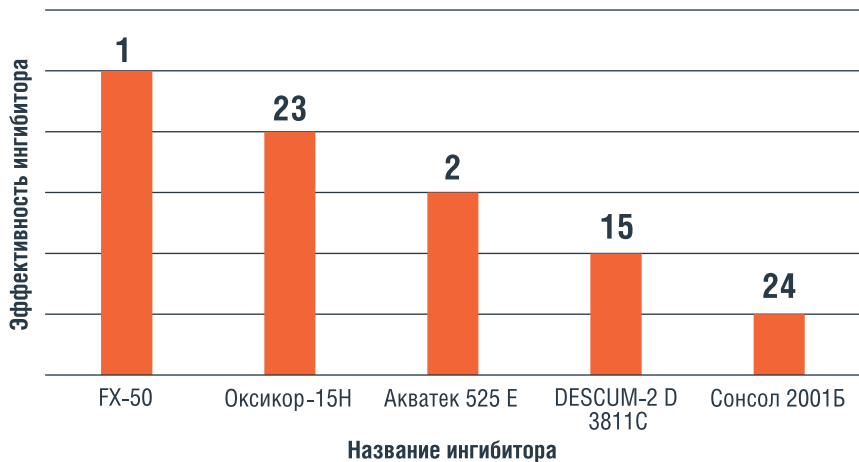


ТАБЛИЦА 3. Рейтинг ингибиторов солеотложения

Рейтинг				
I	II	III	IV	V
M1				
1	23	2	15	24
M2				
1	23	15	13	2
M3				
23	1	20	15	13
M4				
1	23	2	8	24
Общий рейтинг				
1	23	2	15	24

РИС. 5. Сравнительная линейка эффективности ингибирующей способности ингибиторов солеотложения



для группы месторождений Западной Сибири (таблица 3) и составлена сравнительная линейка эффективности ингибирующей способности ингибиторов

солеотложения (рисунок 5), с помощью которой можно выбрать ингибиторы для предотвращения солевых отложений на исследованных месторождениях.

Заключение

На основании полученных результатов эксперимента по выявлению наиболее универсального ингибитора солеотложений для модели попутно добываемых вод различного ионного состава произведен выбор реагентов и их оптимальной концентрации.

Разработан рейтинг реагентов по эффективности ингибирующей способности солеотложения для месторождений Западной Сибири. По полученным результатам исследования предложена сравнительная линейка их эффективности, с помощью которой можно обосновано выбирать ингибиторы солеотложения на исследованных месторождениях.

Установлено, что наиболее универсальным ингибитором солеотложений для данной группы месторождений Западной Сибири является образец под № 1 в концентрации 80 мг/л. Он обеспечивает наибольший защитный эффект для модели попутно добываемых вод, содержащих солеобразующие ионы. Данный ингибитор солеотложения может быть рекомендован к использованию для близких по составу попутно добываемых вод. ●

Литература

1. Антониади Д.Г., Савенок О.В. Проблема солеотложения – общие принципы и особенности конкретных решений // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 87. С. 260–275.
2. Валекжанин И.В., Волошин А.И., Рагулин В.В., Резцова К.К. Оценка рисков солевых отложений в скважинах Ванкорского месторождения и выбор оптимальной технологии предупреждения // Экспозиция Нефть Газ. 2017. № 1 (54). С. 30–33.
3. Елашева, О.М. Ингибиторы солеотложения / О.М. Елашева, Л.Н. Смирнова // Деловой журнал Nefteaz.RU. – 2017. – №2. – С. 33–37.
4. Смоляков Б.С. Экологическая гидрохимия: Учебное пособие. – Российская Федерация, М-во образования и науки, Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО Новосибирский государственный университет. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного университета, 2013. – 87 с.
5. Шангараева Л.А., Максютин А.В., Султанова Д.А. Способы предотвращения солеотложения при разработке и эксплуатации залежей нефти // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1 – 1. С. 336.

KEYWORDS: scaling, scale inhibitors, inhibitor efficiency, produced water model, scale inhibitor efficiency rating.



HUVAFEN FUSHI
MALDIVES

HUVAFEN FUSHI MALDIVES

Курорт Huvafen Fushi, расположенный на частном тропическом острове в 30 минутах езды на скоростном катере от международного аэропорта Velana, приглашает гостей окунуться в атмосферу беззаботного и роскошного отдыха. К вашим услугам 44 элегантных бунгало, подводный спа-центр и множество интересных вариантов времяпрепровождения. Добавьте к этому безупречный сервис и максимальную приватность, и в ваших руках рецепт идеального отпуска!

www.huvafenfushi.com

ОЦЕНКА МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА НАФТИДОВ – необходимый этап нефтехимических исследований

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИМЕНИМО К НАУКЕ О НЕФТИ И ГАЗЕ СТАНОВЯТСЯ ВСЕ БОЛЕЕ ЗНАЧИМЫМИ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКИ, ТАК И ПРАКТИЧЕСКИ. ОРГАНИЧЕСКАЯ ГЕОХИМИЯ И КАК КРУПНЫЙ РАЗДЕЛ ЭТОЙ НАУКИ – НЕФТЯНАЯ ХИМИЯ ПРИОБРЕТАЮТ СТАТУС НОВОЙ ПАРАДИГМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ РЕСУРСОВ. В ОСНОВЕ ПАРАДИГМЫ ЛЕЖИТ НЕОБХОДИМОСТЬ ОЦЕНИВАТЬ КАЧЕСТВО УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ, ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКУЮ СПЕЦИАЛИЗАЦИЮ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ. ГЕОХИМИЧЕСКИМ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ИССЛЕДОВАНИЯ УВ ФЛЮИДОВ ПРИДАЕТСЯ ОГРОМНОЕ ЗНАЧЕНИЕ, ТАК КАК С ИХ ВНЕДРЕНИЕМ СВЯЗАНО ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ПОИСКИ, РАЗВЕДКУ, ДОБЫЧУ И ПЕРЕРАБОТКУ УВ. ЭТИ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ СПОСОБНЫ ИЗУЧАТЬ И УЧИТЫВАТЬ ВСЕ СПЕКТР КАК ГЕНЕТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ ОБРАЗОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – ОТ ОЧАГА ГЕНЕРАЦИИ ДО ЗАЛЕЖИ, ТАК И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАДАЧ ПРИ ПРОЦЕССАХ РАЗРАБОТКИ И ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ. ПОЧЕМУ СОСТАВ НЕФТИ ТАК РАЗНООБРАЗЕН И ЧЕМ ЭТО ОБУСЛОВЛЕНО?

CURRENTLY, IN RUSSIA AND ABROAD, GEOCHEMICAL STUDIES USED IN THE SCIENCE OF OIL AND GAS ARE BECOMING MORE AND MORE SIGNIFICANT BOTH THEORETICALLY AND PRACTICALLY. ORGANIC GEOCHEMISTRY AND, AS A MAJOR BRANCH OF THIS SCIENCE, PETROLEUM CHEMISTRY, ARE ACQUIRING THE STATUS OF A NEW PARADIGM FOR THE STUDY OF PETROLEUM RESOURCES. THE PARADIGM IS BASED ON THE NEED TO ASSESS THE QUALITY. THE PARADIGM IS BASED ON THE NEED TO EVALUATE THE QUALITY OF HYDROCARBON RAW MATERIALS, THEIR PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES, METALLOGENIC SPECIALIZATION AT ALL STAGES OF GEOLOGICAL EXPLORATION. GEOCHEMICAL AND PETROCHEMICAL METHODS FOR STUDYING HYDROCARBON FLUIDS ARE OF GREAT IMPORTANCE, SINCE THEIR IMPLEMENTATION IS ASSOCIATED WITH AN INCREASE IN EFFICIENCY AND A REDUCTION IN THE COST OF PROSPECTING, EXPLORATION, PRODUCTION AND PROCESSING OF HYDROCARBONS. THESE AREAS OF WORK ARE ABLE TO STUDY AND TAKE INTO ACCOUNT THE ENTIRE SPECTRUM OF BOTH GENETIC FACTORS THAT CONTROL THE FORMATION OF DEPOSITS FROM THE SOURCE OF GENERATION TO THE DEPOSIT, AND INDUSTRIAL PROBLEMS IN THE PROCESSES OF DEVELOPMENT AND PROCESSING OF RAW MATERIALS. WHY IS THE COMPOSITION OF OIL SO DIVERSE AND WHAT CAUSES IT?

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: состав нефти, переработка, нефтехимические исследования, нафтиды, оценка микроэлементного состава.

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

О значимости основ нефтехимической науки в нефтяной геологии свидетельствует большой объем публикаций российских исследователей таких научных центров, как Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск),

ВНИГРИ (Санкт-Петербург), Институт химии нефти РАН (Томск), Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова – кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых (Москва), ВНИГНИ (Москва), Институт нефтехимического синтеза РАН (Москва), Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова (Казань) и др., связанный с инновационным изучением состава нефтей и органического вещества (ОВ) пород; проведение крупных международных симпозиумов по органической геохимии IMOGEAGE (Италия, 2017; Швеция, 2019; Франция, 2021), российских конференций: «Геохимия нефти и газа, нефтематеринских пород», г. Сыктывкар, 2019; «Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии», г. Пермь, 2019; «Химия нефти и газа»,

г. Томск, 2020, 2021; «Успехи органической геохимии», г. Новосибирск, 2022 и ряд других. Большой общественный резонанс вызвала прошедшая 5–9 октября 2021 г. в г. Грозном XII российская конференция (с международным участием) «Актуальные проблемы нефтехимии», посвященная памяти академика РАН С.Н. Хаджиева [1, 2, 3].

Высокая активность ученых геохимиков связана с осознанием исследователями-практиками необходимости детального изучения состава «черного золота», т.е. необходимости понимания, из чего же состоит то богатство, которым человечество пользуется уже многие годы, что же мы добываем из недр земли. Почему это «золото» содержит практически всю таблицу химических элементов Д.И. Менделеева (идентифицировано более 60 элементов) и самые различные УВ соединения, и нет нефти, похожей одна на другую. С чем же связаны эти различия, чем они обусловлены?

Общие понятия о микроэлементной характеристике нафтидов и микроэлементные показатели

Все разнообразие геологических процессов, происходивших и происходящих при захоронении первичного исходного для нефтеобразования ОВ и дальнейшее преобразование УВ, отражено в особенностях состава нефти, как УВ, так и, в частности, в содержании и соотношениях микроэлементов (МЭ). Интерес к изучению соединений МЭ в нафтидах связан с характером их реакции на различия геологических условий и геохимических процессов формирования горючих ископаемых и поддерживается следующими факторами:

- возможностью по характеру распределения МЭ реконструировать геологические условия и геохимические процессы формирования нафтидов при многостадийных этапах генерации, миграции, аккумуляции и разрушения нефтяных углеводородов, т.е. МЭ являются индикаторами онтогенеза УВ – геохимический фундаментальный, научно-прикладной аспект;

- перспективностью получения товарных соединений МЭ из каустобиолитов, металлоносные нефти и битумы являются практически рудными объектами (V, Ni, U, Mo и др.) – промышленно-сырьевой аспект;
- негативным влиянием на скважинное оборудование и на технологические параметры переработки добываемого сырья – технологический аспект;
- образованием при добыче и переработке горючих ископаемых соединений потенциально токсичных МЭ, включающих радиоактивные, ртуть, мышьяк и создающих экологическую угрозу для среды обитания, – экологический аспект.

К нефтяному месторождению нужно подходить с двух позиций – как к УВ сырью и рудному телу. С точки зрения содержания металлов многие нефти просто уникальны. И, очевидно, особым спросом будут пользоваться как экологически чистые, так и существенно металлоносные сорта нефти. В зависимости от содержания металлов меняется цена нефти, методика разведки и разработки, технология переработки и осуществляются различные подходы к охране окружающей среды.

Анализ литературного и экспериментального материала по геологии и химии нафтидов нефтегазоносных бассейнов (НГБ) различного тектонического строения, проведенный автором, достаточно определенно свидетельствует, что физико-химические свойства нефти, УВ состав, содержания и соотношения в них рудных компонентов есть функция исходного ОВ, лито-фациальных условий захоронения, последующей аккумуляции и разрушения скоплений, результатов геодинамических эндогенных и экзогенных процессов, т.е. геологической истории развития осадочного бассейна [4, 5]. При этом нами охарактеризованы генетические модели нефтей в связи со стадиями онтогенеза по их фазовому состоянию, физико-химическим свойствам и степени обогащенности МЭ и даны рекомендации по практическому использованию МЭ-критериев нафтидов для оценки перспектив нефтегазоносности, а также при разработке УВ ресурсов. Таким образом, геохимия МЭ нафтидов

становится не только научной, но и прикладной дисциплиной [6–8].

В этой связи для изучения вопросов нефтегенерации и прогноза перспективности территорий предложен целый комплекс МЭ-показателей и внедрен новый метод геохимических исследований – микроэлементная геохимия нафтидов. Основные геохимические МЭ-показатели сгруппированы по рекомендациям их использования в различных геохимических аспектах и показаны в табл. 1. Отметим, что в табл. 1 приведены лишь показатели, основанные на МЭ-характеристике флюидов. В исследованиях при решении конкретных задач часто используется целый комплекс более широких УВ показателей. Безусловно, приводимое как нами, так и другими исследователями разграничение геохимических задач по стадиям ГРП достаточно условно, эти задачи перекликаются и возможно решаются комплексно и системно на всех этапах работ.

Многие вопросы применения предложенных показателей на конкретных геологических моделях в конкретных нефтегазоносных регионах и использованные литературные источники были нами детально освещены в предыдущих исследованиях [6–9].

В настоящей статье остановимся более детально на проблеме характеристики качественного состава флюидов, скапливающихся в ловушках разного типа, а также на влиянии эндогенных и экзогенных процессов на состав МЭ.

Оценка качественных особенностей флюидов при формировании залежей углеводородов

Проведены исследования по оценке качественных особенностей флюидов, направленные на выявление закономерностей дифференциации свойств нафтидов при формировании залежей УВ вне антиклинальных структур. В связи с трендом снижения прироста запасов УВ, связанных с антиклинальными ловушками, значительное внимание уделяется изучению состава флюидов, приуроченных именно к ловушкам неантиклинального комбинированного строения.

Анализ величин распределения МЭ и УВ состава нефтей и конденсатов, их физико-химических свойств

УДК 553.982

ТАБЛИЦА 1. Примеры использования геохимических МЭ-показателей в нефтегазопроисковой геохимии на различных стадиях ГРП

Геохимические аспекты	Используемые показатели	Тенденции изменения	Примеры использования показателя
Региональный этап			
Стадийность катагенетического преобразования ОБ пород	Содержания МЭ, дифференцированные по их приуроченности к смолисто-асфальтеновым компонентам	При увеличении катагенеза содержания V, Ni, Co, Mo, ванадил-порфиринов уменьшаются	Предорогенные прогибы (Предуральский), Паннонский бассейн (Венгрия), юрские отложения Западной Сибири
Поисковый этап			
Локальный прогноз нефтегазоносности	V/Zn, Ni/Zn, V/Cu, Ni/Cu, V/Br, Ni/Br, Co/Zn, Sc/Ba	Различия концентраций в нефтях и конденсатах	Западная Сибирь, Прикаспийский НГБ, Новая Зеландия
Генетическая типизация: корреляция нефть – нефть	Содержание Co на кокс, генетический показатель V/Ni и др.	Близкие содержания в генетически единых нефтях	Западное Предкавказье
Диагностика нефтематеринских свит, корреляция нефть – РОВ	V, Ni, Fe, Cu, Zn, Pb, Co; Ni/Co, Fe/Co, Zn/Co, Ni/Cu, V/Ni; карты распределения содержаний V и ванадилпорфиринов; сопоставительные кривые	Уменьшение от син- к эпигенетичным. Подobie концентраций и МЭ соотношений при корреляции	Тимано-Печорский НГБ, Пермское Приуралье, Вост. Предкавказье, Зап.- Сибирский и Предкарпатский НГБ
Оценка очагов генерации нефти	Концентрационные ряды V, Ni, Fe, Co, Zn, Cu; отношения МЭ, поля концентраций МЭ в нефтях и ОБ	Типизация нефтей и битумоидов по концентрациям и МЭ соотношениям	Глубокопогруженные отложения Западно- Сибирского НГБ
Вторичная миграция	Ni/Cu, V/Cu, Co/Cu	Уменьшение величин отношений	Эксперимент. Восточ. Предкавказье
Разведочный этап			
Влияние эндогенных и экзогенных процессов на МЭ состав нафтидов	Оценка корреляционных связей МЭ состава нафтидов с составом земной коры различного уровня	Различие коэффициентов корреляции МЭ состава нафтидов и состава земной коры	Западно-Сибирский, Зап. Камчатский, Волго-Уральский НГБ (Ромашкинская группа м-ний)
Прогноз состава нефтей и фазового состояния флюидов	Концентрационные ряды, соотношения МЭ на основе разработанной типизации нефтей	Обогащенность или обедненность нафтидов комплексом МЭ	Тимано-Печорский, Венесуэльский, Волго- Уральский и др. НГБ
Диагностика нефтенасыщенных прослоев «тонких» ловушек сланцевых формаций	Содержание C _{орг} , битуминозный коэффициент (β), УВ состав, МЭ соотношения и концентрации	Низкие концентрации C _{орг} и β. Обогащены подвижными (Cu, Au, As) и обеднены менее подвижными (V, Ni, Co, Mo) элементами	Доманиковые и баженовские сланцевые формации Волго-Уральского и Западно- Сибирского НГБ
Экологические риски при разработке сланцевых плевев	Потенциально токсичные элементы в сланцах	Часто повышенные концентрации МЭ, усугубляющиеся при разработке	Горючие и черные сланцы Швеции, Польши, Беларуси, США, России и др.

в НГБ мира [10–12] позволил установить особенности размещения месторождений с различными содержаниями МЭ и провести их типизацию. Выявлены нефти, характеризующиеся первичными богатыми концентрациями МЭ главной зоны нефтеобразования – ванадиевые (V > Ni), и нефти с изначально низкими содержаниями МЭ в зонах ранней генерации – никелевые (V < Ni). Процессы трансформации состава нефтей при гипергенезе приводят к вторичному их обогащению МЭ – ванадиевые (V > Ni) и/или железистые (Fe < V > Ni), тогда как нефти зоны значительного катагенеза обеднены МЭ – никелевые (V < Ni) (рис. 1).

Оценка свойств флюидов, прогнозируемых при формировании УВ скоплений в осадочном чехле, базировалась на закономерностях, определяющих состав нефтей согласно вертикальной эволюционной зональности в процессе онтогенеза. В осадочном разрезе земной коры происходит трансформация состава генерированных в недрах УВ систем – от незрелых (тяжелых) на малых глубинах к преобразованным зрелым и сверхзрелым (легким) нефтям и конденсатам, связанная с увеличением глубины, температурного градиента, давления и типа исходной органики (Н.Б. Вассоевич, Ал. А. Петров,

С.Г. Неручев, О.К. Баженова, А.Э. Конторович, К.Е. Peters & J.M. Moldowan и др.). Разработанная нами классификация нефтей НГБ по их МЭ составу дает возможность прогнозировать и металлогеническую специализацию флюидов разного типа на определенных уровнях процессов нефтеобразования, вторичного преобразования и разрушения скоплений. Таким образом, исходя из наблюдаемой эволюционной зональности размещения УВ скоплений и металлогенической специализации НГБ, можно прогнозировать наличие нефтей определенного геохимического типа в ловушках, закартированных

РИС. 1. Схема обогащенности нефтей микроэлементами в зависимости от процессов нефтегенерации



в нефтегазоносных регионах на определенном уровне этой зональности.

На предыдущих этапах исследования [13, 14] были подробно проанализированы на многочисленных конкретных примерах, в том числе на месторождениях Волго-Уральского и Западно-Сибирского НГБ, физико-химические свойства, МЭ состав, фазовые состояния нафтидов в ловушках различного строения:

- подвергшихся влиянию гипергенетических процессов (Шугуровское месторождение тяжелых нефтей и природных битумов в пермских отложениях Республики Татарстан Волго-Уральского НГБ в ловушках эрозионных врезов);
- подвергшихся влиянию катагенетических процессов (нефтяное месторождение Кальчинское Фроловской НГО с литологически и тектонически экранированными ловушками в нижнеюрских отложениях);
- в регионах с возможно дополнительным притоком УВ (Ромашкинская группа месторождений Республики Татарстан в ловушках выклинивания поднадвиговых зон);
- в выступах кристаллического фундамента осадочных бассейнов или в корах выветривания нижнеюрского и палеозойского возраста (Айторская площадь

и Каменное месторождение Краснотенинского свода Западной Сибири);

- в сланцевых углеродсодержащих толщах баженовской свиты Западной Сибири и доманиковой формации Волго-Урала.

На схеме-модели (рис. 2) в рамках глубин и стадийности катагенеза показаны все варианты заполняемости комбинированных ловушек различного типа нефтями и/или нефтегазоконденсатами с характерной металлогенией и физико-химическими свойствами.

Основные выводы сводятся к следующему.

На малых глубинах при плохих региональных или локальных покрывках встречены в ловушках зон выклинивания и различного рода экранирований ловушек тяжелые высоковязкие гипергенно преобразованные нефти, недонасыщенные газом, с высоким содержанием асфальтово-смолистых компонентов, содержащие повышенные концентрации (вплоть до промышленных) V, Ni, Mo, Co, Cr и некоторых других элементов, ассоциированных с тяжелыми высокомолекулярными фракциями нефтей.

При длительной латеральной миграции на больших глубинах при хорошей изоляции от поверхностных агентов выветривания в ловушках литологически и стратиграфически экранированных обнаруживаются нефти химических типов А-1

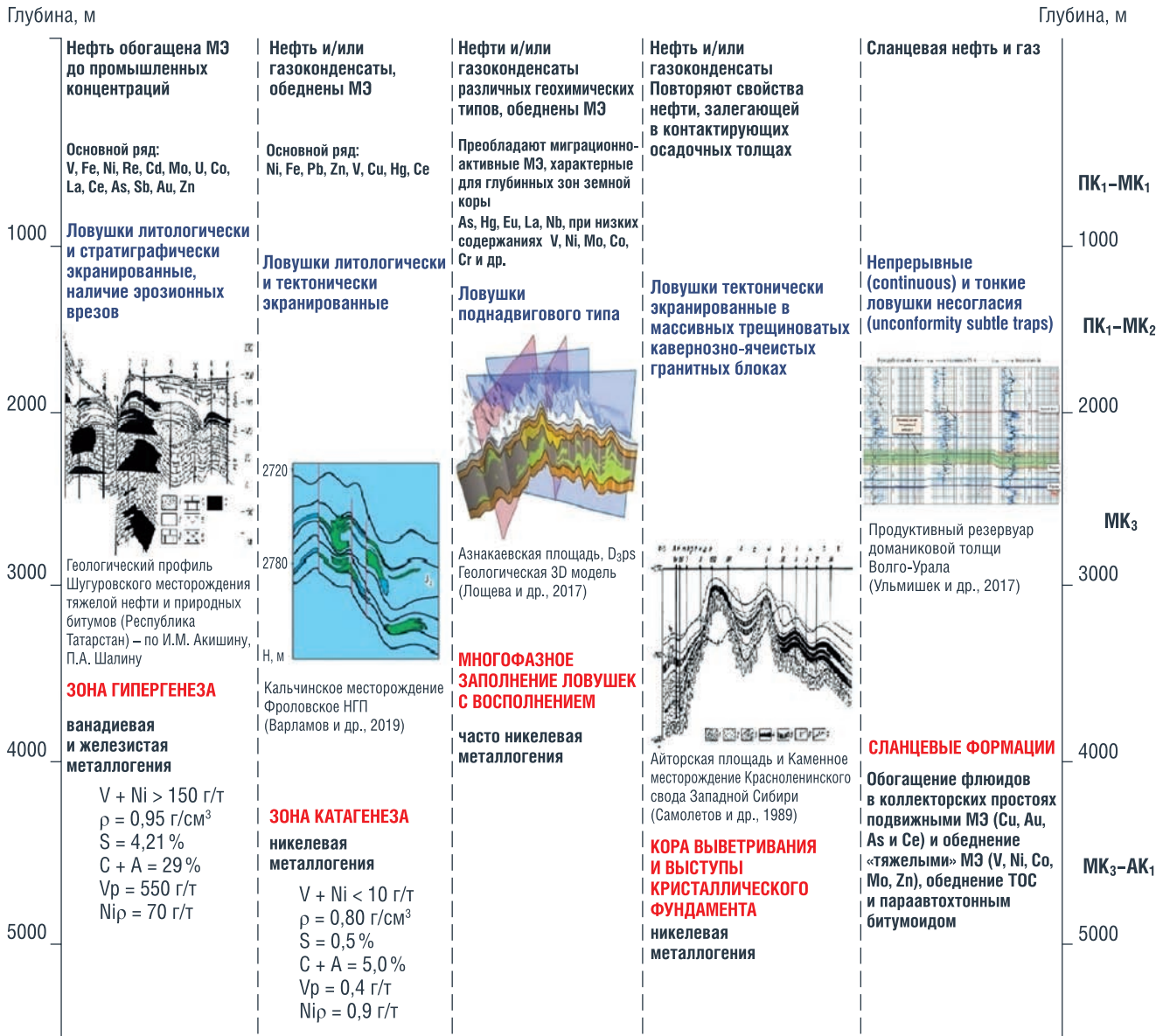
(сверхзрелая) и А-2 (зрелая). Нефти легкие и очень легкие с низкими содержаниями асфальтово-смолистых компонентов. В групповом составе фракций НК-430 °С доля алкановых УВ может достигать 90 %. Во фракции 200–430 °С *n*-алканы (5–25 %) доминируют над изопреноидными УВ (0,05–6,0 %), содержание циклоалканов изменяется от 15 до 45 %, а ароматических УВ – от 10 до 70 %. Благоприятен прогноз обнаружения при жестких термобарических условиях газоконденсатных и нефтегазоконденсатных скоплений. Нефти, как правило, никелевой металлогении, значительно обедненные МЭ, в особенности теми, что связаны с тяжелыми компонентами, и обогащены МЭ, ассоциированными с более легкими масляными фракциями.

При активном тектоническом режиме (тектонически экранированные ловушки), при многофазности заполнения ловушек и при этом – влиянии и подтоке глубинных, т.е. более катагенно преобразованных флюидов, возможно обнаружение легких нефтей никелевого типа или газоконденсатов, обогащенных элементами «магматических эманаций» – As, Hg, Al, В, редкоземельными элементами.

Нефти, заполняющие комбинированные ловушки в коре выветривания или в выступах кристаллического фундамента в пределах платформенных НГБ, как правило, не отличаются особенностью своего состава по сравнению с нефтями в вышезалегающих или в соседствующих частях осадочного разреза.

Сланцевые толщ имеют своеобразный тип ловушек и состав сланцевых УВ. Проблема прогноза продуктивности углеродсодержащих (сланцевых) толщ до сих пор остается спорной. Особенности свит, т.е. их сланцевый характер и частое чередование более плотных и менее плотных пород – накопителей и производителей УВ, приводят к трудностям дешифровки собственно нефтематеринских и продуктивных прослоев в их строении. Эта неопределенность вызвана тем, что методы исследования традиционных УВ скоплений не применимы к нетрадиционным объектам, которые являются одновременно и нефтематеринскими

РИС. 2. Схема-модель, показывающая в рамках глубин и стадийности катагенеза варианты заполняемости комбинированных ловушек нефтями и/или нефтегазоконденсатами с характерной металлогенией и физико-химическими свойствами



и нефтесодержащими. Пласты-коллекторы не являются ловушками в обычном понимании, а представлены довольно протяженными участками с хорошими коллекторскими свойствами. Их часто называют «непрерывными» (continuous) или тонкими ловушками несоответствия (unconformity subtle traps) [15–21]. По нашим исследованиям, любые перемещения флюидов внутри таких толщ приводят к изменению их состава, в частности к обогащению более подвижными (Cu, Au, As и Se) и обеднению менее подвижными (V, Ni, Co, Mo, Zn) элементами и изменению их соотношений. Последние ассоциированы со смолисто-асфальтовыми компонентами. Выявленные особенности МЭ состава флюидов

могут являться маркерами прогноза продуктивности резервуаров углеводосодержащих формаций [22]. При учете результатов проведенных исследований, экологические риски, возникающие при разработке и добыче УВ при горизонтальном бурении в условиях протяженных «ловушках» сланцевых формаций, оцениваются довольно высоко. Для проведения экологической экспертизы с целью воспрепятствования попадания токсичных элементов в окружающую среду и в буровое оборудование необходимы дополнительные исследования по мониторингу МЭ состава сланцевых формаций до принятия решений о комплексной технологии переработки сланцев с извлечением газа, нефти и металлов [23].

Оценка корреляционных связей МЭ состава нафтидов с составом земной коры различного уровня

Для дополнительных суждений об основных источниках МЭ в нафтидах, оценки влияния эндогенных и экзогенных процессов на их МЭ компоненту [24] проанализированы величины коэффициентов корреляции (КК) логарифмов содержаний МЭ в нафтидах с химическим составом земной коры разных уровней и биоты [25, 26]. В сферу рассмотрения были вовлечены битумоиды (растворимые компоненты ОБ пород, являющиеся

по представлениям многих геохимиков предшественниками нефти), собственно нефти, смолисто-асфальтоновые компоненты нефти и асфальты (природные битумы). Этот ряд представляет собой генетическую последовательность превращений нафтидов в процессе эволюции нефтяных систем: от исходных углеродистых веществ осадочных пород к нефтям, и далее при их гипергенном или термальном вторичном преобразовании к природным битумам. Были детально изучены МЭ составы различных сланцевых формаций и углей. В выборку вошли аналитические данные по сланцевым формациям различных регионов мира [23], которые нами почерпнуты из многочисленных литературных источников (Готтих, Писоцкий, 2006; 2010; Ясыгина и др., 2006; Федоров и др., 2007; Готтих и др., 2008; 2009; Винокуров и др., 2010; Маслов и др., 2015; Szatmari et al., 2011, Каюкова и др., 2018; К.С. Иванов и др., 2018; 2020 и др.). Всего в расчетах задействованы данные примерно 100 анализов в ряде случаев по более чем 40 МЭ.

Выявлены более высокие КК МЭ состава сланцев с составами биоты, и с верхней и средней корой, по сравнению с нижней, что отражает их связь с отложениями

верхних слоев земной коры. Для менее преобразованных горючих сланцев эта тенденция выражена значительнее. При близких КК между МЭ составом битумоидов и составами биоты выявлены более высокие величины связи состава битумоидов именно с верхней либо средней, но не нижней корой. И очень высоки связи битумоидов и нефтей между собой по составу изученных МЭ (выборки представлены одновозрастными комплексами битумоидов и нефтей Татарского свода).

При анализе выборки смолисто-асфальтоновых компонент нефтей Татарского свода для подавляющего количества проб отмечаются более высокие КК МЭ состава флюидов с составом средней или нижней коры и биоты, чем с верхней. В подборке результатов по МЭ составу смолисто-асфальтоновых компонент нефтей и битумоидов других регионов и природных битумов (асфальтов) достаточно отчетливо проявляется более высокая связь МЭ состава этих объектов с составами нижней коры, чем с верхней. Известно, что большинство МЭ в нефтях сосредоточено в их тяжелых, высокомолекулярных – смолисто-асфальтоновых компонентах (табл. 2). Часто они представлены коллоидными частицами

неорганической природы, которые сорбированы или связаны с полициклическими системами наиболее высокомолекулярной части нефти. Концентрация металлов в асфальтенах, как правило, выше, чем в смолах. Это относится к таким элементам, как V, Ni, Zn, Hg, Eu. Несмотря на более высокие абсолютные концентрации металлов в асфальтенах, считается, что смолы из-за гораздо большего их содержания в нефти, аккумулируют в своем составе преобладающую долю многих металлов.

Остановимся детальнее на характере преобразования нафтидов от исходных нефтей до флюидов, измененных вторичными процессами. В зависимости от тектонической глубин вмещающих отложений (до выхода на поверхность), особенностей контактирующих с залежью пластовых вод существенно меняется ряд последовательных стадий окисления нафтидов: от легких нефтей к тяжелым, от тяжелых нефтей к асфальтитам, от малых к керитам, что влечет за собой цепочку согласованных изменений УВ и МЭ состава. При этом происходит значительная потеря легких фракций, биodeградация

ТАБЛИЦА 2. Содержание МЭ, определенных непосредственно в смолах и асфальтенах нефтей Западной Сибири (по аналитическим данным [27])

Месторождение, пласт	Фракция	Содержание МЗ во фракциях, г/т						
		Ag	Zn	Hg	Sc	V	Ni	
Русское, ПК ₃	Смолы	$\frac{34,2}{97}$	отсутствует		$\frac{0,01}{53}$	$\frac{35,2}{80}$	$\frac{35,0}{64}$	
	Асфальтены	$\frac{0,92}{3}$	$\frac{61,70}{100}$	$\frac{0,52}{100}$	$\frac{0,11}{48}$	$\frac{76,6}{15}$	$\frac{178,0}{36}$	
Советское, АВ ₁	Смолы	–	$\frac{200,0}{90}$	отс.	$\frac{0,01}{85}$	$\frac{152,0}{83}$	$\frac{120,0}{82}$	
	Асфальтены	–	$\frac{380,0}{10}$	$\frac{3,7}{100}$	$\frac{0,04}{15}$	$\frac{544,0}{17}$	$\frac{450,0}{18}$	
Месторождение, пласт	Фракция	Содержание МЗ во фракциях, г/т						V/Ni
		Sb	Cr	Mn	Fe	Co	Br	
Русское, ПК ₃	Смолы	$\frac{0,01}{10}$	$\frac{0,42}{26}$	$\frac{0,72}{74}$	не обн.	$\frac{0,92}{68}$	$\frac{3,86}{20}$	1,0
	Асфальтены	$\frac{0,90}{90}$	$\frac{10,9}{74}$	$\frac{2,3}{26}$	$\frac{720,0}{100}$	$\frac{3,8}{32}$	$\frac{135,0}{80}$	0,4
Советское, АВ ₁	Смолы	$\frac{0,05}{87}$	$\frac{0,64}{58}$	–	$\frac{19,0}{100}$	$\frac{0,33}{88}$	–	1,3
	Асфальтены	$\frac{0,13}{13}$	$\frac{8,28}{42}$	–	не обн.	$\frac{0,76}{12}$	–	1,2
* в числителе – содержание МЭ во фракциях; в знаменателе – доля МЗ в нефти, %								

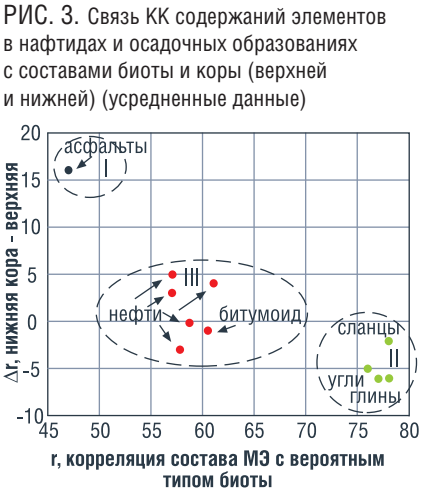
* в числителе – содержание МЭ во фракциях; в знаменателе – доля МЭ в нефти, %

парафиновых УВ, остаточное накопление и новообразование смолисто-асфальтеновых компонентов, осернение нефтей, накопление ряда тяжелых металлов, и в первую очередь ванадия, образование промышленно ванадиеносных провинций с рудными концентрациями металлов [28]. Процессы, приводящие к образованию всей гаммы природных битумов, очень многообразны и изучены к настоящему времени достаточно полно. Поскольку родоначальником основной массы битумов являются нефти, схема битумогенеза определяется процессами эволюции нефтей, завершающейся преобразованием их в вязко-жидкие, вязкие и твердые дереваты. Определяющее значение имеют три группы процессов: окислительные, фазово-миграционные и термально-метаморфические [29].

Вероятно в связи с более сильными сорбционными свойствами смолисто-асфальтеновых фракций нефтей и битумоидов и сосредоточии большего количества и большего разнообразия элементов именно в этой части нефти при первичной нефтегенерации, а также при вторичном накоплении элементов при гипергенезе за счет потери легких фракций и взаимодействию с активными глубинными потоками и происходит увеличение корреляционных связей составов этой группы нафтидов с нижней корой и уменьшение связи с верхней и составом биоты.

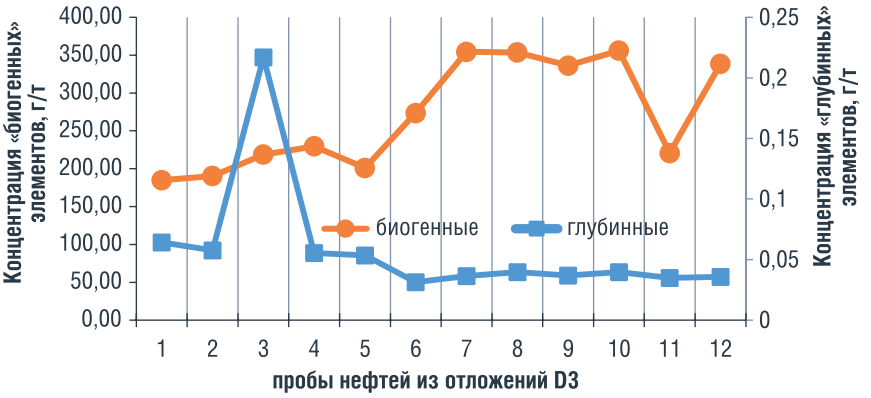
В обобщенном виде результаты взаимосвязи между составами исследованных природных объектов представлены на рис. 3. По оси ординат отложена разность между КК содержаний элементов в нафтидах и в верхней коре, а по оси абсцисс – КК между содержанием элементов в нафтидах и в биоте. При значительном разбросе КК на графике отчетливо проявляются определенные зависимости связей составов элементов для различных групп нафтидов с составами коры и биоты, которые на графике формируют три зоны. I зона отвечает природным битумам. Характерны высокие КК между содержаниями элементов нижней коры и асфальтов при низких КК с составом биоты. II зона – глины, углеродистые сланцы и угли. Для этих образцов выявлены, наоборот, низкие КК между содержаниями

элементов в них и в нижней коре и высокие КК с составом биоты и верхней коры. III – центральная зона, промежуточная, здесь расположены точки, характеризующие КК между составами нефтей различных бассейнов и битумоидов с составом коры и биоты.



Выявленные различия КК элементного состава нафтидов с составом коры и биоты подтверждают полигенность их источника, связанного с исходным для нефтеобразования живым веществом (так называемые биогенные элементы по В.И. Вернадскому) и глубинными флюидами (абиогенные). Можно предположить, что сланцы, глины и угли – чисто осадочные породы, также, как и некоторые битумоиды наследуют в большей мере специфику состава верхней коры и биоты, тогда как преобразованные флюиды – асфальты, проявляют унаследованность состава МЭ в большей мере от нижней коры, теряя связь с биотой.

РИС. 4. Модель распределения различных генетических типов МЭ в разновозрастных нефтях Ромашкинской группы месторождений (по аналитическим данным (Маслов и др., 2015); биогенные – Σ (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn), глубинные – Σ (Li, Be, La, Sm, Eu)



А значительная часть нефтей, битумоиды, ее смолисто-асфальтеновые компоненты имеют промежуточный состав элементов, на который влияет в некоторой мере состав разных уровней земной коры и биоты.

Если в предыдущих исследованиях полигенность состава МЭ нафтидов идентифицировалась чисто качественными методами, то в настоящем исследовании об этом свидетельствуют количественные показатели. Основным источником МЭ состава нафтидов это исходное живое вещество, однако в процессе миграции и нефтеобразования и за счет вторичных процессов начинают играть некоторую роль и глубинные процессы в нижней коре, поставляющие дополнительные их количества в состав нафтидов. Важно отметить, что также установлена некоррелированность изменения в различных пробах нефтей концентраций предположительно биогенных (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn) и глубинных (Li, Be, La, Sm, Eu) элементов (рис. 4). При этом такая несогласованность также не уникальна для Ромашкинского месторождения. Аналогичные выводы были нами получены при сравнении различных генетических групп МЭ по нефтям месторождений Ханты-Мансийского региона. Некоррелированность содержания в нефтях биогенных и глубинных элементов свидетельствует о независимом поступлении элементов в нафтиды из различных источников.

Таким образом, в процессе эволюции нефтяных систем от исходного ОВ до образования природных битумов нафтиды пополняются дополнительным количеством элементов,

заимствованных из нижних слоев земной коры. Эти интересные выводы представляются в достаточной степени аргументированными, хотя стоит признать, что необходимы дополнительные исследования, чтобы снять дискуссионность некоторых высказанных положений.

Заключение

Прикладная металлогения нафтидов, составляющая важную компоненту нефтехимических исследований, является новым научным направлением, которое с успехом может применяться в совокупности с другими геолого-геохимическими данными при оценках перспектив нефтегазоносности в общем цикле нефтегазопроисловых работ, эффективности и значимости разработки и переработки УВ ресурсов и экологических рисков.

Металлогеническая специализация флюидов имеет большое значение для понимания их образования, корреляций в системе нефть – ОВ, диагностики нефтепродуцирующих толщ, миграции нефти, созревания ОВ и условий осадконакопления исходных пород. С другой стороны, некоторые МЭ являются потенциально опасными, поскольку они не только являются ядом для катализаторов, но также могут вызвать значительную коррозию оборудования во время переработки сырья. Необходимость удаления определенных следовых металлов перед переработкой зависит от их содержания, которое должно быть точно определено. Разливы сырой нефти на суше или рафинированной нефти могут привести к попаданию токсичных элементов тяжелых металлов в почву и водоемы, что будет угрожать местной природной среде.

Результаты исследования показали необходимость комплексного подхода к месторождению каустобиолитов как к промышленному объекту освоения не только УВ сырья, но и металлов. В зависимости от содержания металлов будут меняться цена сырья, методика разведки и разработки, технология переработки и осуществляться различные мероприятия по охране окружающей среды. А на современном этапе развития вопрос восполнения ресурсов, оценка и прогноз качества нефти являются острейшими и дискуссионными не только в научном

плане, но и в экономическом и даже геополитическом. Возможность извлечения из нефтей металлов, цены на которые непрерывно повышаются, привлекают нефтяные компании. Тем более, что реализуется план декарбонизации мировой экономики с необходимостью конструирования именно металлических деталей для использования возобновляемых источников энергии [30]. И сейчас в условиях нарастающего энергетического кризиса необходимо проектирование нефтеперерабатывающих заводов с возможным извлечением ценных и промышленно важных металлов из добываемого сырья.

В связи с этим привлечение данных о нефтехимии представляет не только теоретический интерес, связанный с познанием процессов генезиса нафтидов, но и практическую значимость. ●

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла».

Литература

1. Контарович А.Э. Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М.: Недра, 1976, 248 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. Гордадзе Г.Н. Углеводороды в нефтяной геохимии. Теория и практика. М.: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. 559 с.
4. Weihsang Yang, Yongjun Gao, John F. Casey. Determination of Trace Elements in Crude Oils and Fuel Oils: A Comprehensive Review and New Data. In book: Solution Chemistry: Advances in Research and Applications. 2018. 48 p.
5. Galarraga F., Reategui K., Martínez A. et al. V/Ni ratio as a parameter in palaeoenvironmental characterisation of nonmature medium-crude oils from several Latin American basins // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2008. V. 61. № 1. P. 9 – 14.
6. Пуанова С.А., Виноградова Т.Л. Сравнительная характеристика природных углеводородных систем различного генезиса // Нефтехимия. 2016. № 4. С. 326.
7. Пуанова С.А. Прикладная металлогения нафтидов. Актуальные проблемы нефти и газа, 2017. 2(17). <http://oilgasjournal.ru/>.
8. Пуанова С.А. О некоторых приоритетных направлениях развития нефтегазового комплекса. Материалы Межд. научно-практич. конф. «О новой парадигме развития нефтегазовой геологии». 2020. Казань, ИХЛАС, с. 170 – 174.
9. Пуанова С.А., Родкин М.В. Нефти Камчатки – перспективный объект геохимических исследований // Нефтяное хозяйство, № 1. 2021. С. 18 – 22. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-1-18-22.
10. Пуанова С.А. Геохимические особенности распределения микроэлементов в нафтидах и металлоносность осадочных бассейнов СНГ // Геохимия. 1998. № 9. С. 959 – 972.
11. Пуанова С.А. Микроэлементы нафтидов нефтегазоносных бассейнов // ДАН. 2019. Т. 488. № 5. С. 10 – 107.
12. Якуцени С.П. Распространенность углеводородов, обогащенных тяжелыми элементами-примесями.

Оценка экологических рисков. СПб: Недра. 2005. 372 с.

13. Пуанова С.А. Геохимические особенности углеводородных флюидов в неантиклинальных ловушках // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. № 10. С. 15 – 21.
14. Пуанова С.А. О характерных особенностях нафтидов в связи с процессами формирования залежей // Георесурсы. 2021. Вып. 24. № 4. С. 107 – 115.
15. Скворцов М.Б., Дахнова М.В., Можегова С.В., Кирсанов А.М., Комков И.К., Пайзанская И.Л. Роль геохимических методов в прогнозе нефтеносности и оценке ресурсного потенциала черносланцевых толщ (на примере баженовской свиты) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3 – 4. С. 495 – 503.
16. Контарович А.Э., Костырева Е.А., Родякин С.В., Сотнич И.С., Ян П.А. Геохимия битумоидов баженовской свиты // Геология нефти и газа. 2018. № 2. С. 79 – 88.
17. Варламов А.И., Петерилье В.И., Пороскуп В.И., Фортунатова Н.К., Комар Н.В., Швец-Тэнэ-Гурий А.Г. Временные методические рекомендации по подсчету запасов нефти в домикаловых продуктивных отложениях // Недропользование. 2017. № 4. С. 104 – 115.
18. Pearson K. Geologic Models and Evaluation of Undiscovered Conventional and Continuous Oil and Gas Resources – Upper Cretaceous Austin Chalk, U.S., Gulf Coast U.S. // Geological Survey, Reston, Virginia: 2012. <https://explorer.aapg.org/story/articleid/57848/seeking-the-goldilocks-window-of-the-austin-chalk>.
19. Dolson J. Understanding Oil and Gas Shows and Seals in the Search for Hydrocarbons. Springer International Publishing. 2016. XIX, Switzerland. 486 p. DOI 10.1007/978-3-319-29710-1_2.
20. 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. 16. P. 229 – 251. [https://doi.org/10.1007/s12182-018-0286-2\(0123456789\)](https://doi.org/10.1007/s12182-018-0286-2(0123456789)).
21. Стулакова А.В., Фадеева Н.П., Калмыков Г.А. и др. Поисковые критерии нефти и газа в домикаловых отложениях Волго-Уральского бассейна // Георесурсы. 2015. 2 (61). С. 77 – 86.
22. Puanova S. Trace element composition of shale formations. 29-th International Meeting on Organic Geochemistry. EAGE-IMOG. (September 2019). All Abstracts. Gothenburg, Sweden. P. 49.
23. Puanova S.A., Shpirt M.Ya. Ecological Consequences of the Development of Shale Formations Containing Toxic Elements // Solid Fuel Chemistry. 2018. № 6. P. 396 – 405.
24. Родкин М.В., Рундквист Д.В., Пуанова С.А. К вопросу относительной роли нижнекорыховых и верхнекорыховых процессов в формировании микроэлементного состава нефтей // Геохимия. № 11. 2016. С. 1025 – 1031.
25. Пуанова С.А., Родкин М.В., Рукавишников Т.А. Генетические особенности микроэлементного состава нафтидов на основе корреляционного анализа // Экспозиция Нефть Газ. 2020. № 4. С. 30 – 34.
26. Пуанова С.А. Микроэлементный состав нафтидов – от исходного органического вещества к нефтям и природным битумам. Сборник тезисов докладов XII Российской конференции «Актуальные проблемы нефтехимии» (с международным участием), 5–9 октября 2021 г., г. Грозный. – М.: ИХН РАН, 2021, Секция I, с. 260 – 264.
27. Алешин Г.Н., Камьянов В.Ф., Филимонова Т.А. и др. Металлы в нефтях Западной Сибири. Препринт № 32. Новосибирск: СО АН СССР, 1986. 60 с.
28. Puanova S.A. Supergene Transformed Naphthides: Peculiarities of Trace-Element Composition // Geochemistry International Pleiades Publishing. 2014. V. 52. No. 1. P. 57 – 67.
29. Гольдберг И.С. Нафтаметаллогенические провинции мира и генезис рудных концентраций в тяжелых нефтях и битумах // Геология нефти и газа. 1990. № 3. С. 2 – 7.
30. European Commission, Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU – a foresight study, 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. © European Union, 2020.

KEYWORDS: oil composition, refining, petrochemical research, naphthides, evaluation of trace element composition.

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС

для оценки технологических трубопроводов компрессорных станций перед проведением внутритрубного технического диагностирования



**Кожаева
Ксения Валерьевна**

кафедра сооружения
и ремонта газонефтепроводов
и газонефтехранилищ,
факультет трубопроводного
транспорта,
Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
доцент, к.т.н.

**Ахмадыльшин
Дмитрий Александрович**
студент,
Уфимский государственный
нефтяной технический
университет

ПРЕДСТАВЛЕН РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОЛОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ. В СОСТАВ КОМПЛЕКСА ВХОДЯТ МАГНИТНЫЙ МОТОР-КОЛЕСНЫЙ МОДУЛЬ, ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ, А ТАКЖЕ СИСТЕМА УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТАННОГО КОМПЛЕКСА – ПРОВЕДЕНИЕ ТЕЛЕИНСПЕКЦИИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА, ПРОВЕДЕНИЕ ИНСПЕКЦИИ СЛОЖНЫХ ПО КОНФИГУРАЦИИ СИСТЕМ ТРУБОПРОВОДОВ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УДАЛЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО БЕСПРОВОДНОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ

A ROBOTIC COMPLEX FOR EVALUATING THE INTERNAL CAVITY OF PIPELINES IS PRESENTED. THE COMPLEX INCLUDES A MAGNETIC MOTOR-WHEEL MODULE, AN OPTICAL SYSTEM, A BATTERY, AS WELL AS A REMOTE-CONTROL SYSTEM. THE DISTINCTIVE FEATURES OF THE DEVELOPED COMPLEX ARE CONDUCTING A TV INSPECTION WITHOUT PRELIMINARY CLEANING OF PIPELINE CONTAMINATION, CONDUCTING INSPECTIONS OF COMPLEX PIPELINE SYSTEMS AND AUTOMATED REMOTE CONTROL VIA A WIRELESS COMMUNICATION CHANNEL

Ключевые слова: газоперекачивающая компрессорная станция, технологический трубопровод, оценка внутренней полости трубопровода, телеинспекция, роботизированный комплекс.

Современные тенденции управления техническим состоянием и целостностью объектов газотранспортной системы ПАО «Газпром» предполагают долгосрочное планирование мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту магистральных газопроводов (МГ). При этом существующие подходы к

долгосрочному планированию в рамках действующей нормативной документации базируются на информации о фактическом техническом состоянии трубопроводов, наиболее информативным инструментом для получения которой являются периодические диагностические обследования с использованием внутритрубных устройств [1].

Непосредственное использование внутритрубных устройств (снарядов-дефектоскопов), широко применяющихся для внутритрубного технического диагностирования линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ), практически невозможно на технологических трубопроводах компрессорных станций (ТТ КС) из-за сложной пространственной конфигурации

системы трубопроводов, наличия большого числа отводов, подъемов, изгибов труб, ответвлений. Кроме того, снаряды-дефектоскопы для ЛЧ МГ рассчитаны на движение в потоке газа со скоростями 1–10 м/с, что невозможно реализовать на ограниченных и крутоизогнутых участках ТТ КС, как правило, протяженностью 200–2000 м. Поэтому для диагностики ТТ КС разработаны специализированные сканеры-дефектоскопы (СД), способные самостоятельно передвигаться внутри трубопроводов, преодолевать криволинейные и вертикальные участки и нести на себе диагностическую аппаратуру, обеспечивающую получение объективной информации о состоянии внутренней полости и геометрии ТТ КС, наличии повреждений в основном металле тела трубы и сварных швах [2]. Основные технические требования к транспортным модулям и дефектоскопическим характеристикам СД для ВТД ТТ КС сформулированы в нормативных документах [3, 4]. В настоящее время в реестр диагностических комплексов для внутритрубного технического диагностирования технологических трубопроводов компрессорных станций ПАО «Газпром» внесены два диагностических комплекса – это телеуправляемый диагностический комплекс ТДК-400-М-Л, организация разработчик ЗАО «Диаконт», и внутритрубный автономный роботизированный сканер-дефектоскоп А2072 «IntroScan», организация разработчик АО «ИнтроСкан Технолоджи» [5].

Планирование и порядок проведения работ по ВТД ТТ КС

Эксплуатирующие организации совместно с Управлением по транспортировке газа и газового конденсата Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ПАО «Газпром» планируют объемы работ по ВТД (составляют план-график проведения ВТД объектов на календарный год) и учитывают затраты на эти работы в расчете себестоимости транспорта газа, представляя при этом в Финансово-экономический департамент ПАО «Газпром» сведения о потребности в средствах на эти цели.

В соответствии с Планом проведения внутритрубной диагностики трубопроводов технологического газа КС, утвержденным Департаментом по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ПАО «Газпром» на соответствующий календарный год, Эксплуатирующая организация заключает договор со Специализированной организацией на проведение ВТД, осуществляет контроль за проведением ВТД и приемку выполненными работ.

Для подготовки и выполнения Специализированной организацией договора и составления план-графика проведения ВТД Эксплуатирующая организация предоставляет ей исполнительно-техническую документацию объекта.

Специализированная организация на основе представленных документов разрабатывает и согласовывает с Эксплуатирующей организацией план-график проведения ВТД трубопроводов технологического газа КС, в котором определяют объемы, сроки и стоимость проведения ВТД.

Эксплуатирующая организация проводит анализ готовности трубопроводов технологического газа КС к проведению ВТД, выполняет необходимую подготовку объекта технического диагностирования и составляет акт о готовности участков трубопроводов технологического газа КС и ДКС к безопасному проведению работ по ВТД.

В период проведения диагностических работ Эксплуатирующая организация обеспечивает режим работы КС таким образом, чтобы не было простаивания бригады Специализированной организации.

В случае, когда в процессе проведения ВТД выясняется невозможность дальнейшего диагностирования данного участка трубопровода технологического газа КС, обусловленная внутренним состоянием элементов объекта технического диагностирования, Эксплуатирующая организация разрабатывает подробный план организационно-технических мероприятий по устранению отмеченных недостатков и подготовке участка трубопровода технологического газа КС к продолжению ВТД [3].

Мероприятия по устранению недостатков могут занимать длительное время (выяснение причин, составление мероприятий по устранению препятствий, привязка проблемного участка на местности, экскавация грунта и вырезка катушки для устранения препятствия либо очистки трубопровода).

Данные мероприятия по подготовке технологических трубопроводов (ТТ) для дальнейшего диагностирования приводят к простоям бригад Специализированной организации, невыполнению план-графика проведения работ и, как следствие, срыву сроков проведения ВТД и последующего пуска газа для плановой транспортировки к потребителям.

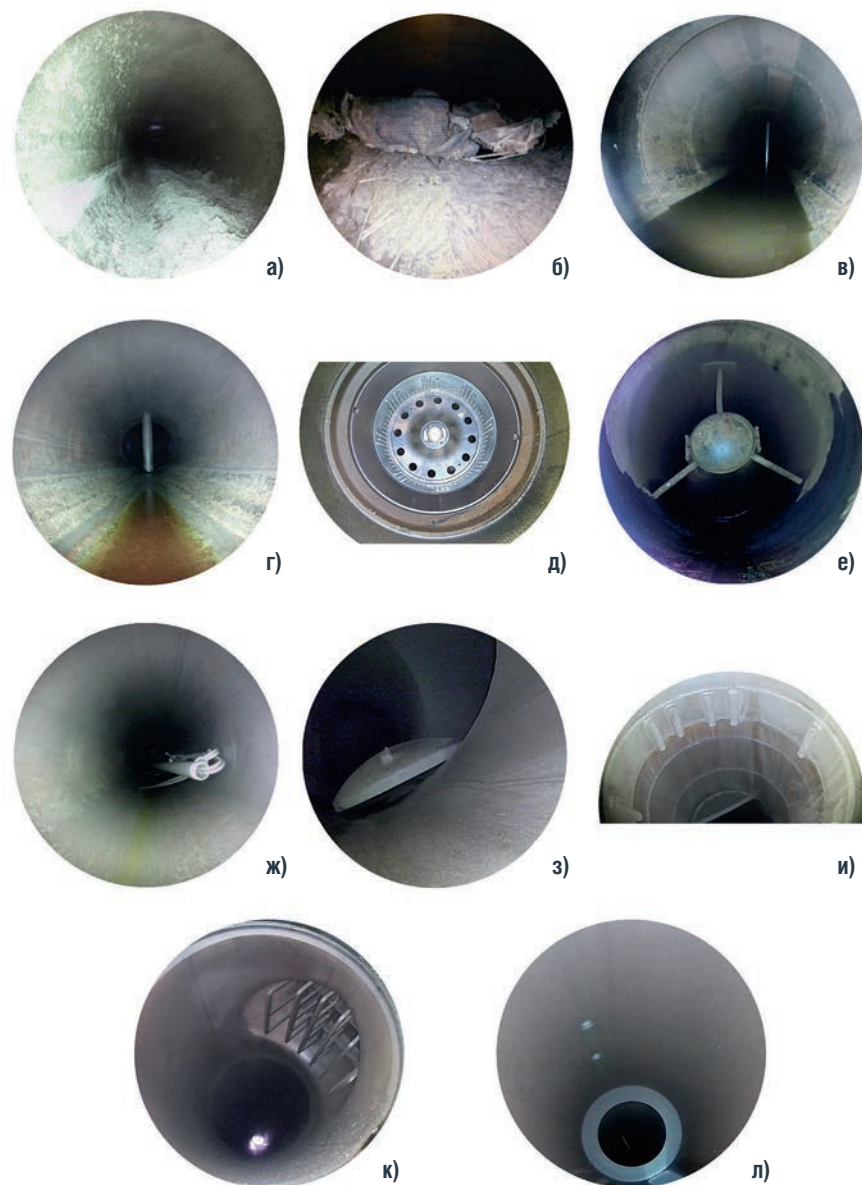
Основной причиной невозможности дальнейшего диагностирования является отсутствие информации о фактическом состоянии внутренней полости ТТ КС на момент проведения ВТД. При планировании календарного план-графика проведения ВТД и при подготовке объекта для проведения ВТД Эксплуатирующая организация не владеет информацией о фактическом состоянии внутренней полости трубопроводов, а именно – о наличии загрязнений, а также об особенностях трубопровода из-за неудовлетворительного состояния исполнительно-технической документации (ИТД). На рисунке 1 отображены примеры загрязнений и особенностей трубопроводов на эксплуатируемых участках ТТ КС, которые могут послужить препятствием для дальнейшего диагностирования. С целью локализации данных препятствий для своевременного устранения или их учета для планирования мест загрузки СД необходима предварительная телеинспекция трубопровода перед проведением ВТД ТТ КС.

Пример проведения работ по ВТД без предварительной телеинспекции ТТ, подлежащих диагностированию

ВТД подлежат ТТ узла подключения компрессорного цеха (КЦ) (рисунок 2), Эксплуатирующая организация и Специализированная организация при согласовании КПП и схемы проведения работ решили осуществить место загрузки сканера через камеру приема поршня (КПП) (1)

УДК 621.644: 004

РИС. 1. Примеры загрязнений и особенностей трубопроводов на эксплуатируемых участках ТТ КС



- а – загрязнения твердой фракции (твердые отложения);
- б – строительный мусор;
- в – загрязнения жидкой фракции (конденсат);
- г – дренажное приспособление;
- д – решетка в ответвлении тройника;
- е – конструктивный элемент трубопровода;
- ж – посторонний предмет;
- з – посторонний предмет, препятствующий заезду в боковое ответвление;
- и – конструктивный элемент по периметру трубы;
- к – кольцо крепления защитной решетки;
- л – конструктивный элемент трубопроводной арматуры

и через тройник (2) МГ пройти на диагностируемый участок (3). Данное место загрузки обусловлено доступностью без дополнительных работ по земляным работам, достаточно открыть крышку КПП (1).

Для проведения работ по ВТД трубопроводов (3) СД доезжает до тройника (2) и через оптическую систему фиксирует в тройнике защитную решетку (4), дальнейшее движение СД невозможно, возникает необходимость в организации нового места загрузки СД. Загрузка через камеру запуска поршня (КЗП) (5) и проезд через тройник (5) МГ на диагностируемый участок (3) также невозможен, так как по анализу ИТД выявлено, что после проведения ремонтных работ данный тройник (6) был заменен на новый ТШСР (тройник штампованный сварной с решеткой). Последним вариантом загрузки без вскрышных земляных работ остается место загрузки через рециркуляционную линию Ду500 (7) КЗП (5), но при спуске

с КЗП (5) в подземную часть в трубопроводе обнаружилось загрязнение сужающее сечение трубы Ду500 и препятствующее дальнейшему продвижению СД.

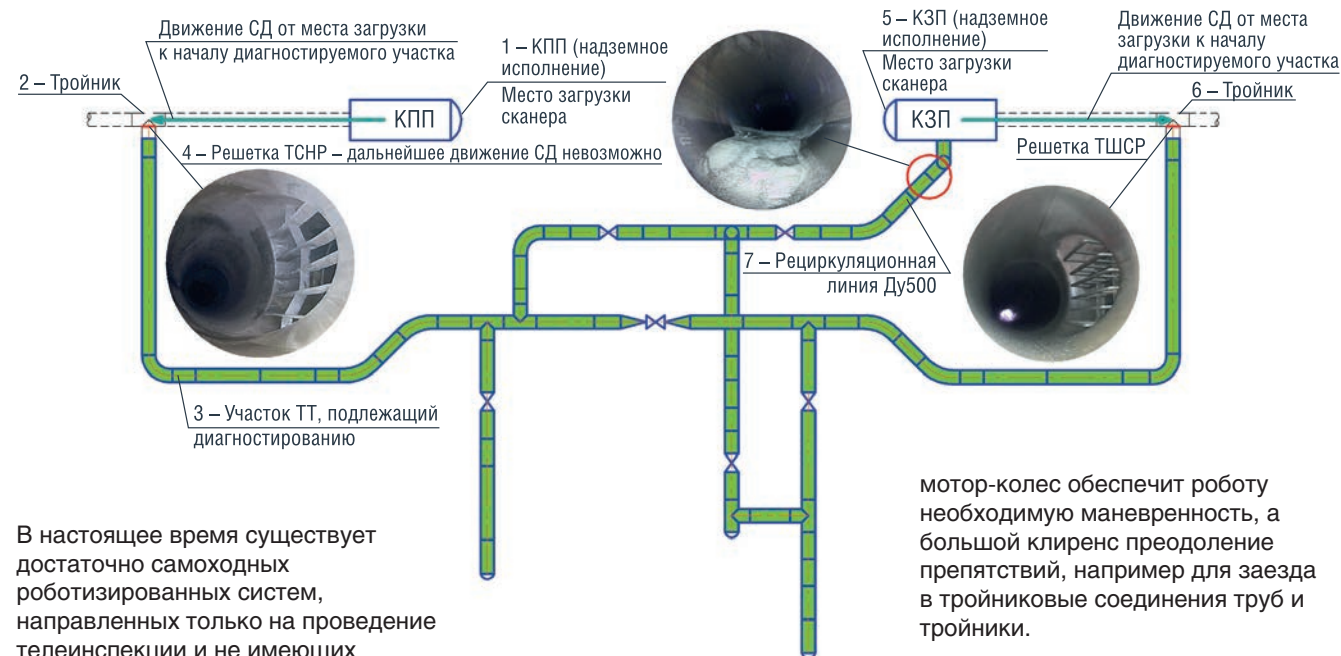
Возникает необходимость в поиске нового места загрузки СД и проведения мероприятий по очистке данного участка от загрязнений, но уже с применением техники для экскавации грунта и проведением огневых работ для вырезки катушки в ТТ с оформлением соответствующих документов (наряд-допусков, схем проведения огневых и земляных работ и т.п.). Все данные мероприятия приводят к простоям бригады Специализированной организации, а значит, и откладывается получение данных от Специализированной организации для дальнейших ремонтных работ по результатам проведения ВТД, что в совокупности приводит к срыву сроков запуска объекта в эксплуатацию.

С целью предотвращения простоев бригад Специализированной организации и срыва сроков проведения ВТД необходимо разработать специализированные роботизированные комплексы, способные самостоятельно передвигаться внутри трубопроводов, преодолевать наклонные и вертикальные участки и, самое главное, обеспечивать получение объективной информации о состоянии внутренней полости ТТ КС, наличии загрязнений и особенностей ТТ, препятствующих проведению ВТД.

Применение специализированных роботов телеинспекции до проведения работ по ВТД поможет получить достоверную информацию о фактическом внутреннем состоянии трубопровода, принять правильное решение о расположении мест загрузок сканера-дефектоскопа и объеме предстоящих работ.

Целесообразно проводить телеинспекцию внутренней полости ТТ, как правило, самоходными роботами, которые не имеют других диагностических функций и возможностей. Это связано с тем, что роботы для телеинспекции легче, компактнее, дешевле и удобнее при выполнении видеодиагностики трубопровода, чем роботы, которые несут на себе диагностическую аппаратуру.

РИС. 2. ТТ узла подключения КЦ



В настоящее время существует достаточно самоходных роботизированных систем, направленных только на проведение телеинспекции и не имеющих других диагностических функций и возможностей. Riezler FWL-100 и FWL-150, ООО «Вистарос», Россия [6]; Комплекс Р200-5М, Taris, Россия [7]; Modular Crawler System (Кроулеры) [8]; Aquam's Amplus ROV.AQUAM CORP., США [9]; Робот-змея ACM-R5H, HiBot, Япония [10, 13]; Краб-робот, Россия [11]; Телеинспекционная система ROVION от компании iPEK, Германия [12], все данные роботы обладают своими достоинствами для телеинспекции трубопроводов, но не могут быть использованы для телеинспекции ТТ КС ввиду невозможности перемещения по вертикальным участкам, что характерно для ТТ КС и использования кабеля питания, ограничивающего дальность контроля от места загрузки. Поэтому создание устройств, полноценно решающих задачи телеинспекции сложных по конфигурации ТТ КС, актуально.

Роботизированный комплекс

Для достижения выше перечисленных задач необходимо разработать внутритрубный роботизированный комплекс и его состав (рисунок 3), определяющий основные функции с учетом особенностей ТТ КС.

Основным элементом роботизированного комплекса должна служить компактная транспортная платформа, обеспечивающая перемещение внутри элементов ТТ КС

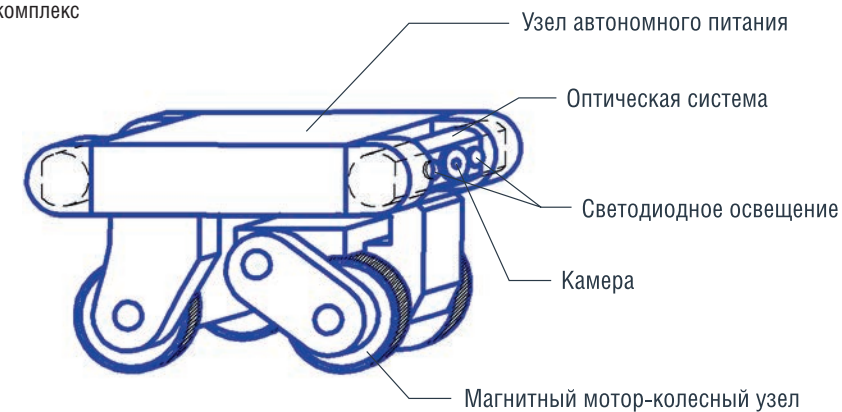
(трубы, тройники, переходы, отводы, трубопроводная арматура) диаметром от 400 мм. Компактная транспортная платформа позволяет осуществлять загрузку робота во внутреннюю полость трубопровода через вскрытые крышки обратных клапанов, люки-лазы диаметром (Ду) ≥ 400 мм без нарушения целостности трубопровода.

Транспортная платформа роботизированного комплекса должна быть оснащена магнитными мотор-колесами (рисунок 3) для перемещения по всей поверхности труб, вертикальным и наклонным участкам, что характерно для ТТ КС. В данном случае целесообразно использовать четыре магнитных мотор-колеса, исключаяющие опрокидывание и неустойчивость платформы. Независимое управление поворотом и реверсом

мотор-колес обеспечит роботу необходимую маневренность, а большой клиренс преодоление препятствий, например для заезда в тройниковые соединения труб и тройники.

Оптическая система (рисунок 3) робота должна обладать высокой четкостью изображения. Отличным вариантом является использование экшн-камер, основное преимущество которых – это качество получаемого изображения. Широкоугольный объектив обеспечивает большую зону охвата камеры, высокая четкость изображения позволяет увидеть все необходимые детали, а частота кадров и светочувствительность даже при использовании функции циклической записи дают очень разборчивые стоп-кадры. Камера автоматически присваивает записанным файлам название, содержащее дату и время записи, обеспечивая таким образом удобный поиск необходимого фрагмента видео. Еще одно преимущество экшн-камер – влагозащищенный и ударопрочный корпус, который также необходим при использовании в трубопроводе.

РИС. 3. Внутритрубный роботизированный комплекс



Камеры позволяют установить довольно емкие карты памяти, объемом до 64 Гб что позволяет хранить около 4 часов видео в разрешении 1080P и частотой 60 кадров в секунду, но для полноценной 8-часовой рабочей смены можно использовать собственные облачные сервисы, которые позволяют выгрузить отснятый материал в облако. Это позволит не только освободить встроенную память, но и обеспечит доступ к отснятому материалу практически из любой точки мира и с любого совместимого устройства.

На транспортной платформе расположены две оптические системы – в передней и задней частях корпуса. Направление движения робота определяется оператором. Необходимость второй камеры обусловлена возможностью реверсного перемещения комплекса в трубах малого диаметра (Ду 400–500 мм), где невозможно выполнить разворот. С помощью камер осуществляются телеинспекция внутреннего состояния ТТ КС, маневрирование и операции управления.

Оптическая система дополняется мощными светодиодами белого света для освещения полости трубопровода диаметром до 1420 мм. Светодиодное освещение гораздо более эффективно по сравнению с традиционными источниками света, также использование светодиодного освещения приводит к сокращению энергопотребления и увеличению производительности, что важно при использовании в небольших и автономных устройствах.

Для телеинспекции ТТ КС, имеющих большое количество отводов и поворотов, требуется мобильность и автономность устройства, для этого необходимо отказаться от питающего связанного кабеля, к тому же ограничивающего максимальное удаление робота от места загрузки. Для этих целей в данном роботе необходимо использовать узел автономного питания (рисунок 3), включающий блок аккумуляторной батареи с контроллером разряда и модулем беспроводной связи. Блок аккумуляторной батареи отвечает за питание всех узлов, входящих в состав робота, а контроллер разряда контролирует температуру, уровень заряда и разрядный ток аккумуляторной батареи. Модуль беспроводной связи позволяет оператору работать удаленно от места проведения контроля. В процессе работы осуществляется контроль остаточной емкости батареи с целью обеспечения достаточного энергозапаса для гарантированного возврата робота к точке загрузки.

Представлено техническое решение в области инспекции внутренней полости технологических трубопроводов нефтегазовой промышленности – внутритрубный роботизированный комплекс. Предложенный роботизированный комплекс может быть использован для контроля и оценки внутренней полости технологических трубопроводов опасных производственных объектов в нефтегазовой промышленности. Разработанная конструкция робота с магнитным мотор-колесным модулем обеспечивает перемещение

внутри элементов трубопровода по наклонным, вертикальным поверхностям и даже по потолку, что обеспечивает возможность проведения телеинспекции сложной по конфигурации системе трубопроводов. Оптическая система обеспечивает четкость изображения и позволяет увидеть все необходимые детали и особенности внутренней полости трубопроводов, широкоугольный объектив обеспечивает большую зону охвата камеры. Благодаря использованию аккумуляторной батареи, встроенной в комплекс, разработанный робот обладает автономностью, что позволяет снять ограничения, налагаемые кабельными линиями связи и питания. ●

Литература

1. Сидорчев М.Е. Формирование долгосрочных планов комплексного ремонта технологических трубопроводов компрессорных станций ОАО «Газпром» в условиях неполноты данных об их техническом состоянии / М.Е. Сидорчев, О.В. Бурутин, И.В. Ряховских и др. // Вести газовой науки: Управление техническим состоянием и целостностью газопроводов. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – № 1 (17). – С. 16.
2. Ворончихин С.Ю. Внутритрубный контроль технологических трубопроводов компрессорных станций ОАО «Газпром» с применением роботизированных сканеров // Сайт ЗАО «ИнтроСкан Технолджи». – <http://introskan.ru/technology.html> (дата обращения: 01.08.2016).
3. СТО Газпром 2-2.3-066-2006. Положение о внутритрубной диагностике трубопроводов КС и ДКС ОАО «Газпром».
4. Временные технические требования к диагностическим комплексам для внутритрубного диагностирования технологических трубопроводов компрессорных станций ПАО «Газпром».
5. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vniigaz.gazprom.ru/research-and-development/transportation-and-storage/reestrysto-gazprom-2-3.5-046>.
6. ООО «Вистарос» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vistaros.ru/product/samohodnaya-videoinspektsiya-fw-150>.
7. «ТАРИС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://okbtaris.ru>.
8. Pearpoint [Electronic resource] <https://www.pearpoint.com/en/products/commercial-video-inspection>.
9. Forbes [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.forbes.com/sites/jeffkart/2018/07/26/this-pipe-inspecting-transformer-can-help-cities-heal-themselves>.
10. HiBot [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hibot.co.jp/products/thes-dual>.
11. Gasworld [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gasworld.ru/ru/news/russia/krab-roboty-dlya-vizualnogo-osmotra-truboprovodov>.
12. IPEK [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ipek.at>.
13. Lenta.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2013/11/05/hibot>.

KEYWORDS: gas-pumping compressor station, process pipeline, evaluation of the inner cavity of the pipeline, tv inspection, a robotic complex.

VELASSARU
maldives

Роскошь без Претензий

Velassaru Maldives — изысканный курорт, сочетающий в себе современную роскошь и типичную красоту Мальдивских островов. 129 уютных вилл и бунгало открывают сказочный вид на песчаные пляжи и бирюзовую лагуну. Спа-центр, места отдыха и рестораны гармонично вписываются в эту атмосферу.

Входит в ассоциацию Small Luxury Hotels of the World

www.velassaru.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ месторождений Обской и Тазовской губ

Буянов Александр Сергеевич
заместитель генерального директора
АО «ЦНИИМФ», к.э.н.

Таровик Олег Владимирович
технический директор
ООО «Бюро Гиперборея», к.т.н.

Крестьянцев Андрей Борисович
генеральный директор
ООО «Бюро Гиперборея»

Топаж Александр Григорьевич
заместитель генерального директора
по научной работе ООО «Бюро
Гиперборея», д.т.н.

Егоров Сергей Владимирович
разработчик программного обеспечения
ООО «Бюро Гиперборея»

Корниенко Ольга Александровна
заместитель начальника Управления
по НИР и разработке газонефтяных
месторождений ООО «Красноярскгазпром
нефтегазпроект», к.т.н.

Маричев Андрей Владимирович
начальник Управления по НИР и
разработке газонефтяных месторождений,
ООО «Красноярскгазпром
нефтегазпроект», к.т.н.

Оганов Гарри Сергеевич
первый заместитель генерального
директора ООО «Красноярскгазпром
нефтегазпроект», д.т.н., профессор

Лобанов Алексей Валерьевич
начальник отдела обеспечения морской
деятельности судостроения и эксплуатации
морской техники ПАО «Газпром»

В СООТВЕТСТВИИ С ПЛАНАМИ ПАО «ГАЗПРОМ» В БЛИЖАЙШЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ НАЧНЕТСЯ КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В АКВАТОРИИ ОБСКОЙ И ТАЗОВСКОЙ ГУБ, А ТАКЖЕ НА МАТЕРИКОВОЙ ЧАСТИ. УЧИТЫВАЯ ТЯЖЕЛЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА И БОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО ОБЪЕКТОВ, РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОБЫЧИ ГАЗА НЕВОЗМОЖНА БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО И ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

IN THE NEXT DECADE, IN ACCORDANCE WITH THE PLANS OF GAZPROM, THE INTEGRATED DEVELOPMENT OF HYDROCARBON FIELDS LOCATED IN THE WATERS OF THE OB AND TAZ BAYS, AS WELL AS ON THE MAINLAND, WILL BEGIN. TAKING INTO ACCOUNT THE SEVERE CLIMATIC CONDITIONS OF THE REGION AND A LARGE NUMBER OF FACILITIES, THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR TRANSPORT AND LOGISTICS SUPPORT FOR GAS PRODUCTION IS IMPOSSIBLE WITHOUT THE USE OF MODERN METHODS AND TOOLS FOR SIMULATION AND ECONOMIC ANALYSIS

Ключевые слова: морская транспортная система, имитационное моделирование, оперативное планирование, технико-экономическое обоснование.

Введение

Освоение газовых месторождений Обской и Тазовской губ и прилегающих прибрежных территорий является амбициозной и сложной с технической точки зрения задачей. В данном регионе ряд месторождений (Каменномысское-море, Северо-Каменномысское, Семаковское, Тота-Яхинское, Антипаютинское, Чугорьяхинское, Обское, Парусовое, Северо-Парусовое) будут разрабатываться взаимосвязанным технологическим комплексом с транзитом газа через

существующую Ямбургскую газотранспортную систему. Специфика освоения месторождений в сложных природных условиях региона требует серьезных вложений и потому – внимательного подхода к принимаемым техническим и организационным решениям. Тем более что вследствие уникальности проекта многие из этих решений принимаются впервые.

Добыча газа будет производиться с помощью нескольких кустов скважин: основных, устья которых располагаются на ледостойких стационарных платформах

(ЛСП), и спутниковых – с устьями, находящимися на автономно работающих ледостойких блок кондукторах (ЛБК). На морских участках предполагается достаточно интенсивное бурение, в том числе круглогодичное. Поэтому отдельное внимание должно быть уделено вопросам организации круглогодичной устойчивой и экономически эффективной системы снабжения ЛСП и ЛБК как в период бурения, так и в ходе эксплуатации скважин.

Система обеспечения ЛСП и ЛБК имеет достаточно сложную структуру. В ее состав входят базы обеспечения (береговые или плавучие), средства снабжения (способные работать на чистой воде и в ледовых условиях), а также базы обслуживания и бункеровки технических средств. Помимо этого, система также имеет ряд особенностей.

Ограниченные глубины в акватории Обской и Тазовской губ приводят к тому, что для отдельных ЛБК и ЛСП, расположенных на глубинах менее 6–7 метров, в летний период возможно использование водоизмещающих судов с осадками не более 4 м.

Сложная ледовая обстановка, характеризуемая толщинами льда до 1,5–2,0 м, не позволяет круглогодично использовать

водоизмещающие суда с малой осадкой, поскольку их ледопроемкость не превышает 1,0 м. Поэтому для работы в ледовый период в системе должны быть предусмотрены альтернативные транспортные средства, в том числе никогда ранее не использовавшиеся для систематического снабжения в подобных условиях суда на воздушной подушке (СВП) и гусеничные двухзвенные вездеходы.

Для проекта характерна сложная структура грузопотоков, которая на протяжении всего срока работы системы значительно изменяется как по составу, так и по количеству грузов, а в ряде случаев также и по способу доставки. Система обеспечения должна обеспечивать как завоз грузов на буровые установки, так и вывоз отработанных материалов и отходов.

Ограниченность объемов и площадей хранилищ грузов снабжения на ЛСП и ЛБК не позволяет формировать буферные запасы грузов. Поэтому система снабжения должна обеспечивать своевременную доставку грузов, а логистические процессы должны быть организованы по принципу «точно вовремя», что влечет за собой необходимость оптимизационного планирования работы транспортных средств (ТС).

Исследование такой системы выполнялось с использованием комплексной динамической имитационной модели (ИМ), учитывающей особенности транспортных, технологических и природных процессов. В состав ИМ был интегрирован инструмент оперативного планирования работы ТС, позволяющий адекватно описывать логику их диспетчеризации. Для оценки технико-эксплуатационных показателей различных вариантов системы применялись методы финансово-экономического анализа.

При исследовании системы с использованием ИМ-технологии применялся сценарный подход, в рамках которого были сформированы 6 основных сценариев расположения и конфигурации баз обеспечения:

- два береговых сценария, в которых варьировалось размещение основной береговой базы обеспечения (ББО) и причалов (одна ББО располагается в пос. Ямбург или в районе мыса Парусный, а вторая – в районе Тота-Яхинского месторождения). В качестве примера на рис. 1 показана схема снабжения месторождений с ББО на мысе Парусный;

РИС. 1. Схема расположения месторождений и расстановки буровых установок с одним из вариантов схемы транспортно-логистического обеспечения

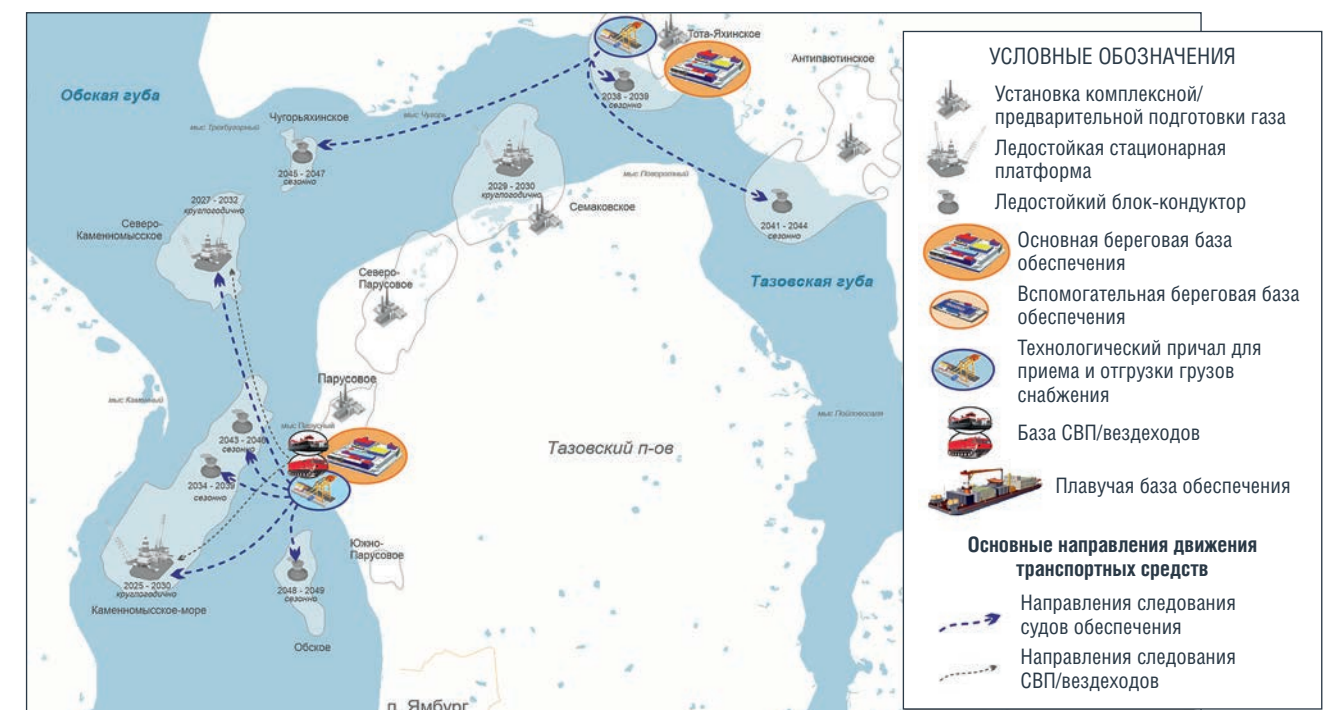


ТАБЛИЦА 1. Основные характеристики рассмотренных ТС

Параметр	Водоизмещающие суда				СВП			Вездеход «Витязь»
	Мангыстау	Арктикаборг	Буми	Судно пр. 22430	СВП 60 т	СВП 30 т	СВП 10 т «Хаска»	
Длина максимальная, м	66,3	65,1	81,1	77,9	35	25,9	23,7	15,9
Ширина максимальная, м	16,4	16,6	16,5	16,8	13,5	10	13,6	3,1
Ледопроходимость на переднем ходу, м	0,6	0,65	0,7	0,77	–	–	–	–
Ледопроходимость на заднем ходу, м	–	0,75	0,8	0,83	–	–	–	–
Скорость хода эксплуатационная, км/ч	18	22	22	22	65	62	60	25
Вместимость по грузу жидкого топлива, т	540	360	590	370	0	0	0	0
Вместимость по грузу сточных вод, т	110	115	500	575	0	0	0	0
Полезная площадь грузовой палубы, м²	330	350	725	600	108	54	27	27
Дедвейт (грузоподъемность), т	740	675	1195	1230	60	30	10	30

- два морских сценария в вариантах с двумя (ледовый класс Arc7) или четырьмя (класс Arc7 и Arc4) плавучими базами обеспечения (ПБО) при условии снабжения второй очереди Семаковского месторождения;
- два морских сценария в вариантах с двумя или четырьмя ПБО без учета снабжения Семаковского месторождения.

В рамках сценарного подхода были рассмотрены следующие варианты ТС. Водоизмещающие суда представлены снабженцами типа «Мангыстау», «Арктикаборг»,

«Буми», а также перспективным судном снабжения проекта 22430. Суда имеют разную ледопроходимость и вместимость, что позволяет проанализировать влияние этих факторов на параметры системы снабжения. Характеристики СВП были определены в ходе предпроектных проработок на основе специально созданной параметрической модели. Рассматривались СВП грузоподъемностью 60, 30 и 10 т. В качестве СВП грузоподъемностью 10 т рассматривалось судно типа «Хаска-10», а в роли вездеходов рассмотрены гусеничные

двухзвенные машины типа «Витязь», способные брать до 30 т груза. Полагалось, что вездеходы оборудованы универсальным прицепом, способным перевозить все тарные грузы (контейнеры, связки труб и другие). Основные характеристики всех указанных ТС представлены в табл. 1.

Для сокращения количества вариантов конфигурирования транспортных средств были рассмотрены два принципиальных варианта: «суда + СВП» и «суда + вездеходы + СВП». Вариант «суда + вездеходы» не рассматривался из-за высокого риска нарушения поставок в период межсезонья, когда суда обеспечения уже не могут работать, а выход вездеходов на лед еще не разрешен.

Варианты тяжести ледовых условий были приняты на основе исторических данных в соответствии с традиционной разбивкой на легкие, средние и тяжелые условия. Пиковое значение толщины припайного льда, приходящееся на май – июнь, в тяжелых ледовых условиях составляет порядка 1,85 м, в средних – 1,65 м, а в легких – 1,40 м.

Основные особенности реализации имитационной модели

Базовая логика построения имитационной модели соответствует принципам междисциплинарного подхода [1], при котором транспортные средства представляются как отдельные динамические элементы (агенты), функционирующие в геоинформационной среде

РИС. 2. Схема баз данных и вычислительных процессов имитационной модели

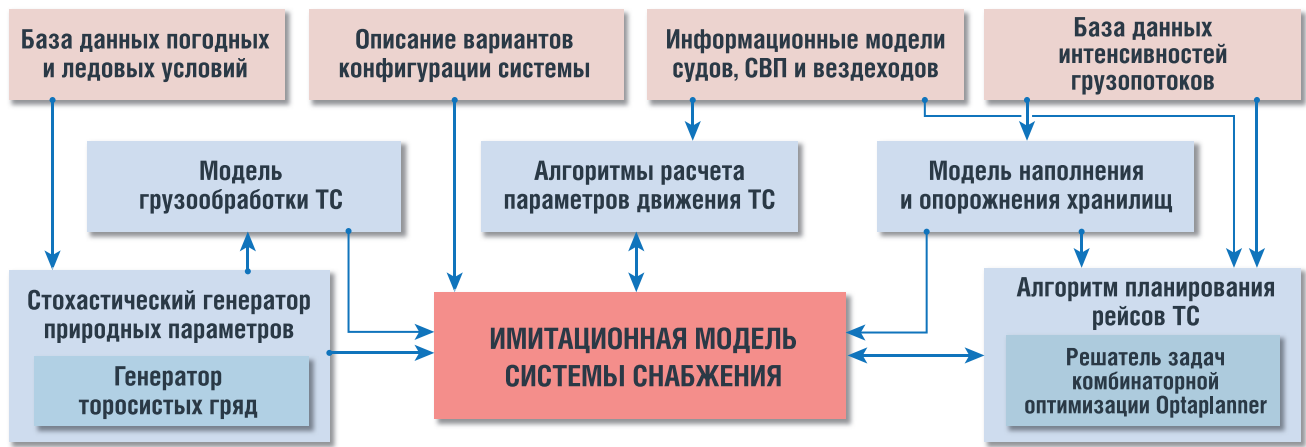
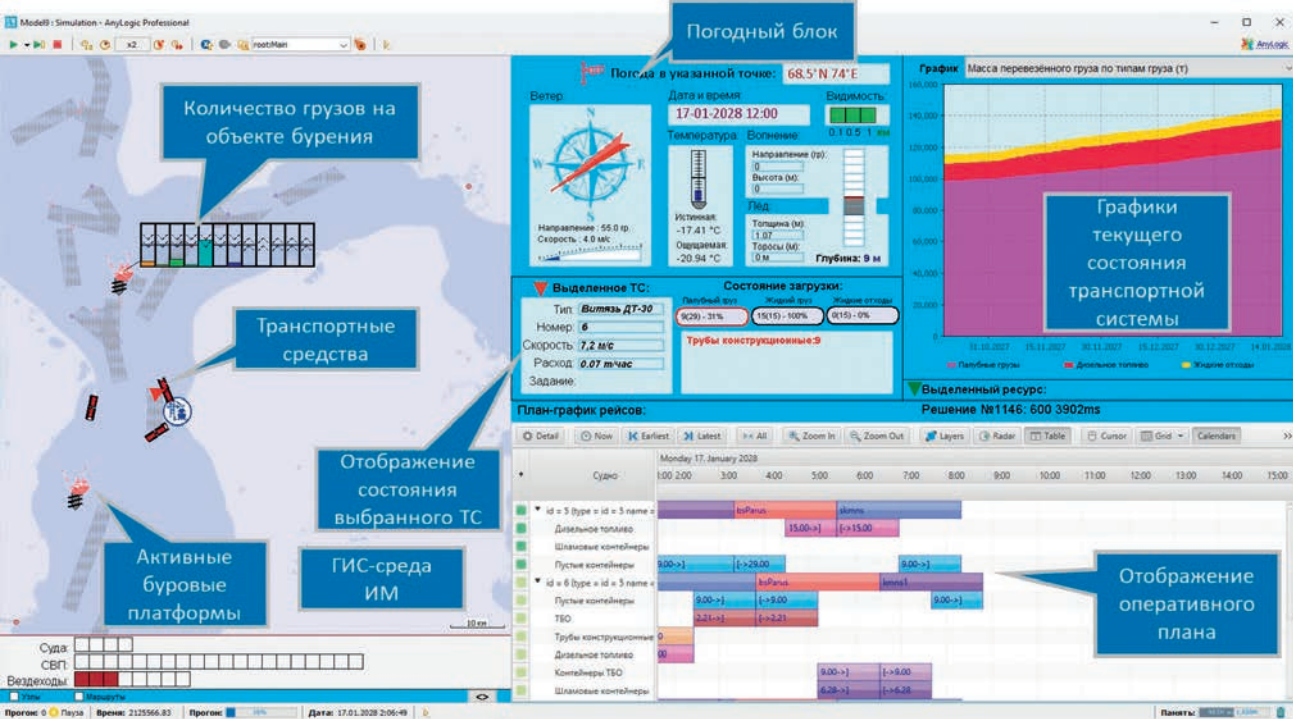


РИС. 3. Головное окно имитационной модели системы снабжения



под управлением блоков планирования. Транспортные средства перемещаются по предопределенному графу, в узлах которого располагаются буровые установки, базы обеспечения или береговые объекты.

Имитационная модель объединяет несколько параллельных и взаимодействующих между собой вычислительных процессов, основными среди которых являются:

- а) генерация параметров погодных условий в регионе и определение возможности работы ТС,
- б) выполнение операций грузообработки ТС,
- в) моделирование движения ТС в изменяющихся природных условиях,
- г) моделирование динамики наполнения/опустошения хранилищ на ЛСП и ЛБК в соответствии с заданными грузопотоками,
- д) формирование плана перевозок.

Контур информационного обеспечения имитационной модели, который объединяет подмодели указанных процессов и различные базы данных, представлен на рис. 2. Головное окно имитационного эксперимента с обозначением основных элементов интерфейса показано на рис. 3.

Стохастический генератор погодных условий рассматриваемого региона (рис. 3) создан на основе подходов, изложенных в [2], и позволяет учитывать как авто-, так и кросскорреляционные свойства природных параметров, что обеспечивает реалистичность получаемой динамики природных показателей. Идентификация параметров генератора была выполнена на основе временных рядов изменения интересующих величин, собранных в базе данных погодных и ледовых условий.

В стохастическом генераторе моделируются: температура воздуха; вектор скорости ветра; дальность горизонтальной видимости; толщина припайного льда; высота снежного покрова; даты наступления ледостава и ледохода; расположение торосистых образований. Пространственная изменчивость этих параметров моделируется путем линейной интерполяции между точками, расположенными в разных концах региона интереса, причем учитывается корреляция значений в различных точках. На основе генерируемых природных параметров определяются временные периоды допустимости («окна погоды») осуществления погрузочно-разгрузочных операций в узловых точках логистической сети. Кроме того, текущие

природные параметры определяют принципиальную возможность движения ТС разного типа и их скорости хода.

Текущие скорости движения ТС различных типов и их расходы топлива определяются на каждом шаге работы ИМ (по умолчанию 1 час) с помощью специальных расчетных моделей. Алгоритмы расчета параметров движения были реализованы отдельно для водоизмещающих судов, СВП и вездеходов. При определении принципиальной возможности движения ТС в заданных условиях были приняты следующие допущения. Полагалось, что водоизмещающие суда могут работать в безледовый период, частично захватывая межсезонье, пока толщина ровного льда не превышает 80 % от их номинальной ледопроходимости, что обеспечивает скорость хода не менее 4 узлов. СВП различной грузоподъемности способны работать круглогодично в соответствии с эксплуатационными ограничениями, т.е. за исключением случаев сильного ветра и предельно низкой видимости. Возможность работы вездеходов при различной толщине льда и температуре воздуха определяется в соответствии с существующей нормативной базой.

РИС. 4. График бурения месторождений с указанием длин и числа скважин

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	Число скважин	Суммарная длина скважин, км
1. Каменномысское море																											
ЛСП А	бурение						добыча, снабжение																		34	91	
ЛБК С									бурение					добыча										8	16		
ЛБК D																			бурение			добыча			6	17	
2. Северо-Каменномысское – ЛСП			бурение					добыча																		37	80
3. Семаковское – ЛСП			бурение				добыча																		8	33	
4. Обское – ЛБК																							бурение		3	8	
5. Тота-Яхинское – ЛБК													бурение		добыча										4	11	
6. Антипаютинское – ЛБК																бурение			добыча					8	21		
7. Чугорьяхинское – ЛБК																					бурение		добыча		6	19	
Число скважин	2	7	8	17	17	14	7	7	0	2	2	1	1	3	3	0	2	2	4	4	3	3	2	2	1	114	
Суммарная длина скважин, км	2	12	20	37	52	46	32	4	0	3	3	2	2	8	8	0	5	5	8	9	9	12	8	5	4		297

Для каждого типа ТС было создано специальное информационное описание, которое используется как при моделировании движения, так и в ходе планирования рейсов.

В состав информационной модели ТС входят:

- основные проектные характеристики;
- грузовые пространства;
- состояния загрузки (для судов);
- группы винтов (для судов и СВП).

Грузовые пространства водоизмещающих судов (танки, балки и грузовые палубы) позволяют перевозить наливные, порошковые и палубные грузы, а СВП и вездеходы имеют только грузовую палубу (табл. 1). Каждое грузовое пространство ТС описывается по отдельности.

Еще одним составляющим элементом имитационной модели является описание грузопотоков. Модельная реализация процесса наполнения и опорожнения хранилищ выполнена в отдельном модуле. Расчетные значения грузопотоков снабжения ЛСП и ЛБК были получены для всего периода работы системы на основе утвержденного графика бурения и проектной документации по скважинам. На рис. 5 показан принципиальный график выполнения буровых работ и суммарная длина пробуриваемых скважин. Как видно, процесс бурения характеризуется

значительной неравномерностью во времени, что накладывает существенный отпечаток на систему снабжения.

Типы грузов снабжения и их количество по каждой скважине были определены на основе проектных документов. Всего было выделено 12 типов грузов, из которых 7 имеют направление «на платформы», а оставшиеся 5 – «с платформ». На буровые установки завозятся: конструкционные трубы (включают обсадные и насосно-компрессорные трубы, дополнительные долота и элементы нижней части буровой колонны); буровые трубы; химические реагенты (включая порошковые грузы и различные реагенты для строительства скважин и других операций); пустые шламовые контейнеры; дизельное топливо; продукты питания; пустые контейнеры для твердых бытовых отходов (ТБО). В обратном направлении вывозятся: пустая тара (тара из-под химреагентов и продуктов питания); сточные воды; буровой шлам (заполненные шламовые контейнеры); контейнеры ТБО; отработавшие буровые трубы.

Принималось, что дизельное топливо завозится на каждую ЛСП только в период бурения на ней первых двух скважин, а на ЛБК – при выполнении всех буровых работ. ЛСП необходимо также снабжать, когда бурение уже окончено (количество грузов,

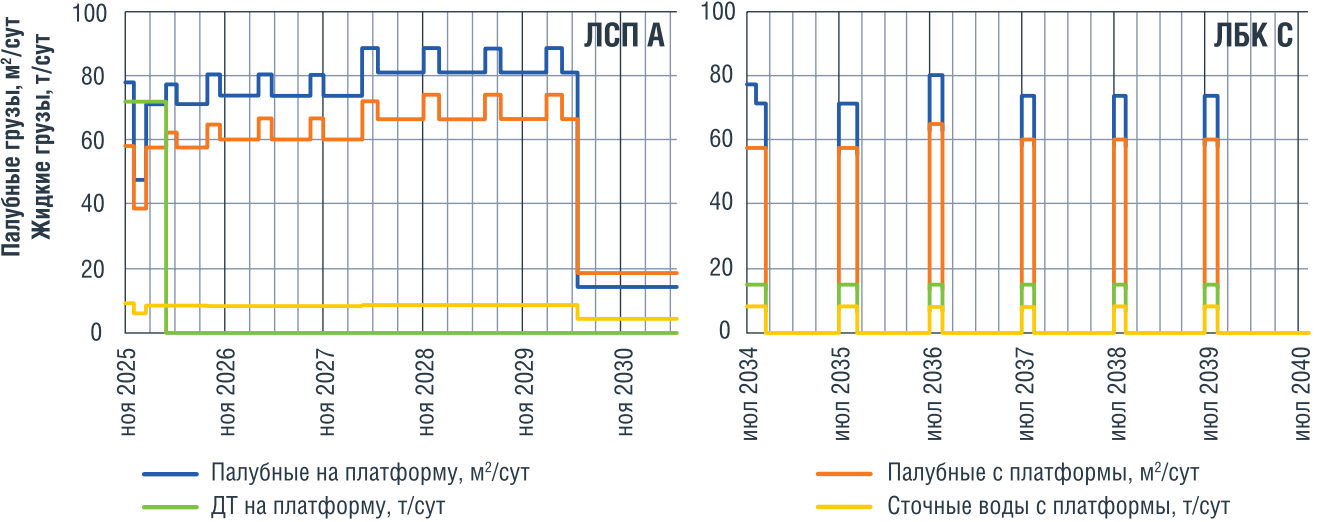
однако, при этом существенно снижается), а грузопотоки ЛБК после завершения бурения принимаются равными нулю. Отметим также, что количество обратной тары существенно зависит от способа доставки дизельного топлива на платформу и при использовании вездеходов и СВП может значительно возрастать.

Для удобства последующего анализа и представления результатов все моделируемые грузы отображались по четырем группам:

- 1) Палубные грузы на платформу (трубы конструкционные и буровые, химреагенты, шламовые контейнеры, продукты, контейнеры ТБО);
- 2) Палубные грузы с платформы (пустые контейнеры, сточные воды в таре, буровой шлам, ТБО, буровые трубы);
- 3) Дизельное топливо на платформы;
- 4) Сточные воды с платформ.

По умолчанию дизельное топливо и сточные воды являются жидкими грузами, однако при перевозке на СВП и вездеходах они относятся к палубным. Полученные таким образом статические данные о суточных объемах потребления и производства различных грузов на каждой буровой установке были записаны в базу данных интенсивностей грузопотоков.

РИС. 5. Расчетные укрупненные интенсивности грузопотоков снабжения для ЛСП А (слева) и ЛБК С (справа) на месторождении Каменномысское-море



В качестве характерного примера на рис. 5 приведены расчетные укрупненные интенсивности грузопотоков снабжения для ЛСП А и ЛБК С на месторождении Каменномысское-море.

Основным процессом ИМ является исполнение оперативного плана транспортными средствами. Задача оперативного планирования состоит в получении расписания рейсов всех ТС снабжения на период моделируемого цикла работы (например, сутки). План должен содержать загрузку ТС в каждом рейсе и рационально удовлетворять ограничениям, в роли которых выступают требования обеспечения интегральных объемов перевозок и доставки грузов к срокам, обусловленным технологическими процессами на платформе [3]. Сформированный оперативный план рейсов выступает в качестве входных данных для ИМ. При планировании загрузки ТС снабжения учитывается как прямой поток грузов на ЛСП и ЛБК, так и обратный, включая, в том числе, и грузопоток порожней тары.

Составление расписаний работы ТС производилось путем обращения к внешнему движку комбинаторной оптимизации – библиотеке OptaPlanner, которая содержит большой набор встроенных инструментов как для формирования корректного исходного приближения («первый подходящий» и «сильнейший подходящий»), так и алгоритмы локального поиска («поиск с запретами», «имитация

отжига», «поиск восхождением к вершине» и др.). В ходе процедуры направленного поиска лучшего решения модуль оптимизации перебирает возможные комбинации узлов транспортной сети, транспортных средств и перевозимых грузов. Результатом работы модуля планирования является формальное описание заданий на перевозку грузов транспортными средствами.

Полученный план директивно исполняется в ИМ до момента следующего вызова процедуры перепланирования, после чего все незавершившиеся и вновь поступившие заявки на рейсы осуществляются в соответствии с актуализированным планом. Фрагмент оперативного плана перевозок показан на рис. 3.

Выполнение численных экспериментов

В рамках исследования рассматриваемой системы должно производиться варьирование вариантов расположения баз снабжения, типов судов и СВП, а также тяжести ледовых условий. Очевидно, что полный перебор в данном случае практически неосуществим, поэтому был создан специальный план численных экспериментов. Он состоял из нескольких этапов. В начале на основе базовой конфигурации ТС (суда пр. 22430, СВП 10 т и вездеходы «Витязь») сопоставлялись все шесть сценариев работы системы. Далее каждый из сценариев был

рассмотрен при использовании других вариантов судов снабжения, при этом тип СВП и вездеходов не изменялся. На следующем этапе для наиболее рациональных конфигураций системы были проанализированы случаи, когда в составе флота имеются только водоизмещающие суда и СВП различных типов. На последней стадии расчетов выбранные предпочтительные конфигурации системы анализировались при различном типе тяжести ледовых условий. В общей сложности было проанализировано 44 конфигурации системы снабжения на горизонте до 2049 года.

В ходе каждого имитационного эксперимента производилась запись основных параметров рейсов всех ТС. Полный лог рейсов, получаемый после каждого прогона имитационной модели на горизонте до сентября 2049 года, содержит порядка 50–90 тысяч записей. Дальнейшее агрегирование этих данных позволяет получать практически любые обобщенные показатели и сводные результаты по заданным временным интервалам.

В частности, на месячной основе для ТС каждого типа определялось: число активных ТС; суммарные длительности переходов, грузовых операций и ожиданий; общая дистанция и число переходов; расходы топлива; количество перевезенных грузов каждого типа. Эти данные, сформированные для каждой конфигурации системы, далее передавались в блок экономических расчетов.

Модель для расчета экономических показателей

Для выбора наилучшей схемы транспортно-логистического обеспечения была разработана аналитическая модель, позволяющая оценить сводные экономические показатели работы транспортной системы для каждого из принятых сценариев. Модель была реализована в виде отдельного программного модуля. Финансово-экономический анализ каждого сценария включает в себя расчет капитальных и эксплуатационных расходов по всем основным объектам системы [4, 5] (табл. 2).

Интегральным показателем оценки экономической эффективности варианта системы снабжения являются суммарные затраты на содержание объектов за весь период реализации проекта. В обобщенном виде экономически обоснованные затраты на содержание объектов ЗТ могут быть представлены следующим образом:

3_T = \sum_{t=1}^T 3_t^3 + \sum_{t=1}^T 3_t^u \tag{1}

где T – продолжительность расчетного периода, лет, t = 1, T, 3_t^3 – эксплуатационные затраты на содержание объектов системы (без учета амортизационных отчислений) в t-ом году расчетного периода, руб., 3_t^u – годовые эквивалентные инвестиционные затраты на строительство объектов системы, отнесенные на t-ый год расчетного периода, руб.

Объем инвестиций в расчетном периоде определяется дифференцировано по всем объектам. Для прогнозирования годовых эквивалентных инвестиционных затрат использовалось следующее аналитическое выражение:

3_t^u = \frac{K_{cmp}}{S_{N,E}} \tag{2}

где K_{cmp} – затраты на строительство объекта, руб., S_{N,E} – коэффициент наращивания аннуитета, определяемый на основе зависимостей (3).

S_{N,E} = \frac{(1+E)^N - 1}{E}, N = t_{cmp} - t_0, \tag{3}

где E – процентная ставка, N – период аннуитета, t_{cmp} – ожидаемый год строительства объекта, t_0 – начальный год расчетного периода.

В целом расходы на содержание объектов системы представляют собой общую сумму годовых эксплуатационных расходов и капитальных вложений по всем объектам за весь период реализации проекта. В качестве капитальных вложений рассматривались инвестиции в строительство транспортных средств и баз обеспечения. Полагалось, что финансирование капитальных вложений на строительство объектов в полном объеме осуществляется за счет привлеченных кредитных средств.

Основные результаты

Основными параметрами рассматриваемой системы, которые определялись в ходе имитационного моделирования, являются: необходимая численность ТС; периоды работы (навигации) ТС; суммарный расход топлива различными типами ТС.

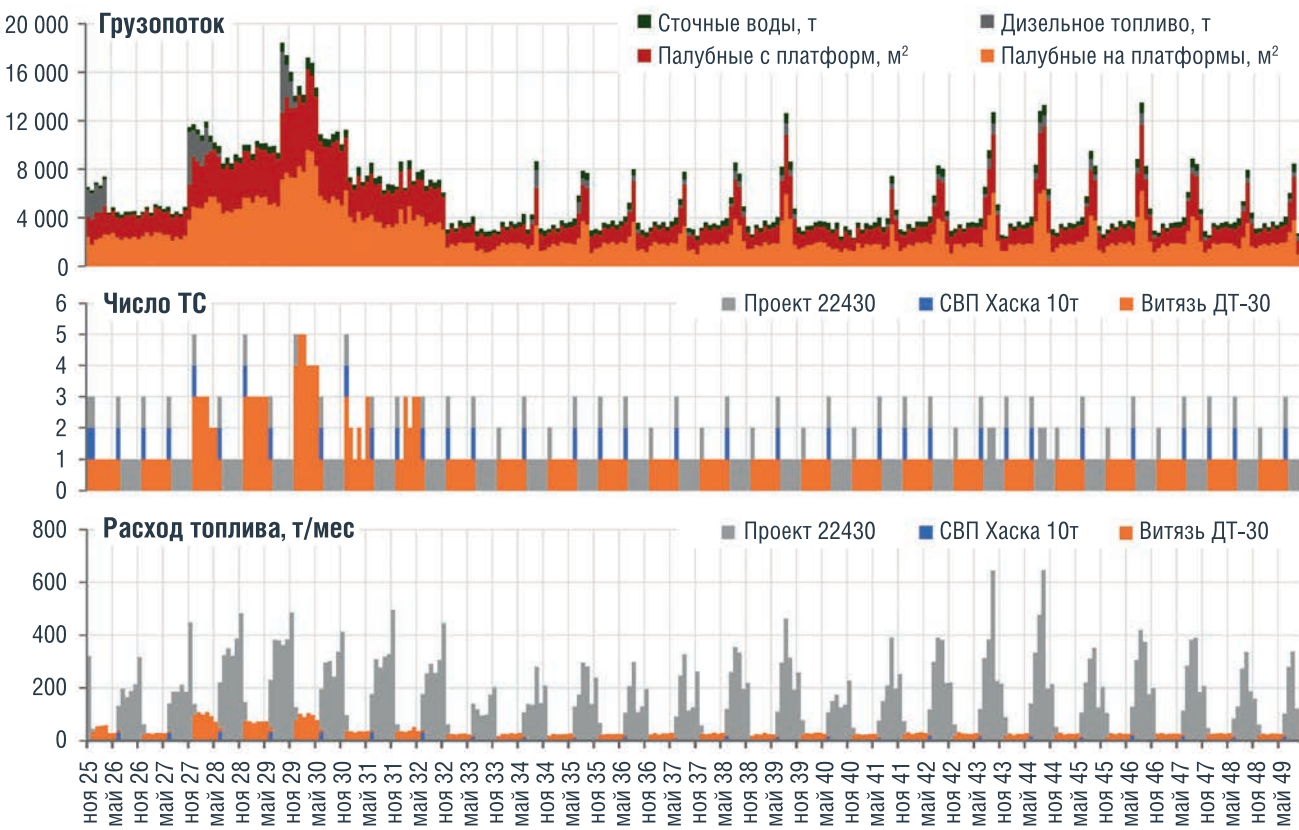
Поскольку график бурения и грузопоток системы являются очень неравномерными, необходимая численность ТС также сильно изменяется во времени, что показано на рис. 6. Наибольшая интенсивность перевозок характерна для 2027–2032 годов. Затем грузопоток в целом снижается, но возникают пики, обусловленные сезонным бурением, причем высота этих пиков соизмерима со значениями грузопотока

начального периода. Максимальное количество ТС зимне-весеннего периода (СВП и вездеходы) ожидаемо приходится на 2027–2032 годы и для разных вариантов конфигурации системы составляет от 4 до 8 вездеходов и от 1 до 4 СВП различного типа. После 2032 года для зимнего снабжения обычно оказывается достаточно одного-двух вездеходов и одной СВП. Если рассматривать конфигурации системы без вездеходов, то в этом случае требуется либо четыре СВП 10 т, либо одна-две СВП 30 т, либо одна СВП 60 т.

Необходимая численность судов снабжения, работающих летом и осенью, изменяется несколько иначе. Грузопотоки пикового периода 2027–2032 годов обеспечиваются одним водоизмещающим судном, что обусловлено высокой провозной способностью морских судов и компактностью региона перевозок (в этот период происходит снабжение нескольких близко расположенных ЛСП). Во время активного сезонного бурения в 2043–2046 годах в течение одного-двух месяцев года требуется наличие двух судов, что обусловлено более широкой географией доставки грузов.

Помимо длительных пиковых периодов, в течение года встречаются краткосрочные пики, которые в значительной степени определяют потребность в ТС. Наибольшему влиянию подвержена потребность в вездеходах. Увеличение численности вездеходов за счет кратковременных

РИС. 6. Характерное изменение грузопотоков (сверху), число используемых транспортных средств (посередине) и их расходы топлива (снизу) по месяцам



пиковых нагрузок приводит к увеличению капитальных затрат на строительство объектов системы. Поэтому в рамках экономического моделирования для исключения нерационального использования вездеходов, потребность в них в пиковые периоды компенсировалась за счет использования резервных СВП.

Периоды начала и окончания навигации водоизмещающих судов в значительной степени оказывают влияние как на численность всех ТС, так и на их состав. Начало навигации судов приходится в среднем на середину июня, когда акватория полностью очищается ото льда. Длительность навигации составляет 150–165 суток в средних ледовых условиях, около 180–195 в легких, и 135–150 в тяжелых. Большие значения длительности навигации соответствуют судам с более высокой ледопроеходимостью. Работа вездеходов начинается, когда толщина льда достигает 0,8–0,9 м. Это происходит в среднем с конца ноября до последней декады декабря. Окончание работы вездеходов происходит в начале июня,

когда среднесуточные температуры воздуха становятся положительными. Закономерно, что чем тяжелее ледовые условия, тем более продолжителен период работы вездеходов. Привлечение СВП в период межсезонья производится в среднем на 8–12 суток в июне и на 3–18 суток в конце ноября – начале декабря. Длительность зимнего периода использования СВП зависит от ледопроеходимости судна, и чем она выше, тем меньше промежуток между окончанием работы судна и началом работы вездеходов. В частности, по этой причине в данном проекте целесообразно использовать суда снабжения с ледопроеходимостью не менее 0,8 м. В тяжелых ледовых условиях из-за короткого периода межсезонья потребность в СВП может отсутствовать, но в легких условиях она существенно возрастает. Поэтому полный отказ от использования СВП в рассматриваемой системе невозможен.

В ходе анализа результатов моделирования был обнаружен интересный эффект, согласно которому увеличение

ледопроеходимости судна снабжения положительно сказывается на необходимой численности ТС зимнего периода. Это обусловлено тем, что чем больше времени работает судно снабжения, тем в более благоприятных условиях начинают свою работу СВП и вездеходы. Другими словами, имеется некий динамический эффект, который наблюдается при смене типа работающих ТС.

Расходы на топливо ТС являются одной из основных статей эксплуатационных расходов. В конфигурациях транспортной системы, в которых присутствуют все типы ТС (водоизмещающие суда, вездеходы и СВП), основное потребление топлива (порядка 80–85% от общего количества) приходится именно на суда снабжения (см. рис. 7). Если в системе используются только суда и СВП, то месячное потребление топлива при смене типа ТС отличается не столь существенно из-за высокого потребления топлива СВП, которые расходуют значительную часть энергии на поддержание давления в подушке.

Определенные выводы также могут быть сделаны в отношении вместимости используемых ТС. Распределение количества палубных грузов практически не зависит от типа судна, пиковые значения загрузки в рейсе не превышают 300–350 м², а среднее значение загрузки грузовой палубы для судов всех типов составляет порядка 85–90 м². При этом у судов типа «Буми» и 22430 максимальная площадь палубы составляет 725 и 600 м² соответственно. Неполное заполнение грузовой палубы судов снабжения обусловлено ограниченной вместимостью грузовых площадок буровых установок и маленьким (по меркам офшорных систем снабжения) расстоянием между точками снабжения и базой обеспечения. В результате судам просто нет необходимости возить большие партии грузов. Таким образом, использование в рассматриваемой системе судов с площадью грузовой палубы более 300–350 м² является избыточным.

Загрузка грузовой площадки вездеходов и СВП характеризуется определенной дискретностью, что связано с особенностями грузовых пространств этих ТС и типами перевозимых грузов. СВП «Хаска», имеющая грузоподъемность 10 т, ориентировочно в 50 % случаев работает с полной загрузкой палубы (большинство палубных грузов являются относительно легкими, и загрузка всей грузовой площадки происходит без превышения грузоподъемности СВП), около 25 % рейсов проходят порожнем, а остальные 17 % – с промежуточной загрузкой. Анализ загрузки СВП «Хаска» показывает, что у этого судна наблюдается некоторый дисбаланс между площадью грузовой палубы и грузоподъемностью. Например, масса 40-футового контейнера с дизельным топливом составляет не менее 27–33 тонн. Формально этот контейнер может быть размещен на грузовой площадке СВП, но ограничение по грузоподъемности не позволяет этого сделать. Танк-контейнер длиной 20 футов, загруженный топливом, весит порядка 15 т и также не может быть размещен на палубе. Таким образом, одной из рекомендаций настоящей работы является повышение грузоподъемности СВП «Хаска» не менее чем до 15 тонн.

Сопоставительный анализ альтернативных вариантов расположения баз обеспечения показал, что наиболее перспективным является расположение основной базы обеспечения на мысе Парусный или использование двух ПБО класса Arc7, сменяющих одна другую в Обской губе. Благоприятные показатели работы ТС в этих случаях обеспечиваются за счет близкого расположения баз снабжения к буровым установкам.

Выбор между береговым и морским вариантами реализации базы обеспечения производился на основе экономического анализа, который позволил сделать вывод о том, что строительство береговых баз обеспечения является более эффективным вариантом по сравнению с использованием плавучих баз. Это связано как с высокой стоимостью ПБО ледового класса Arc7, так и с необходимостью в любом случае содержать береговую базу обслуживания техники (вездеходов и СВП). Помимо этого, в ходе экономического анализа было установлено, что конфигурация ТС по схеме «суда + СВП» является менее эффективной, чем вариант «суда + СВП + вездеходы». Это связано с высокой стоимостью строительства и обслуживания СВП, которая в первом случае оказывается на порядок выше, чем во втором. Дополнительным результатом, полученным в ходе экономического анализа, является то, что изменение типа ледовых условий практически не влияет на величину суммарных расходов. Это вызвано относительно небольшими вариациями сводных технико-эксплуатационных показателей в зависимости от тяжести ледовых условий.

Заключение

Рассматриваемая система логистического обеспечения месторождений Обско-Тазовского региона является во многом уникальной, а множество прикладных аспектов ее реализации в настоящий момент не апробировано на практике. Главным образом это относится к использованию грузовых СВП и гусеничных вездеходов.

В частности, не в полной мере изучены вопросы обеспечения необходимого ресурса гибкого ограждения грузовых СВП, регулярно работающих в условиях ледяных торосов. В отношении вездеходов неясными остаются вопросы, связанные с достижимыми скоростями хода, возможностью преодоления полынй, необходимостью подготовки ледовых трасс, готовностью нормативной базы и другими аспектами. Соответствующие ответы могут быть получены только в ходе опытной эксплуатации СВП и вездеходов на следующих этапах развития проекта. В настоящем же исследовании были приняты определенные допущения, на основе которых был сформирован принципиальный облик системы и рекомендованы наиболее эффективные с технико-экономической точки зрения решения. Получить соответствующие результаты оказалось возможно только благодаря междисциплинарному подходу, в рамках которого была выполнена интеграция имитационной модели, методов оптимизационного логистического планирования и экономических моделей для оценки эффективности работы транспортной системы. ●

Литература

1. Таровик О.В., Топаж А.Г., Крестьянцев А.Б., Кондратенко А.А. Моделирование систем арктического морского транспорта: основы междисциплинарного подхода и опыт практических работ // Арктика: экология и экономика. 2017. № 1 (25). С. 86–101.
2. Май Р.И., Таровик О.В., Топаж А.Г. Моделирование морской погоды как входного сигнала имитационных моделей транспортных и экологических систем в арктическом регионе // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. т. 29, № 3, 2018. С. 20–38.
3. Топаж А.Г., Таровик О.В., Реуцкий А.С., Киселёв В.А. Оперативное планирование и комбинаторная оптимизация в имитационных моделях транспортной логистики проектного уровня // Сборник трудов научно-практической конференции ИММОД-2019. С. 235–241.
4. Буйанов А.С. Методы оценки стоимости перевозки грузов морским транспортом в условиях ограниченного информационного обеспечения // Транспорт Российской Федерации. № 3 (94) 2021. С. 22–27.
5. Буйанов А.С., Гончарова А.Н. Особенности формирования морских транспортно-логистических систем в условиях Арктики // Сборник научных трудов АО «ЦНИИМФ». 2020. С. 58–67.

KEYWORDS: *marine transport system, simulation modeling, operational planning, feasibility study.*

СПГ 2022 конгресс РОССИЯ

VIII Ежегодный конгресс и выставка

Организатор:

VOSTOCK CAPITAL

Престижная и единственная площадка для руководителей крупно-, средне- и малотоннажных СПГ-заводов

16–17 марта, Москва

www.Ingrussiacongress.com

Генеральный спонсор:



Серебряный спонсор:



Бронзовые спонсоры:



Среди докладчиков и почетных гостей:



Нильс Дайксман,

Директор по проектам СПГ в России, Концерн «Шелл» в России



Вячеслав Мищенко,

Руководитель Центра анализа стратегии и технологий развития ТЭК, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина



Чикако Ишигуро,

Ведущий аналитик, Osaka Gas



Любовь Бриш,

Генеральный директор, Газпром гелий сервис



Сергей Комлев,

Заместитель начальника Управления анализа газовых рынков и ценообразования, Газпром экспорт



Андрей Хауг,

Менеджер по управлению активами, Газпром Германия



РЕКЛАМА

www.Ingrussiacongress.com

+7 (495) 109 9 509 (Москва)

events@vostockcapital.com

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА: реальность и перспективные решения

Самойлов Наум Александрович
кафедра «Нефтехимия и химическая
технология»,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет,
д.т.н., профессор

РАССМОТРЕНЫ НЕДОСТАТКИ РЕАКЦИОННЫХ БЛОКОВ УСТАНОВОК ГИДРООЧИСТКИ И ОБОСНОВАН ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССА ЗА СЧЕТ УЧЕТА ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАКЦИЙ ГИДРОДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ СЕРАОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ. МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДОКАЗАНО, ЧТО ПРИ ДЕЛЕНИИ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ НА ТРИ ШИРОКИЕ ФРАКЦИИ, КАЖДАЯ ИЗ КОТОРЫХ СОДЕРЖИТ НЕСКОЛЬКО УЗКИХ ФРАКЦИЙ, ПРОВЕДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ГИДРООЧИСТКИ ЭТИХ ШИРОКИХ ФРАКЦИЙ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ЗАГРУЗКИ КАТАЛИЗАТОРА В РЕАКТОРНЫЙ БЛОК УСТАНОВКИ ИЛИ УВЕЛИЧЕНИИ ЕЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

THE SHORTCOMINGS OF THE REACTION BLOCKS OF HYDROTREATMENT UNITS ARE CONSIDERED, AND AN APPROACH TO IMPROVING THE PROCESS BY TAKING INTO ACCOUNT THE FEATURES OF HYDRODESULFURIZATION REACTIONS OF ORGANOSULFUR IMPURITIES OF VARIOUS NATURE IS SUBSTANTIATED. IT HAS BEEN PROVED BY MATHEMATICAL MODELING THAT WHEN DIVIDING THE FEEDSTOCK INTO THREE WIDE-CUT FRACTIONS, EACH OF WHICH CONTAINS SEVERAL CLOSE-CUT FRACTIONS, THE OPTIMAL DIFFERENTIAL HYDROTREATMENT OF THESE WIDE-CUT FRACTIONS IS ENSURED BY REDUCING THE CATALYST LOAD IN THE REACTOR BLOCK OF THE PLANT OR INCREASING ITS PRODUCTIVITY

Ключевые слова: гидроочистка, дизельное топливо, псевдокомпонент, математическое моделирование.

Гидроочистка дизельного топлива относится к наиболее крупнотоннажным процессам нефтепереработки. Особенностью проведения этого процесса является его реализация в трехфазной системе: жидкое сырье, водородсодержащий газ и обеспечивающие реализацию гомолитических и гетеролитических реакций гидрогенизации многочисленных сераорганических соединений бифункциональные твердые катализаторы, что существенно осложняет формирование математических моделей процесса [1–3].

Реализованные в промышленности технологические схемы установок гидроочистки весьма консервативны с позиций аппаратного оформления реакторного блока и обычно представляет собой комплексы параллельно или последовательно функционирующих реакторов. Необходимая загрузка катализатора в реакторный блок установки соизмерима с часовой производительностью по дизельному топливу и резко возрастает (в несколько раз) при увеличении глубины очистки топлива. Проектная производительность установок гидроочистки на уровне двух миллионов тонн в год обеспечивается только при неглубокой очистке с содержанием серы в очищенном топливе 350 мг/кг, применяемом в дорожных и сельскохозяйственных машинах. Для автотранспорта по стандарту Евро-5 содержание серы ограничено до 10 мг/кг [4], что достигается увеличением продолжительности гидроочистки и соответственно снижением производительности установок гидроочистки в 3–4 раза или строительством дополнительных реакторов при реконструкции установок.

Как показано в [5], для обеспечения высокого качества дизельного топлива при реконструкции на нефтеперерабатывающем заводе двух небольших установок гидроочистки без изменения их мощности необходимы инвестиции на уровне 2,3 млрд руб., при отключении одной из установок и реконструкции второй до удвоения мощности необходимо 7,8 млрд руб., а при отключении обеих устаревших установок гидроочистки и строительстве новой установки потребуются инвестиции на уровне 14,9 млрд руб.

В связи с этим в данной статье выполнен сопоставительный анализ эффективности

ФАКТЫ

До **10** мг/кг

ограничено
содержание серы
для автотранспорта
по стандарту Евро-5

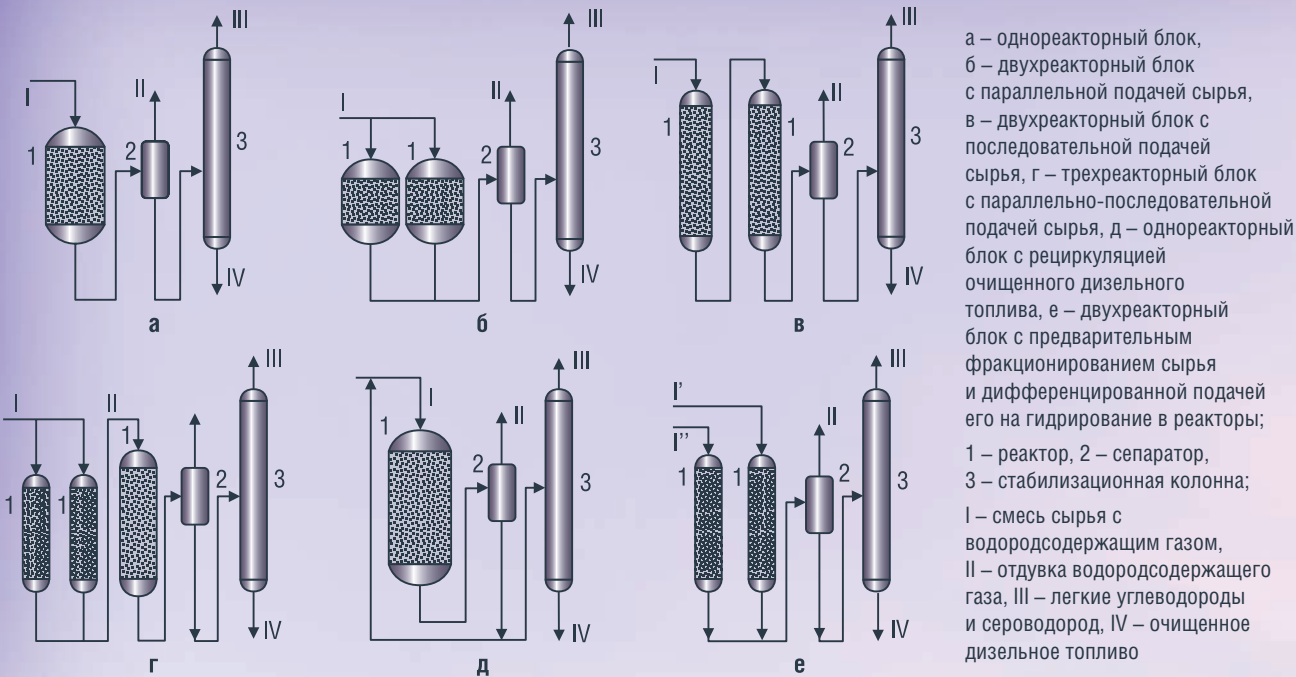
существующих промышленных и предлагаемых новых разработок процессов гидроочистки дизельного топлива от сераорганических примесей с позиций потребности в катализаторе для реакторного блока.

Вычислительные процедуры и программы

Поскольку решалась задача не технического или проектного расчета установок гидроочистки, а сопоставления различных вариантов реакторных узлов этих установок с позиций эффективности удаления сераорганических примесей из одного и того же сырья при одинаковом технологическом режиме, то не было необходимости формировать и использовать сложную иерархическую модель каталитической гидроочистки. В связи с этим рассматривалась работа реактора при следующих принятых допущениях:

- квазигомогенность реакционного потока в реакторе;
- постоянство скоростей локальных струй потока и гидродинамический режим идеального вытеснения в реакторе;
- изотермичность процесса;
- стационарность процесса;
- постоянство активности катализатора;
- содержание совокупной сераорганики в сырье или в узких его фракциях рассматривается как сераорганический псевдокомпонент, концентрация которого в потоке определяется анализом на общую серу [6];

РИС. 1. Схема синтеза резорцинпиромеллитина



- порядок реакций гидродесульфуризации первый в связи с избытком водорода в реакционном потоке;
- константа скорости реакции гидродесульфуризации псевдокомпонента носит эффективный характер.

При указанных допущениях математическая модель реактора гидроочистки корректно минимизировалась по объему и принимала для N псевдокомпонентов следующую форму системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC_{S1}}{d\tau} &= -K_1 C_{S1} \\ \frac{dC_{S2}}{d\tau} &= -K_2 C_{S2} \\ &\vdots \\ \frac{dC_{Si}}{d\tau} &= -K_i C_{Si} \\ &\vdots \\ \frac{dC_{SN}}{d\tau} &= -K_N C_{SN} \end{aligned} \right\},$$

где C_{Si} и K_i – концентрация сераорганического псевдокомпонента и эффективная константа скорости реакции i -того псевдокомпонента соответственно.

Численные значения концентрации сераорганических компонентов в сырье гидроочистки и эффективных констант скоростей реакций гидродеобессеривания были взяты из независимых литературных источников.

Математическая модель рассчитывалась методом Рунге-Кутта, и программа расчета позволяла определять изменение концентрации каждого псевдокомпонента и их совокупности во времени процесса, продолжительность пребывания реакционной смеси в реакторе до достижения заданной степени очистки сырья, необходимый объем катализатора в каждом реакторе с учетом его

ФАКТЫ

В 2,25

надо увеличить загрузку катализатора в реакционный блок для обеспечения углубленной очистки дизельного топлива по общей сере с 350 до 10 мг/кг

размещения в схеме реакционного блока и загрузку катализатора в целом на установку по достаточно простой и быстродействующей программе.

Анализ типовых линейных схем установок гидроочистки

Разнообразие видов компоновки реакторного блока установок гидроочистки (рис. 1) требует выполнения их сопоставления с позиций минимизации загрузки катализатора для получения высококачественного дизельного топлива. Поскольку конструктивно реакторы во всех схемах одинаковы, то при решении поставленной задачи предполагалось, что в реакторах при принятых допущениях температурный и концентрационный профили по высоте слоя катализатора должны быть практически одинаковы.

Для сопоставления различных реакторных систем гидроочистки (рис. 1) выполнено математическое моделирование процесса гидродесульфуризации 250 м³/ч дизельного топлива с содержанием серы 6000 мг/кг, объемной скорости подачи сырья 2 ч⁻¹ и принятой эффективной константой скорости реакции гидродеобессеривания 2 ч⁻¹ [7]. Эффективность работы реакционной системы

ТАБЛИЦА 1. Результаты моделирования различных реакционных систем гидроочистки дизельного топлива

Реакционная система	Расход рециркулята, т/ч	Конечная концентрация серы, мг/кг	Продолжительность реакции, ч	Объем катализатора, м³
Схемы (рис. 2, а, б, в, г) – один реактор, два последовательных или два параллельных реактора, три параллельно-последовательных реактора	0	2000	0,550	68,8
Схемы (рис. 2, а, б, в, г)	0	500	1,245	155,6
Схемы (рис. 2, а, б, в, г)	0	350	1,420	177,5
Схемы (рис. 2, а, б, в, г)	0	50	2,395	299,4
Схемы (рис. 2, а, б, в, г)	0	10	3,199	400,0
Схема (2, д) – реактор с рециркуляцией	10	500	1,220	164,7
Схема (2, д)	30	500	1,175	182,1
Схема (2, д)	50	500	1,130	197,7
Схема (2, д)	10	350	1,400	189,0
Схема (2, д)	30	350	1,350	209,2
Схема (2, д)	50	350	1,310	229,2
Схема (2, г)	10	50	2,370	319,9
Схема (2, г)	30	50	2,325	360,4
Схема (2, г)	50	50	2,285	399,8
Схема (2, г)	10	10	3,175	428,6
Схема (2, г)	30	10	3,130	485,1
Схема (2, г)	50	10	3,085	539,8

при обеспечении конечной концентрации серы в очищенном дизельном топливе от 500 до 10 мг/кг оценивалась по общему объему катализатора в реакционной системе, представленной единственным реактором, двумя параллельно работающими реакторами, двумя последовательно работающими реакторами, тремя параллельно-последовательно работающими реакторами (рис.1, а, б, в, г).

Расчеты показали (таблица 2), что объем катализатора в единичном реакторе, при параллельной и при последовательной системе реакторов, а также при их комбинации, необходимый для достижения заданной остаточной концентрации серы в дизельном топливе, одинаков и конфигурация схемы установки определяется лишь техническими ограничениями. Это позволяет считать, что все реальные промышленные реакторные блоки, независимо от их конфигурации и числа реакторов (а число реакторов в современных технологических линиях установок гидроочистки достигает четырех), эквивалентны работе единичного реактора.

Углубление очистки дизельного топлива по общей сере с 350 до 10 мг/кг требует увеличения загрузки катализатора в реакционный блок с 177,5 до 400 м³, то есть в 2,25 раза, а при сохранении загрузки катализатора 177,5 м³ можно получать топливо с содержанием серы 10 мг/кг только уменьшив производительность установки по сырью с 250 до 111 м³/ч (с 2млн м³/год до 0,89 млн м³/год).

Реакционный блок с рециркуляцией очищенного дизельного топлива

У предложенного в патенте [8] единичного реактора с подачей в него в качестве рецикла очищенной дизельной фракции после сепарации водородсодержащего газа (рис. 1, д), предполагалось, что продолжительность реакции должна была уменьшиться за счет снижения концентрации серы на входе в реактор, что соответственно должно было уменьшить загрузку катализатора.

Однако математическое моделирование показало, что подача рецикла очищенного дизельного топлива из сепаратора в реактор нерациональна, поскольку этот прием приводит к увеличению реакционного объема при прочих равных условиях (рис. 2, табл.1), так как, несмотря на некоторое уменьшение продолжительности процесса гидродеобессеривания, существенно увеличивается фактический расход очищаемого потока за счет дополнительного рециркуляционного вклада.

Для перехода степени гидроочистки сырья от остаточного содержания серы 350 мг/кг до уровня 10 ppm необходимо увеличение продолжительности процесса и соответственно загрузки катализатора в единичный реактор в 1,2–2,2 раза при коэффициенте рециркуляции 1,1–2 по сравнению с проведением процесса без рециркуляции очищенного дизельного топлива.

Расчеты также показали, что ввод рециркулята в реактор

ФАКТЫ

Рунге-Кутта

– метод, которым рассчитывалась математическая модель

РИС. 2. Зависимость продолжительности реакции (ряд 1) и объема катализатора (ряд 2) от расхода рециркулята при остаточной концентрации серы в дизельном топливе 10 мг/кг



на различной высоте слоя катализатора также негативно сказывается на эффективности процесса, но в меньшей степени, чем на верхний уровень слоя катализатора.

Раздельная гидроочистка дизельного топлива в двух реакторах

В оставшихся незамеченных исследователями и промышленностью работах С.А. Логинова с соавторами [9, 10] была высказана оригинальная идея о возможности раздельного гидрирования двух фракций дизельного топлива (легкой I' и тяжелой I'' на рис. 1, е) в реакторах установки гидроочистки при различных режимах работы реакторов с учетом наличия в легком и тяжелом сырье соответственно легко и трудно гидрируемой сераорганики и был выполнен эксперимент на пилотной установке по гидроочистке дизельного топлива, выкипающего в пределах 180–360 °С, разделенного на две широкие фракции 180–300 ° и 300–360 °С с произвольной границей деления 300 °С [10]. В развитие этой идеи нами позднее было обосновано положение о том, что при делении исходного сырья на две раздельно гидрируемые широкие фракции существует такая температурная граница деления, при которой затраты на катализатор процесса могут минимизироваться [11, 12].

В качестве исходных данных для математического моделирования раздельной гидроочистки дифференцируемого дизельного топлива и характеристики исходного сырья взяты результаты анализов фракции дизельного топлива 180–360 °С по содержанию общей серы 10600 мг/кг и экспериментов на пилотной установке [10], которые позволили описать состав исходного сырья по сере уравнением

C_S = 5000 + 11500 N /16,

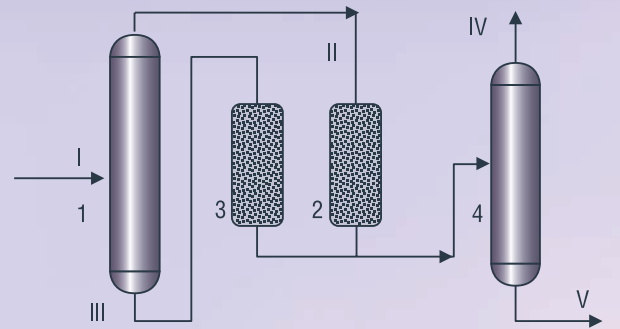
где C_S – концентрация общей серы в узкой фракции, мг/кг;
N – порядковый номер узкой фракции по мере увеличения температуры кипения дизельного топлива;
16 – число узких 6,25% об. фракций в дизельном топливе.

Данные по содержанию общей серы в катализатах при различном времени гидроочистки фракции

ТАБЛИЦА 2. Характеристика катализата, выходящего из реактора Р-2 при различной границе деления исходного сырья на широкие фракции М

Концентрация серы CS в узких фракциях Z в гидроочищенном катализате при									
M = 4					M = 8				
Z	Cs, ppm	Z	Cs, ppm	Z	Cs, ppm	Z	Cs, ppm	Z	Cs, ppm
5	10 ⁻³⁷	9	10 ⁻³³	13	1.8 · 10 ⁻¹⁰	9	10 ⁻³⁷	13	10 ⁻¹²
6	10 ⁻³⁷	10	10 ⁻²⁷	14	6.8 · 10 ⁻⁶	10	10 ⁻³⁰	14	10 ⁻⁶
7	10 ⁻³⁷	11	10 ⁻²¹	15	2.3 · 10 ⁻²	11	10 ⁻²³	15	2.3 · 10 ⁻²
8	10 ⁻³⁷	12	10 ⁻¹⁵	16	119.8	12	10 ⁻¹⁷	16	79.8
Время реакции 2,46 ч					Время реакции 2,66 ч				

РИС. 3. Принципиальная схема реакторного блока с раздельным гидрированием сырья, предварительно разделенного на легкую и тяжелую фракции



1 – ректификационная колонна, 2 – реактор Р-1 для гидрирования легкой фракции сырья, 3 – реактор Р-2 для гидрирования тяжелой фракции сырья, 4 – стабилизационная колонна;
I – исходная прямоугольная дизельная фракция, II – легкая широкая фракция, III – тяжелая широкая фракция, IV – газы и сероводород, V – очищенное дизельное топливо

ФАКТЫ

На

42,1

%,

или 97,5 м³ позволяет уменьшить загрузку дорогостоящего катализатора на установку раздельное гидрирование сырья в двух реакторах по сравнению с однопоточной гидроочисткой

дизельного топлива 180–360 °С на СоМо катализаторе, приведенные в [10], позволили рассчитать диапазон констант скоростей реакции гидродесульфуризации в пределах 2–16,3 ч⁻¹.

Для узких фракций с номерами N, равными 1, 2, 3 ... 15, 16, значения констант скоростей реакции K_i были приняты 17, 16, 15 ... 3, 2.

На первом этапе моделирования процесса гидроочистки дизельного топлива с раздельным гидрированием двух широких фракций (рис. 3) было рассмотрено влияние границы деления сырья по комплексу из 16 узких фракций на объем катализатора, необходимый для очистки образуемых широких фракций до 10 мг/кг. Расход исходного сырья принят 100 м³/ч, объемная скорость подачи сырья – 1 ч⁻¹.

В первый реактор Р-1 вводились последовательно при границе деления между М-й и М+1-й

фракциями фракции с номерами 1, 2 ... М, во второй реактор Р-2 вводились фракции с номерами М+1, М+2 ... N. Граничная фракция М изменяла свой номер от 1 до N, таким образом были рассчитаны все 16 возможных вариантов распределения исходного сырья между двумя реакторами. При М = N все сырье вводилось в реактор Р-1, при М = 0 все сырье вводилось в реактор Р-2 – эти варианты расчетов соответствовали работе установке с единственным реактором, с двумя параллельными реакторами или с двумя последовательно работающими реакторами и давали одинаковые результаты расчета.

Математическое моделирование процесса гидроочистки позволило уяснить характерные особенности гидродесульфуризации сераорганических примесей в двух реакторах.

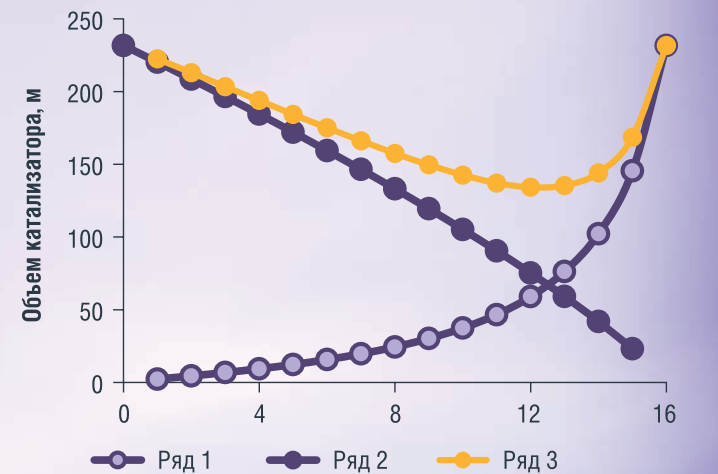
Для реактора Р-1 характерно очевидное увеличение необходимого времен контакта и загрузки катализатора, связанное с утяжелением сырья Р-1 и увеличением его серасодержания по мере возрастания номеров узких фракций М, поступающих в реактор Р-1.

Аналогичные зависимости для реактора Р-2 несколько парадоксальны, так как с утяжелением широкой фракции, поступающей в Р-2, также предполагалось увеличение загрузки катализатора, тогда как расчеты показали, что с увеличением номера граничной фракции М уменьшается необходимая загрузка катализатора (рис. 4). Это явление объясняется тем, что при увеличении продолжительности времени контакта узких фракций по мере их утяжеления одновременно происходит их разбавление практически полностью очищенными легкими фракциями при одновременном уменьшении массы очищаемого потока дизельного топлива в реакторе Р-2; этот процесс по своей сущности и соответственно эффективности противоположен сущности работы ранее рассмотренного реакционного блока с рециркуляцией очищенного дизельного топлива. Например, сравнивая результаты гидроочистки в Р-2 на облегченной широкой фракции при М = 4 и утяжеленной широкой фракции при М = 8 (табл. 2), можно отметить, что при работе реактора на обоих видах поступающего сырья на выходе из аппарата остаточная концентрация наиболее трудно гидрируемого псевдокомпонента шестнадцатой узкой фракции составляет десятки ppm, при этом заданная чистота катализата по общей сере 10 ppm обеспечивается практически полным удалением серы из более легких узких фракций.

Совокупная работа двух реакторов реакционного узла при любом значении М обеспечивается при загрузке катализатора меньшей по сравнению с необходимой для работы единичного реактора и составляющей 231,7 м³ (рис. 3).

Минимальная загрузка катализатора на установку гидроочистки составляет 134,2 м³ при М = 12 (для Р-1 объем катализатора 59,0 м³ при расходе широкой легкой фракции 75 м³/ч и для Р-2 – 75,2 м³ при расходе широкой тяжелой

РИС. 4. Зависимость объема катализатора, загружаемого в реакторный блок от номера псевдокомпонента М на границе деления легкой и тяжелой фракций для реакторов соответственно: Р-1 (ряд 1), Р-2 (ряд 2) и Р-1+Р-2 (ряд 3)



ФАКТЫ

Трехреакторная
схема
гидроочистки

позволяет подобрать такой вариант моделируемой схемы, которая будет включать близкие объемы катализатора во всех трех реакторах схемы, что позволяет разрабатывать проектируемые реакторы как одинаковые аппараты

фракции 25 м³/ч). Температурная граница деления сырья на легкую и тяжелую широкие фракции составляет 315 °С. Кроме того, из рис. 4 следует, что при загрузке катализатора несколько большей минимальной можно изменять температурную границу между широкими легкой и тяжелой фракциями, что не требует обеспечения четкого фракционирования исходного сырья на ректификационной колонне (рис. 3). Раздельное гидрирование сырья в двух реакторах по сравнению с однопоточной гидроочисткой позволяет уменьшить загрузку дорогостоящего катализатора на установку на 42,1 % или 97,5 м³.

Раздельная гидроочистка дизельного топлива в трех реакторах

Поскольку расчеты показали, что на эффективность гидроочистки в значительной мере негативно влияет перегрузка реактора Р-1 тяжелыми узкими фракциями, а реактора Р-2 – легкими узкими фракциями (табл. 2), то несомненна целесообразность объединения части этих фракций в третий поток средней широкой фракции, подвергаемый гидроочистке в отдельном третьем реакторе Р-3. Эту фракцию можно получать в ректификационной колонне установки гидроочистки (рис. 3) в качестве бокового погона. Реактор Р-3 становится дополнительным аппаратом установки.

РИС. 5. Зависимость объема катализатора, загружаемого в реактор Р-3, от номеров узких фракций, формирующих его сырье: ряд 1 – узкие фракции 8...13, ряд 2 – узкие фракции 8...15, ряд 3 – узкие фракции 7...12

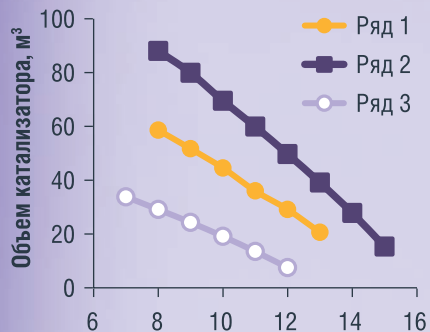


РИС. 6. Зависимость объема катализатора, загружаемого в блок, от номеров узких фракций сырья реактора Р-3: ряд 1 – узкие фракции 8...13, ряд 2 – узкие фракции 8...15, ряд 3 – узкие фракции 7...12

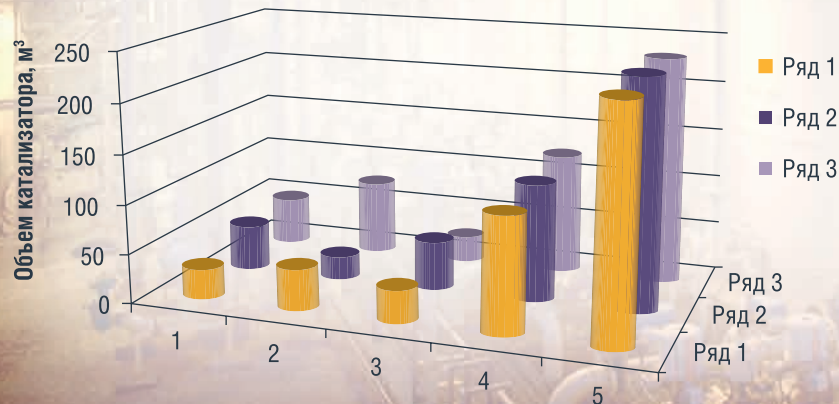


Математическое моделирование трехреакторной схемы установки гидроочистки при прочих равных условиях показало, что при формировании набора узких фракций, образующих среднюю широкую фракцию, направляемую в реактор Р-3, появляется достаточно разнообразная вариативность решений по подбору температурных границ начала и конца кипения средней фракции. Характерно, что переход от двухреакторной к трехреакторной схеме гидроочистки сопровождается дополнительным снижением общего объема загрузки катализатора в реакторный блок за счет устранения ранее обсуждавшихся факторов, отрицательно влияющих на работу реакторов Р-1 и Р-2 двухреакторной схемы. При подборе температурных границ средней широкой фракции принятый комплект узких фракций обеспечивает монотонное изменение объема катализатора, загружаемого в реактор Р-3, (рис. 5), при этом расчетный объем суммарной загрузки во все три реактора также имеет минимум (рис. 6), как и для двухреакторной схемы, однако если двухреакторный блок имеет единственный минимум загрузки катализатора, то при расчете трехреакторного блока формируется множество локальных экстремумов типа минимум и при поиске глобального экстремума необходимо

ФАКТЫ Реакторные блоки установок

гидроочистки
дизельного топлива с
теоретических позиций –
один реактор

РИС. 7. Зависимость объема катализатора, загружаемого в реакторы Р-1 (1), Р-2 (2), Р-3 (3), в трехреакторный блок (4) и реакторный узел типовой установки гидроочистки дизельного топлива – «единичный реактор» (5), от номеров узких фракций, формирующих сырье реактора Р-3: ряд 1 – узкие фракции 11...14, ряд 2 – узкие фракции 12...15, ряд 3 – узкие фракции 9...12



использовать метод сканирования с последовательным изменением диапазона узких фракций, формирующих широкую среднюю фракцию для реактора Р-3.

Дополнительной особенностью вариативности решаемых задач оптимизации трехреакторной схемы гидроочистки является возможность не только минимизации загрузки катализатора в отдельном варианте распределения узких фракций дизельного топлива по легкой, средней и тяжелой широким фракциям, но и подбора такого варианта моделируемой схемы, чтобы при достаточно близком к глобальному минимуму по общей загрузке катализатора схема включала близкие объемы катализатора во всех трех реакторах схемы, что позволяет разрабатывать проектируемые реакторы как одинаковые аппараты (например, вариант ряда 1 на рис. 7).

Рассматривая необходимый объем загрузки дорогостоящего катализатора в реакторный блок как критерий оптимальности R, можно считать, что каждый вариант расчета позволяет определить локальный оптимум, а их сопоставление – выделить глобальный оптимум решения задачи (табл. 3).

Анализ табл. 3 показал, что раздельное гидрирование сырья в реакторах по сравнению с распространенной однопоточной гидроочисткой позволяет уменьшить загрузку дорогостоящего катализатора на установку в 1,7–2 раза или практически удвоить производительность установки при сохранении загрузки катализатора.

Можно предполагать, что дальнейшее увеличение числа реакторов гидроочистки в пределах до числа узких фракций приведет к дальнейшему уменьшению необходимой загрузки катализатора в реакторный блок, однако это, скорее всего, будет неэффективно с экономических позиций из-за увеличения стоимости многочисленного нетипового оборудования. Например, при 16 узких фракциях и их раздельном гидрировании в 16 реакторах загрузка реакторов будет изменяться от 2,3 м³ в первом реакторе

ТАБЛИЦА 3. Сопоставление характеристик одно-, двух- и трехреакторных блоков установок дифференцированной гидроочистки дизельного топлива

Характеристика реакторного блока	Реакторы		
	Р-1	Р-3	Р-2
Однореакторный блок (R = 231,7 м³)			
Распределение псевдокомпонентов	1...16		
Расход сырья, м³/ч	100		
Продолжительность контакта сырья с катализатором, ч	2,31		
Объем катализатора в реакторе, м³	231,7		
Двухреакторный блок (R = 134,2 м³)			
Температурные границы широких фракций, °C	180-315		315-360
Распределение псевдокомпонентов	1...12		13...16
Расход сырья, м³/ч	75		25
Продолжительность контакта сырья с катализатором, ч	0,78		3,00
Объем катализатора в реакторе, м³	59,0		75,2
Оптимальный трехреакторный блок (вариант №1 – глобальный оптимум; R = 116,3 м³)			
Температурные границы широких фракций, °C	180-292,5	292,5-337,5	337,5-360
Распределение псевдокомпонентов	1...10	11...14	15...16
Расход сырья, м³/ч	62,5	25	12,5
Продолжительность контакта сырья с катализатором, ч	0,60	1,48	3,35
Объем катализатора в реакторе, м³	37,4	41,9	32,0
Оптимальный трехреакторный блок (вариант №2 – локальный оптимум; R = 119,4 м³)			
Температурные границы широких фракций, °C	180-303,7	303,7-348,7	348,7-360
Распределение псевдокомпонентов	1...11	12...15	16
Расход сырья, м³/ч	68,75	25	6,25
Продолжительность контакта сырья с катализатором, ч	0,68	2,00	3,70
Объем катализатора в реакторе, м³	46,6	23,1	49,7
Оптимальный трехреакторный блок (вариант №3 – локальный оптимум; R = 123,9 м³)			
Температурные границы широких фракций, °C	180-270	270-315	315-360
Распределение псевдокомпонентов	1...8	9...12	13...16
Расход сырья, м³/ч	50	25	25
Продолжительность контакта сырья с катализатором, ч	0,49	0,97	3,00
Объем катализатора в реакторе, м³	24,4	24,3	75,2

до 23,1 м³ в шестнадцатом реакторе, составляя в сумме 108,5 м³, что всего на 9,8 м³ меньше, чем в трехреакторной схеме при достигнутом глобальном оптимуме 116,3 м³ (табл. 3).

Трехреакторная схема по сравнению с двухреакторной позволяет снизить загрузку катализатора в зависимости от варианта формирования средней широкой фракции от 7 до 13 % и довести снижение загрузки катализатора до 50 % от применяемого в настоящее время «однореакторного» варианта гидроочистки дизельного топлива.

Особенностью технологической схемы дифференцированной гидроочистки является необходимость компьютерного управления процессом распределения широких фракций по реакторам при изменении расхода и состава исходного сырья на базе цифрового двойника установки.

ФАКТЫ Технологическая схема

дифференцированной гидроочистки отличается необходимостью компьютерного управления процессом распределения широких фракций по реакторам при изменении расхода и состава исходного сырья на базе цифрового двойника установки

Заключение

Использование при модернизации установок гидроочистки дизельного топлива схем реакторного узла с раздельным гидрогенолизом двух или трех широких фракций исходного сырья в двух или трех реакторах позволит повышать глубину очистки дизельного топлива от сераорганических примесей или производительность установки при минимизации объема катализатора, загружаемого в реакционный блок, и необходимых инвестиций. ●

Литература

- Кривцова Н.И., Иванчина Э.Д., Занин И.В., Ландль Ю.И., Татауршиков А.А. Кинетические закономерности превращения серосодержащих соединений в процессе гидроочистки дизельной фракции нефти // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – № 3. – С. 83–86.
- Song C. An Overview of New Approaches to Deep Desulfurization for Ultra-clean Gasoline, Diesel Fuel and Jet Fuel // Catalysis Today. – 2003. – Vol. 86. № 2. – Pp. 211–263.
- Samoilov N.A. Mathematical Modeling and Optimization of Diesel-fuel Hydrotreating // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 55. – № 1. Pp. 99–109.
- ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия (с Поправкой, с Изменением № 1) – Введен 01.01.2015 – Москва: Стандартинформ, 2019. – 39 с.
- Баклашкина К.А., Самборская М.А., Дукарт С.А. Сравнительный анализ способов повышения эффективности процесса гидроочистки дизельного топлива. Вестник наук Сибири. 2018. – № 4 (31). – С. 147–157.
- Samoilov N.A., Zhilina V.A. On the Formation of Pseudo-components in the Raw Organosulfur Materials of the Diesel Fuel Hydrotreating Process // Progress in Petrochemical Science. – 2020. – V.3. – № 5. – Pp. 389–381.
- Tataurshikov A., Ivanchina E., Kruttcva N., Krivtsov E. and Syskina A. Mathematical Modeling of Diesel Fuel Hydrotreating / IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 27(2015)012046. – Pp. 1–6.
- Тараканов Г.В., Нурахмедова А.Ф., Попадин Н.В., Тараканов А.Г. Способ гидроочистки дизельного топлива. Патент 2323958 РФ. – 2008.
- Логинов С.А., Капустин В.М., Луговской А.Н., Лебедев Б.Л., Рудяк К.Б., Курганов В.М. Способ получения дизельного топлива. Патент № 2247140 РФ. – 2005.
- Логинов С.А., Лебедев Б.Л., Капустин В.М., Луговской А.И., Курганов В.М., Рудяк К.Б. Разработка новой технологии процесса гидрообессеривания дизельных топлив // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2001. – № 11. – С. 67–74.
- Мнушкин И.А., Самойлов Н.А., Жилина В.А. Способ гидроочистки дизельного топлива. Пат. 2691965 РФ. – 2019.
- Самойлов Н.А., Жилина В.А. Компьютерная модель раздельной гидроочистки прямогонного дизельного топлива // Neftegaz.ru. – 2021. – № 1. – С. 40–45.

KEYWORDS: *hydrotreating, diesel fuel, pseudocomponent, mathematical modeling.*

НОВЫЕ СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ для очистки нефтезагрязненных производственных сточных вод предприятий нефтегазового комплекса

РАСМОТРЕНЫ НОВЫЕ СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА, ПРЕДЛОЖЕННЫЕ В ПАТЕНТАХ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЕ ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫХ СТРАН МИРА И ОТЛИЧАЮЩИЕСЯ УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ. ПОКАЗАНО, ЧТО ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ФИЛЬТРОВ, УСТАНОВОК И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОВЫХ, НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ, НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯВЛЯЕТСЯ СОСТАВНОЙ ЧАСТЬЮ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА И ОБУСЛОВЛЕН ВСЕ ВОЗРАСТАЮЩИМИ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К ОЧИЩЕННЫМ СТОЧНЫМ ВОДАМ, СБРАСЫВАЕМЫМ В ПРИРОДНЫЕ ВОДОЕМЫ ИЛИ НА РЕЛЬЕФ МЕСТНОСТИ

NEW METHODS AND EQUIPMENT FOR CLEANING AND NEUTRALIZING OIL-CONTAMINATED INDUSTRIAL WASTEWATER FROM INDUSTRIAL ENTERPRISES, INCLUDING OIL AND GAS COMPLEX ENTERPRISES, PROPOSED IN PATENTS AND SCIENTIFIC AND TECHNICAL LITERATURE OF INDUSTRIALIZED COUNTRIES OF THE WORLD AND CHARACTERIZED BY IMPROVED CHARACTERISTICS ARE CONSIDERED

Ключевые слова: нефтегазовый комплекс, сточные воды, очистка, обезвреживание, охрана окружающей среды, нефть, нефтепродукты, загрязнение, примесь, способ, оборудование, промышленное предприятие.

**Буренин
Владислав Валентинович**

профессор кафедры
транспортных установок,
Московский автомобильно-
дорожный государственный
технический университет
(МАДИ),
к.т.н.

Предприятия нефтегазового комплекса являются стратегической отраслью экономики Российской Федерации и вносят значительный вклад в загрязнение окружающей среды. Используемые традиционные и новые высокоэффективные способы очистки производственных сточных вод от вредных примесей в состоянии почти полностью удовлетворять современным стандартам экологии, энерго- и ресурсосбережения.

К наиболее распространенным и опасным загрязнителям

производственных сточных вод промышленных предприятий, особенно предприятий нефтегазового комплекса, относятся нефть и нефтепродукты [1].

Токсическое действие нефти и нефтепродуктов на растения и живые организмы, а также на абиотические компоненты окружающей среды чрезвычайно высоко. Для природных водоемов с поступлением в них недостаточно очищенных производственных сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, можно выделить следующие

формы содержания нефти в водной среде: плавающую (свободную), растворенную (до 2 мл/л) и эмульгированную. Свободная нефть плавает на поверхности открытых водоемов либо, просачиваясь через грунт, образует на поверхности подземных водоносных горизонтов так называемые линзы (техногенные месторождения). Пленка нефти на поверхности водоема препятствует процессу поглощения водой кислорода из атмосферы, что может оказаться губительным для живого мира водоема. Растворенные и эмульгированные в воде нефтепродукты относятся к числу трудноокисляемых микроорганизмами веществ, поэтому самоочищение водоемов от нефтепродуктов является длительным процессом. Следовательно, возникает необходимость очистки нефтесодержащих сточных вод до такой степени, чтобы при смешивании сбрасываемых в водоем очищенных сточных вод с водой водоема предельно допустимые концентрации вредных веществ не превышали установленных норм.

Переработка нефти технологически связана с использованием водных ресурсов, поэтому нефтегазовые, химические, нефтехимические и нефтеперерабатывающие предприятия территориально привязаны к природным водоемам и, таким образом, являются потенциальными загрязнителями гидросферы. Вместе с нефтесодержащими производственными сточными водами в природные водные объекты и на рельеф местности попадают такие вредные примеси, как взвешенные твердые и пластичные частицы различного химического состава, ионы тяжелых металлов, фенолы, кислоты, щелочи, соли, смолы, токсичные вещества и др.

Любой сброс плохо очищенных производственных сточных вод в водоемы или на рельеф местности в той или иной степени нарушает водопотребление (применение воды для питьевых нужд), ухудшает водопользование (использование воды для купания, спорта, полива садовых и огородных культур и др.), вода становится непригодной и для промышленных нужд. Поэтому перед сливом производственных сточных вод в канализационные системы, системы оборотного водоснабжения,

водоемы или на рельеф местности они должны быть очищены до требуемых предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ. Наиболее уязвимы к техногенному загрязнению подземные воды, в которых со временем накапливаются вредные загрязнения от производственных сточных вод.

Очистка и обезвреживание производственных сточных вод от вредных примесей осуществляется с помощью механических, силовых, адсорбционных, абсорбционных, физико-химических, химических, термических, биологических и других способов очистки [1].

В последние годы ведущие в области фильтровальной техники российские и зарубежные фирмы разработали, запатентовали и выпускают новые конструкции гидравлических фильтров, очистительных установок и устройств для производственных сточных вод, отличающихся улучшенными характеристиками.

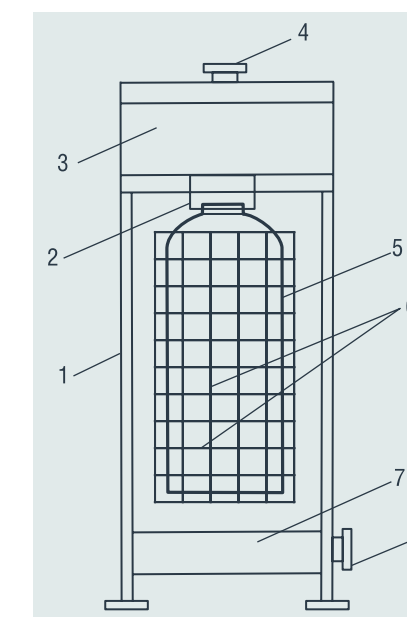
Механическая очистка позволяет извлекать из сточных вод взвешенные твердые и пластичные частицы различных веществ, а также нефтепродукты, находящиеся в грубодисперсном (капельном) состоянии. Механические фильтры по способу удержания частиц загрязнений из очищаемых сточных вод и природе фильтрующего материала подразделяют на поверхностные и объемные. Поверхностные фильтры имеют тонкослойную фильтрующую перегородку со значительно развитой поверхностью входа для очищаемых сточных вод и задерживают загрязняющие частицы в основном на поверхности перегородки, для изготовления которой используются металлические и неметаллические сетки, ткани, картон и т.д.

Объемные фильтры в сравнении с поверхностными обычно имеют значительно большее гидравлическое сопротивление.

Увеличенным сроком непрерывной механической очистки агрессивных производственных сточных вод от взвешенных частиц загрязнений отличается фильтрующая установка [2], содержащая корпус в виде станины 1 (рис. 1), в верхней части которой располагается емкость-накопитель 3, снабженная горловиной 4 для подвода сточных вод на очистку. Между емкостью-

накопителем 3 и фильтровальной перегородкой в виде нетканых гидрофобных полимерных мешков 5 располагается соединительный трубопровод 2. Фильтрующие мешки 5 установлены в металлических поддерживающих сетках 6, закрепленных в станине 1 в вертикальном положении (на рис. 1 устройства для закрепления поддерживающих сеток 6 в станине 1 в вертикальном положении не показаны). Очищенные сточные воды собираются в поддоне 7 и отводятся потребителю через патрубок 8.

РИС. 1. Фильтрующая установка для непрерывной механической очистки агрессивных производственных сточных вод от взвешенных частиц загрязнений с емкостью-накопителем



Фирма Knoll Maschinenbau GmbH (Германия) выпускает пять типоразмеров гидравлических механических ленточных фильтров марки KF [3]. Очистка сточных вод от механических частиц загрязнений осуществляется через участок фильтрующей ленты, изготовленной из пористого бумажного полотна. После отложения на ней слоя частиц загрязнений определенной толщины включается привод, и загрязненный участок ленты заменяют чистым. Лента таким образом перематывается с одного барабана на другой, проходя стадию регенерации (очистки). Фильтры удобны в эксплуатации и обеспечивают качественную очистку сточных вод от твердых частиц при их расходе от 110 до 600 л/мин.

Фирма Hydac Fluidtechnik GmbH (Германия) изготавливает встраиваемые в трубопроводы механические фильтры марки DF/DFF 1500, рассчитанные на сравнительно высокое давление сточных вод и их расход до 1000 л/мин [4]. Фильтры удобны в эксплуатации и имеют большой ресурс работы.

Силовая очистка, как и механическая очистка, служит для удаления из производственных сточных вод крупнодисперсных взвесей и обычно применяется в качестве первой стадии в общей системе очистки. Фильтрация сточных вод осуществляется за счет действия силовых полей – гравитационного, центробежного, магнитного, электрического и др.

Удобно в эксплуатации, имеет высокую производительность и технологично в изготовлении устройство для силовой очистки нефтесодержащих сточных вод [5], включающее гидроциклоны, цилиндрические камеры на сливах гидроциклонов, отстойник, разделенный вертикальными перегородками на секции, в которых расположены перфорированные распределительные устройства, в его нижней части размещены трубчатый дырчатый сборный коллектор системы удаления осадка, а выше коллектора с двух сторон расположена система смыва осадка.

Вторая вертикальная перегородка закреплена по всему периметру внутренней стенки отстойника. В ее верхней части выполнены отверстия, в которых закреплены трубчатые дырчатые телескопические коллекторы-распределители, имеющие отверстия вдоль верхней части в шахматном порядке и под углом 45° к вертикальной оси коллекторов. Коллекторы-распределители верхней плоскостью размещены на уровне границы фаз «нефть – высококонцентрированная эмульсия». В верхней части отстойника в пространстве между первой вертикальной перегородкой, не достигающей до нижней части отстойника, и второй вертикальной перегородкой установлен нефтесборник с патрубком отвода нефти.

Повышенной степенью автоматизации и высокой эффективностью процесса обезвоживания осадка сточных вод после силовой очистки отличается горизонтальный отстойник [6], содержащий корпус 15 (рис. 2),

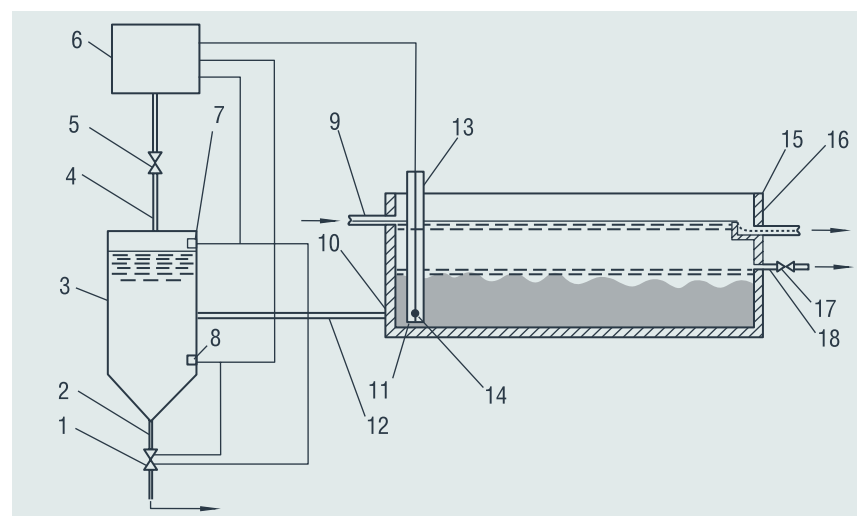
устройство для подвода сточных вод, содержащих взвешенные вещества, на очистку 9 и отвода осветленных сточных вод 16, дренажное устройство 10, вакуумный бак 3, соединенный с дренажным устройством 10 и оборудованный верхним трубопроводом 4 для соединения с устройством для создания вакуума 6 с затвором 5, нижним трубопроводом для отвода сточных вод 2 с затвором 1 и датчиком верхнего уровня сточных вод 7, который соединен электроавтоматикой с устройством для создания вакуума 6. Отстойник оборудован вертикальной трубой 13, которая установлена в корпусе 15 вблизи дренажного устройства 10 и которая в нижней части оснащена сетчатым фильтром 11 и датчиком уровня воды 14, соединенным электроавтоматикой с устройством для создания вакуума 6. В корпусе 15 происходит выпадение в осадок взвешенных веществ из потока очищаемых сточных вод, и при заполнении корпуса 15 осадком до заданного уровня (не выше уровня размещения устройства 18 для слива сточных вод) подача сточных вод через устройство 9 в корпус 15 прекращается, открывается затвор 17 и через устройство 18 для слива сточные воды, находящиеся над слоем осадка, выпускаются из корпуса 15 и направляются по назначению. После этого включается устройство 6 для создания вакуума, и сточные воды через дренажное устройство 10 по трубопроводу 12 поступают в вакуумный бак 3, оборудованный датчиком нижнего уровня сточных вод 8. Затвор 5

на верхнем трубопроводе 4 в это время находится в открытом положении. Отвод сточных вод из корпуса 15, а следовательно, и обезвоживание осадка осуществляется за счет напора, создаваемого в вакуумном баке 3 устройством 6. Использование устройства 6 обеспечивает сокращения продолжительности процесса обезвоживания осадка в горизонтальном отстойнике.

К физико-химическим видам очистки сточных вод от нефтепродуктов и других загрязнений относят коагуляцию, флотацию, флокуляцию и адсорбцию. Коагуляция наиболее эффективна для удаления из сточных вод коллоидно-дисперсных частиц (размером 1–100 мкм). Применение процесса флотации позволяет интенсифицировать всплывание нефтепродуктов за счет обволакивания их пузырьками воздуха, который подается в сточные воды. В зависимости от процесса образования пузырьков воздуха различают следующие виды флотации: напорную, пневматическую, пенную, химическую, биологическую, вибрационную и электрофлотацию.

Технологическая схема глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод от широкого спектра загрязнений до требований, предъявляемых к оборотной технической воде, с использованием метода напорной флотации на завершающем этапе механической очистки сточных вод в нефтеловушках перед подачей их на сооружение биологической очистки показана на рис. 3 [7].

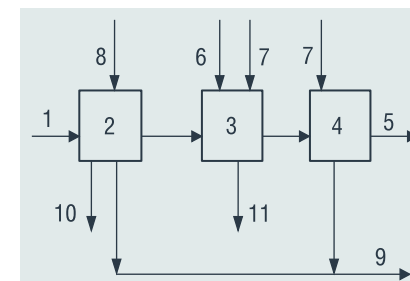
РИС. 2. Горизонтальный отстойник для обезвоживания осадка сточных вод после силовой очистки с вакуумным баком



Применение метода напорной флотации в данном случае не только повышает эффективность выделения мелкодисперсных взвешенных веществ, эмульгированных нефтепродуктов, коллоидных органических загрязнений и частично растворенных органических соединений из сточных вод на завершающем этапе механической очистки, но и сокращает время пребывания очищаемых сточных вод с 1,5–2 ч при отстаивании до 30–40 мин.

Технологическая схема глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод (рис. 3) включает трубопровод подачи нефтесодержащих сточных вод на очистку 1, блоки механической очистки 2 и биологической очистки 3, установку напорной флотации 4, трубопроводы подачи очищенных сточных вод в оборотную систему водоснабжения 5, подачи биогенной добавки 6, подачи воздуха 7, подачи флокулянта 8, подачи нефтепродуктов на утилизацию 9, подачи осадка на обезвоживание 10 и подачи избыточного активного ила на обезвоживание и компостирование 11.

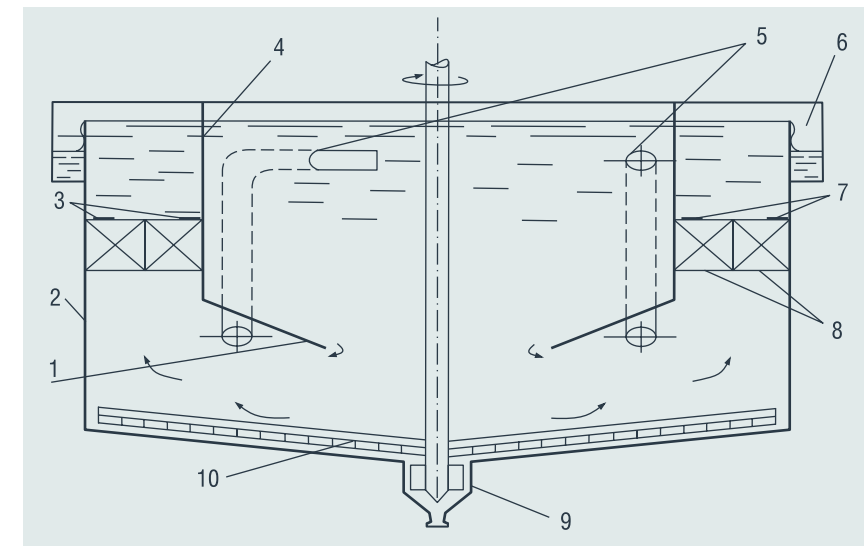
РИС. 3. Технологическая схема глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод с применением метода напорной флотации



Для повышения эффективности работы установки напорной флотации 4 в очищаемые нефтесодержащие сточные воды вводят реагенты (коагулянты, флокулянты).

Применение напорной флотации в технологической схеме глубокой очистки нефтесодержащих сточных вод определяется главным образом количественным и качественным составом сточных вод, подлежащих очистке, требованиями, предъявляемыми к очищенной оборотной технической воде, а также экономическими показателями (капитальными затратами, эксплуатационными расходами).

РИС. 4. Фильтр-флокулятор для очистки производственных сточных вод от взвешенных частиц загрязнений с тонкослойными модулями



В установке фирмы Ashbrook Simon-Hartley Operations and Co (США) для очистки производственных сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, взвешенными частицами и другими загрязнениями используется способ пневматической флотации [8], включающий следующие стадии: неочищенные сточные воды подаются во флотатор, одновременно через диспергаторы, расположенные в донной зоне флотатора, подается воздух в виде мельчайших пузырьков равномерно по сечению флотатора, происходит обволакивание пузырьками воздуха и всплывание нефтепродуктов в виде пены, скапливающейся в кольцевом сборнике между зеркалом сточных вод во флотаторе и его крышкой, отсасывание нефтесодержащей пены в пеносборник, отвод очищенных от нефтепродуктов сточных вод. Установка предусматривает изменение уровня очищаемых сточных вод во флотаторе.

Повышенной производительностью и высоким качеством очистки производственных сточных вод от взвешенных частиц загрязнений отличается фильтр-флокулятор [9], содержащий цилиндрический корпус 2 (рис. 4), внутри которого размещена цилиндрическая камера флокуляции 4, в которую по двум тангенциальным трубопроводам 5 поступают на очистку загрязненные сточные воды. В камере флокуляции 4 за счет вращательного характера движения потока очищаемых сточных вод происходит перемешивание и укрупнение

содержащихся в сточных водах взвешенных частиц загрязнений и осаждение наиболее крупных частиц. Затем сточные воды через диафрагму 1 движением сверху вниз поступают в нижнюю часть корпуса 2 и далее, движением снизу вверх, распространяются в пространстве между камерой флокуляции 4 и стенкой корпуса 2 (зона отстаивания). В зоне отстаивания сточные воды потоком снизу вверх входят в каналы тонкослойных модулей 3 и 8. Здесь взвешенные частицы загрязнений, еще оставшиеся в очищаемых сточных водах, оседают на дно каналов модулей 3 и 8, укрупняются и сползают вниз. Размеры этих укрупненных частиц загрязнений таковы, что скорость их осаждения превышает скорость восходящего потока сточных вод. Очищенные сточные воды из тонкослойных модулей 3 и 8 отводятся через водосборный лоток 6. Осадок из частиц загрязнений скребковым механизмом 10 перемещается к центру конического днища корпуса 2 и удаляется через патрубок 9. Для предотвращения прохода сточных вод без очистки в тонкослойных модулях 3 зазоры между ними и стенкой корпуса 2 и между ними и стенкой камеры флокуляции 4 закрыты горизонтальной перегородкой 7, расположенной на уровне верхних оснований тонкослойных модулей 3.

Фирма Envico Chemic GmbH
(Германия) изготавливает
компактные установки для
очистки нефтесодержащих
сточных вод в модульном

исполнении [10], работающие по флотационному способу. Установки имеют производительность 10–200 м³/день, снижают содержание нефтепродуктов в очищенных сточных водах до уровня ниже 10 мг/л, отличаются высокой надежностью.

Повышение эффективности флотационной очистки производственных сточных вод достигается за счет использования гидродинамических устройств [11], позволяющих получить тонкодисперсную водовоздушную смесь с высоким газосодержанием. Переведенные в нерастворимую форму загрязнения из очищаемых сточных вод выпадают в осадок, при этом захватываются и нерегенируемые нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, органические добавки и др.

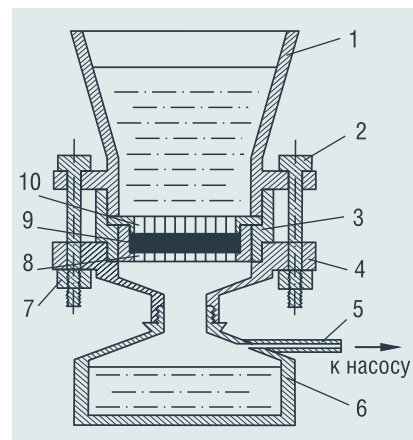
Одним из наиболее эффективных способов удаления растворенных вредных примесей и нефтяных загрязнений из производственных сточных вод является адсорбционная очистка. К преимуществам адсорбционной очистки относятся: возможность удаления загрязнений чрезвычайно широкой природы практически до любой остаточной концентрации, независимо от их химической устойчивости, отсутствие вторичных загрязнений и управляемость процессом.

Качественную адсорбционную очистку сточных вод от растворенных в них химических веществ обеспечивает устройство [12], содержащее воронку 1 (рис. 5) для очищаемых сточных вод, колонну 3, приемное устройство 6 для очищенных сточных вод, переходник 4 между воронкой 1 и приемным устройством 6, сорбционный контейнер, состоящий из решетчатых дна 8 и крышки 10. Внутри сорбционного контейнера помещены гранулы адсорбента 9. Вся конструкция устройства собирается по типу пирамидки, причем соединительные детали верхней части входят в детали нижней части. Собранный прибор закрепляется с помощью трех болтов 2 и гаек 7, установленных с внешней стороны устройства.

При проведении процесса очистки загрязненные сточные воды, находящиеся в воронке 1, проходят в приемное устройство 6 через слой гранул адсорбента 9, находящийся в сорбционном

контейнере, при этом к патрубку 5 приемного устройства 6 подключается вакуум-насос. После проведения процесса очистки сточных вод сорбционный контейнер с гранулами адсорбента 9 вынимается из устройства и отправляется на регенерацию адсорбента. Устройство для очистки сточных вод удобно в эксплуатации и транспортировке.

РИС. 5. Устройство в виде воронки для адсорбционной очистки сточных вод от растворенных химических веществ



Процесс ускоренного получения гранул адсорбента повышенной механической прочности и высокой сорбционной активности [13] осуществляют следующим образом. В водную дисперсию гуминсодержащего материала добавляют раствор силиката натрия, проводят формирование гранул, их высушивание, обработку раствором минеральной кислоты и отмывку. Проведение операции обезвоживания гранул адсорбента осуществляют с использованием центрифугирования и микроволнового излучения. Обезвоживание гранул после отмывки проводят до появления на их поверхности пористой стекловидной корки.

Высокими сорбционными характеристиками обладает адсорбент [14], полученный карбонизацией при температуре 700–800 °С кремнеземистого сапропеля с содержанием минеральных веществ 54–85 % масс. Испытания адсорбента при комплексной очистке сточных вод показали снижение вредных веществ в очищенных сточных водах до норм ПДК в рыбохозяйственных водоемах.

Одной из наиболее опасных примесей, содержащихся в производственных сточных водах, считаются ионы тяжелых металлов, которые относятся к экотоксикантам, имеющим приоритетное значение по степени опасности для окружающей среды и здоровья человека.

К отраслям промышленности, загрязняющим окружающую среду ионами тяжелых металлов, относят нефтехимическую отрасль, черную и цветную металлургию, добычу твердого и жидкого топлива, горно-обогатительные комплексы, стекольное, керамическое, электротехническое производство, машиностроение и др.

Практически каждое промышленное предприятие содержит в своем составе цех или участок гальванопокрытий, при этом в мировом производстве гальванопокрытием обрабатывается огромные площади металлических поверхностей. На эти цели расходуются сотни тысяч тонн тяжелых металлов: 15 % добываемого никеля, 50 % кадмия, 25 % олова [15]. Со сточными водами гальванотехники уносятся и безвозвратно теряются тысячи тонн металлов, которые наносят существенный вред окружающей среде.

Таким образом, ионы тяжелых металлов представляют огромную опасность для биосферы и, в частности, для гидросферы, независимо от путей проникновения их в водные объекты.

Эффективно очищаются производственные сточные воды от ионов тяжелых металлов способом очистки [16], включающим обработку сточных вод жидким щелочным торфо-гуминовым препаратом при его отношении к раствору сточных вод от 1:100 до 1:1000. Затем осадок металлорганических комплексов подвергают термическому обогащению отжигом при температуре 450–600 °С для извлечения полезных компонентов (тяжелых металлов), т.е. для того, чтобы осуществить промышленную переработку производственных сточных вод и при этом снизить затраты на утилизацию отходов.

Флотационная очистка производственных сточных вод в значительной степени зависит от количества диспергируемого воздуха и размера образующихся газовых пузырьков, а также от условия контактирования газовых

пузырьков с частицами загрязнений, преимущественно с гидрофобной поверхностью.

При флотации нефтепродукты адсорбируются в виде пленки на поверхности пузырьков воздуха. При слиянии пузырьков пленка утолщается, поднимается на поверхность, откуда удаляется достаточно несложными способами (через переливные пороги, черпалками, скиммерами, поверхностными сорбентами). Иногда применяется реагентная флотация, при которой вводимые в сточные воды вещества (как правило, соединения алюминия) повышают эффективность процесса. Это особенно необходимо в тех случаях, когда на поверхности микрокапель некоторых органических веществ и нефтепродуктов образуется слой, препятствующий коалесцированию (соединению капель).

Эффективность флотационной очистки зависит от площади границы раздела фаз и гидромеханических условий массопереноса к этой границе, иначе говоря, чем выше концентрация воздуха в очищаемых сточных водах и чем мельче пузырьки, тем лучше.

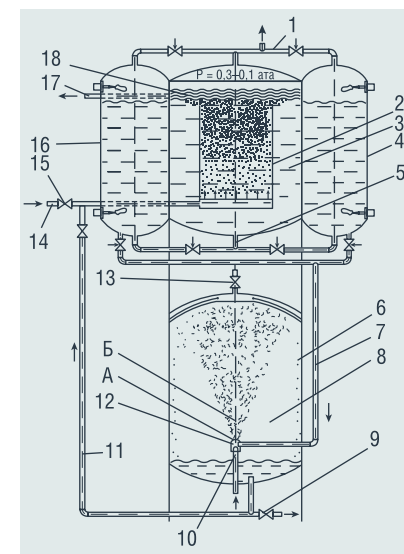
Для очистки сточных вод применяются флотаторы различных типов: барботажные (пневматические), напорные, импеллерные, инжекционные, пневмогидравлические.

Технология напорной флотации VODACO-DAF [17] для предварительной очистки нефтесодержащих сточных вод предприятий нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности представляет собой высокопроизводительную очистку с насыщением части потока очищаемых сточных вод воздухом. Основным преимуществом этой технологии является оптимизированная система насыщения, которая позволяет реализовать степень насыщения до 95 % (от практически достижимой), что приводит к снижению энергозатрат на очистку. В процессе очистки снижается количество нефтепродуктов в очищенных сточных водах до 50 мг/л, взвешенных веществ остается менее 20 мг/л.

Устройство для эффективной очистки нефтесодержащих сточных вод [18] содержит флотирующий,

аэрирующий и накопительный узлы, последовательно сообщенные друг с другом. Во флотирующий стакан 2 (рис. 6), расположенный внутри кольцевой герметичной емкости 3 флотирующего узла, через трубопровод 14, при открытом вентиле 15, поступают нефтесодержащие сточные воды на очистку. В герметичной емкости 3 через вакуумирующую линию 1 создают разрежение воздуха, равное 0,1–0,3 ата. В результате в объеме нефтесодержащих сточных вод происходит выделение мелкодисперсной газовой фазы, что приводит к флотированию содержащихся в сточных водах частиц нефтепродуктов с образованием концентрированного пенного продукта 18, удаляемого через трубопровод 17. Сточные воды, прошедшие очистку вакуумной флотацией, поступают в кольцевую емкость 3, откуда по трубе 5 направляются в одну из двух накопительных емкостей 4 или 16, при этом емкости 4 и 16 заполняют и опорожняют попеременно. Использование двух накопительных емкостей 4 и 16 позволяет осуществлять подачу сточных вод в аэрирующий узел без использования дополнительного перекачивающего насоса.

РИС. 6. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод от нефтепродуктов с флотирующим, аэрирующим и накапливающим узлами



В результате столкновения с ребрами 25, выполненными на нижней поверхности пластин 2, частицы загрязнений задерживаются в них, осадок стекает в конусообразное углубление 1 днища. На верхних пластинах 2 осаждаются самые тонкие маленькие частицы. Одновременно в камере 8, где обеспечены оптимальные температурные условия для микроорганизмов, начинается процесс сбраживания растворенных органических веществ, содержащихся в сточных водах, до более простых соединений. Осветленные сточные воды (стоки) с частично разложившимися органическими соединениями из камеры тонкослойного отстаивания 8 поступают через верхний перелив в первую камеру секции 9 с иммобилизованными на носителях 23 микроорганизмами – деструкторами. Здесь происходит более полное разложение растворенных в воде органических соединений на более простые вещества. После прохождения стоков через камеры секции 9, разделенные перегородкой 24, осветленные стоки с разложившимися органическими соединениями поступают

В секцию 10, где происходит окончательное разложение органических соединений. В камеры секции 10 через воздуховоды 11 и мелкопузырчатые дисковые аэраторы 22 от источника сжатого воздуха поступает воздух в виде мельчайших пузырьков размером до 100 мкм, что необходимо для обеспечения жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. В секции 10 происходит полная минерализация активного ила, в результате чего он становится неспособным к загниванию. После секции 10 очищенные стоки поступают в камеру 12 тонкослойного отстаивания и доочистки, где происходит осаждение иловых частиц в конусообразное углубление 21 днища. Далее сточные воды (стоки) поступают в камеру фильтрации 20, а затем в камеру доочистки с секциями 19, 14 и графитовыми фильтрами 17, где происходит доочистка стоков от эмульгированных нефтепродуктов, вирусов и бактерий. Вторая 19 и третья 14 секции доочистки стоков разделены перегородками 13 и 18, которые выполнены в виде последовательно расположенных друг за другом пластин с каналом между ними для перетекания стоков, причем нечетные пластины 13 закреплены на верхнем основании корпуса 7, а четные пластины 18 – на нижнем основании корпуса 7. Такое закрепление пластин позволяет создать узкий канал между ними для перетекания стоков из одной секции в другую.

Фирма Kamiyama Takao, Sis Eng Co., Ltd (Республика Корея) запатентовала в США устройство для эффективной биологической очистки сточных вод [20] от органических соединений, состоящую из двух ванн: анаэробной и аноксидной. Подвижная перегородка отделяет аноксидную ванну от анаэробной ванны и может перемещаться, изменяя объемы этих ванн. Для подвода воздуха в очищаемые сточные воды в аноксидной ванне установлены воздушные сопла,

1. Буренин В.В. Новые фильтры, устройства и установки для очистки сточных вод промышленных предприятий // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2018, № 1, с. 45–48.
2. Пат. 2564997 Россия. МПК C02F. Установка для обезвоживания и утилизации осадков сточных вод / Г.В. Шишло. Опубл. 10.10.2013. Бюл. № 28.
3. Vliesfilter von Knoll mit vielen Vorteilen // Produktion. – 2005. – № 40. – P. 46.
4. Kann zwei Filter ersetzen // AGT. – 2005. – № 4. – P. 32.
5. Пат. 2408540 Россия. МПК C02F. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод / А.А. Адельшин, А.Б. Адельшин. Опубл. 10.01.2011. Бюл. № 1.

- KEYWORDS:** *oil complex, wastewater, purification, neutralization, environmental protection, oil products, pollution, impurity, method, equipment, industrial enterprise.*

ТАМОЖЕННОЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В БОРЬБЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА



В РОССИИ ВСТУПИЛА В СИЛУ НОВАЯ РЕДАКЦИЯ ТОВАРНОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА (ТН ВЭД). КАК ПРЕДСТОЯЩИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БУДУТ СПОСОБСТВОВАТЬ СОХРАНЕНИЮ КЛИМАТА НА ПЛАНЕТЕ?

A NEW EDITION OF THE COMMODITY NOMENCLATURE FOR FOREIGN ECONOMIC ACTIVITY OF THE EURASIAN ECONOMIC UNION (TN VED) HAS COME INTO FORCE IN RUSSIA. ABOUT HOW WILL THE UPCOMING CHANGES CONTRIBUTE TO THE CONSERVATION OF THE CLIMATE ON THE PLANET?

Ключевые слова: таможенное законодательство, экология, сохранение климата, восстановление озонового слоя, внешнеэкономическая деятельность.

Дмитрий Ездаков
заместитель руководителя
таможенной службы
ГК АРИВИСТ

Одним из шагов на пути к восстановлению озонового слоя и сохранению климата на планете является вступление в силу в 2019 году Кигалийской поправки к Монреальскому соглашению по веществам, разрушающим озоновый слой. Документ, устанавливающий график сокращения потребления гидрофторуглеродов (ГФУ). Данная группа сверхпарниковых газов в 1990-х годах пришла на смену озоноразрушающим

веществам – хлорфторуглеродам, гидрохлорфторуглеродам и галонам – как безопасная альтернатива. Однако впоследствии было установлено, что ГФУ способствует глобальному потеплению, так как сила парникового воздействия фторсодержащих газов в тысячи раз превосходит углекислый газ. Таким образом, использование данных веществ увеличивает антропогенные выбросы парниковых газов.

УДК 346: 502

График сокращения потребления

Кигалийская поправка устанавливает различные графики сокращения потребления ГФУ для четырех групп государств: двух групп развивающихся стран и двух развитых

	Группа I	Группа II	Группа III	Группа IV
Заморозка	–	–	2024 (100 %)	2028 (100 %)
1 этап	2019 – до 90 %	2020 – до 95 %	2029 – до 90 %	2032 – до 90 %
2 этап	2024 – до 60 %	2025 – до 65 %	2035 – до 70 %	2037 – до 80 %
3 этап	2029 – до 30 %	2029 – до 30 %	2040 – до 50 %	2042 – 70 %
4 этап	2034 – до 20 %	2034 – до 20 %	–	–
5 этап	2036 – до 15 %	2036 – до 15 %	2045 – до 20 %	2047 – до 15 %
Страны	Стороны, не действующие в рамках Статьи 5 Монреальского протокола, за исключением Группы II	Беларусь, Россия, Казахстан, Таджикистан, Узбекистан	Стороны Статьи 5 Монреальского протокола за исключением Группы IV	Индия, Пакистан, Иран, Ирак, Бахрейн, Кувейт, Оман, Катар, Саудовская Аравия, ОАЭ
Базовый уровень [2]	Средний уровень потребления ГФУ за 2011–2013 годы + 15 % от базового уровня ГХФУ	Средний уровень потребления ГФУ за 2011–2013 годы + 25 % от базового уровня ГХФУ	Средний уровень потребления ГФУ за 2020–2022 годы + 65 % от базового уровня ГХФУ	Средний уровень потребления ГФУ за 2024–2026 годы + 65% от базового уровня ГХФУ

ГФУ используются в качестве хладагентов в производстве холодильного и морозильного оборудования, систем кондиционирования воздуха и тепловых насосов, а также в качестве вспенивателей, средств противопожарной защиты, аэрозолей различного назначения, растворителей, лекарственных препаратов. Примером данной группы сверхпарниковых газов служат хладагенты R134a, R404a, R407a, R410a.

Кигалийская поправка предусматривает поэтапный вывод из обращения ГФУ. В частности:

- Значения потенциала глобального потепления были добавлены в текст Протокола для ГФУ и некоторых ГХФУ и ХФУ.
- Производство, потребление, импорт, экспорт, выбросы, а также базовые уровни потребления ГФУ должны быть выражены в эквиваленте диоксида углерода (CO₂).
- Базовые уровни потребления рассчитываются на основании объемов производства/потребления как ГФУ, так и ГХФУ.

- Для стран с жарким климатом предусмотрены исключения.
- Для ряда стран расчеты базового уровня и первоначальные этапы сокращения потребления отличаются от предусмотренных для основной группы стран.
- Торговля со странами, которые не ратифицировали Поправку («странами, не являющимися Сторонами Поправки»), будет запрещена с 1 января 2033 года.

Внесение поправок в товарную номенклатуру ВЭД, которая регламентирует способы классификации товаров, размер таможенной пошлины, а также контролирует объемы транспортировки каждой отдельной товарной позиции и субпозиции через международные границы, – это один из инструментов регулирования обращения ГФУ на территории Российской Федерации и стран-участников Евразийского экономического союза. С 1 января 2022 года в номенклатуре произойдут следующие изменения:

- значительно расширится товарная позиция 29 03 «Галогенированные производные углеводородов» – добавятся расширенные субпозиции, которые помогут более детально отследить объем ввоза/вывоза отдельных ГФУ;
- выделена отдельная товарная позиция 38 27 «Смеси, содержащие галогенированные производные метана, этана или пропана, в другом месте не поименованные или не включенные», которая призвана контролировать охлаждающие смеси.

Новые товарные позиции и субпозиции на первом этапе сформируют более четкое представление об объемах производства и потребления всех категорий ГФУ, а впоследствии приведут к поэтапному сокращению производства и потребления веществ, которые имеют высокий потенциал глобального потепления. ●

KEYWORDS: customs legislation, ecology, climate conservation, ozone layer restoration, foreign economic activity.



США ЗАХОТЕЛИ СОЗДАТЬ «АНТИРОССИЙСКИЙ ГАЗОВЫЙ СОЮЗ», НО ОКОНЧИЛИСЬ



По сообщениям американских СМИ, администрация Джо Байдена обсуждает с Катаром увеличение поставок СПГ в Европу и готова подключить к этим переговорам еще больше стран Ближнего Востока, чтобы «устранить зависимость Европы от российского природного газа». На фоне ожесточенных споров



между США, Западом и Россией по вопросам Украины и расширения НАТО на восток подобный шаг Америки призван «разорвать связи» между ЕС и Москвой и способствовать объединению европейских союзников на пути давления США на Россию. Российские СМИ заявили, что Вашингтон готовится к созданию антироссийского газового союза и планирует вести энергетическую войну против Москвы. Из-за ограниченного предложения и постоянных конфликтов между Россией и Западом европейские страны все чаще смотрят на отношения с Москвой с геополитической точки зрения, просто «сваливая все проблемы» на нее и сознательно игнорируя

присущую рынку природного газа внутреннюю логику, определяемую рыночными условиями. Однако, учитывая объективные условия газовой отрасли, Америке будет весьма трудно контролировать Россию с помощью газа.

ЕВРОПА НЕ СМОГЛА НАЙТИ ЗАМЕНУ РОССИЙСКОМУ ГАЗУ Bloomberg

Имеющие большие запасы энергоресурсов страны от Катара до Азербайджана в один голос обещают Европе экстренные поставки газа. Но континент начинает осознавать, что они не в состоянии заменить главного поставщика, каким является Россия. Сохраняется напряженность из-за Украины и угроза возникновения вооруженного конфликта. Война может воспрепятствовать поставкам российского газа, который в больших объемах перекачивается в Европу, причем треть его идет через Украину. Чтобы уменьшить риск перебоев с поставками, Евросоюз ведет переговоры с крупными производителями. Недавно Европа



получила несколько партий СПГ, что помогло облегчить дефицит. Но более трети потребляемого газа Европа получает из России, а если она станет закупать это топливо где-то еще, кризис вполне может распространиться на другие регионы. Один поставщик не сможет компенсировать потребляемый в ЕС объем газа, не нарушив поставки в другие регионы. Если перебои с поставками повторятся в предстоящие две зимы, Европе придется сократить потребление. Из-за такой неопределенности цены наверняка останутся на высоком уровне, поскольку соперничество за СПГ усиливается.

ПУТИНУ НУЖНЫ ДЕНЬГИ, ПОЭТОМУ ОН НЕ СТАНЕТ МОРОЗИТЬ ЕВРОПУ Forbes

В. Путин сосредоточил на границе с Украиной сотысячную группировку российских войск. Один из имеющихся у свободного мира способов не дать Путину захватить Украину, предположительно, заключается в следующем: США и прочие экономически значимые страны должны отключить Россию от «мировой банковской системы». Казалось бы, все просто. Лишить Россию доступа к твердой валюте, и Путин начнет постепенно отводить российские войска от длинной границы с Украиной. Правда, ни у США, ни у любой другой страны нет разумного способа для отключения России от глобальных финансов. Дело в том, что американский доллар и прочие заслуживающие доверия мировые валюты придают новое значение товарам и всему тому, что поддается физическому измерению. ●

КАЛЕНДАРЬ СОБЫТИЙ

1–4 марта

26-я международная
специализированная
выставка

ИНТЕР-
ЛАКО-
КРАСКА-
2022

г. Москва
ЦВК «Экспоцентр»

МАРТ

П		7	14	21	28
В	1	8	15	22	29
С	2	9	16	23	30
Ч	3	10	17	24	31
П	4	11	18	25	
С	5	12	19	26	
В	6	13	20	27	

2–4 марта

8-я ежегодная конференция
и технический визит

Даунстрим Россия
2022

Астрахань

17 марта

XVI Конференция
СНАБЖЕНИЕ В НЕФТЕГАЗОВОМ
КОМПЛЕКСЕ
Нефтегазснаб-2022

Москва,
отель InterContinental

17–18 марта

16-я межрегиональная специализированная выставка

Газ. Нефть. Новые
технологии – Крайнему
Северу 2022

г. Новый Уренгой

30 марта

13-я Межотраслевая конференция

Антикоррозионная
защита-2022

Москва

О ЧЕМ ПИСАЛ Neftegaz.RU 10 ЛЕТ НАЗАД...

Общественные слушания по вопросу законодательной поддержки развития сектора генерации на ВИЭ

2 февраля 2012 года Минэнерго РФ провело общественные слушания по обсуждению мер стимулирования производства электроэнергии генерирующими объектами, функционирующими на основе ВИЭ.



Ключевые моменты комплекса мер нацелены на снятие преград для привлечения инвестиций в этот сектор энергетики со стороны малого и среднего бизнеса.

Комментарий Neftegaz.RU

В январе 2022 г. ветряные и солнечные источники электроэнергии в России увеличили выработку электроэнергии на 102,8% до 658,9 млн кВт·ч. Но в общей структуре выработки единой энергосистемы страны доля ВИЭ-генерации составляет всего 0,6%. Тем не менее, на альтернативные источники энергии у России большие планы. Так, в прошлом году А. Новак заявил, что Россия планирует в 10 раз увеличить долю возобновляемых источников к 2040 г. Произойдет это за счет сокращения доли угольной генерации. К 2035 г. в развитие ВИЭ в России планируют инвестировать порядка 1 трлн руб.



Власти введут льготы на сверхвязкую нефть и разрешат добычу на шельфе негосударственным компаниям

Кандидат в президенты и премьер-министр В. Путин в феврале 2012 года сделал ряд заявлений по ТЭК. В ближайшем будущем российские власти могут допустить к добыче углеводородов на шельфе компании, неконтролируемые государством. В. Путин также заявил, что власти приняли решение о поддержке компаний, разрабатывающих месторождения высокосернистой нефти.

Комментарий Neftegaz.RU

Вопрос с доступом к северному шельфу за десятилетие не продвинулся. В 2019 году правительство подготовило законопроект, разрешающий работать на арктическом шельфе частным компаниям. Минвостокразвития, ФАС и Минприроды должны проработать вопрос до 31 декабря 2023 г. С того же 2019 года тестируется новый налог – НДД, правда только на отдельных месторождениях и с переменным успехом. Так, с 1 января 2021 г. для месторождений с выработанностью более 80% и СВН отменены понижающие коэффициенты к ставкам НДПИ. А в марте того же года правительству поручено проработать в рамках параметров НДД вопрос о стимулировании добычи вязкой нефти, нефти из высокообводненных скважин и ТРИЗ.

В Челябинске запустят первый автобус на СПГ

Первый автобус с газовым двигателем начнет курсировать в Челябинске в 2012 году. Позже эксплуатация начнется и в других крупных городах России, так как за транспортом на сжатом газе многие видят будущее. Возможно, примеру Челябинска и М. Прохорова, который в 2010 году заказал итальянским дизайнерам автомобиль на сниженном газе, последуют и остальные города России.



Комментарий Neftegaz.RU

Автотранспорт с газовым двигателем соответствует экологической повестке, поэтому к 2022 году рынок ГМТ стал одним из наиболее динамично развивающихся среди топливных рынков. Объем потребления метана в качестве ГМТ к концу 2021 г. вырос на 30%, а количество газовых АЗС превысило 700. Минэнерго РФ создает Единый центр координации работы по развитию инфраструктуры ГМТ, также ведется работа по упрощению правил строительства СПГ-заправочных станций. Субсидии на производство автобуса большого класса на КПП составляют 1,19 млн руб., на СПГ – 3,4 млн руб. К настоящему времени право на субсидирование перевода транспорта на ГМТ имеют 27 регионов. ●



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Четырнадцатая международная специализированная выставка

29 - 31 марта 2022
Москва, ЦВК «Экспоцентр»,
павильон 1

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК), т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация

Специальный раздел выставки:
КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ

Информационная поддержка:



Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»

115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507

Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru



youtube.com/user/comproexporussia



@comproexporus



@ocompo

Организатор:



ПОЛИУРЕТАНЭКС

Тринадцатая международная специализированная выставка

29 - 31 марта 2022
Москва, ЦВК «Экспоцентр»,
павильон 1

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства полиуретанов (добавки, красители, катализаторы, наполнители, и т.д.)
- Оборудование и станки для производства и переработки полиуретанов (расходомерная, шестереночная, оседагональные (шнековые), шлепперные насосные установки, обрабатывающие станки, и т.д.)
- Конечная продукция (контактное уплотнение при литье, фильтры и т.д.)
- Услуги (лабораторные испытания, охрана здоровья и безопасность, переработка, защита окружающей среды, научные разработки)
- Техническое обслуживание оборудования
- Тестовое оборудование

Специальный раздел выставки:
КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ

Информационная поддержка:



Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»

115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507

Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@polyurethanex.ru | Сайт: www.polyurethanex.ru



youtube.com/user/polyexporu



@polyexporus



@ocompo

Организатор:





Установка для автоматизированной сварки

литий-ионных аккумуляторов



УСТРОЙСТВО С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ СПОСОБНО БЫСТРО И БЕЗОПАСНО СОБРАТЬ ЛИТИЙ-ИОННЫЕ БАТАРЕИ В ЕДИНЫЙ МАССИВ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРОВ. Соединение литий-ионных аккумуляторов в единую структуру невозможно выполнить с помощью пайки, поскольку эти процессы занимают относительно много времени, в течение которого аккумулятор может перегреться и выйти из строя. Поэтому основным методом является точечная сварка никелевой лентой не перегревающая аккумуляторы. Однако в России пока оборудование для использования данной технологии не производится. Ученые СПбГЭТУ «ЛЭТИ» разработали первую отечественную установку для точечной сварки.

С помощью универсального подхода к созданию программного кода, используемого учеными ЛЭТИ, разработку можно масштабировать и использовать на больших рабочих областях для сборки аккумуляторных батарей любых конфигураций в промышленных объемах.



Папайя против «Конго красного»



МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОЛЛЕКТИВ УЧЕНЫХ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА СИНТЕЗИРОВАЛ АДСОРБЕНТ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД. Он очищает воду от высокоокрашенного красителя («Конго красный»), который широко распространен, в частности, в пластмассовой промышленности. Новый адсорбент состоит из порошка семян папайи и наночастиц оксида железа. Семена папайи эффективно удаляют красящий элемент из сточных вод, а железо ускоряет процесс отделения сорбента от очищенной воды. В итоге адсорбент удаляет из воды более 90% красителя. Сорбент можно очистить и использовать до пяти раз, промывая его раствором поваренной соли или водным раствором щелочи. Наилучшим образом сорбент работает при температурах от комнатной до +60°C. Более высокая температура запустит обратный процесс десорбции, а в холодной воде процесс будет протекать медленнее. Максимальная эффективность очистки достигается при нахождении сорбента в воде не менее двух часов.



Новые резины от российских ученых

СПЕЦИАЛИСТЫ ИЗ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» СОВМЕСТНО С КОЛЛЕГАМИ ИЗ ИНСТИТУТА СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИНСТИТУТА ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ РАН РАЗРАБОТАЛИ ТЕХНОЛОГИЮ, ПОВЫШАЮЩУЮ КАЧЕСТВО ПОЛУЧАЕМОЙ ИЗ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОГО КАУЧУКА РЕЗИНЫ.



Она позволила не только превратить каучук в резину, но и улучшить механические свойства получившихся материалов. Резины, получаемые из кремнийорганического каучука для использования в составе композитных материалов более тепло- и атмосферостойкие, чем традиционные, устойчивы к действию озона и ультрафиолета. Однако частицы диоксида кремния слипаются, образуя комочки. Из-за этого структура резины становится неоднородной, что снижает ее прочность. Вместо них ученые предложили использовать в качестве наполнителя MQ-смолы – соединения, в которых жесткое ядро на основе диоксида кремния окружено гибкими цепочками из кремния, кислорода и метила, мешающими ядрам слипаться между собой. Кроме того, варьируя содержание наполнителя и его структуру – соотношение между размерами ядра и оболочки, можно получить широкий спектр свойств материала.



Керамика для ТрИЗ



КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛУЧИЛИ ПРИМЕНЕНИЕ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ В КАЧЕСТВЕ РАСКЛИНИВАЮЩИХ АГЕНТОВ (ПРОПАНТОВ) ДЛЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА МЕТОДОМ ГРП.

Ученые ТПУ разработали технологию получения магнезиально-силикатных пропантов с улучшенными физико-технологическими свойствами. Они применили природную кремнезистую добавку – диатомит. Это осадочная порода, продукт разложения диатомитовых водорослей, имеющая пористую структуру. Эта особенность строения дает ряд преимуществ по сравнению с песком, в котором кремнезем находится в менее активном кристаллическом состоянии. Такое различие в строении кремнеземистой добавки активирует процесс спекания и уплотнения керамической матрицы. Ученые также проводят исследования по созданию керамических пропантов с использованием техногенных отходов топливно-энергетического и химико-металлургических комплексов. Это разнообразные золосодержащие отходы, металлургические шлаки и шламы.



Синтез-газ с двойным уменьшением затрат

СИНТЕЗ-ГАЗ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА, МЕТАНОЛА И МОТОРНОГО ТОПЛИВА СМОГУТ ПРОИЗВОДИТЬ БОЛЕЕ ДЕШЕВЫМ И ЭКОЛОГИЧНЫМ СПОСОБОМ. Новое решение специалистов

Исследовательской школы химических и биомедицинских технологий ТПУ на 47% сокращает затраты тепловой энергии при производстве синтез-газа. Синтез-газ применяется в первую очередь для получения метанола. Еще он может использоваться для изготовления бензина и дизельного топлива, а также в энергетике. При таком способе производства суммарные выбросы углекислого газа уменьшатся на 25 тыс. тонн в год. Переход на низкоуглеродную энергетику требует создание специальной инфраструктуры для хранения и транспортировки водорода. Исследования направлены на то, чтобы создавать не конечный продукт (водород), а промежуточные продукты, под которые уже существует инфраструктура. К таким соединениям относится и синтез-газ.



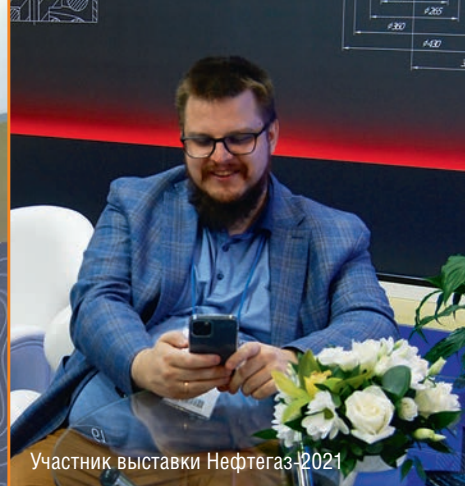
Биотопливо из органических отходов



КАЖДЫЙ ГОД В РОССИИ ОБРАЗУЕТСЯ СЫШЕ 260 МЛН М³ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ. ИССЛЕДОВАТЕЛИ ИЗ ПЕРМСКОГО ПОЛИТЕХА ПРЕДЛОЖИЛИ ПОЛУЧАТЬ ИЗ НИХ БИОТОПЛИВО. Поток ТКО разделяется на мелкую (до 80 мм) и крупную фракции, которые затем сортируют отдельно. Из крупной фракции выделяют вторичное сырье и пластик для переработки, а далее отбирают биогенные компоненты, которые станут основой для биотоплива: пищевые и растительные отходы, макулатуру, натуральные ткани, дерево. Их измельчают до 40 мм и сушат. Мелкую фракцию делят еще на две части: 20–80 мм и 0–20 мм. Из первой выделяют биогенные отходы и сушат их, а во второй оказываются балластные и опасные материалы, например, батарейки. Готовое биотопливо представляет собой измельченный однородный продукт. Его можно применять как отдельно, так и в составе основного топлива в энергоемких технологических процессах, которые используют в качестве ресурса твердое природное топливо. Разработка будет полезна для внедрения на тепловых электростанциях, в цементном производстве и металлургии.



Участники выставки Нефтегаз-2021



Участник выставки Нефтегаз-2021



Стенд компании Сиббурмаш на выставке Нефтегаз-2021



Посетители выставки Нефтегаз-2021



Участники выставки Нефтегаз-2021



Стенд компании БАЗТЮБ на выставке Нефтегаз-2021



Стенд компании КТК на выставке Нефтегаз-2021



Участник выставки Нефтегаз-2021



Участник Международного Энергетического Форума-2021



Посетители выставки Нефтегаз-2021



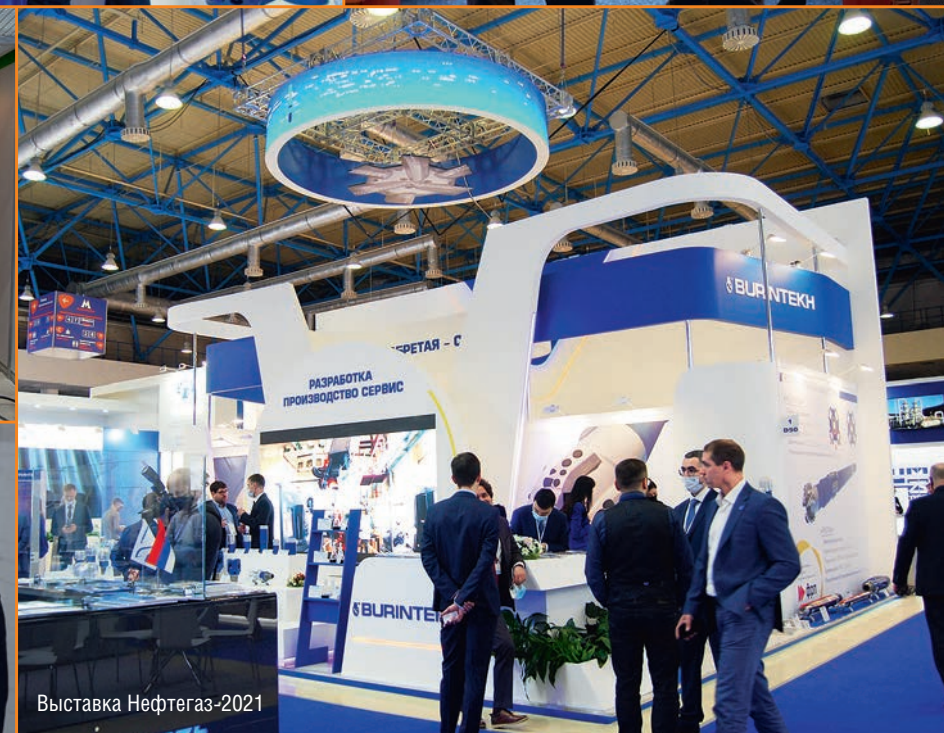
Участники Международного Энергетического Форума-2021



Участники выставки Нефтегаз-2021



Экспонат выставки Нефтегаз-2021



Выставка Нефтегаз-2021



Участники Международного Энергетического Форума-2021



Посетители выставки Нефтегаз-2021



Стенд компании ССТ



Стенд компании Алки-Урал на выставке Нефтегаз-2021



Участник выставки Нефтегаз-2021



Экспонат выставки Нефтегаз-2021



Участники выставки Нефтегаз-2021



—Е. Касперский



Стенд компании Конкрет Канвас Раша на выставке Нефтегаз-2021

РЕСИВЕРЫ ВОДОРОДА

1.3 Оборудование для переработки нефти и газа

1.3.1 Технологическое оборудование

1.3.1.7 Разнообразное емкостное оборудование



Процесс переработки нефти и газа сопряжен с необходимостью использования ресиверов. В зависимости от технических особенностей ресиверы подразделяют на кислородные (для накопления кислорода и других неагрессивных сред), ресиверы гелия (для приема, хранения и выдачи газообразного гелия) и ресиверы водорода.

Водородные ресиверы предназначены для хранения на промышленных предприятиях технического водорода. Ресиверы нашли применение в атомной, космической, металлургической промышленности. В химической отрасли их используют для синтеза хлороводорода, аммиака и метилового спирта, в нефтехимии – для гидрогенизации жиров, угля и нефти, в электрических генераторах с помощью ресиверов охлаждают водородные установки.

Ресиверы для водорода могут быть емкостью для хранения конечного вещества, предназначенного для отгрузки потребителю, либо

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Рабочее давление	до 12 МПа
Объем	от 1 до 200 м³
Конструкция	наземная горизонтальная или вертикальная с эллиптическими днищами на опорах
Температурный диапазон рабочего продукта	от -60 °С до +300 °С
Минимальная температура эксплуатации	-60 °С

промежуточной емкостью, из которой водород поступает дальше по технологической цепочке.

Ресиверы водорода – это горизонтальная или вертикальная емкость, устанавливаемая на опоры. Эксплуатация ресивера происходит под высоким рабочим давлением, поэтому днища изготавливаются эллиптические. В корпусе предусмотрены люк, патрубки и штуцеры для выполнения основных функций: наполнение ресивера водородом,

откачка водорода, сбор конденсата, проведение технологического осмотра и чистки внутренней поверхности емкости и др.

Важным элементом водородных ресиверов является предохранительный клапан, который предотвращает разрушение конструкции из-за повышения давления.

Водородные ресиверы производятся из листового металлопроката, которому придается цилиндрическая форма. ●

СЕПАРАТОР

1.3 Оборудование для переработки нефти и газа

1.3.1 Технологическое оборудование

1.3.1.8 Сепараторы для нефтяных и газовых сред



По форме исполнения сепараторы подразделяют на:

- вертикальные (представляет собой корпус в форме цилиндра, оснащенный короткими трубками для ввода пластовой жидкости и вывода жидкой и газовой фаз, арматурой для предохранения и регуляции, а также специальными элементами для отделения жидкостей);
- горизонтальные (содержит емкость с двумя расположенными под наклоном полками, пеногаситель, отделитель жидкостей и устройство, предотвращающее возникновение воронки в процессе дренажа нефти. Горизонтальный нефтесепаратор оснащен трубкой для ввода пластовой жидкости, штуцерами для выхода фаз и люком);
- гидроциклонные (представляет собой горизонтальную емкость,

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Рабочее давление	от 0,6 до 6,3 МПа
Диаметр аппарата	от 1200 до 2400 мм
Температура воздуха при эксплуатации	от -60 до +100 °С

состоящую из одноточных гидроциклонов. Одноточный циклон – это устройство в форме цилиндра с тангенциальным вводом пластовой жидкости, направляющей трубкой и отделом перетока).

В зависимости от основной силы, благодаря которой осуществляется отделение, сепараторы подразделяются на:

- гравитационные (разделение происходит за счет гравитации, газы поднимаются вверх, тяжелые вещества оседают на дне,

для увеличения продуктивности на входе устанавливают депульсатор, предназначенный для отстранения газа из пластовой жидкости);

- центробежные (отделение осуществляется за счет воздействия центробежной силы);
- инерционные (отделение происходит благодаря разным силам инерции частиц в сепарируемой жидкости. Тяжелые элементы вытесняются к стенкам емкости, после чего перетекают на ее дно). ●

Параметры нефтегазовых сепараторов

Объем, м³	Давление условное, МПа	Диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Длина, мм	Высота, мм
6,3	0,6/1,0/1,6/2,5/4,0	1200	8/8/10/12/18	6510/6510/6545/6570/6610	2175/2175/2180/2180/2280
12,5	0,6/1,0/1,6/2,5/4,0	1600	8/8/12/16/22	8190/8190/8220/8220/8360	2745/2745/2750/2760/2890
25	0,6/1,0/1,6/2,5/4,0	2000	8/10/12/18/25	10100/10105/10135/10210/10320	2895/2900/2900/2915/3015
50	0,6/1,0/1,6/2,5/4,0	2400	8/10/14/20/30	12890/12890/12945/12964/13128	3013/3545/35547/3555/3571
100	0,6/1,0/1,6/2,5/4,0	3000	10/12/18/25/40	15215/15229/15241/15320/15515	3909/3917/3931/3945/4055

ЭЛЕКТРОДЕГИДРАТОР

1.3 Оборудование для переработки нефти и газа

1.3.1 Технологическое оборудование

1.3.1.14 Прочее технологическое оборудование



Электродегидраторы – это составная часть технологической линии по подготовке нефти к транспортировке. Оборудование предназначено для обезвоживания и обессоливания нефти.

Электродегидраторы бывают вертикального, шарового и горизонтального исполнения, представляют собой цилиндрическую емкость с эллиптическими днищами на седловых опорах. Внутри корпуса размещаются электроды, которые находятся в подвешенном состоянии. Вход нефтяной эмульсии осуществляется через штуцер с распределяющим устройством, выход воды и нефти – через разные выходные штуцеры.

Суть работы оборудования: ток высокого напряжения подается на два высокопотенциальных электрода, между которыми образуется электрическое поле. Под действием тока капли нефти укрупняются и оседают на днище. Для деэмульгирования нефтяной эмульсии в жидкость вводится деэмульгатор.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Назначение	глубокое обессоливание и обезвоживание нефти
Объем, м³	5–200
Конструктивное исполнение	вертикальное или горизонтальное с эллиптическими днищами
Рабочая среда	нефтяная эмульсия
Рабочее давление, МПа	до 1,8
Температура рабочей среды, °C	от +80 до +150
Производительность, т/сут	до 11500
Осадки и вода нефти на выходе, %*, не более	0,2
Содержание солей в нефти на выходе, мг/л*, не более	5
Материал	16ГС, 09Г2С

В электродегидратор подается нефть, смешанная с промывочной водой. Капли воды, содержащиеся в рабочей среде, и капли промывочной воды смешиваются, отделяются

и оседают, после чего выводятся. Для полного обезвоживания нефтяная эмульсия проходит через электродную систему. Параллельно происходит обессоливание нефтяной эмульсии. ●

ВОЗДУШНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ

1 Оборудование и инструмент в НГК

1.3 Оборудование для переработки нефти и газа

1.3.1.14 Прочее технологическое оборудование



Описание

Воздушные компрессорные станции серии БКС применяются в нефтяной, газовой, химической, строительной и других отраслях промышленности для производства сжатого воздуха, используемого в различных технологических процессах.

Применение

- подготовка барьерного воздуха для системы газодинамических уплотнений ГПА;
- вентиляция магнитного подвеса ротора агрегата;
- питание пневмоарматуры и приборов КИПиА;
- подключение пневмоинструмента и пр.

Воздушные компрессорные станции «Грасис» предназначены для работы в жестких климатических условиях от -60 до +50 °C.

Воздух на выходе из станции БКС соответствует требованиям ГОСТ 17433-80. Класс загрязненности воздуха определяется в зависимости от области применения.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Объемный выход воздуха, м³/ч	до 10000
Давление, атм	до 30
Точка росы, °C	-70
Температура окружающей среды во время работы, °C	-50 ... +40
во время хранения, °C	-60 ... +50
Время выхода на рабочий режим	не более 10 мин.

Преимущества

- Использование качественных и надежных комплектующих ведущих мировых производителей
- Предусмотрено 100%-ное резервирование по компрессорам (для работы на особо важных объектах предусмотрено 200%-ное резервирование)
- Блочно-модульное исполнение
- Сдвоенная или строенная конструкция, при которой возможно техническое обслуживание внутри станции
- Скрытая вентиляция
- Возможность установки дополнительного оборудования, компрессорного оборудования различных типов
- Полная автоматизация благодаря использованию современной высокоинтеллектуальной системы контроля и управления GRASYS Intelligent Control-7
- Быстрый запуск и остановка системы
- Эксплуатация в широком температурном диапазоне
- Низкие эксплуатационные затраты. ●

ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

1 Оборудование и инструмент в НГК

1.6 Общее и сопутствующее оборудование для нефтегазового комплекса

1.6.11 Прочее



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.)

Относятся к линейно-интерактивным ИБП с чистой синусоидой на выходе. Фактически совмещает в себе одновременно функционал нескольких устройств, являясь инвертором, стабилизатором напряжения и ИБП (при подключении аккумулятора).

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. ●

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Тип	интерактивный
Выходная мощность	1500 ВА / 1050 Вт
Форма выходного сигнала	синусоида
Макс. поглощаемая энергия импульса	405 Дж
Количество выходных разъемов питания	2 (из них с питанием от батарей – 2)
Тип выходных разъемов питания	СЕЕ 7 (евророзетка)
Вход / Выход	
На входе	1-фазное напряжение
На выходе	1-фазное напряжение
Входное напряжение	140 – 280 В
Входная частота	50 – 60 Гц
Стабильность выходного напряжения (батарейный режим)	± 5 %
Выходная частота	49 – 61 Гц
Управление	
USB	Функциональность
Отображение информации	ЖК-экран
Звуковая сигнализация	есть
Батарея	
Возможность замены батарей	есть
Подключение дополнительных батарей	есть
Защита	
Защита от перегрузки	есть
Защита от высоковольтных импульсов	есть
Фильтрация помех	есть
Защита от короткого замыкания	есть
Дополнительная информация	
Уровень шума	45 дБ
Габариты (ШхВхГ)	130 x 200 x 412 мм
Вес	12,2 кг
Особенности	автоматическая регулировка напряжения (AVR)

ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР

1 Оборудование и инструмент в НГК

1.5 Приборы, системы и средства автоматизации

1.5.2.9 Датчики прочие



Назначение

- малые и средние по количеству сигналов ввода/вывода системы;
- малогабаритные решения;
- удаленный ввод/вывод.

Функциональные возможности

- «горячая» замена модулей ввода/вывода (без выключения питания и без прерывания прикладной программы);
- наборный крейт – возможность наращивания крейта с дискретностью в один модуль;
- до 70 модулей в одном крейте;
- работа в составе контроллеров серии REGUL RX00;
- расширенный температурный диапазон;

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
минимальное время цикла прикладной программы	1 мс
точность синхронизации времени	50 мкс
диапазон входного напряжения питания	18...36 VDC
диапазон рабочих температур	-40 ... +60°C

- исполняемая среда Epsilon LD с поддержкой 5 языков стандарта IEC 61131-3;
- возможность web-визуализации.

Конструктивное исполнение

- модули с современным дизайном размером (ШхВхГ) 12,9 x 101 x 109 мм;
- установка на стандартную DIN-рейку шириной 35 мм;
- удобное клеммное шасси, позволяющее менять модуль без демонтажа проводов;
- возможность пломбирования;
- кодирование места установки по типу модуля. ●



С. Лавров

Мы не дружим с Китаем
против кого бы то
ни было



А. Новак

Для нас в 2022 году будет
комфортна цена 65–80
долл. США/барр.



А. Миллер

Проблем с нашими
запасами газа мы не будем
испытывать в течение
ближайших 100 лет



Н. Шульгинов

Стоимость электроэнергии в России
не может быть препятствием
для развития нефтедобывающей
и нефтеперерабатывающей
отраслей



В. Путин

Сказали одно – сделали другое.
Как у нас говорят в народе,
«кинули», просто обманули



Си Цзиньпин

В глобальной торговой
войне не может быть
победителей



У. фон дер Ляйен

Нельзя исключать,
что Кремль продолжит
использовать газ
как средство угрозы



Т. Эдисон

Мы сделаем электричество
таким дешевым, что жечь
свечи будут только богачи



В. Рукша

Грузопоток по СМП составит
в лучшем случае 10% от того,
что сегодня перевозит Суэцкий
канал. Ну и этого хватает

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЛЮБЫХ ТИПОВ ГАЗА



Дожимные и вакуумные
компрессорные станции



Системы комплексной
газоподготовки



Блочные пункты
подготовки газа



Теплообменное
оборудование



Проектирование
и производство



Доставка и монтаж



Наладка, испытания,
обучение персонала



Комплексный сервис,
ремонт и модернизация

ВНИМАНИЕ К ДЕТАЛЯМ – ОТ ИДЕИ ДО ВОПЛОЩЕНИЯ



CESSNA CITATION LATITUDE

Мировой бестселлер в своем классе

РЕКЛАМА



Современный и стильный салон, простор с большой высотой потолка, ровный пол и отличные летные характеристики.

Откройте для себя Cessna Citation Latitude — абсолютного лидера по продажам в сегменте самолетов среднеразмерной кабины.



ЗАО «ИстЮнион» — официальный представитель по продажам самолетов Cessna в России и СНГ
+7 (495) 269-02-10
reception@eastunion.ru

Eastunion.ru