



КОНВЕРСИЯ
МЕТАНА

СОКРАЩЕНИЕ
ПОТЕРЬ ПРИ
ГАЗООЧИСТКЕ

ГАЗОПЕРЕРАБОТКА
В РОССИИ

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

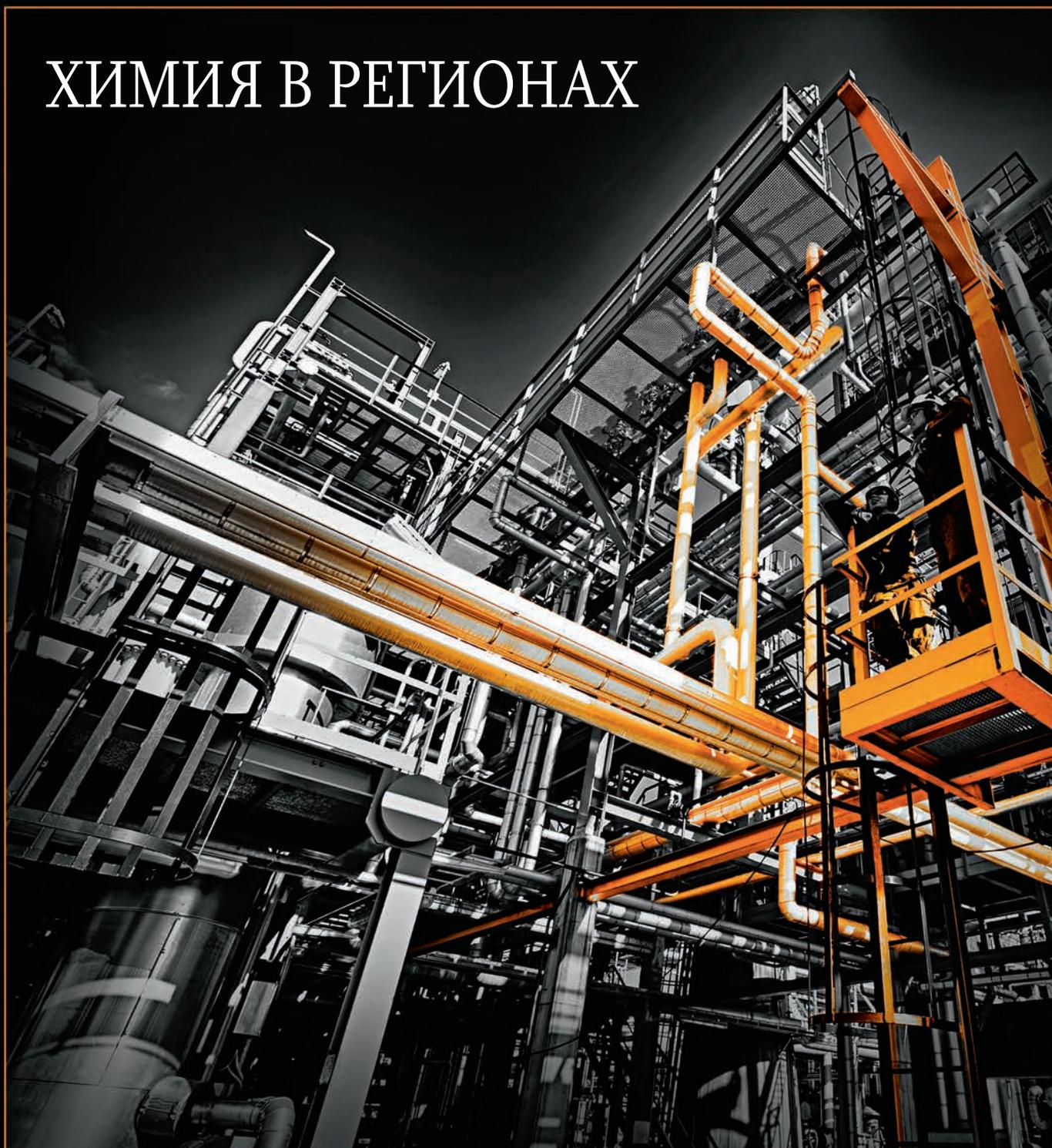
Neftgaz.RU

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

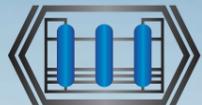
ISSN 2410-3837

10 [130] 2022

ХИМИЯ В РЕГИОНАХ



Входит в перечень ВАК



НПП НЕФТЕХИМ

Общество с ограниченной ответственностью
"Научно-производственное предприятие Нефтехим"



Современные катализаторы ИЗОМЕРИЗАЦИИ и РИФОРМИНГА бензиновых фракций

**Полное импортозамещение
иностраных аналогов**

Надежность и эффективность проверена
более чем в 30 проектах в России, Китае,
Индии и на Ближнем Востоке



Полное техническое
сопровождение,
включая подготовку
производства, загрузку
катализатора, вывод
на гарантированные
показатели
эксплуатации



Собственное
производство,
расположенное
в г. Нижний Новгород,
обеспечивает
до 1000 т/год готовой
продукции



Более 20 лет нам
доверяют ведущие
российские нефте-
перерабатывающие
компании

**Мы предложим лучшее
техническое решение для Ваших
производственных задач и поможем Вам
с его реализацией!**

ООО «НПП Нефтехим»
+7 (861) 203-20-20
info@nefthim.ru
350007, Россия, г. Краснодар,
ул. им. Захарова, 4



www.nefthim.ru

Солеотложение и рапопроявление: анализ проблем, возникающих при строительстве скважин

20

Химия в регионах России

36



ПРОСЛУШАТЬ СТАТЬЮ

Низкотемпературная плазма атмосферного давления: способы создания и перспективы применения в газохимии

44

Конверсия метана с получением ароматических углеводородов

50

Эпохи НГК 4

РОССИЯ Главное

Сокращения на рынке метанола 6

Четыре миллиарда из ста – на химию 8

События 10

Первой строчкой 12

НЕФТЕСЕРВИС

Побеждают только профессионалы 14

Солеотложение и рапопроявление: анализ проблем возникающих при строительстве скважин 20

БУРЕНИЕ

Обоснование возможности повышения качества первичного вскрытия продуктивных пластов мониторингом дисперсности бурового шлама 26

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Cobalt: инновационные разработки для строительства промышленных объектов 32

ПЕРЕРАБОТКА

Химия в регионах России 36

Низкотемпературная плазма атмосферного давления: способы создания и перспективы применения в газохимии 44

Конверсия метана с получением ароматических углеводородов 50

Инновационные процессы переработки метанола в карбамидоформальдегидный концентрат и продукцию на его основе

66



ПРОСЛУШАТЬ СТАТЬЮ

Моделирование процесса изомеризации гептановой фракции

72

Ресурсосберегающая технология сокращения потерь алканоламина и воды при газоочистке

86

СПГ: проблемы и перспективы строительства производственно-сбытовых объектов

100

ПЕРЕРАБОТКА
Газоперерабатывающие предприятия России: проблемы и пути решения 56

Современные методы исследования физико-химических и эксплуатационных свойств масел для компрессоров холодильных машин 62

Инновационные процессы переработки метанола в карбамидоформальдегидный концентрат и продукцию на его основе 66

Моделирование процесса изомеризации гептановой фракции 72

Умные контейнеры в процессах полимеризации: влияние физических факторов на протекание реакции 78

Ресурсосберегающая технология сокращения потерь алканоламина и воды при газоочистке 86

Календарь событий 91

ОБОРУДОВАНИЕ

ЭНЕРГАЗ – 15 лет в сфере технологического оборудования газоподготовки 94

Хронограф 99

ПРАВО

СПГ: проблемы и перспективы строительства производственно-сбытовых объектов 100

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Технические аспекты производства, логистики и использования водорода 102

Новости науки 108

Нефтегаз Life 110

Цитаты 112

СОДЕРЖАНИЕ

351 год назад

В 671 году Р. Бойль описал реакцию между железными опилками и кислотами, при которой выделяется газообразный водород. В 1774 А. Лавуазье определил, что в ходе синтеза водорода и кислорода получается вода и дал название элементу «hydrogene», от греческого «рождающий воду».

322 года назад

В 1700 году учрежден «Приказ рудокопных дел», спустя девятнадцать лет преобразованный в «Берг-Коллегию».

300 лет назад

В 1722 году Петр I именным указом от 7 декабря повелел искать каменный уголь в южных регионах Российской империи.

254 года назад

В 1768 году в район реки Мсты направляется угольная экспедиция во главе с рудознатцем И. Князевым, которая разведала и осуществила первую добычу угля на этом месторождении.

251 год назад

В 1771 году заложена первая угольная штольня в Кузнецком бассейне и открыты залежи угля Канско-Ачинского бассейна.

227 лет назад

В 1795 году в районе г. Боровичи на Валдайской возвышенности начата добыча угля, который баржами доставляли в г. Санкт-Петербург.

226 лет назад

В 1796 году образованы «Черемховские копи» и начата добыча ископаемого угля в Иркутском бассейне.

223 года назад

В 1799 году вышел в свет труд Н. Львова «О пользе и употреблении русского земляного угля» – первая публикация, посвященная свойствам и практической пользе угольного топлива.

105 лет назад

В 1917 году при Высшем совете народного хозяйства создан Химический отдел.

91 год назад

В 1931 году на левом берегу р. Воронеж началось строительство первого завода по производству синтетического каучука мощностью 10 тыс. тонн в год.

73 года назад

В 1949 году построено первое в мире совместное производство ацетона и фенола по прогрессивному кумольному методу.

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Аналитики
Артур Гайгер
Дарья Беляева

Журналисты
Анна Игнатьева
Елена Алифинова
Анастасия Гончаренко

Дизайн и верстка
Елена Валетова

Корректор
Виктор Блохин

РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Мастепанов Алексей Михайлович
д.э.н., профессор, академик 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

Представитель в Евросоюзе
Виктория Гайгер

Отдел рекламы
Дмитрий Аверьянов
Ольга Щербакова
Валентина Горбунова
Анна Егорова
Марина Шевченко
Галина Зуева
Виктория Миларщикова
pr@neftgaz.ru
Тел.: +7 (495) 778-41-01

Служба технической поддержки
Сергей Прибыткин
Алексей Лозгачев

Отдел по работе с клиентами
Екатерина Данильчук

Выставки, конференции, распространение
Мария Короткова

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 «МЕДИАКОЛОР»

Заявленный тираж 8000 экземпляров



ИРКУТСКАЯ
НЕФТЯНАЯ
КОМПАНИЯ



Иркутский завод полимеров

Присоединяйся к команде профессионалов!

Руководитель проектов строительства

Инженер-технолог

Супервайзер по строительству

Ведущий инженер АСУ ТП

Эксперт по ПНР

Слесарь КИПиА

+7 (3952) 211-352



Все вакансии здесь

В **1,3** раза

увеличились мощности по производству метанола в России с 2011 по 2021 годы

До **20 %**

производимого метанола перерабатывается внутри предприятия

Более **30 %**

метанола в мире потребляется в качестве топлива

Свыше **40 %**

производимого в России метанола предназначено на экспорт

СОКРАЩЕНИЯ НА РЫНКЕ МЕТАНОЛА

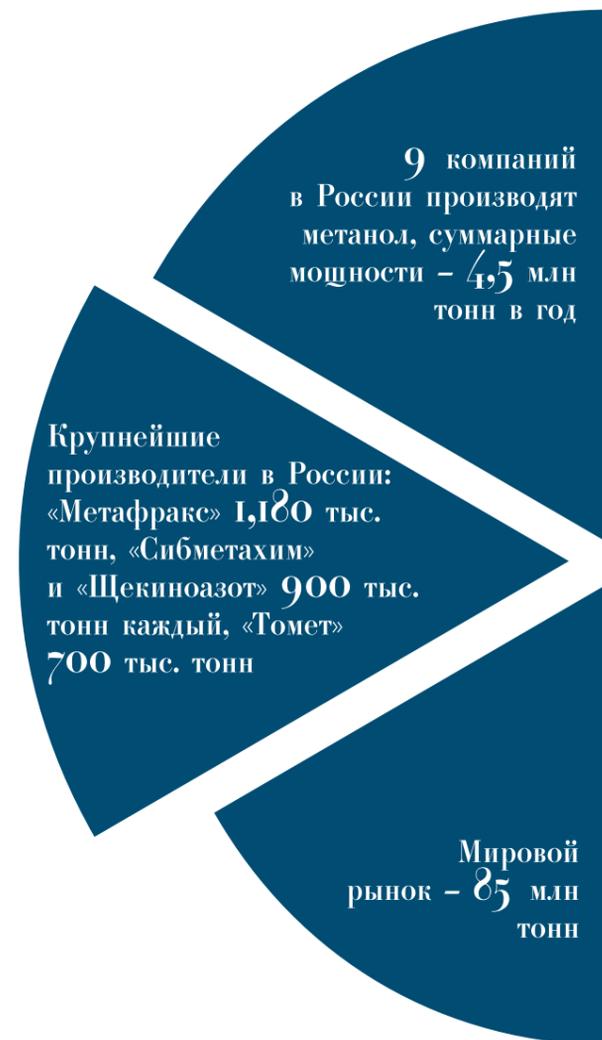
Анна Павлихина

Заместитель министра промышленности и торговли А. Каримов сообщил, что за девять месяцев текущего года производство автомобилей в РФ сократилось на 60% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. В июле глава Минпромторга заявил о сокращении на 25% производства продукции металлургических предприятий. Тогда же стало известно о сокращении на 42% производства вагонов, на 30% – производства стекла. А в конце сентября «Коммерсант» написал о сокращении в стране производства метанола.

Не разово, конечно, вероятно, снижение происходило постепенно с момента отказа европейских стран от российского импорта.

Метанол – это продукт газохимии, задействованный в производстве широкого ряда продуктов. В частности, из него изготавливают пластики, лаки и краски, реагенты, антисептики, шины и РТИ, а также ингибиторы, широко применяемые в газодобывающей промышленности для предотвращения образования гидратных пробок. Более трети объема потребляется в качестве топлива или его компонента. Кроме того, метанол хорошо вписывается в тенденцию «озеленения» энергетики. Есть технологии, позволяющие получать его из водорода методом электролиза на основе ВИЭ, а способы улавливания углекислого газа делают такое производство углеродно-нейтральным.

Широкая востребованность продукта во всем мире еще недавно была причиной грандиозных ожиданий. Учитывая прогнозы по увеличению потребления (до 110–120 млн тонн к 2025 г.), российские компании планировали строительство новых мощностей. Так, к 2023 г. Балтийская газохимическая компания планировала построить завод по производству метанола в Усть-Луге мощностью 1,7 млн тонн, польская Ekozon



к 2025 г. намеревалась возвести в городе Пикалево метанольный завод мощностью 1,6 млн т, НОВАТЭК планировал запустить производство 1,5 млн т метанола к 2026–2030 гг., ТПГК – производство 1,3 млн т, Щекиноазот-3 – 0,5 млн т, Аммоний-2 – 0,3 млн т, УралМетанолГрупп – 0,6 млн т, Када-Нефтегаз – 1 млн т, ЯТЭК – 1,8 млн т, Группа ЕСН – 1,2 млн т, НЗМУ – 1,8 млн т, ГК ОТЭКО – 3,5 млн т и другие проекты. В общей сложности эти мощности превысили бы нынешний объем производства метанола в России в пять раз.



Часть запланированных заводов должна была базироваться на северо-западе и направлять метанол потребителям европейских стран. Другие производства предполагалось разместить в центральной России, в непосредственной близости к источникам сырья – газовым месторождениям, и на Дальнем Востоке. Последние, конечно, были ориентированы на азиатские рынки.

На одном из наиболее емких рынков АТР, китайском, в ближайшее время должны заработать собственные производства метанола. Но, по оценкам экспертов, этих

мощностей не хватит, чтобы обеспечить внутренние потребности страны. Кроме того, в Китае активно внедряется технология MtO (Methanol to olefins), которая позволяет производить олефины – этилен и пропилен – напрямую из метанола. Пластики, полученные в результате применения этой технологии, представляют наиболее динамично растущий сегмент потребления метанола. Ожидается, что к 2025 году дефицит метанола на китайском рынке составит 12–14 млн тонн в год.

Несмотря на это, российскими производителями метанола этот рынок был освоен слабо по причине слишком длинного логистического плеча. Ожидание активных поставок связано с запуском метанольных проектов в Амурской области и Приморском крае общей мощностью 4,2 млн т в год.

На этом рынке российским производителям придется конкурировать с Саудовской Аравией, Ираном, Катаром, производителями, чьи производства расположены в Тринидаде и Табаго, Омане и Новой Зеландии. То есть странами, чьи производства также удалены от рынка сбыта. При этом у российских компаний есть преимущество – дешевизна сырья. Несомненным плюсом будет и близость производств к добычным и логистическим центрам, в случае реализации запланированных проектов.

Однако в связи с закрытием рынков европейских стран (не только для метанола, но так же для продуктов на его основе) и, как следствие, падением внутреннего спроса, российские производители метанола сокращают производство. Заводы по выпуску метанола – это производства непрерывного цикла, поэтому останавливать и запускать их заново – дорого.

Несмотря на то, что компании пока не заявляли о приостановке проектов по строительству новых мощностей в центральной и западной частях России, их реализация в ближайшем будущем кажется весьма сомнительной. Скорее всего, они будут отложены до возобновления спроса, ведь все они были запланированы с ориентиром на экспорт.

Метанол – второй после аммиака продукт газохимии по объемам производства. Современные технологии делают его перспективным продуктом с нулевым углеродным следом. Российские компании обладают существенными преимуществами по его производству, дающими возможность вытеснить с премиальных рынков других производителей. ●

Источники: kommersant.ru, rbc.ru, forbes.ru, bfm.ru, gazo.ru, vygon.consulting

ЧЕТЫРЕ МИЛЛИАРДА ИЗ СТА – НА ХИМИЮ

Елена Алифирова

Премьер-министр РФ М. Мишустин провел оперативное совещание с вице-преьерами, в ходе которого обсуждалась дополнительная поддержка отраслей российской экономики в условиях санкций. Он напомнил, что на поддержку экономики будет направлено более 100 млрд руб.

Часть финансирования получит авиационная отрасль: 15 млрд руб. будет выделено на расширение производства самолетов MC-21, 25 млрд руб. – на поддержку системы организации воздушного движения.

Внешние ограничения осложнили ситуацию с поставками комплектующих и оборудования для кораблестроения и привели к росту затрат, в связи чем 15 млрд руб. планируют направить на программу льготного лизинга морских судов. Предполагается строительство на отечественных верфях и передача транспортным компаниям свыше 300 судов различного назначения до 2030 г.

Принято решение докапитализировать Фонд развития промышленности более чем на 8 млрд руб. 4 млрд руб. будет выделено на программы в сфере мало- и среднетоннажной химии, продукция которой используется практически во всех отраслях, особенно высокотехнологичных, но ее собственные производственные мощности развиты недостаточно.

На разработку оборудования для производства СПГ планируется направить 2 млрд руб.

По оценкам НОВАТЭКа, только на НИОКР предприятиям, с которыми компания ведет работу, потребуется порядка 24 млрд руб.

В августе 2022 г. правительство РФ распорядилось выделить из резервного фонда правительства ассигнования в размере 1 млрд руб. для предоставления предприятиям субсидий на НИОКР в рамках программы «Прорыв на рынке СПГ».

Федеральный проект «Прорыв на рынки СПГ», предусматривающий разработку отечественных СПГ-технологий и рассчитанный до 2030 г., получит из бюджета 300 млн руб. (по 150 млн руб. в 2022 и 2023 гг.) при общей стоимости 89,32 млрд руб.

При этом Минпромторг РФ рассчитывал получить из бюджета 35 млрд руб. в 2022–2030 гг., а остальное привлечь за счет инвестиций производителей оборудования. ●

Рейтинги Neftegaz.RU

Представители российских энергетических компаний считают, что в изменившихся условиях мировой торговли на востоке страны надо развивать логистические хабы для поставок углеводородов в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Действительно ли торговый потенциал с восточными странами превышает возможности существующей инфраструктуры?

Надо ли развивать логистические хабы на востоке страны?

26%

Да, поставки в страны АТР становятся основным экспортным направлением

9%

Нет, к моменту постройки инфраструктуры экспортный вектор может измениться

17%

Да, азиатские страны еще долго будут нуждаться в российском сырье

14%

Нет, в ближайшие годы углеводородный потенциал в энергетическом балансе исчерпает свою актуальность

15%

Да, это укрепит экономику российского Дальнего Востока

19%

Нет, надо строить перерабатывающие мощности

Глава Минпромторга РФ Д. Мантуров напомнил, что в ближайшие три года Россия намерена повысить до 80% уровень использования отечественного оборудования на предприятиях нефтегазовой отрасли. Удастся ли достичь этого показателя к 2025 году?

Удастся ли достичь 80-процентного импортозамещения в нефтегазовой отрасли к 2025 году?

16%

Да, с 2014 года технологическая независимость РФ по нефтегазовому машиностроению выросла с 40 до 60%

23%

Нет, все, что можно было заменить, уже заменили, остальное – высокотехнологичное оборудование и технологии, которые в ближайшее время не появятся

7%

Да, но импортозамещающие разработки будут уступать импортным

16%

Нет, произойдет замена европейского оборудования на азиатское

38%

Можно достичь 100-процентного импортозамещения, но дальше соответствовать уровню быстро развивающихся технологий будет невозможно



ВАРТЕЕС LTD

ПРЕЖНЕЕ НАЗВАНИЕ «BEIJING AEROSPACE PETROCHEMICAL TECHNOLOGY AND EQUIPMENT ENGINEERING CORPORATION LIMITED»



Высокоскоростной центробежный насос со встроенным редуктором (API 610 OH6)



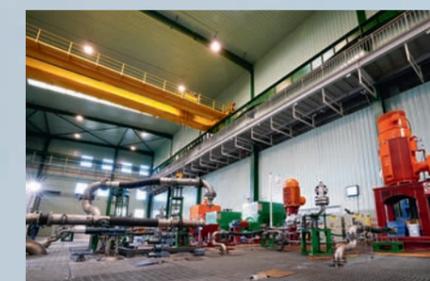
Вертикальный насос (OH6)

Насосные агрегаты • Запасные части • Сервис

- ▶ **Расход** 1~360 м³/ч, напор: 80~3600 м
- ▶ **Мощность двигателя** 5,5~2000 кВт
- ▶ **Температура** -130~+340 °С
- ▶ **Область применения:** нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, химическая отрасли
- ▶ **Типичное применение:** этилен, пропилен, ПЭ, ПП, ТФК и др.
- ▶ **ISO Сертификаты:** ISO9001, ISO14001, OHSAS 18001
EAC Сертификаты: TP TC 010/2011, TP TC 012/2011, TP TC 020/2011
- ▶ **Квалифицированный поставщик:** BASF, BP, CTCL, Daelim, Enter, Fluor, Foster Wheeler, GS, Hyundai, Saipem, Samsung, Tecnimont, Toyo
- ▶ **Насосы применялись** в процессах, лицензированных Invista, BP, Univation, Technip, UOP, Axens, Fluor, Siemens и Johnson Matthey
- ▶ **Конечные потребители в СНГ:** ООО «Амурский газохимический комплекс» (Сибур), Иркутская нефтяная компания, АО «ПОЛИЭФ» (Сибур), Руссоко и ПКОП Шымкентский НПЗ



Цех



Испытательный стенд



Сервис на площадке Сибур

Штаб-квартира г. Пекин, Китай
Контактное лицо: Лю Сяо
Тел: +86-10-87094356, 87094328
+8617319371970
E-mail: liux@calt11.cn, burw@calt11.cn

Авторизованный дилер ООО «Юникс Инжиниринг»
Тел/Факс: +7(495) 648-62-78
E-mail: office@unix-eng.ru

www.calt11.com

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

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

Крупнейший завод по производству «зеленого» водорода построят в Германии

Компания Siemens AG открыла в Германии, в баварском городе Вунзидель, один из крупнейших заводов по производству «зеленого» водорода мощностью до 1350 т в год. Siemens передал завод оператору WUN H2, в котором подразделению концерна Siemens Financial Services принадлежит 45%. Водород будут производить с использованием электролитической установки мощностью 8,75 МВт.

В будущем мощность установки могут удвоить до 17,5 МВт. Установка будет работать на электричестве, вырабатываемом на возобновляемых источниках в энергокомплексе Wunsiedel Energy Park.

Газовые турбины переведут в режим экономии

С 1 октября генерирующие компании должны будут сообщать Системному оператору о необходимости или отсутствии необходимости экономии ресурса оборудования. Если экономия нужна, к мощности такого оборудования при ее поставке

Нефтегазовая компания Абу-Даби – ADNOC заключала договор с немецкой RWE о первой поставке СПГ и аммиака в Германию, также эмиратская компания будет поставлять 250 тыс. т дизельного топлива в месяц в 2023 г.

на энергорынок каждый месяц будет применяться специальный коэффициент, рассчитываемый с учетом нахождения оборудования в резерве.

Экономия ресурса Минэнерго РФ предлагает ввести до внедрения отечественных газовых турбин. На особом контроле Минэнерго находится эксплуатация газовых турбин иностранного производства, по которым есть проблемы с сервисным обслуживанием. Из-за ухода из России производителей газовых турбин большой мощности Siemens и GE возникли сложности. Разработкой отечественных ГТБМ занимаются Силовые машины и ОДК. В связи с этим Минэнерго РФ предложило ввести механизм экономии ресурса действующего иностранного оборудования с использованием механизма снижения времени их работы в рамках диспетчерских и рыночных процедур.

Механизм предлагалось ввести на срок до двух лет с возможным

снижением для объектов генерации оплаты мощности до 10%.

Создано российское оборудование для газодобывающих морских платформ в Арктике

Объединенная двигателестроительная корпорация приступила к заводским испытаниям газотурбинного энергетического агрегата для ледостойких плавучих платформ добычи природного газа. Это первый российский агрегат морского применения, способный заместить зарубежное оборудование в шельфовом сегменте. Газотурбинный агрегат ГТА-8 мощностью 8 МВт создан для газотурбинной энергетической установки ГТЭС-32 ЛСП-А Газпрома на месторождении Каменномыское-море. В общей сложности в состав ГТЭС-32 войдут четыре агрегата. Электростанция позволит полностью обеспечить объект добычи газа тепловой энергией и электричеством. Агрегат укомплектован двухтопливными газотурбинными двигателями ГТД-8РМ, позволяющими электростанции работать на газообразном и жидком топливе.

Начал работу новый плавучий регазификационный терминал в Нидерландах

В районе г. Эмшавен в Нидерландах начал работу регазификационный терминал EemsEnergyTerminal для приема СПГ. Терминал организован на базе двух плавучих регазификационных установок (FSRU) – Eemshaven LNG и Golar Igloo. Обе FSRU арендованы на пять лет. Оператор – подразделение Gasunie – EemsEnergyTerminal; общая мощность терминала – 8 млрд м³/год газа и законтрактованы тремя компаниями: Shell, Engie, ČEZ. ČEZ и Shell Western LNG BV совместно выкупили 7 млрд м³, 1 млрд м³ приобрела Engie.

Новый локомотив Газпромтранса работает на СПГ

ТЭМГ1 № 001 – первый маневровый тепловоз с двумя газопоршневыми двигателями суммарной мощностью 1120 л.с. и кузовом модульной конструкции. Тепловоз создан по инициативе Газпрома и не имеет аналогов в России, оснащен системой автоматического управления работой двигателей. Цифровая система управления и диагностики контролирует около 1,5 тыс. параметров работы локомотива.

Правительство Великобритании отменило запрет на гидроразрыв пласта для добычи сланцевого газа, действовавший с 2019 г.

Быстринский горно-обогатительный комбинат переведет 30% предприятия на безуглеродные источники энергии. Для этого ГОК заключил договор с РусГидро о покупке электроэнергии, вырабатываемой ГЭС

Использование в качестве топлива сжиженного природного газа существенно снижает воздействие на окружающую среду по сравнению с дизельным топливом. Показатель выброса оксида углерода в атмосферу у газомоторного локомотива почти в два раза ниже, чем у локомотива, работающего на дизельном топливе.

Первый поезд с российским СПГ отправился в Китай через Махалино – Хуньчунь

Первый грузовой состав с российским СПГ отправился из России в Китай через пограничный пункт пропуска Махалино – Хуньчунь. Состав доставил на китайскую станцию 21 цистерну с газом, грузоподъемность каждой из которых составляет порядка 300 тонн. Российское углеводородное сырье поступит в местные системы газоснабжения, будет использоваться автозаправочными станциями и в промышленном производстве.

Пункт пропуска Махалино – Хуньчунь становится одним из динамично развивающихся каналов грузоперевозок между Россией и Китаем, недавно увеличено время работы погранперехода, растет его пропускная способность, расширяется номенклатура грузов, в том числе за счет запуска новых контейнерных маршрутов.

Чехия и Польша возобновят строительство газопровода Stork II

Премьер-министры Чехии и Польши П. Фиала и М. Моравецкий договорились о возобновлении работ по реализации проекта строительства газопровода Stork II.

Он пройдет от польского г. Свиноуйсьце до чешской границы. Газопровод Stork II – это проект, который Прага заморозила несколько лет назад. Он должен был объединить газотранспортные системы Польши и Чехии, увеличить их пропускную способность к 2023 г. и повысить надежность транспортировки. Однако в 2020 г. чешский оператор ГТС Net4Gas объявил о приостановке своего участия в проекте из-за того, что Stork II не был включен в список проектов, представляющих общеевропейский интерес и претендующих на субсидию ЕС. ●

В 2022 и 2023 годах Русснефть ожидает добычу нефти на уровне

6,9 МЛН Т

2,6 ТЫС. участков догазифицируют на Камчатке к 2024 г.

На **211%** Япония нарастила импорт российского СПГ а российской нефти – сократила на **20%**

До **17%** ЕС нарастил долю ветрогенерации в энергобалансе в начале осени

3 трлн руб. в виде дополнительных налогов может изъять правительство у российских нефтегазовых компаний

15 МЛН М³ российского газа в сутки будет получать Иран для себя и соседей

Китай за 8 месяцев увеличил добычу нефти на **3,2%**, газа – на **6,3%**

До **8** МЛН М³ планирует увеличить добычу газа Кувейт

8 млрд в течение двух лет намерен привлечь в нефтегазовый сектор Египет

До **57** ТЫС. Т планирует увеличить производство СПГ Якутия до конца 2025 г.

На **14%** Азербайджан увеличил экспорт газа за 8 месяцев 2022 г. при росте доходов в **4,4 раза**

439 МЛН сэкономила Индия на закупках российской нефти из-за скидки в **30 долл. за барр.**

За 8,5 месяца Газпром снизил добычу газа на **16%**, поставки в дальнее зарубежье – на **39%**

Только к **30%** мирового балкерного фрахта есть доступ у российских угольных компаний

На **10%** греческое правительство будет снижать потребление электроэнергии в госсекторе

В Кузбассе закрыли **34** старые неэкологичные котельные

1 млрд руб. инвестировал Томскнефтехим в модернизацию оборудования

40% от общего объема нефтепродуктов, импортируемых в Грузию, составляют российские ресурсы

На **1,5%** вырастет добыча сланцевой нефти в США в октябре

Германия готовит новый пакет помощи для энергокомпаний в размере **67** млрд евро

МЭА ожидает, что спрос на нефть в мире в 2022 г. вырастет до **99,7** МЛН барр./сутки в 2023 г. – до **101,8** млн барр./сутки

30 млрд М³ СПГ импортировал ЕС в 1-м квартале 2022 года

200 млрд руб. стоит строительство суперверфи на о. Котлин

42 млрд руб. вложило РусГидро в энергообъекты ДФО за 2022 г.



ПОБЕЖДАЮТ ТОЛЬКО ПРОФЕССИОНАЛЫ

В АВГУСТЕ СИБИРСКАЯ СЕРВИСНАЯ КОМПАНИЯ ПРОВЕЛА КОНКУРС ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МАСТЕРСТВА «ЛУЧШИЙ ПО ПРОФЕССИИ-2022» СРЕДИ БРИГАД ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО И РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ, БРИГАД ПО КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ СКВАЖИН, ЗВЕНЬЕВ ПО ЦЕМЕНТИРОВАНИЮ, ПАРТИЙ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ И ГРУПП БУРОВЫХ РАБОТ. РАССКАЗЫВАЕМ ОБ УЧАСТНИКАХ, О НЕПРОСТЫХ ИСПЫТАНИЯХ И КОЛЛЕКТИВНОМ ДУХЕ НА ТРАДИЦИОННОМ КОНКУРСЕ

IN AUGUST, THE SIBERIAN SERVICE COMPANY HELD THE BEST IN PROFESSION 2022 PROFESSIONAL SKILLS COMPETITION AMONG PRODUCTION AND EXPLORATION DRILLING TEAMS, WELL WORKOVER TEAMS, CEMENTING TEAMS, DIRECTIONAL DRILLING PARTIES AND DRILLING TEAMS. WE TALK ABOUT THE PARTICIPANTS, ABOUT THE DIFFICULT TRIALS AND THE COLLECTIVE SPIRIT AT THE TRADITIONAL COMPETITION

Ключевые слова: конкурс, буровая бригада, капитальный ремонт скважин, наклонно-направленное бурение, цементирование.

Ирина Малахова

специалист по связям с общественностью АО «ССК»

Строительство скважин

Лучшие буровые бригады эксплуатационного и разведочного бурения на нефть и газ Нефтеюганского, Томского и Ямальского филиалов АО «ССК» проходили испытания на кустовой площадке № 123Б Южно-Приобского месторождения. Участникам требовалось продемонстрировать свои профессиональные навыки в двух этапах: ответить на вопросы билета по технологии производства работ, технике безопасности, а также провести имитацию бурения непосредственно на буровой.

«Рад приветствовать всех участников финального этапа смотра-конкурса «Лучший по профессии-2022». Сегодня здесь

собрались лучшие из лучших. Вы уже доказали, что знаете свое дело. Участие в конкурсе – это честь и удача для каждого сотрудника, прекрасная возможность пообщаться с коллегами из других регионов. Сегодня вам предстоит проявить настойчивость, опыт, абстрагироваться от волнения и выполнить поставленные задачи в нормативные сроки. Пусть сегодняшний день станет еще одной ступенькой на пути к вашим новым победам!» – обратился к участникам соревнований Алексей Калинин, заместитель генерального директора по персоналу АО «ССК».

«Конкурс сближает коллективы, вырабатывает единый командный дух и дает нам возможность занимать ведущие места в нефтегазовом

кластере на территории нашей страны. Бьются скоростные рекорды, скважины становятся гораздо сложнее. Несмотря на это, буровым коллективам удается снизить продолжительность строительства и обеспечить круглосуточную работоспособность бурового оборудования, – подчеркнул Александр Котов, первый заместитель генерального директора по производству АО «ССК». – Сегодня я желаю участникам беспрецедентной, но справедливой борьбы, спортивного азарта, удачи, успеха и победы!»

Процедура жеребьевки определила порядок выступления команд, и испытания начались. Пока одна бригада сдавала теорию, другая, отправившись на буровую, приступила к выполнению практической части работ.

Роман Викторович, помощник бурильщика Ямальского филиала, в конкурсе «Лучший по профессии» участвует во второй раз. Признается, что свою профессию не променяет ни на какую другую. Благодаря работе в компании Роман побывал на Крайнем Севере, видел Ледовитый океан и северное сияние. Именно профессиональная романтика помогла ему не оставить свое дело в трудное время.

«Югра встретила нас просто шикарно. Нам провели экскурсию, показали местные достопримечательности. Порадовало и то, что погода сегодня солнечная. Ребята из Нефтеюганска общительные, познакомили с рабочим станком. Настрой боевой, вопросы в теоретической части все знакомые. Надеемся на победу, хочется выдвинуть свой филиал вперед», – поделился он.

Солнечная погода, действительно, внесла свою лепту в поднятие боевого духа и настроения конкурсантов. Справившись с заданиями, они снимали напряжение за настольными играми и общением с коллегами из других регионов.

Рустам Ралифович, мастер буровой Нефтеюганского филиала, в конкурсе профессионального мастерства участвует впервые. Рустам с детства влюблен в свою профессию, еще в школе ему было любопытно узнать, как добывают черное золото.

«При выборе профессии не было даже тени сомнений, я целенаправленно поступил на нефтегазовое отделение.

На втором курсе попал на практику в АО «ССК» помощником бурильщика. И так и остался здесь. За восемь лет меньше интересного для меня в профессии не стало. Нефтяная промышленность не стоит на месте, постоянные новшества, смена оборудования не дают скучать. Такие конкурсы нужны всем работникам. Это отличная возможность проверить себя, что-то перенять у коллег», – отметил он.

Для ямальской делегации дополнительную сложность в выполнении практического задания составило незнакомое оборудование. Справиться команде с выполнением задачи помогли сплоченность коллектива и хорошие теоретические знания.

«Мы были подкованы в теоретической части, действовали слаженно и организованно, отвечали на вопросы быстро. Буровая немного отличалась от той, на которой мы работаем дома. Но нас это не остановило, мы уверенно идем к победе», – рассказал Расим Надирович, мастер буровой Ямальского филиала.

Отбросив неуверенность и волнение, все делегации с конкурсным заданием справились отлично, показав высокий уровень личного и командного мастерства, и доказали, что они лучшие из лучших.

«Сегодня мы имеем дело с действующей горизонтальной скважиной, которая готова к вскрытию продуктивного пласта. Все узлы на буровой находятся в рабочем состоянии. Сохранение здоровья и жизни работников для нашей компании всегда было и останется главным приоритетом, поэтому все этапы практической части работы контролировал опытный инструктор, – пояснил Александр Александрович, мастер буровой Нефтеюганского филиала.

– Бригады производили спуско-подъемные операции инструмента, проводили имитацию бурового процесса, комментируя по ходу дела каждый вид работ. Несмотря на волнение, все участники показали себя с лучшей стороны, справились с задачей на высоком уровне».

Цементирование скважин

– Как настрой?
– Отлично!

Производственные соревнования среди звеньев по цементированию скважин филиала «Управление цементирования скважин» начались с приветствия от руководства компании: пожелания удачи и акценте на том, что важнее в данных состязаниях, – знание своего дела и бригадный дух.

«Работа по цементированию скважин – бригадная, коллективная. И результат дает лишь в том случае, если коллектив сплочен, решает одну задачу. Если он нацелен на один результат, тогда работа будет успешной, выполненной в срок и качественно. Конкурс проводится уже много лет. Многих из этих людей я принимал на работу когда-то еще мальчишками. Поэтому сейчас рад видеть всех в наших рядах, видеть, как вы набираетесь опыта», – обратился к участникам директор филиала «Управление цементирования скважин» АО «ССК» Павел Егоров.

УДК 622.2



или «Какая максимальная производительность трехплужного насоса?»

В этом году в конкурсе профмастерства среди звеньев по цементированию скважин участвуют девять специалистов от трех проектов компании: «Нефтеюганск», «Заполярье» и «Новый порт». По словам руководства, это одни из самых лучших сотрудников. В течение года шел тщательный предварительный отбор.

«Отмечаем наши проекты с наилучшими технико-экономическими показателями, отмечаем коллективы. Лучших приглашаем участвовать в конкурсе, где сотрудники подтверждают свои знания. Одна из целей данного мероприятия – определение лучших и перспективных сотрудников, которых мы включаем в кадровый резерв нашей компании. Над ними устанавливается шефство, им обозначаются задачи на текущий год. Мы воспитываем этот резерв для последующего карьерного роста. Эти сотрудники становятся инженерами, технологами, начальниками управлений и так далее», – подчеркнул заместитель генерального директора АО «ССК» по технологическому обеспечению Виталий Буняев.

От слов к делу. Мотористы цементировочных агрегатов отправились на теоретический этап конкурса. Каждый выбрал один из билетов, где в тестовой форме следовало ответить на шесть вопросов. К примеру: «Укажите наименьшее допустимое расстояние от цементировочного агрегата до БМ при цементировании скважины»

Важный раздел в каждом билете отведен безопасности дорожного движения. Настоящий профессионал должен знать, что нужно сделать в случае неисправности спидометра или остановки на стоянке на неосвещенном участке дороги.

Агаддин Сарыбала оглы справился с теорией одним из первых. В конкурсе «Лучший по профессии» среди звеньев по цементированию скважин участвует уже не раз. Уверен, что без знаний, проверенных на этом этапе, и качественная работа невозможна.

«Вопросы – по профессии, касаются нашей ежедневной работы. Например, какой запас прочности у предохранителя гвоздя? А ведь это повседневная моя работа – цементирование и крепление скважины. В ССК я с 2005 года. Работается хорошо. Если за 17 лет никуда не ушел, значит все нормально, правильно? А участвовать решил, чтобы проверить себя, как говорится, на мир посмотреть и себя показать. Ну и хотелось пообщаться с людьми. Работа такая, что друг друга знаем давно, а работаем на разных месторождениях – редко видимся», – поделился моторист ЦА.

После того, как все справились с теоретическим заданием, участников познакомили с условиями выполнения практического. На конкурсной площадке почти все, как на настоящей буровой. Но только почти.

«Здесь бетонное покрытие и асфальт, а на работе обычно

песок. Плюс не всегда солнечная и ясная погода, как сегодня. На работе гораздо сложнее. Похожих дней у нас нет. Главное – со мной в команде парни, с которыми работаем уже лет 10 вместе. Понимаем друг друга иногда не то что с полуслова – с полужеста: «качай», «подожди», «давай!», – рассказал о языке своей бригады участник из проекта «Нефтеюганск» Иван Викторович.

Далее подробный инструктаж, проверка необходимых удостоверений, сигнал судьи – и практическое задание началось. Площадка пришла в движение. Для понимания происходящего организаторы предусмотрели комментирование событий в режиме реального времени:

«Сейчас на площадку выезжает цементировочный флот, который выполняет задачи по креплению скважины... Основной качающий агрегат подъехал к скважине, он предназначен для приготовления и нагнетания тампонажных растворов, технологических неагрессивных жидкостей...».

Задачи каждого звена на задании: подъезд к скважине, обвязка шлангами и линиями высокого давления, открывание заслонки грузочного устройства, имитация запуска насоса, разборка шлангов и линий высокого давления.

За каждым движением следят судьи по различным направлениям. Критерии оценки – самые разные: от герметичности соединения нагнетательной линии высокого давления до соблюдения дистанции при расстановке спецтехники на кустовой площадке.

«Оцениваем поведение работников на площадке, их методы обращения с оборудованием, с транспортными средствами. Один из основных критериев – безопасность дорожного движения, безопасность водителя. Обязаны все пристегиваться ремнями безопасности, соблюдать скоростной режим на условной кустовой площадке», – пояснил начальник службы охраны труда, промышленной безопасности, охраны окружающей среды филиала «Управление цементирования скважин» Сергей Поняев.

Команда проекта «Заполярье» взмахивает руками вверх – задание выполнено. Пока судьи подсчитывают баллы, сами мотористы оценивают свою работу сдержанно. Сказались спешка и волнение, так как вышли на конкурсную площадку первыми.

«Участвую в конкурсе «Лучший по профессии» впервые. По сути, задание не отличается от нашей реальной работы. Основные моменты те же самые, только на буровой все больше в размерах. И это линия не из двух труб, а из 20-ти. А так принцип работы один и тот же. Были моменты, которые можно было сделать лучше. Сказалось волнение. Может, в следующем году лучше выступим», – отметил моторист ЦА проекта «Заполярье» Михаил Викторович.

Следующими к практическому заданию приступил коллектив звена проекта «Нефтеюганск», затем – «Нового порта». Вроде и соперники, но было видно, что участники искренне болеют за коллег. Фотографируют на память, подбадривают пожеланиями удачи.

По словам машиниста ЦА проекта «Новый порт» Евгения Викторовича, почти все участники, хот и трудятся в разных уголках страны, по работе знакомы. С кем-то в одно время были коллегами на одной буровой, с другими участвовали в прошлых конкурсах. Но победить должны действительно самые достойные: по справедливости.

«Рад оказаться здесь, на конкурсе, среди лучших. Также в числе

мотористов от своего проекта очень рад видеть всех. Все реально достойны награды. Мы же друг друга все знаем. Тем более бригаду, с которой я работаю. У нас хороший проект. В плане работы все спланировано – каждый знает, что делать. На куст приезжаем – уже все понимают, что требуется. Никто не отлынивает. Все помогают друг другу. Поэтому и сейчас не было сложности договориться. Вроде ошибок допустили немного. Теоретическая часть, по-моему, тоже нормально прошла. Надеемся хотя бы на второе место, но рассчитываем на первое!» – улыбается Евгений Викторович.

Технологическое сопровождение

В филиале «ССК-Технологии» конкурс профессионального мастерства среди партий наклонно-направленного бурения, групп буровых работ проводился впервые. Большая часть персонала задействована на объектах работ, поэтому руководством филиала было принято решение о дистанционном формате проведения конкурса.

Работникам в режиме онлайн были направлены задания, выполнить которые они должны были в течение дня. Далее для максимальной объективности жюри оценивали работы, поданные анонимно.

«Возможность проведения конкурса профессионального мастерства для технологического блока ННБ и телеметрии нова. Мы с большим интересом включились в его организацию. Первоначально хотели провести его в очном формате, но в связи с большой загруженностью инженеров,

решили организовать мероприятие в дистанционном формате, тем самым предоставить возможность в равной степени принять участие всем, без длительного отрыва от производства. Каким будет формат такого конкурса на следующий год, пока рано загадывать, но, однозначно, мы обеими руками за проведение конкурса для наших работников», – сказал Анатолий Партнов, член жюри, заместитель директора по ННБ.

Право участвовать имели все инженеры по бурению (буровым работам) из любых населенных пунктов, а таких работников в компании более двухсот человек.

«Мне было очень интересно участвовать в составлении вопросов к конкурсу, оценивать участников. Проводить конкурс ежегодно однозначно нужно, это мотивация для сотрудника, соревнование – это всегда способ самоутвердиться, показать свои знания и навыки. В следующем году будет больше заданий, ориентированных именно на работу с телесистемой, каротажным материалом и т.д. В общем, было интересно, узнал что-то новое из ответов и комментариев инженеров. Спасибо компании за возможность проведения такого конкурса», – поделился впечатлением менеджер по телеметрии и линейный судья Евгений Копылов.





«Перед нами стояли две важные задачи: впервые (еще и за короткие сроки) организовать конкурс профессионального мастерства для работников нашего филиала и провести такое мероприятие в период пиковой нагрузки в части основного объема работ. Считаю, что нам удалось выбрать максимально эффективный и интересный формат для выполнения этих задач. У каждого работника была возможность принять участие в конкурсе, проверить себя и оценить свои знания. А мы смогли обратить внимание на «слабые» места и начать дорабатывать их. Думаю, такое мероприятие может в дальнейшем стать прототипом для какой-нибудь «Олимпиады ССК» для работников разных должностей. Я бы в подобном точно поучаствовала», – говорит член жюри, заместитель директора по персоналу Алина Гайнутдинова.

«В 2022 году впервые в моем опыте был проведен конкурс «Лучший по профессии» и это большой шаг в будущее, – делится главный технолог по БР, линейный судья Вячеслав Акуленко. – По моему мнению, данный конкурс нужно проводить ежегодно, ведь это позволяет инженерам поддерживать соответствующие знания, а «новичкам» узнавать что-то новое! При составлении вопросов была затронута основная проблематика, и теперь за счет ответов, нам становится понятно в какой области нужно акцентировать внимание. Поздравляю всех участников

конкурса, надеюсь в следующем году участие примет гораздо больше коллег!»

«Безумно рад подобному конкурсу. Наконец-то появилась возможность воспользоваться своими знаниями теории и применить их на практике. Узнать, кто из коллег лучший из лучших. Такие конкурсы невероятно сильно мотивируют подтягивать свой уровень, дабы не ударить в грязь лицом. В работе, выполняя шаблонные задачи, многие знания просто забываются. Поэтому хочется снова участвовать в подобных мероприятиях!» – говорит инженер по бурению (буровым работам) Роман Артурович.

Ремонт скважин

Состязательный горячий дух присутствовал и среди бригад по текущему и капитальному ремонту скважин. На конкурсе, как и полагается, оценивались теоретические знания и практические навыки. Приемка вахты, разгерметизация устья скважины, проведение спуско-подъемных операций насосно-компрессорных труб, герметизация устья скважины и сдача вахты – вот традиционный набор операций, которые должны осуществить конкурсанты.

«Все бригады у нас дружные, есть те, которые не один год трудятся плечом к плечу, – говорит и.о. директора филиала «Ремонт скважин» АО «ССК» Александр Яковлев. – Операции, которые они реализовывали на конкурсе, выполняют практически каждый день в своей обычной работе. Я горжусь нашими работниками и от души желаю победить сильнейшему!»

Награды нашли победителей

По итогам соревнований «Лучший по профессии-2022», среди вахт бригад бурения скважин на нефть и газ первое и второе места завоевали бригады из Нефтеюганского филиала, на третьем оказалась вахта бригады Томского филиала, а четвертыми по результатам испытаний стали буровики Ямальского филиала.

Среди звеньев по цементированию скважин первое место у цементировочного звена проекта «Нефтеюганск». Второе место – цементировочное звено проекта «Новый Порт». Третье место – цементировочное звено проекта «Заполярье».

Подразделения компании одержали победу в номинациях:

- «Самая быстрая буровая бригада» – вахта буровой бригады Томского филиала.
- «Самый лучший инструктаж» – мастер буровой Ямальского филиала.
- «За лучшие теоретические знания» – моторист цементировочного агрегата проекта «Заполярье».

В «ССК-Технологиях» определились победители в личном первенстве среди производственно-технологических групп телеметрии; производственно-технологических групп ННБ; производственно-технологических групп буровых работ.

Среди бригад текущего и капитального ремонта скважин победу одержала бригада № 6. Второе место заняла бригада № 65. Третьей стала бригада № 2.

Смотр-конкурс «Лучший по профессии» для Сибирской Сервисной Компании является едва ли не важнейшей традицией.

Такого рода корпоративные мероприятия способствуют обмену передовым опытом, укрепляют профессиональное и корпоративное единство компании. С каждым новым конкурсом возрастает уровень профессионализма бригад-финалистов, стремление быть лучшими. ●

KEYWORDS: *competition, drilling crew, well overhaul, directional drilling, cementing.*

20 GasSuf

25–27 октября 2022 г.
Россия, г. Москва, МВЦ «Крокус Экспо»

20-я юбилейная Международная выставка газобаллонного, газозаправочного оборудования и техники на газомоторном топливе

Организатор



+7 (495) 252 11 07
gassuf@mvk.ru

Специальный партнер выставки



Получите бесплатный электронный билет, указав промокод: **neftegaz**

gassuf.ru

Testing&Control

25–27 октября 2022 г.
г. Москва, Крокус Экспо

19-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования



РЕКЛАМА

Организатор



+7 (495) 252 11 07
control@mvk.ru

Специальный партнер выставки



Получите бесплатный электронный билет, указав промокод: **neftegaz**

testing-control.ru



- » Все производители, сохранившие свои позиции на газомоторном рынке
- » Актуальные решения газобаллонного оборудования, газораздаточных колонок, компрессоров и комплектующих
- » Консолидированный опыт отраслевых специалистов на форуме «Транспорт на газомоторном топливе»

СОЛЕОТЛОЖЕНИЕ И РАПОПРОЯВЛЕНИЕ:

анализ проблем, возникающих при строительстве скважин

Двойников Михаил Владимирович

заведующий кафедрой бурения скважин, научный руководитель научного центра «Арктика», Санкт-Петербургский горный университет, д.т.н., профессор

Сидоров Дмитрий Андреевич

аспирант кафедры бурения скважин, лаборант научного центра «Арктика», Санкт-Петербургский горный университет

Камбулов Евгений Юрьевич

научный руководитель лаборатории «Сооружение скважин» научного центра «Арктика», Санкт-Петербургский горный университет, к.х.н.

Лаврик Анна Юрьевна

магистрант кафедры бурения скважин, Санкт-Петербургский горный университет

Бурение разведочных и эксплуатационных скважин на ряде месторождений России, в том числе в Восточной Сибири, осложнено наличием рапопроявляющих и поглощающих горизонтов.

Самым вредоносным осложнением, возникающим в процессе бурения скважин, в частности в Восточной Сибири, является вскрытие пластов с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД). Зачастую на таких объектах с АВПД величина пластового давления сильно превышает величину градиента пластового давления, соответствующего разрезу месторождений в условиях солевых отложений, и почти

данная работа представляет собой анализ мирового и отечественного опыта в создании технологий, технических средств и составов для изоляции пластов в условиях полисолевой агрессии, рапопроявлений и катастрофических поглощений. Проведенные аналитические исследования позволили определить уровень развития научных знаний в данной области. Была установлена зависимость осложнений во время строительства скважин от причин образования рассолодержащих горизонтов. В результате проведенного анализа были определены основные задачи и условия в выборе буровых растворов и составов для изоляции проявляющих пластов при строительстве скважин в условиях полиминеральной агрессии и рапопроявления

THIS WORK IS AN ANALYSIS OF WORLD AND DOMESTIC EXPERIENCE IN THE CREATION OF TECHNOLOGIES, TECHNICAL MEANS AND COMPOSITIONS FOR ISOLATION OF RESERVOIRS IN THE CONDITIONS OF POLYSALT AGGRESSION, BRINE EMERSION AND CATASTROPHIC ABSORPTION. THE CONDUCTED ANALYTICAL STUDIES MADE IT POSSIBLE TO DETERMINE THE LEVEL OF DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE IN THIS AREA. THE DEPENDENCE OF COMPLICATIONS DURING THE CONSTRUCTION OF WELLS ON THE CAUSES OF THE FORMATION OF BRINE-CONTAINING HORIZONS WAS ESTABLISHED. AS A RESULT OF THE ANALYSIS, THE MAIN TASKS AND CONDITIONS IN THE SELECTION OF DRILLING FLUIDS AND COMPOSITIONS FOR ISOLATING EMERGING FORMATIONS DURING WELL CONSTRUCTION UNDER CONDITIONS OF POLYMINERAL AGGRESSION AND BRINE EMERSION WERE DETERMINED

Ключевые слова: бурение скважин, соленасыщенные пласты, пластовая жидкость, рапа, аномально высокие пластовые давления.

всегда сопоставима с величиной горного давления. Бурение объектов с АВПД приурочено ко вскрытию насыщенных высокоминерализованным пластовым флюидом пластов. В добавок к этому существует проблема вскрытия неизвестных межсолевых пластов со значением коэффициента аномальности от 2,35 до 2,65.

В связи с вышесказанным учет как горно-геологических условий, так и физико-химического состава пластовой жидкости (рапы) в обязательном порядке должен лежать в основе создания не только проектных решений, но также и рабочих регламентов

по безаварийному ведению буровых работ в регионе.

Аномально высокие пластовые давления высокоминерализованных пластов с чередующимися поглощающими интервалами не позволяют осуществлять эффективное, качественное бурение скважин. Процесс бурения сопровождается частыми остановками, переливами рапосодержащего флюида, что обуславливает организацию дополнительных мер по его утилизации и сохранению экологической безопасности региона, и, как следствие, приводит к увеличению финансовых затрат на строительство скважин.

УДК 622.276

Генезис коллекторов рапы

Выбор технологии для ликвидации рапопроявлений зависит от генезиса рапы и особенностей ее залегания в хомогенной породе-коллекторе. Поэтому рассмотрение вопроса генезиса, как рассолов, так и вмещающей их породы, является важной задачей.

Рапопроявляющие горизонты встречаются в карбонатных пластах-коллекторах в соляной толще. Для них характерны трещинные и трещинно-жильные типы аномально гидропроводных коллекторов. Кроме того, характерной особенностью является переслаивание карбонатных и галитовых пород и «псевдопластовое» распределение аномального коллектора в соляной толще, вызванное способностью ограничивать развитие трещин по вертикали. Ввиду гидродинамической закрытости коллекторов давление флюидов близко к горному, в результате чего формируются зоны АВПД, характерные для подавляющего большинства рапопроявлений [1].

Такие водонапорные флюидные системы карбонатных резервуаров и химический состав рапы формируются и локализуются в особых, четко идентифицируемых структурно-геологических условиях и обстановках с АВПД, которые явно характеризуют наличие в разрезе гидродинамически локализованных отдельных водонапорных систем трещинных резервуаров галогенно-карбонатной гидрогеологической формации [2]. Рапоносные пласты из-за ограниченного объема относятся к макродефектам массива с небольшим запасом упругой энергии, которая освобождается в первые часы самоизлива [3]. Именно для

такого типа формаций характерны фонтаны рассолов высоких дебитов с максимальными концентрациями. Уникальность состава и свойств рапы обусловлены геологической средой и ее гидрогеологическими параметрами. Прогнозирование таких зон является важной задачей безопасного бурения [2].

Они относятся к трещинным, трещинно-кавернозным и брекчированным породам в несоленосных пропластках внутри соляной структуры и, как правило, имеют аномально высокие пластовые давления. Растворы выщелачивания на 100% состоят из хлористого натрия [4].

Ввиду гидродинамической закрытости коллекторов давление флюидов близко к горному, в результате чего формируются зоны АВПД, характерные для подавляющего большинства рапопроявлений

Рассолы, в зависимости от условий образования, бывают двух типов:

- седиментационные, то есть сформировавшиеся в результате накопления или же сохранения маточных растворов;
- рассолы выщелачивания, то есть образовавшиеся вследствие растворения и выщелачивания в проникающие воды соляных отложений.

Для рассолов первого типа характерны высокая минерализация и повышенное содержание ионов брома, магния, кальция, иода, калия, бора и т.п. и газов.

Они встречаются в сильнообводненных зонах соляного зеркала или кепроках соляных куполов. Такие коллекторы кепроков отличаются высокой гидропроводностью, вызывающей катастрофические поглощения при их вскрытии [5].

Активными участниками геохимических процессов первичной аккумуляции и перераспределения химических элементов при развитии раповых коллекторов являются воды дегидратации водных сульфатов, глин, аргиллитов и поровые растворы внутрисолевых отложений, играющие ключевую роль в формировании химического состава седиментационных рассолов [5].

Формирование хомогенных осадков, процессы литогенеза и проявления соляно-купольной тектоники на последующих этапах осадконакопления терригенной породы определяют литологическую приуроченность и термобарические условия залегания рассолов [5].



Осложнения и их причины

Рапа прежде всего представляет собой многофазную систему, образованную межкристаллическим поровым раствором, растворимыми солями галита, сульфата кальция, хлоридов магния и кальция, а также высокодиспергированными глинистыми частицами. Зачастую минерализация рапы колеблется в диапазоне от 320 до 430 кг/м³, но бывает и выше. А плотность рапы в диапазоне от 1200 до 1300 кг/м³ и выше [6]. Иными словами, это сильноминерализованная пластовая вода с редкими металлами и минеральными солями [7].

Выделяют две гипотезы причин осложнений при бурении карбонатно-галогеновых формаций [7]:

- пластическое течение солей, вызывающее смятие обсадных колонн;
- наличие зон АВПД.

Выделяют геологический, тектонический и технологический факторы возникновения рапопроявлений [8].

Геологический

Соли гравитационно уплотняются, в результате чего минералы перекристаллизуются, гидратируют и дегидратируют, и активно захороняется рапа в силу изменяющихся гидродинамических и гидрохимических условий и заполняющихся межсолевых прослоев.

Тектонический

Происходит перераспределение растворов в межсолевых пропластах. В зависимости от морфологии и происхождения выделяют следующие типы газожидких включений в солях: внутрикристаллические и межкристаллические. Для последних характерна взаимосвязанная объемно-пространственная система капилляров и микрополостей. Эта объемно-пространственная система встречается на границах кристаллов галита, образуя миграционные каналы, которые называются «границными» или «расшнурованными» и представлены вакуолями сложной

формы, которые образовались в результате тектонических проявлений.

Твердые кристаллы каменной соли, содержащие газожидкие включения, и объемные системы вакуолей и капилляров, разделяющие эти кристаллы и составляющие главный путь миграции растворов в солях – вакуольно-капиллярную систему, образуют неделимые структурно-морфологические части, из которых состоят мономинеральные галитовые породы.

Под воздействием тектонических сил происходит движение солей и вследствие этого создается высокое избыточное давление.

Технологический

Фактор интенсивности рапопроявлений, порождаемый несоблюдением технологических регламентов по безаварийному ведению работ, несоответствие проектных технологических решений геолого-технологическим условиям месторождения, в частности в выборе типа и рецептуры бурового раствора.

Чаще всего к технологическим причинам рапопроявления относится эффект поршневания, возникающий при спуско-подъемных операциях ввиду уменьшения гидростатического давления в скважине, падение статического уровня в скважине по причине поглощения из-за несоблюдения плотности бурового раствора или по причине гидроразрыва пласта из-за высокой эквивалентной циркуляционной плотности [9].

Чем больше раствора уходит в пласт, тем на большее расстояние он удаляется от скважины и тем меньше интенсивность поглощения

При проходке в соленосных отложениях в забойной зоне возникают дополнительные напряжения, соразмерные с давлением раскрытия трещин пласта (еще до достижения забойного давления, равного давлению гидроразрыва пласта, ГРП) и создающие в них наведенные давления [10].

Таким образом, после поглощений возникают проявления флюидов из-за гравитационного замещения пластового флюида промывочной жидкостью.

Необходимо знать такую допустимую плотность промывочного агента, которая позволит бурить без превышения давления начала раскрытия трещин – давления утечки. Для этого нужно опрессовывать соляные отложения. Следует отметить, что давление на забое при рапопроявлениях всегда меньше давления ГРП [10], поскольку при избыточном вытеснении объемов рапы из трещин в процессе гравитационного замещения гидростатическое давление снижается.

В процессе бурения рапосодержащих пластов превышение плотности бурового раствора над плотностью рапы вызывает проявления последней и частичные поглощения раствора [9]. Чем больше раствора уходит в пласт, тем на большее расстояние он удаляется от скважины и тем меньше интенсивность поглощения, потому что необходима дополнительная энергия для преодоления сил сопротивлений при движении по трещинам.

При проявлении плотность раствора сразу начинают завывать вместо того, чтобы вымыть флюид из скважины. При достижении плотности 2000 кг/м³ возникает ГРП, создающий протяженные трещины, которые заполняются раствором и рассолом. В солях хемогенной толщи объем трещин может достигать 10 000 м³ и более [9].

В случае ГРП низкопроницаемых пород с содержанием рапы,

в трещинах создается давление гидроразрыва, при наличии закупорки наддолотного пространства шламом превышает гидростатическое давление раствора. Параллельно с процессом гравитационного замещения происходит проявление, встречающиеся при бурении высокотрещиноватого кавернозного пласта.

Если пластовое и забойное давления условно равны, то при гравитационном замещении объемы поглощенного раствора

и проявленной рапы будут равны. Если забойное давление будет больше пластового или наведенного, то интенсивность поглощения будет выше проявления и наоборот.

Недооценивая гравитационное замещение, сигнализирующее о начале проявления, делается ложный вывод о вскрытии продуктивного пласта с АВПД, часто игнорируя небольшое поглощение (1–5 м³), предшествующее этому. Кроме того, это явление отражается на качестве крепления колонн, в виду того что плотность цементного раствора повышают, а затем фиксируют отсутствие цементного камня [9].

Еще одной причиной осложнений при вскрытии рапоносных отложений является осмотический массообменный процесс [11].

Эффективным мероприятием, предупреждающим осложнения под влиянием осмотических массообменных процессов, является искусственное засоление буровых растворов или применение растворов на неводной основе с высокоминерализованным водным компонентом. Однако до настоящего времени выбор необходимой степени минерализации бурового раствора (его филътрата) базируется только на многолетнем практическом опыте. Это во многих случаях приводит к необоснованному перерасходу реагентов и к увеличению затрат средств на проводку скважины в целом. Результаты гидрогеологических исследований пластовых (поровых) вод по скважинам показывают [11], что зачастую с ростом глубины скважины наблюдается закономерное увеличение степени минерализации пластовых (поровых) вод. Однако в отдельных случаях степень минерализации несколько снижается с увеличением глубины залегания пластов. Анализ показывает, что снижение степени минерализации пластовых (поровых) вод чаще всего отмечается в зонах аномально высоких пластовых (поровых) давлений. Бурение соленосных отложений нередко осложняется проявлениями или открытиями фонтанами аномально высокоминерализованных рассолов – рапы. Обычно

скопления рапы приурочены к изолированным в толще соли полостям. Химический состав рапы различен, поскольку он соответствует составу слагающих разрез солей.

В процессе вымыва рапы по стволу скважины на поверхность содержащиеся в ней соли кристаллизуются и оседают на стенки выработки, сужая тем самым ствол и образуя соляно-шламовые пробки, закупоривающие пласт.

Процесс кристаллизации инициируется двухвалентными катионами кальция и магния, вызывающими коагуляцию бурового раствора, и начинается обильное выпадение соли, приводящее часто к ликвидации скважины [1] из-за высокодебитных фонтанов, прихватов бурового инструмента и смятия обсадных труб при испытании и т.п.

Под воздействием рапы и сопутствующих ей агрессивней сероводорода и углекислого газа, происходит быстрая коррозия труб и цементного камня

Кроме того, под воздействием рапы и часто сопутствующих ей агрессивней сероводорода и углекислого газа происходит быстрая коррозия труб и цементного камня из-за высокой минерализации рассола.

До начала и в момент вскрытия пластов с АВПД резко возрастает мгновенная механическая скорость бурения и проседает компоновка низа бурильной колонны. А последующие попытки перекрыть проявляющийся интервал осложняются притоком рапы. После перекрытия проявляющегося горизонта пласт с АВПД начнет проявлять, поскольку в процессе гидратации цемента его гидростатическое давление в системе «пласт-скважина» снижается.

Анализ способов ликвидации рапопроявлений

Несмотря на все существующие методы борьбы с рапопроявлениями, лишь в некоторых случаях, когда дебиты рапы минимальны, удается довести скважину до проектной глубины [12].

В основном используют два способа борьбы с рапопроявлениями [8]: увеличение плотности раствора и разрядка рапопроявляющего горизонта.

Однако при повторном вскрытии пласта в результате его закупорки проседающей рапой дебиты значительно растут и увеличение плотности приводит лишь к поглощению [6, 12, 13]. Кроме того, при утяжелении раствора вероятность возникновения прихватов повышается.

Ликвидация осложнений путем разрядки рапопроявляющего горизонта также малоэффективна, поскольку полностью он не истощается, а за это время раствор полностью приходит в негодность [13]. Более того, даже после длительного проявления пласта давление в нем выше подстилающего горизонта.

Данный метод продуктивен лишь при линзовидном локальном скоплении рапы с малой энергией [6, 8]. Однако при бурении в Оренбургском геологическом районе данный метод хорошо себя проявил. Это связано с геологическими особенностями: в некоторых местах под линзами рапы залегают толщи песчаников высокой проницаемости с надежными экранами из глинистых пород. Эти пласты использовались в процессе бурения как резервуар, в который перетекала (поглощалась) рапа из линзы.

Буровые растворы

Одним из перспективных и эффективных способов проходки рапопроявляющих горизонтов является использование специальных буровых растворов, например минерализованных безглинистых, на нефтяной основе, соленасыщенных и полимер-эмульсионных утяжеленных, поскольку традиционные их рецептуры малоприменимы, так как рапа вызывает их коагуляцию и повышает затраты на реагенты [14].

Требования к буровым и тампонажным растворам

определяются генезисом коллекторов рапы. При изоляции рапосодержащих пластов внутренний диаметр скважины является ключевым параметром достижения необходимого бокового режима нагнетания, поэтому нельзя допускать размыва ствола скважины. Для этого необходимо использовать буровые растворы, затворенные на рапе или на рассолах хлорида натрия. Кроме того, возможно использовать буферные тампоны с пластической прочностью в 2–3 раза большей динамического напряжения сдвига цементного раствора для снижения закачиваемых объемов [5].

При разработке рецептуры раствора нужно обращать внимание на равновесие степеней минерализации раствора и поступающего рассола. В первую очередь необходимо, чтобы в состав бурового раствора входили положительно заряженные катионы солей, соответствующие составу солевого разреза и рапе. С увеличением концентрации солей в рапе растворимость хлорида натрия в растворе снижается, и ухудшаются его параметры из-за воздействия солей на полимеры [11].

Вследствие попадания в раствор пластовых вод из подсолевых отложений снижается растворимость введенного хлорида натрия и частицы соли кристаллизуются. Рост притока рассола ведет к повышению кислотности раствора, увеличивая воздействие на полимеры, что приводит к ухудшению реологических свойств бурового раствора. Поэтому основной упор при выборе компонентного состава промысловых жидкостей делается на неионогенные солейстойкие материалы [15].

При борьбе с рапой, как правило, плотность бурового раствора начинают повышать, но это не дает положительного результата из-за коагуляции. Существуют разработки составов утяжеленных растворов на основе шлам-лигнинов с рапой, которые обладают плотностью более 2000 кг/м³ с высокими реологическими и фильтрационными характеристиками, а также устойчивостью к полиминеральной и сероводородной агрессиям [16].

Одним из классических методов изоляции рапосодержащих пластов является установка цементных мостов. Данный метод может быть успешно применен лишь при небольших дебитах (до 10 м³/сут), как на скважине Р-52 Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Еще вариантом решения проблемы является смешивание полимера (гипана, метаса, полиакриламида (ПАА)) с пластовой водой. Комбинация данных двух методов является эффективным способом изоляции для конкретных горно-геологических условий.

Авторами статьи [17] приводится способ крепления призабойной зоны пласта с применением кремнийорганического состава «SWS-PLAST» на основе гидролизующихся кремнийорганических соединений. Использование данного состава с армирующими наполнителями позволяет обеспечивать увеличение прочности пород образуемого коллектора.

Кадыров Р.Х. в своей диссертационной работе [18] рассматривает полимерметаллические комплексы на основе сополимеров акриловых кислот с катионами железа (Fe³⁺), меди (Cu²⁺), алюминия (Al³⁺). Эти комплексы устойчивы в пластовых жидкостях и избирательно тампонируют водонасыщенные каналы пластов. В качестве полимеров применялся МАК-ДЭА, гидролизованный полиакрилонитрил (гипан) и кремнийорганические жидкости «119-296Т» и «Силор».

Автором в статье [19] рассмотрены результаты опытно-промышленных испытаний водоизолирующих составов «ГПАН» и «ОВП-1». «ГПАН» представляет собой гидролизованный полиакрилонитрил с модифицирующими добавками фруктозы и сульфанола. «ОВП-1» – щелочной гидролизат технологических отходов полиакрилонитрильного (ПАН) волокна, модифицирующий специальными добавками.

Медведева Н.А. рассматривает в статье [20] армированные структурированные составы, где в качестве дисперсной среды применяют водный раствор ПАА ДР9-8177, в качестве кросс-агента оксид цинка (ZnO), оксид

магния (MgO), соли-сшивателя ацетата хрома. Для придания прочности гелю применяют стекло- и полипропиленовые фиброволокна, поверхность которых гидрофилизирована дополнительной обработкой.

В работе [21] авторами рассматриваются осложнения, возникающие при строительстве скважин в условиях аномально высоких и аномально низких пластовых давлений, а также предложены изолирующие составы на основе производного ПАА «SPMI-7» и технологии его установки с применением скважинного пакера.

Влияние минерализации и pH пластовой воды на вязкость геля на основе иона бора рассмотрена Силиным М.А. с соавторами в статье [22]. Установлено, что при повышенной минерализации воды вязкость геля на основе полисахаридных материалов снижается.

В инструкции [23] приведены пенные составы на основе карбоксиметилцеллюлозы, в качестве отверждающей составляющей используется силикат натрия (Na₂SiO₃) и хлористый кальций (CaCl₂).

В основе отверждения лежит реакция обмена силиката натрия и хлористого кальция, в результате которой образуется нерастворимый осадкообразующий и отверждающий силикат кальция (CaSiO₃).

Береговой А.Н. с коллегами в патенте [24] при разработке сшивающего состава объединили в одном составе две полимерные составляющие: на основе ПАА и природного полисахарида – гуаровой смолы, в качестве сшивающего агента – ацетат хрома ((CH₃COO)₃Cr) и буферизатор – оксид магния (MgO).

Согласно проведенным исследованиям, разработанный гелеобразующий состав в высокопроницаемую часть призабойной зоны проникает на небольшое расстояние за счет реакции сшивания, которая приводит к снижению скорости фильтрации в пласт и, как следствие, уменьшению радиуса зоны проникновения (R_ф).

В своей диссертации [25] А.С. Гумеров предложил способ образования органогибридных

комплексов с регулируемым временем загеливания. Гелеобразование в данном составе основано на применении реагента Ком-С на основе гидролизованного полиакрилонитрила силикатом натрия при pH 12–14 с образованием сополимера акриламида, акрилата натрия и звеньев имидоэфира кремниевой кислоты.

Системы на основе ПАА, сернокислого алюминия и технической воды хорошо себя зарекомендовали на испытаниях и могут быть применены на производстве.

Такие системы, в отличие от других технологических буровых жидкостей, не соответствуют условиям, характерным для классических реологических моделей жидкости, и имеют нормальные напряжения что позволяет им перемещаться по всему затрубному объему, заполняя его.

Заключение

В представленной работе показаны различные технико-технологические решения по изоляции рапосодержащих пластов и рассмотрены причины рапопроявлений и осложнений, связанных с ними.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие заключения:

- Строительство скважин в условиях рапопроявления сопряжено со значительными технологическими и экологическими рисками, приводящими в случае осложнений к кратному увеличению стоимости скважины или ее ликвидации.
- В настоящее время отсутствует технологически отработанная технология вскрытия и закрепления рапоносных горизонтов в условиях АВПД и минерализацией рассолов бивалентными ионами.
- Перед цементированием рапоносных горизонтов на месторождениях, осложненных рапопроявлениями и поглощениями необходимо предусмотреть тампонирующее рапоносное горизонт с применением изоляционных материалов и сшивателей.

- Перед подбором изоляционных материалов и сшивателей требуется детальное изучение состава пластовой воды и ее совместимости с применяемыми базовыми жидкостями, существующими изоляционными материалами и сшивателями. ●

Литература

1. Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А. и др. Горно-геологические условия бурения рапопроявляющих зон с аномально высоким пластовым давлением в природных резервуарах кембрия на Ковыктинском газоконденсатном месторождении // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2016. – № 2 (55). – С. 74–87.
2. Вахромеев А.Г., Горлов И.В. и др. Фонтанные проявления предельно насыщенных литиеносных рассолов в скважинах на юге Сибирской платформы: бурение, испытание, прогноз флюидных систем с АВПД // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России XII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием – Новосибирск, 18–22 июня 2018 г. – С. 27–33.
3. Хуршудов В.А., Хуршудов Д.В. Характерные особенности борьбы с месторождениями в солевых отложениях верхней юры при бурении сверхглубоких скважин на площадях Восточного Предкавказья (Борьба с проявлениями рапы) // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 1. – С. 11–14.
4. Скоков В.В. Генезис и химический состав рассолов Астраханского газоконденсатного месторождения, факторы возникновения и методы борьбы с рапопроявлением // Известия вузов. Горный журнал. – 2017. – № 2. – С. 44–49.
5. Горнович С.Н. и др. Генезис коллекторов рапы и условия их тампонажа при строительстве скважин в Оренбургской области // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2007. – № 6. – С. 39–43.
6. Ушивцева Л.Ф. Гидрогеологическая характеристика зон рапопроявлений Астраханского свода // Геология, география и глобальная энергия. – 2019. – № 4 (75). – С. 106–115.
7. Фокин Ю.В., Аверкина Е.В. Анализ методов ликвидации рапопроявлений на месторождениях Восточно-Сибирской платформы // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: мат. Всероссийской науч.-техн. конференции с междунар. участием «Геонаука – 2018: актуальные проблемы изучения недр», посвященной памяти профессора В.Д. Маца. – Иркутск: Изд-во ИРННУ, 2018. – Вып. 18. – С. 140–145.
8. Скоков В.В. Генезис и химический состав рассолов Астраханского газоконденсатного месторождения, факторы возникновения и методы борьбы с рапопроявлением // Известия вузов. Горный журнал. – 2017. – № 2. – С. 44–49.
9. Семенякин В.С. Распознавание причин развития проявлений на ранней стадии их возникновения при бурении // Вестник АГТУ. – г.Астрахань. – 2004. – № 4 (23). – С. 107–111.
10. Старошук А.В., Семенякин В.С. Причины рапо-, нефте-, и газопроявлений при бурении скважин на утяжеленных буровых растворах // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 90–93.
11. Махоматхожаев Д.Р. Бурения скважин в соленосных отложениях АО «Узбурнефтегаз» в условиях рапопроявления // Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 г.): в 7 т.: сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар: Издательский

Дом – Юг. Т. 3: Бурение нефтяных и газовых скважин. – 2018. – С. 175–180.

12. Ушивцева Л.Ф. Геологические риски и экологическая безопасность бурения скважин в регионах с развитием солянокупольной тектоники // ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2020. – С. 103–113.
13. Батыров М.И., Савенок О.В. Разработка мероприятий для предупреждения и своевременной ликвидации геологического осложнения в виде рапопроявлений при бурении скважины № 9 Виланской площади // НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК). – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2020. – № 1. – С. 44–73.
14. Аверкина Е.В., Шакирова Э.В. Особенности приготовления буровых растворов на основе пластовой воды Знаменского месторождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – № 4. – С. 38–46.
15. Жернаков В.Н., Бастриков С.Н. О повышении гармоничности взаимодействия бурового раствора с породами геологического разреза (на примере месторождений Восточной Сибири) // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2019. – № 11. – С. 47–49.
16. Буглов Е.Н., Васенева Е.Г. Бурение скважин в условиях сероводородной агрессии // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 12 (83). – С. 121–123.
17. Королев А.В. и др. Лабораторные исследования состава «SWS-PLAST» ООО «Акрос» для разработки новой технологии водоизолирующих работ и укрепление призабойной зоны пласта. Бурение и нефть, 2019 г.
18. Кадыров Р.Х. Методы ограничения водопритока при строительстве и эксплуатации скважин. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук.
19. Лымарь И.В. Обзор новых технологий изоляции водопритока, внедренных на нефтяных месторождениях республики Беларусь. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2011, № 5. С. 122–128.
20. Медведева Н.А. Применение армированных полимерных систем для увеличения нефтеизвлечения и ограничения водопритока в добывающих скважинах.
21. Двойников М.В. и др. Разработка вязкоупругих систем и технологии изоляции водоносных горизонтов с аномальными пластовыми давлениями при бурении нефтегазовых скважин. Записки Горного университета. 2021. Т. 247, С. 57–65. DOI: 10.31897/PM1.2021.1.7.
22. Силин, М.А. Исследования влияния ионов бора и минеральных солей, содержащихся в подтоварной воде, на качество полисахаридных жидкостей ГРП. Научно-технический сборник. Вести газовой науки. – № 1, 2013 г. – С. 73–78.
23. Инструкция по технологии ограничения притока вод и интенсификации добычи нефти многокомпонентной пеной на основе силиката натрия и хлористого кальция. РД 39-1-1221-84. Москва. 1985 г.
24. Береговой А.Н., Рахимова Ш.Г., Князева Н.А. и др. Гелеобразующий состав для ограничения водопритока в добывающей скважине, на которой осуществляется паротепловое воздействие Патент РФ №2706149 С1. Заявка: 2018118693. Дата подачи заявки: 21.05.2018.
25. Гумеров А.С. Совершенствование технологии внутрискважинной изоляции силикатно-полимерными составами в условиях неоднородных коллекторов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа, 2020 г.

KEYWORDS: *drilling of wells, salt-saturated formations, reservoir fluid, brine, abnormally high reservoir pressures.*

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕРВИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ МОНИТОРИНГОМ ДИСПЕРСНОСТИ ШЛАМА

Двойников Михаил Владимирович
д.т.н., профессор

Сандыга Михаил Сергеевич
кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, аспирант

Рудоман Семен Александрович
кафедра бурения скважин, аспирант

Санкт-Петербургский горный университет

Минибаев Вильдан Вагизович
генеральный директор ООО «Химпром», к.т.н.

В СТАТЬЕ РАССМОТРЕНЫ ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ РАЗРУШЕННОЙ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ, В ПРОДУКТИВНЫЕ ПЛАСТЫ ПОРОВО-ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ. ОПИСАНЫ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДИСПЕРСНОСТЬ ЧАСТИЦ ШЛАМА, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ ДОЛОТАМИ ПО ХАРАКТЕРУ РАЗРУШЕНИЯ (РЕЗУЛЬТАТ РЕЗАНИЯ И ИСТИРАНИЯ ВООРУЖЕНИЕМ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА). РАССМОТРЕНЫ ВОПРОСЫ ГИДРОДИНАМИКИ И ВОЛНОВОГО ВОЗМУЩЕНИЯ КОМПОНОВКИ НИЗА БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ, КОТОРЫЕ ВОЗНИКАЮТ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИН, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ФИЛЬТРАЦИИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ И ГЛУБИНА ОБЪЕМНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПЛАСТЕ. ИЗЛОЖЕНЫ НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ШЛАМА В ПРОДУКТИВНЫЙ ПЛАСТ

THE ARTICLE CONSIDERS THE MAIN FACTORS AFFECTING THE PENETRATION OF THE SOLID PHASE, REPRESENTED BY FINELY DISPERSED ROCK DESTROYED DURING DRILLING, INTO THE PRODUCTIVE LAYERS OF PORE-FRACTURED RESERVOIRS. THE FACTORS AFFECTING THE DISPERSION OF SLUDGE PARTICLES FORMED DURING DRILLING WITH VARIOUS BITS BY THE NATURE OF DESTRUCTION (THE RESULT OF CUTTING AND ABRASION BY THE ARMAMENT OF A ROCK-DESTROYING TOOL) ARE DESCRIBED. THE ISSUES OF HYDRODYNAMICS AND WAVE PERTURBATION OF THE BOTTOM LAYOUT OF THE DRILL STRING, WHICH ARISE DURING THE DRILLING OF WELLS, AND THEIR INFLUENCE ON THE FILTRATION PROCESS OF THE SOLID PHASE AND THE DEPTH OF THE VOLUME DISTRIBUTION IN THE FORMATION ARE CONSIDERED. SOME POSSIBILITIES OF REDUCING THE DEPTH OF PENETRATION OF SLUDGE INTO THE PRODUCTIVE RESERVOIR ARE DESCRIBED

Ключевые слова: буровой шлам, проницаемость, режимные параметры бурения, объемное распределение, метаноугольные пласты.

УДК 622.276

Факторы, влияющие на дисперсность твердой фазы

В процессе бурения скважины образуется шлам от разрушенной горной породы. Большая часть его выносится буровым раствором, но, в зависимости от дисперсности выбуренной горной породы, оставшая часть вместе с очистным агентом неизбежно проникает в трещиноватую (поровую) среду породы. Данное явление ведет к ухудшению фильтрационно-емкостных свойств пласта (ФЕС), т.е. к снижению проницаемости порового пространства горной породы [6, 13].

На процесс проникновения шлама в пласт влияют две составляющие: дисперсность твердых частиц и их проникающая способность (объемное распределение в пласте) [4].

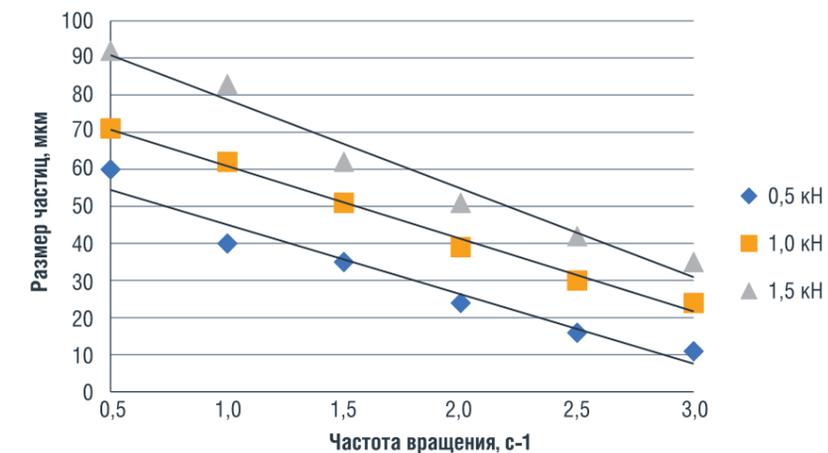
На размер частиц шлама оказывают влияние в первую очередь технико-технологические условия. К таким условиям можно отнести энергию разрушения породоразрушающего инструмента (ПРИ) и непосредственно его тип по характеру разрушения [14]. Энергия разрушения определяется режимными параметрами бурения, а именно осевой нагрузкой, приходящейся на долото, и частотой вращения ПРИ. Расход промывочной жидкости будет уже влиять не столько на размер частиц шлама, сколько на процесс проникновения их в толщу горной породы.

Выделяют три характера разрушения горной породы: резание, скалывание или дробление. При резании осевая нагрузка действует постоянно, и в таком случае ее можно считать статической. В процессе скалывания и дробления усилия, прикладываемые к горной породе, действуют периодически, что вызывает дополнительные нагрузки на забой.

По характеру разрушения горной породы во время бурения ПРИ можно разделить на три типа: режуще-скалывающего типа, дробяще-скалывающего типа, режуще-истирающего типа [11].

Соответственно, при бурении различными типами ПРИ будет образовываться шлам различной дисперсности. Так, при бурении

РИС. 1. График зависимости размера частиц шлама от частоты вращения и осевой нагрузки



шарошечными долотами, которые являются ПРИ дробяще-скалывающего типа, будет образовываться самый крупный по фракции шлам. Далее промежуточное значение будет у шлама, образованного при бурении долотами режуще-скалывающего типа. И самый мелкий шлам образуется при использовании долот режуще-истирающего типа.

В Горном университете проведены лабораторные исследования дисперсности шлама при использовании долота PDC с учетом изменения осевой нагрузки и частоты вращения ПРИ. Для проведения исследований использовалось лопастное долото диаметром 220 мм. В качестве материала использовался каменный уголь. Выбор угля для исследований обусловлен перспективностью разработки метаноугольных пластов Кузнецкого бассейна. Размер частиц определялся на лазерном гранулометре Mastersizer, с диапазоном измерения от 0,01 мкм до 3500 мкм. На рисунке 1 представлена зависимость изменения размера частиц шлама выбуренной породы от нагрузки и частоты вращения шпинделя буровой установки.

Из рисунка 1 видно, что размер частиц шлама зависит от осевой нагрузки прямо пропорционально и обратно пропорционально – от частоты вращения. Получены уравнения регрессии для варьируемых осевых нагрузок на долото: $y_1 - 0,5$ кН, $y_2 - 1,0$ кН, $y_3 - 1,5$ кН.

$$y_1 = -23,943x + 102,73, R^2 = 0,971$$

$$y_2 = -19,6x + 80,467, R^2 = 0,9917$$

$$y_3 = -18,743x + 63,8, R^2 = 0,9534$$

Из этого можно сделать вывод, что с увеличением частоты вращения преобладает истирающее действие долота, в результате которого образуются мельчайшие частицы шлама. А при увеличении осевой нагрузки преобладает режущее действие ПРИ, с образованием более крупных частиц.

Таким образом, частицы различной фракции обладают различной проникающей способностью. Самой большой проникающей способностью будут обладать частицы шлама, образованные при бурении долотами режуще-истирающего действия, так как в процессе их работы образуется шлам с частицами такого размера, способными проникать в мельчайшие поры и трещины горной породы. А под действием давления от промывочного раствора они проникают глубоко в пласт, снижая его ФЕС. Крупные же частицы шлама обладают меньшей проникающей способностью, но они все же будут кольматировать поровое пространство непосредственно около стенок скважины.

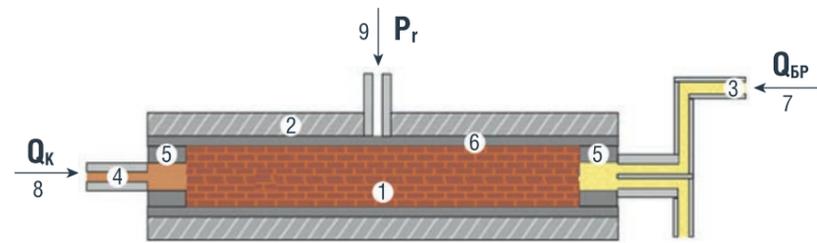
Факторы, влияющие на процесс объемного распределения бурового раствора с твердой фазой

Объемное распределение твердых частиц зависит от большего количества факторов в отличие от дисперсности. Рассмотрим данные явления на примере метаноугольных пластов.

В первую очередь угольные пласты характеризуются наличием обширной системы естественных



РИС. 2. Схема кернодержателя RPS-812



1 – образец естественного керна; 2 – корпус кернодержателя; 3 – рабочие растворы; 4 – пластовой флюид; 5 – буферные металлические кольца; 6 – резиновая манжета для обжима керна; 7 – направление фильтрации раствора; 8 – направление фильтрации пластового флюида; 9 – направление подачи жидкости для создания давления обжима

трещин и в большинстве случаев – низким пластовым давлением. Они обеспечивают хорошую приемистость очистного агента со шламом, что позволяет проникать буровому раствору достаточно глубоко [1, 2]. Промывочная жидкость может продавливаться далеко в пласт по системе кливажей, увлекая за собой мелкодисперсный шлам, без образования фильтрационной корки, и может блокировать фильтрационные способности пласта [9, 16].

В процессе бурения метаноугольных пластов образуется репрессия, которая оказывает влияние на продуктивный горизонт. Она определяется

частотой вращения компоновки низа бурильной колонны с породоразрушающим инструментом. Также репрессия обуславливается созданием торсионных колебаний буровой колонны, в результате чего образуются волновые возмущения в кольцевом пространстве скважины [12, 17].

В результате данных факторов образуется ударная волна с образованием перепада давления, которая напрямую влияет на глубину проникновения фильтрата бурового раствора и шлама в трещиновато-поровые каналы продуктивных пластов. В виду того, что распространение данных колебаний носит полусферический

характер, потенциальная энергия будет уменьшаться с удалением от буровой колонны, и движение частиц будет преобладать в сторону пласта. При этом концентрация частиц твердой фазы около стенки скважины возрастает, а основная часть дисперсионной среды оттесняется ими в сторону от пятна контакта кольматирующего потока поверхности волнового взаимодействия раствора со стенкой, вследствие чего усиливается фильтрация раствора, что способствует интенсивному процессу проникновения бурового раствора в пласт [5, 15].

Объем очистного агента, проникнувшего в пласт, зависит от следующих факторов: времени процесса, перепада давлений, вязкости как фильтрата, так и пластового флюида, проницаемости пласта и толщины глинистой корки [3]. Известно, что спустя некоторое количество времени фильтрационная корка набирает постоянную толщину, и в таком случае процесс фильтрации разделяют на мгновенную фильтрацию, фильтрацию при росте глинистой корки и фильтрацию через корку постоянной толщины [7]. Во время мгновенной фильтрации, когда фильтрационная корка еще

не успела образоваться, процесс проникновения промывочной жидкости со шламом является самым интенсивным. Далее при росте глинистой корки процесс фильтрации замедляется по мере роста глинистой корки. После же образования корки интенсивность процесса проникновения промывочной жидкости с частицами шлама замедляется, но не останавливается вовсе. Так как глинистая корка также имеет некоторую проницаемость [10]. Таким образом, при оценке глубины зоны проникновения необходимо учитывать время, за которое фильтрационная глинистая корка набирает постоянную толщину.

Проведены исследования по изучению изменения проницаемости угольной породы в результате проникновения бурового раствора со шламом в образец угля.

Для проведения фильтрационного эксперимента использовалась фильтрационная установка RPS-812 (рис. 2), которая позволяла создать термобарические условия максимально приближенные к пластовым:

- пластовая температура – 32 °С,
- боковое нагружение – 7 МПа,
- вязкость модели воды – 0,798 мПа·с.

Перед проведением фильтрационного эксперимента в образцах кернового материала создавалась водонасыщенность фильтрацией модели пластовой воды в кернодержателе фильтрационной установки. Для насыщения использовалась модель пластовой воды – раствор гидрокарбоната натрия минерализацией 4 г/л.

В процессе первичного вскрытия продуктивных пластов репрессия, оказываемая на продуктивный горизонт, определяется частотой вращения компоновки низа бурильной колонны и породоразрушающего инструмента, созданием торсионных колебаний буровой колонны, предусматривающих создание волнового возмущения в кольцевом пространстве.

Данный перепад давления с учетом компоновки низа бурильной колонны, используемой при вскрытии продуктивных горизонтов

РИС. 3. Пример определения проницаемости образца по модели пластовой воды до воздействия БР

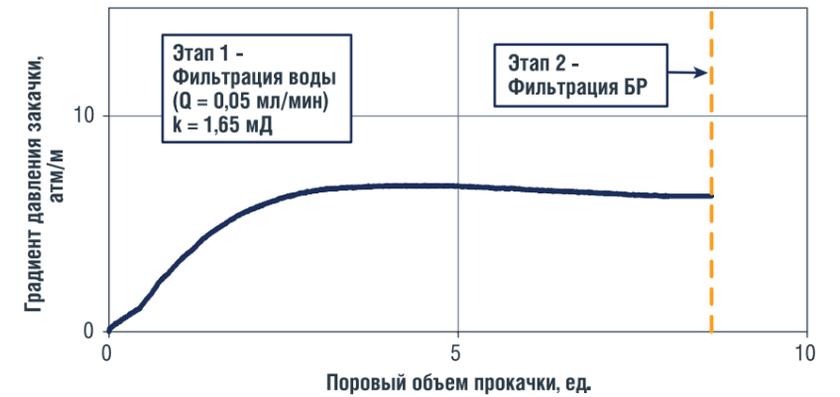


РИС. 4. Пример определения проницаемости образца по модели пластовой воды после воздействия БР



ТАБЛИЦА 1. Механические характеристики и классификация труб для магистральных трубопроводов

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение, ед. изм.	Модельный буровой раствор	Модельный буровой раствор + 50 г выбуренной породы
1	Плотность	ρ , г/см ³	1,025	1,04
2	Условная вязкость по Маршу	UV , сек	91	96
3	Условная вязкость по ВБР-1	$UV_{700/500}$, сек	78	84
4	Фильтратоотдача по API / толщина корки	Φ , см ³ /30 мин / ΔK , мм	9,8 / $\leq 0,5$	8,8 / ≤ 1
5	Фильтратоотдача забойная температура и повышенное давление / толщина корки	$\Phi_{НТР}$, см ³ /30 мин / ΔK , мм	24 / $\leq 0,5$	23 / ≤ 1
6	Фильтратоотдача по ВМ-6 / толщина корки	V , см ³ /30 мин / ΔK , мм	6 / 0,5	4,8 / ≤ 1
7	Статическое напряжение сдвига	$Gels_{10''/10'}$, lbs/100 ft ² (дПа)	9/10 (45/50)	10/13 (50/65)
8	Динамическое напряжение сдвига	$DNС$, lbs/100 ft ² (дПа)	26 (127)	28 (137)
9	Пластическая вязкость	η , мПа·с	13	17
10	Содержание хлоридов	Cl^- , мг·экв/л	15 300	14 600
11	Концентрация коллоидной фракции	MBT , кг/м ³	---	3,5
12	Показатель концентрации ионов водорода	pH	9,23	9,6
13	Содержание твердой фазы	$TФ$, об. %	---	3
14	Содержание смазки (углеводородов)	C , об. %	3	2,5

на скважинах метаноугольных месторождений ($d_{\text{дол}} = 152,4$ мм, $d_{\text{кнбк}} = 120$ мм), может достигать 10 атм.

Учитывая это, моделирование первичного вскрытия пласта осуществлялось при максимальной репрессии до 10 атм. Регулировка давления осуществлялась при помощи отсекающего крана, это позволило создать импульсы давления в заданном диапазоне.

Для определения влияния шлама на глубину проникновения БР в поровое пространство при фильтрационных исследованиях использовали зашламленный раствор, с параметрами, приведенными в таблице 1. Для зашламливания использовался шлам с диаметром частиц до 50 мкм, это соответствует шламу, получаемому при бурении долотами истирающего типа (PDC).

Направление закачки и фильтрации рабочих жидкостей

в исследуемых образцах керна соответствует реальному направлению движения пластовых флюидов и технологических жидкостей в добывающих скважинах: прямая фильтрация соответствует процессу притока флюида из пласта в скважину и в дальнейшем – процессу «освоения» скважины; обратная фильтрация моделировала процесс первичного вскрытия скважины, заключающийся в создании перепада давления.

В первую очередь определялась исходная фазовая проницаемость образца горной породы.

Для определения сходимости результатов фильтрационных экспериментов и оценки эффективности работы технологических жидкостей были проведены замеры проницаемости по модели пластовой воды (4-процентный раствор гидрокарбонат натрия).

На рисунке 3 представлен график по определению проницаемости по модели пластовой воды. В результате экспериментов проницаемость образца равна 1,65 мД.

После определения исходных фазовых проницаемостей проводилось моделирование процесса первичного вскрытия пласта.

В течение 2 часов с максимальным перепадом давления 1 МПа производилась выдержка зашламленного БР (с рентгеноконтрастным веществом – йодид калия 5% масс.) у торца керна. Направление фильтрации при этом – «обратное» (моделирование воздействия на пласт со стороны скважины).

Далее снова проводилась фильтрация воды через образец, насыщенный буровым раствором со шламом. По результатам опыта установлена проницаемость образца 0,42 мД.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в процессе первичного вскрытия очистной агент со шламом проникает в пласт и ухудшает его ФЕС на 75%.

Способы снижения проникновения бурового раствора со шламом в пласт

В первую очередь уменьшения количества проникающего раствора с частицами в пласт можно добиться путем снижения проницаемости фильтрационной корки за счет изменения физико-химических параметров очистного агента [8]. Увеличение скорости образования фильтрационной корки постоянной толщины также может способствовать снижению количества проникшего в пласт бурового раствора с частицами шлама. Но такого результата сложно добиться, так как изменение данных параметров может повлиять на другие функции бурового раствора, например, способность к транспортировке бурового шлама.

Также снижение репрессии, оказываемое на пласт, может способствовать уменьшению глубины зоны проникновения. Этот параметр можно контролировать за счет изменения физико-механических свойств очистного

агента, но репрессия, вызванная торсионными колебаниями буровой колонны, будет продолжать оказывать давление на пласт.

Заключение

Таким образом, были выявлены основные факторы, влияющие на проникновение бурового раствора со шламом в пласт. Современные методы контроля за глубиной зоны проникновения обращают свое внимание лишь на свойства жидкости, влияющие на процесс фильтрации. Но оставляют без внимания такие вещи, как дисперсность шлама, образующегося в процессе бурения. Однако данный фактор может оказаться решающим при определении проникающей способности шлама и его объемного распределения в толще горной породы. Данный параметр в первую очередь определяется типом ПРИ и режимными параметрами бурения. Таким образом, имеется необходимость в разработке технологии комплексного мониторинга за описанными процессами, которая позволит отслеживать параметры, влияющие на процесс проникновения бурового раствора со шламом в пласт. Необходимо провести исследования, которые позволят установить корреляцию между режимными параметрами бурения, а также возникающими волновыми эффектами, вызванными вибрациями инструмента и его несоосностью и размерностью образованных частиц шлама, определить их проникающую способность. Установить, как на процесс объемного распределения шлама влияют физико-механические и реологические свойства бурового раствора. Успешное определение данных зависимостей позволит повысить качество вскрытия продуктивных пластов за счет технологии мониторинга и прогнозирования параметров первичного вскрытия продуктивных порово-трещиноватых пластов, с целью снижения глубины проникновения твердой фазы. ●

Литература

1. Al-Jubori A. et al. Coalbed methane: clean energy for the world // *Oilfield Review*. – 2009. – Т. 21. – № 2. – С. 4–13.
2. Barree R.D., Mukherjee H. Determination of Pressure Dependent Leakoff and Its Effect on Fracture Geometry. 1996. SPE 36424-MS.

3. Jr. Adam T. Bourgoyne, Keith K. Millheim, Martin E. Chenevert, Jr. F.S. Young. – *Second Printing. – Society of Petroleum Engineers Richardson, TX, 1991. – 508 p.*
4. Волков Э.Я. Геолого-физические признаки проникновения фильтра бурового раствора в коллектор // *Проблемы нефти и газа Тюмени: тр. / ЗасСибНИГНИ. – Тюмень, 1977. – Вып. 33.*
5. Ганиев Р.Ф. Об эффектах вибрационной устойчивости и вибрационного перемешивания в нелинейной колебательной системе «жидкость – газ» / Р.Ф. Ганиев, А.А. Барам // *Госхимиздат – 1960 – С. 96.*
6. Деминская Н.Г. Исследование закономерностей проникновения фильтра бурового раствора в призабойную зону пласта горизонтальной скважины / Н.Г. Деминская, Я.В. Чеславский // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2012. – № 9. – С. 36–40.*
7. Живаева В.В., Никитин В.И. Модель для расчета радиуса проникновения фильтра бурового раствора при вскрытии пласта // *Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 6-2. – С. 250–254.*
8. Леушева Е.Л. Исследование влияния фракционного состава карбонатных утяжелителей на реологические параметры бурового раствора / Е.Л. Леушева, В.А. Моренов, А.С. Мартель // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 12. – С. 35–39. – DOI 10.30713/0130-3872-2018-12-35-39.*
9. Никитин В.И., Живаева В.В. Вероятные пути решения проблем вскрытия напряженных горных пород // *Ашировские чтения: сб. трудов Международной научно-практической конференции. Т. 1. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – С. 148–149.*
10. Поликарпов А.Д. Влияние буровых растворов на продуктивность скважин / А.Д. Поликарпов, Н.И. Юрков, Т.В. Мельникова // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 4. – С. 39–44.*
11. Попов А.Н., Трушкин Б.Н., Трушкин О.Б. Разрушение горных пород. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016. – 138 с.
12. Сараян А.Е. Теория и практика работы буровой колонны. – М.: Недра, 1990. – 263 с.
13. Третьяк А.А. Коагуляция частиц бурового шлама / А.А. Третьяк, Е.А. Яценко, С.А. Онофриенко, Е.В. Карельская // *Разведка и охрана недр. – 2021. – № 5. – С. 45–50.*
14. Шадрин А.В. Исследование гранулометрического состава шлама и оценка эффективности буровых коронок различного типа / А.В. Шадрин, В.Г. Крец // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S4-1. – С. 910–917.*
15. Шамов Н.А. Теоретические исследования движения твердых частиц при волновой кольматации поровой среды / Н.А. Шамов, Ю.С. Кузнецов, Р.Х. Саитгареев // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2013. – № 9. – С. 42–46.*
16. Ян И. Анализ особенностей эксплуатации и эффективности применения U-образной скважины для добычи метана из угольных пластов / И. Ян, М.П. Хайдина, Х. Ван // *Газовая промышленность. – 2019. – № 2 (780). – С. 44–50.*
17. Янтурин Р.А. Об основных видах продольных, крутильных и поперечных колебаний буровой колонны / Р.А. Янтурин, А.Ш. Янтурин // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – № 1. – С. 5–9.*

KEYWORDS: *drilling cuttings, permeability, operating parameters of drilling, dissemination by volume, methane coal seams.*



Резиденция The Strand

Королевские 2-этажные виллы с 3-мя и 4-мя спальнями общей площадью 966 кв. м. с выходом на пляж и захватывающими панорамными видами на океан.

Больше информации на www.stregisbali.com

The St. Regis Bali Resort
Kawasan Pariwisata, Nusa Dua Lot S6, Po Box 44,
Nusa Dua Bali 80363 Indonesia

© 2020 Marriott International, Inc. All Rights Reserved. All names, marks and logos are the trademarks of Marriott International, Inc. or its affiliates.

Stay exquisite at more than 40 St. Regis hotels and resorts worldwide.
@stregishotels

Go There With
MARRIOTT BONVOY

SOBALT:

инновационные разработки для строительства промышленных объектов

ТЕНДЕНЦИЯ К ВНЕДРЕНИЮ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОХВАТИЛА СЕГОДНЯ ВСЕ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НО У КАЖДОГО СЕГМЕНТА СВОИ ТРЕБОВАНИЯ К ВИДЕНИЮ ЦИФРОВЫХ ИННОВАЦИЙ. ТАК, ПРЕДСТАВИТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ СЕГМЕНТЕ ВЫДЕЛЯЮТ РЯД ТРЕБОВАНИЙ К ЦИФРОВОМУ ПРОДУКТУ, СРЕДИ КОТОРЫХ ЛЕГКОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ И ДОСТУПНОСТЬ ОСВОЕНИЯ. ПРИ ЭТОМ ВАЖНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ СЛУЖАТ АВТОМАТИЗАЦИЯ РУТИННЫХ ПРОЦЕССОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИНТЕГРАЦИИ С ДРУГИМИ ЦИФРОВЫМИ РЕШЕНИЯМИ. А В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ НАЗЫВАЮТ УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ИСКЛЮЧЕНИЕ ОШИБОК ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ. РАЗРАБОТАТЬ ТАКОЙ ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ, В КОТОРОМ УЧТЕНЫ ВСЕ НЮАНСЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА, ЛУЧШЕ ВСЕГО ПОЛУЧИТСЯ У ТОГО, КТО ЗНАЕТ СПЕЦИФИКУ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИЗНУТРИ. ПОЭТОМУ КОМПАНИЯ «ПЕРМТЕХСПЕЦ» ОСТАНОВИЛА СВОЙ ВЫБОР НА ИНФОРМАЦИОННОМ РЕШЕНИИ SOBALT. КАКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ДАЕТ ЕГО ВНЕДРЕНИЕ И ЗА СЧЕТ ЧЕГО ПОЗВОЛЯЕТ ОДНОВРЕМЕННО УВЕЛИЧИТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И СНИЗИТЬ РАСХОДЫ ПРЕДПРИЯТИЯ?

THE TREND TOWARDS DIGITALIZATION HAS COVERED ALL INDUSTRIES TODAY, BUT EACH SEGMENT HAS ITS OWN REQUIREMENTS FOR THE VISION OF DIGITAL INNOVATION. THUS, REPRESENTATIVES OF CONSTRUCTION COMPANIES IN THE INDUSTRIAL SEGMENT IDENTIFY A NUMBER OF REQUIREMENTS FOR A DIGITAL PRODUCT, INCLUDING EASE OF IMPLEMENTATION AND AVAILABILITY OF DEVELOPMENT. AT THE SAME TIME, AUTOMATION OF ROUTINE PROCESSES AND THE POSSIBILITY OF INTEGRATION WITH OTHER DIGITAL SOLUTIONS ARE IMPORTANT PARAMETERS. AND AMONG MAIN REQUIREMENTS THERE ARE AN INCREASE IN PRODUCTIVITY AND THE ELIMINATION OF ERRORS IN THE PREPARATION OF AS-BUILT DOCUMENTATION. TO DEVELOP SUCH A SOFTWARE PRODUCT, WHICH TAKES INTO ACCOUNT ALL THE NUANCES OF INDUSTRIAL CONSTRUCTION, IS BEST DONE BY SOMEONE WHO KNOWS THE SPECIFICS OF THE ACTIVITY FROM THE INSIDE. THEREFORE, «PERMTEKHSPETS» CHOSE THE SOBALT INFORMATION SOLUTION. WHAT ARE THE BENEFITS OF IMPLEMENTING IT AND HOW CAN IT SIMULTANEOUSLY INCREASE PRODUCTIVITY AND REDUCE ENTERPRISE COSTS?

Ключевые слова: программный продукт, цифровые технологии, строительство в нефтегазовом комплексе, единое информационное пространство, увеличение производительности.



Мулукин Сергей Владимирович
заместитель директора
АО «КОБАЛЬТ42»

Cobalt – информационная система автоматизированной подготовки исполнительной документации, призванная изменить подход к сбору данных со строительной площадки и сделать этот процесс более систематизированным и прозрачным

Предпосылки создания системы. Откуда идея?

Основная идея – создание инструмента, позволяющего повысить эффективность работы специалистов производственно-технического отдела.

В 2019 году, на момент принятия решения о начале разработки системы, в ходе изучения предметной области стало понятно, что специалисты ПТО самостоятельно стараются частично автоматизировать свой труд. В подавляющем большинстве

случаев это происходит за счет использования функционала офисных приложений, например, Microsoft Excel. Такой подход действительно мог бы быть эффективным, но, увы, имеет предел своих возможностей, которого специалисты быстро достигают. Это и послужило основой начала разработки системы, позволяющей решить проблемы существующего подхода и дополнительно оптимизировать труд специалистов.

Основные преимущества

Собственная разработка позволяет нам делать продукт максимально ориентированным под требования конечного пользователя. Мы не пытаемся сделать что-то в надежде, что это окажется полезным. Работая бок о бок с непосредственно задействованным персоналом в оказании услуг по подготовке исполнительной документации, мы действительно знаем требования и ожидания специалистов производственно-технического отдела.

На сегодняшний день Cobalt представляет собой WEB-сервис, позволяющий специалистам, задействованным на одном проекте, организовать свою работу в едином информационном пространстве. Такой подход значительно сокращает время, затрачиваемое на поиск и обмен информацией между сотрудниками.

Работа в программе доступна с применением любых устройств, вне зависимости от их типа или установленной операционной системы. Главное условие – наличие браузера.

Cobalt постоянно проверяет корректность данных, вносимых пользователями, тем самым минимизируя количество допущенных ими ошибок и, как следствие, значительно повышает качество итоговой исполнительной документации.

Все данные хранятся в защищенной базе, что обеспечивает высокий уровень информационной безопасности, а также в разы увеличивает скорость доступа к ним.

Имея в себе все необходимые данные, Cobalt позволяет автоматически формировать комплект исполнительной документации, который специалисту останется только подписать.

Принцип работы в системе

Cobalt предоставляет удобный интерфейс для ввода информации о событиях, происходящих на строительной площадке: выполненных работах, поступлениях материалов, контроле качества и многих других. Пользователю системы необходимо только своевременно вносить полученные данные.

Наличие в системе актуальных данных дает возможность оперативно формировать различные отчеты и статистические срезы по ходу работ на проекте.

Достигнутые результаты и дальнейшее развитие

На текущий момент закончено тестирование и идет подготовка к полномасштабному вводу системы в эксплуатацию. Проведенное тестирование показало, что Cobalt позволяет значительно уменьшить время, затрачиваемое на подготовку комплекта исполнительной документации и, как следствие, сократить штат специалистов, необходимый для выполнения работ.

Стоит отметить, что тестирование системы проводилось как в искусственных, так и в полевых условиях. Во всех случаях использование Cobalt позволило увеличить производительность специалистов ПТО минимум в пять раз.

Мы заинтересованы в развитии Cobalt, поэтому следим за отраслевыми тенденциями, готовы к диалогу по внедрению, интеграции и дальнейшему совместному развитию направления. ●

KEYWORDS: software product, digital technologies, construction in the oil and gas complex, unified information space, increased productivity.

УДК 004

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В НЕФТЕХИМИИ



Нефтехимическая отрасль в экономике Российской Федерации занимает **1,5%**



К 2030 году потребление пластика на человека в год должно вырасти в **2,5 раза**



Мало- и средне- тоннажная химия наиболее уязвимая отрасль химпрома с точки зрения обеспечения импортозависимости. Для расширения номенклатуры российской продукции запланирована реализация **73** проектов с инвестициями на сумму **498 млрд руб.**, в **11** субъектах усилиями **22** компаний

И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ

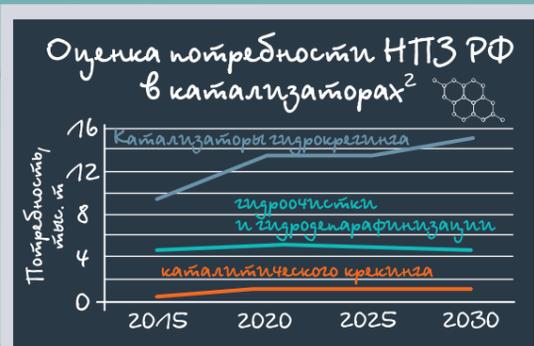
НПЗ



Катализаторы

100% зависимость от импорта по ряду катализаторов

К началу 2022 г. годовое потребление катализаторов в российской нефтепереработке достигло **20** тыс. тонн



Потребность в каждом отдельном катализаторе **50-100** тонн

Объем потребления катализаторов для получения зимних и арктических топлив **200-250** т/год

Номенклатура катализаторов для нефтехимии насчитывает порядка **100** наименований

90-95% процессов в химическом производстве осуществляются при участии катализаторов

Объем потребления катализаторов гидроочистки составляет **3500-4000** т/год гидрокрекинга – **1000-1500** т/год²

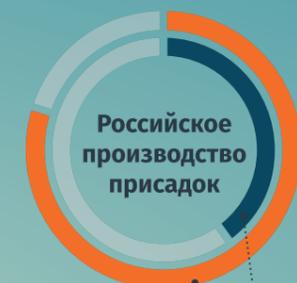
Самым массовым является катализатор каткрекинга – **12-12,5** тыс. т/год

Потребности в катализаторах гидропроцессов **5-5,5** тыс. т/год

Суммарный спрос на катализаторы каталитического крекинга, гидроочистки и гидрокрекинга **18** тыс. т/год



14 НПЗ модернизируют старые и строят новых мощностей, в которые до 2027 года будет инвестировано **800** млрд руб.



80% присадки к топливу, **40%** присадки к маслам

Объем первичной переработки нефти в РФ в 2021 году вырос по сравнению с 2020 годом на **4%** – до **280** млн т. Производство бензинов увеличилось на **6,2%** – до **40,8** млн т, дизельного топлива – на **3%**, до **80,3** млн т

Модернизации подлежит **30** технологических установок вторичной переработки нефти и вспомогательные установки

Это позволит увеличить производство бензина более чем на **3,6** млн т в год и нарастить выпуск дизельного топлива свыше **25** млн т в год



8% Объем экспорта дизтоплива из РФ в 2021 году снизился на **8%** – до **49,23** млн тонн



24,5% Экспорт бензина упал на **24,5%** – до **4,4** млн тонн³



В 2022 г. объем морского экспорта дизельного топлива из России сохранился и составил **115,9** тыс. тонн в сутки, но танкерные отгрузки снизились до **45,3** тыс. т/сутки



За последние десять лет Россия повысила показатель глубины нефтепереработки на **12,8%**

Оборудование для нефтепереработки⁵

Годовой экспорт оборудования для нефтепереработки из Евросоюза в Россию, вошедшего в список запрещенного к поставке, в среднем за последние три года составляет **€1,3 млрд**

Крупнейшие страны-поставщики:

- Германия **€670** млн
- Италия **€118** млн

- В Европе закупились:
- агрегаты для производства ароматических углеводородов,
 - реакторы гидрокрекинга,
 - установки полимеризации,
 - установки термического крекинга

ОСНОВНЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ ДОБАВОК К КАТАЛИЗАТОРАМ КРЕКИНГА

- Johnson Matthey
- Grace Catalysts Technologies
- BASF Catalyst
- Sinopec Catalyst Company

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИРОВОГО РЫНКА КАТАЛИЗАТОРОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ



Источнику: ¹ ect-center.com ² scientificrussia.ru ³ Interfax ⁴ iadevon.ru ⁵ cdu.ru

ХИМИЯ в регионах России

В 70-Е ГОДЫ ПРОШЕДШЕГО СТОЛЕТИЯ БЫЛА РАЗРАБОТАНА И УТВЕРЖДЕНА ГЕНЕРАЛЬНАЯ СХЕМА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР. С ТЕХ ПОР ПРОИЗОШЛИ КАРДИНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛИТИЧЕСКОГО И ЭКОНОМИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА И ПРИВНЕСЕНЫ КОРРЕКТИРОВКИ АЛГОРИТМА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ. КАКОВА ИХ ГЕОГРАФИЯ СЕГОДНЯ? КАКИЕ РЕГИОНЫ В НАИБОЛЬШЕЙ СТЕПЕНИ ЗАДЕЙСТВОВАНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ, КАКИЕ ФАКТОРЫ ОПРЕДЕЛЯЮТ ВЫБОР ПЛОЩАДОК ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НОВЫХ ПРОЕКТОВ? В ДАННОЙ СТАТЬЕ ПРЕДСТАВЛЕНА СОВРЕМЕННАЯ КАРТИНА РАЗМЕЩЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПО ОКРУГАМ И СУБЪЕКТАМ РФ И ДАНА ОЦЕНКА ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ГАЗОНЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ НАШЕЙ СТРАНЫ

THE GENERAL SCHEME FOR THE TERRITORIAL DISTRIBUTION OF THE CHEMICAL INDUSTRY OF THE USSR WAS DEVELOPED AND APPROVED IN THE 1970S. SINCE THEN, THERE HAVE BEEN DRAMATIC POLITICAL AND ECONOMIC CHANGES AND ADJUSTMENTS HAVE BEEN MADE TO THE ALGORITHM FOR THE TERRITORIAL DISTRIBUTION OF CHEMICAL PRODUCTION. WHAT IS THEIR GEOGRAPHY TODAY? WHICH REGIONS ARE MOST INVOLVED IN THE PRODUCTION OF CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PRODUCTS, WHAT FACTORS DETERMINE THE CHOICE OF SITES FOR THE IMPLEMENTATION OF NEW PROJECTS? THIS ARTICLE PRESENTS A MODERN PICTURE OF THE LOCATION OF CHEMICAL PRODUCTION IN THE DISTRICTS AND SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION AND ASSESSES THE FURTHER DEVELOPMENT OF GAS AND PETROCHEMICAL PROJECTS IN OUR COUNTRY

Ключевые слова: нефтехимические производства, территориальное размещение химических предприятий, химические вещества, пластмассы, резино-технические изделия.



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

Химическая продукция используется практически во всех сферах человеческой деятельности и поэтому во всех странах мира химическое производство развивается по восходящему тренду. При этом неоспорим факт, что химическая промышленность является драйвером инновационного развития отраслей-потребителей и в значительной степени определяет темпы развития любого государства. Однако вклад отрасли в ВВП в разных странах мира неодинаков и в максимальной степени проявляется в Китае (рисунок 1), доля которого в общемировом выпуске химической и нефтехимической продукции достигла 44%.

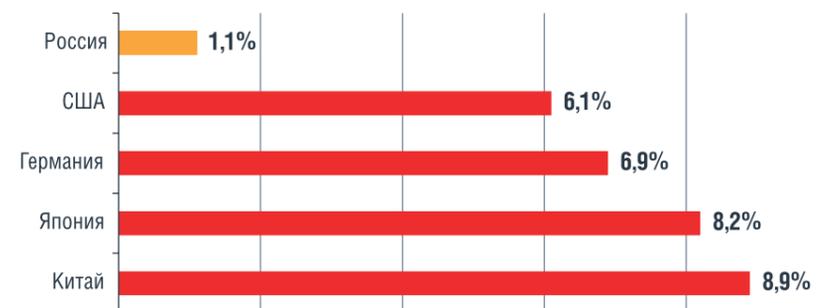
В России доля химического комплекса в ВВП страны более чем скромная – 1,1–1,2%, что определяется выпуском главным образом низкоценовой продукции нижних этажей передела первичного сырья.

Зададимся вопросом: где в России размещены химические производства? Какие регионы обеспечивают наибольший вклад в развитие российского химического комплекса?

Химическая промышленность как отрасль имеется во всех федеральных округах Российской Федерации, при этом более 90% ее продукции производится в европейской части и объясняется это

УДК 338; 661; 667

РИСУНОК 1. Вклад химической промышленности в ВВП ведущих стран мира в 2021 г., %



Источник: ОКНАМЕДИА, 05-04-2022

тем, что именно здесь в наибольшей степени удовлетворяются основные принципы размещения химических производств, в том числе:

- приближение производств к источникам сырья, топлива, энергии, к водным ресурсам;
- приближение производства к районам потребления продукции;
- обеспеченность инфраструктурой, транспортной сетью;
- обеспеченность трудовыми ресурсами.

Отметим, что от 40 до 90% себестоимости химической продукции приходится на сырье, в связи с чем именно сырьевой фактор оказывает огромное воздействие на размещение предприятий всех отраслей химического комплекса, а для горно-химической промышленности он является определяющим.

Энергетический фактор особенно важен для энергоемких производств, среди которых производство содовой продукции, полимерных материалов, азотных удобрений, синтетического каучука.

Особую роль при размещении предприятий химического комплекса играет обеспеченность производства водой, так как вода используется и для вспомогательных целей, и в качестве сырья. Расход воды в отраслях химического комплекса варьируется от 50 м³ при производстве хлора до 6000 м³ при производстве химических волокон.

Потребительский фактор учитывается при размещении прежде всего отраслей основной химии – производств азотных и фосфатных удобрений, а также узкоспециализированных предприятий, выпускающих лаки, краски, изделия из пластмасс и резины, фармацевтические товары.

Трудовой фактор влияет на размещение трудоемких отраслей химического комплекса, к которым прежде всего относится производство химических волокон, пластмасс.

В последние годы в классический алгоритм размещения химических производств включились еще два критерия. Первый из них – экологический, который до последнего времени учитывался недостаточно. Вместе с тем химическое производство является одним из основных загрязнителей окружающей среды (согласно оценке, отходы химических производств составляют почти 30% объема загрязненных сточных вод обрабатывающей промышленности страны), и иногда в вопрос размещения химического объекта включается позиция негативно настроенного местного населения, априори не принимающего строительство химического объекта.

Появление другого критерия связано с образованием в стране районов предоставления выгодных условий ведения бизнеса. Это особые экономические зоны, территории опережающего

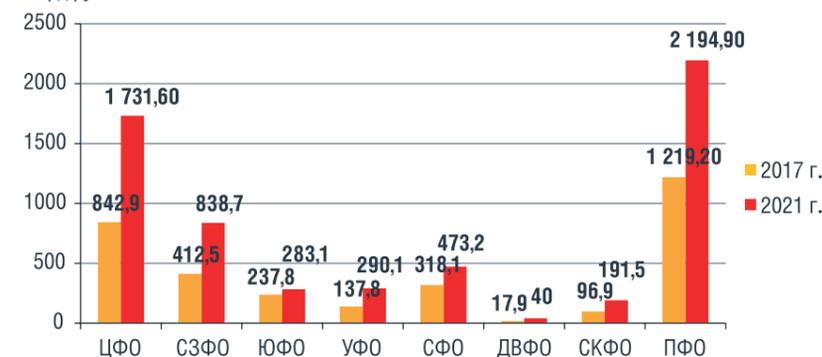
развития, технопарки. Налоговые льготы, преференции в выделении земельных участков, объектов инфраструктуры и т.д. привлекательны как для малого, так и крупного бизнеса и являются особо важными аспектами размещения промышленных предприятий в районах нового освоения.

Химический комплекс России развивается по двум направлениям: производство химических веществ и химических продуктов (ОКВЭД 20) и производство резиновых и пластмассовых изделий (ОКВЭД 22), при этом по совокупности факторов, определяющих размещение химических объектов, концентрация предприятий и объемы отгрузок химической и нефтехимической продукции по регионам страны разительно различаются.

На рисунке 2 представлена динамика объемов отгрузок продукции химического комплекса по федеральным округам за последние 5 лет.

Из представленного очевидно, что основной потенциал химической промышленности России размещен в трех федеральных округах – Приволжском (ПФО), Центральном (ЦФО) и Северо-Западном (СЗФО): в сумме более 70% отраслевого выпуска. При этом в 2017–2021 гг. в ЦФО производство химической и нефтехимической продукции развивалось более успешно относительно ПФО: темпы прироста отгрузок в стоимостном выражении составили 205,6% и 180,0% соответственно. Тем не менее основной вклад в производство химической и нефтехимической продукции до настоящего времени вносят предприятия ПФО (в 2021 году – 36,3%, рисунок 3).

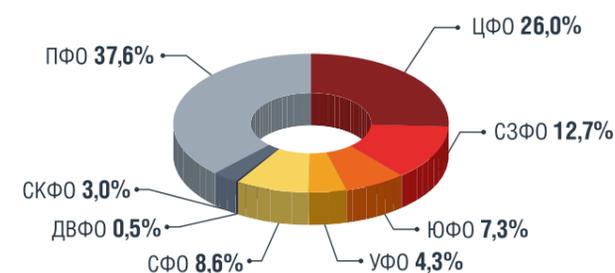
РИСУНОК 2. Объемы отгрузок химической и нефтехимической продукции в 2017 и 2021 гг., млрд руб.



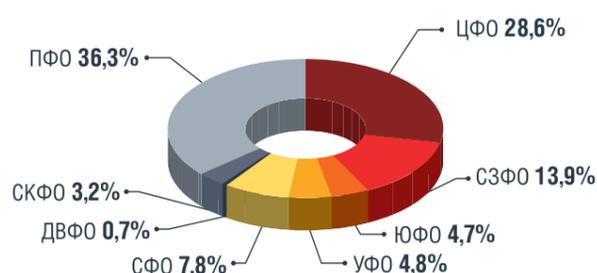
Источник: ЕМИСС, 2022

РИСУНОК 3. Доли федеральных округов в отраслевом выпуске химической и нефтехимической продукции в 2017–2021 гг.

2017 г. – 3228,0 млрд руб.



2021 г. – 6043,1 млрд руб.



Источник: ЕМИСС, 2022

Во всех округах России основной продукцией химического комплекса являются крупнотоннажные продукты, однако в каждом из них просматривается профильность производства. Так, в ПФО и СКФО предприятия более чем на 70% ориентированы на выпуск пластмасс, синтетических каучуков, удобрений, неорганических и нефтехимических продуктов широкого спектра потребления. В ЦФО производятся минеральные удобрения, агрохимикаты, химические волокна, лакокрасочные материалы и, что особенно следует отметить, здесь высокая доля высокотехнологичной продукции, такой как изделия из пластмасс, товары бытовой химии (порядка 40% стоимости региональных отгрузок). Высокая доля изделий из пластмасс также в Южном и Дальневосточном федеральных округах (порядка 30% стоимости отгрузок), что можно рассматривать как успешное развитие мало- и среднетоннажной химии и региональной диверсификации производства химической продукции. Производство химической и нефтехимической продукции в СФО ориентировано прежде всего на выпуск полиолефинов

и полимерных изделий. В СЗФО и УФО номенклатура химического комплекса представлена в широком ассортименте и, кроме крупнотоннажной продукции (минеральных удобрений, пластмасс, химических волокон, каустической соды), здесь выпускаются лаки, краски, товары бытовой химии, изделия из резины и пластмасс.

Далее посмотрим, как распределяются производства химической и нефтехимической продукции по субъектам федеральных округов.

Приволжский федеральный округ (ПФО)

Предпосылкой крупного сосредоточения химических производств в ПФО является мощная сырьевая база этого региона: примерно 8% богатства недр России, из них 75% приходится на углеводородное сырье. На территории округа имеются также уникальные запасы минерального сырья – калийных солей (около 82,6% от всех разведанных ресурсов России), калийно-магниевого солей (77,6%), крупные ресурсы фосфоритов (60%).

В 2021 году в ПФО было произведено продукции химического комплекса на сумму 2194,9 млрд рублей (36,3% отраслевого выпуска), из которых 1862,7 млрд рублей, или 85%, составило производство химических веществ и химических продуктов, то есть в данном регионе отраслевое производство ориентировано на выпуск крупнотоннажной продукции, что соответствует имеющемуся сырьевому ресурсу.

Структура размещения химических производств в ПФО по субъектам и видам экономической деятельности в 2021 году представлена на рисунке 4. Из приведенного на рисунке 4 следует, что основными производителями химических веществ и химических продуктов в ПФО являются Пермский край и Республика Татарстан: в сумме более 52% регионального производств данной продукции. В 2021 году эти два субъекта выработали химической и нефтехимической продукции на сумму 975,5 млрд рублей, что составило 22% выпуска продукции химического комплекса по ОКВЭД 20.

Производство резиновых и пластмассовых изделий размещено во многих субъектах данного региона, но особенно следует выделить Республику Татарстан, доля которой в региональной выработке данной продукции в 2021 году составила почти 32%. Успешность Республики в производстве резиновых и пластмассовых изделий определяется наличием собственной сырьевой базы для их выработки – пластмасс и синтетических каучуков, а также разветвленной инновационной инфраструктурой.

В ПФО функционируют крупнейшие предприятия химического комплекса России, среди которых ПАО «Нижнекамскнефтехим», ПАО «Казаньоргсинтез», ООО «ГазпромНефтехим Салават», АО «Башкирская содовая компания», ПАО «Тольяттиазот», ПАО «Уралкалий», ПАО «Куйбышевазот», ПАО «Химпром», ООО Саратоворгсинтез, ООО «Тольяттикаучук», ООО «Галополимер Кирово-Чепецк», ООО «Усольский калийный комбинат» (ПАО «Еврохим») и др.

Важно отметить, что в ПФО размещены три индустриальных парка, в которых функционируют химические производства по выпуску мало- и среднетоннажной химической продукции. Первый из них – технополис «Химград» (г. Казань) – для бизнеса в сфере малой химии и переработки пластмасс. Здесь размещено производство разнообразных полимерных изделий (пленок, фитингов, упаковочных материалов, битумов и пр.), компонентов для нефтепромысловой химии, лабораторного оборудования.

Второй индустриальный парк – «Камские Поляны» (г. Камские

Поляны, Республика Татарстан) – крупнейший в Российской Федерации производитель высококачественной стретч-пленки, мультифиламентных и пневмотекстирированных нитей (примерно 40% общероссийского выпуска). Функционируют производства полипропиленовых мультифиламентных и пневмотекстирированных нитей для автомобильной, текстильной, строительной и других отраслей и стретч-пленки для упаковки.

Уникальной является особая экономическая зона промышленно-производственного типа (ОЭЗ ППТ) «Алабуга» (Елабужский район Татарстана), которая представляет большой интерес для развития бизнеса, в том числе в области химии и нефтехимии. В настоящее время среди резидентов парка производители ХСЗР, углеродных волокон, противотурбулентных присадок, клеев, полиуретановых пен, пленки ПВХ. Строится завод по выпуску NPK-удобрений.

Центральный федеральный округ (ЦФО)

Для размещения химического производства в ЦФО сырье не является основным фактором, поскольку в значительных объемах здесь имеются только фосфориты, что предопределяет производство фосфорсодержащей продукции и в первую очередь фосфорных удобрений. Используются фосфориты Курско-Щигровского бассейна, Егорьевского месторождения в Московской области и Полпинского месторождения в Брянской области. Важнейшими критериями, определяющими размещение химического производства в ЦФО, являются

емкость потребительского рынка, обеспеченность энергетическими и водными ресурсами.

В 2021 году в ЦФО отгрузки продукции химического комплекса были на уровне 1731,6 млрд рублей, что составило почти 30% отраслевого выпуска. Обращает на себя внимание высокая компонента отгрузок резиновых и пластмассовых изделий – 745 млрд руб. (43% региональной отгрузки продукции химического комплекса), то есть регион в значительной степени ориентирован на выпуск мало- и среднетоннажной продукции с высокой добавленной стоимостью.

На рисунке 5 представлена структура размещения химических производств в ЦФО по субъектам и видам экономической деятельности.

Очевидно, что основные продуценты химических веществ и химических продуктов в ЦФО размещены в Московской и Тульской областях (более 50% регионального производства). В 2021 году здесь выработано такой продукции на сумму около 490 млрд рублей, что составило 11% отраслевого выпуска химических веществ и химических продуктов.

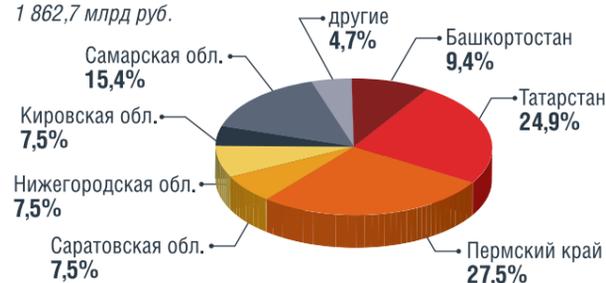
Производство резиновых и пластмассовых изделий в ЦФО сосредоточено главным образом в местах наибольшего спроса на данную продукцию – в Москве и Московской области, при этом в основном производятся изделия из пластмасс.

На территории ЦФО размещены предприятия крупнейших химических компаний – ПАО МХК «Еврохим», «Группа ФосАгро», целый ряд предприятий по выпуску химической и нефтехимической продукции в широком ассортименте – ПАО «Владимирский химический

РИСУНОК 4. Размещение производств химического комплекса по субъектам ПФО (по данным за 2021 г.), %

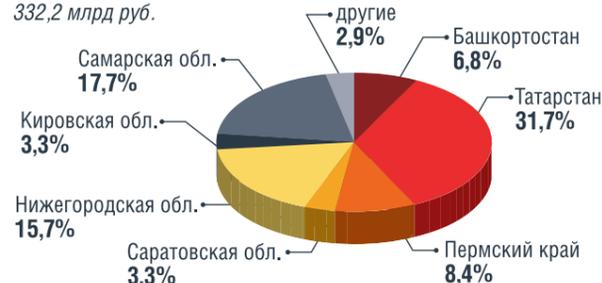
Производство химических веществ и химических продуктов в 2021 году

1 862,7 млрд руб.



Производство резиновых и пластмассовых изделий в 2021 году

332,2 млрд руб.



Источник: ЕМИСС, 2022

РИСУНОК 5. Размещение производств химического комплекса по субъектам ЦФО (по данным за 2021 г.), %

Производство химических веществ и химических продуктов в 2021 году

986,6 млрд руб.



Производство резиновых и пластмассовых изделий в 2021 году

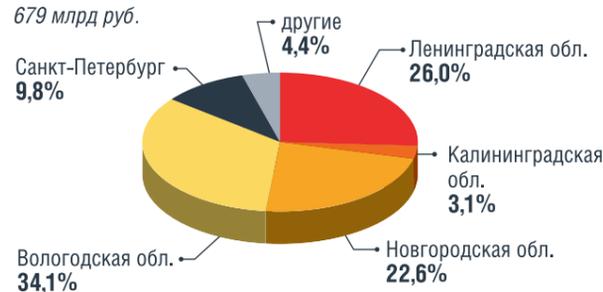
745 млрд руб.



Источник: ЕМИСС, 2022

РИСУНОК 6. Размещение производств химического комплекса по субъектам СЗФО (по данным за 2021 г.), %

Производство химических веществ и химических продуктов в 2021 году
679 млрд руб.



Производство резиновых и пластмассовых изделий в 2021 году
159,7 млрд руб.



Источник: ЕМИСС, 2022

завод», АО «Пигмент», АО «Воронежсинтезкаучук», ООО «Русвинил», ОАО «Буйский химический завод», ООО ОХК «Щекиноазот», ООО «Курскхимволокно» и множество средних и малых предприятий, выпускающих резиновые и пластмассовые изделия, лакокрасочные материалы, товары бытовой химии.

Северо-Западный федеральный округ (СЗФО)

Предпосылками для размещения химического производства в СЗФО являются близость к морским портам, обеспечивающим выход на рынки зарубежных стран, и газовое сырье, поступающее с полуострова Ямал.

В 2021 году в СЗФО выработано продукции химического комплекса на сумму 838,7 млрд руб., из них более 80% (679 млрд руб.) приходилось на производство химических веществ и химических продуктов.

На рисунке 6 представлена структура размещения химических

производств в СЗФО по субъектам и видам экономической деятельности. Основные объемы крупнотоннажных химических веществ и химических продуктов в СЗФО вырабатывают предприятия Вологодской, Ленинградской и Новгородской областей, где размещены, в том числе, предприятия по производству минеральных удобрений, в значительной степени ориентированные на поставки продукции на экспорт.

Очевидно, что предприятия по производству резиновых и пластмассовых изделий в СЗФО сконцентрированы в Ленинградской области и в Санкт-Петербурге, то есть в районах высокого спроса на эту продукцию.

Важно отметить, что с 2015 года в морском торговом порту Усть-Луга Ленинградской области работает нефтепродуктовый терминал, который в сложившихся политических отношениях со странами Балтии позволил лидерам химического комплекса – ПАО «Акрон» и ПАО «Уралхим» – перевести грузопотоки своей продукции с портов

недружественных сопредельных стран на отечественный терминал. В СЗФО размещены предприятия таких крупных холдингов химического комплекса, как ПАО МХК «Еврохим» (Еврохим-Северо-Запад) и ПАО «Акрон», целый ряд компаний по выпуску изделий из пластмасс, лакокрасочных материалов, товаров бытовой химии (ОАО «Аэлита», ООО «Петрополимер», «Новобыхим», «Европласт» и др.).

Сибирский федеральный округ (СФО)

СФО занимает порядка 30% территории Российской Федерации. Для развития химического производства здесь имеется собственное дешевое углеводородное сырье – уголь, нефть, газ. Наиболее крупными из разведанных газовых месторождений являются Ковыктинское в Иркутской области и Чаядинское в Якутии. Месторождения нефти и газа разрабатываются в Тюменской области.

РИСУНОК 7. Размещение производств химического комплекса по субъектам СФО (по данным за 2021 г.), %

Производство химических веществ и химических продуктов в 2021 году
336,2 млрд руб.



Производство резиновых и пластмассовых изделий в 2021 году
137,0 млрд руб.



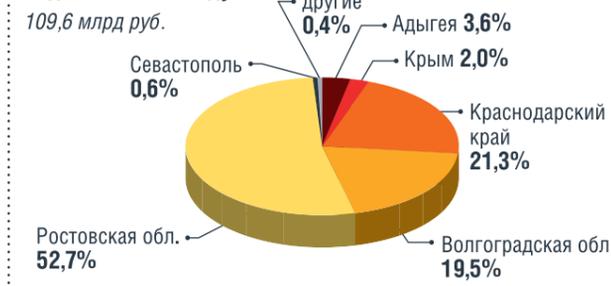
Источник: ЕМИСС, 2022

РИСУНОК 8. Размещение производств химического комплекса по субъектам ЮФО (по данным за 2021 г.), %

Производство химических веществ и химических продуктов в 2021 году
173,5 млрд руб.



Производство резиновых и пластмассовых изделий в 2021 году
109,6 млрд руб.



Источник: ЕМИСС, 2022

Богатый сырьевой ресурс позволяет предприятиям округа производить широкую гамму химической и нефтехимической продукции. В 2021 году объем отгрузки такой продукции составил 473,2 млрд руб., из них более 70% (336,2 млрд руб.) приходилось на продукты химического комплекса с кодом ОВЭД 20, то есть на крупнотоннажную продукцию с невысокой добавленной стоимостью.

Доля СФО в отгрузках продукции химического комплекса в настоящее время не превышает 8%, но формирующаяся новая модель развития Сибири, сочетающая пространственный, ресурсный и человеческий потенциал, в перспективе определит курс на производство продукции более глубоких переделов сырья с получением высокоценовой продукции.

На рисунке 7 представлена структура размещения химических производств в СФО по субъектам и видам экономической деятельности.

В СФО активно проявляет себя крупнейший холдинг химического комплекса – СИБУР. В декабре 2020 года холдинг объединил два своих предприятия, «СИБУР Тобольск» и «ЗапСибНефтехим», в одно юридическое лицо – «ЗапСибНефтехим». Предприятие стало крупнейшим в России комплексом с полным циклом нефтехимического производства – от переработки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) до выпуска полимеров.

Проект нефтехимического комплекса «ЗапСибНефтехим» реализован на тобольской промышленной площадке СИБУРА в целях развития глубокой переработки побочных

продуктов нефтегазодобычи Западной Сибири, в том числе попутного нефтяного газа.

В СФО работает ООО «Саянскимпром», большой ряд заводов, среди которых завод «Алтайский химпром», Барнаульский химический завод, Алтайский комбинат химических волокон.

Южный федеральный округ (ЮФО)

ЮФО как административное образование сформировано в мае 2000 года, в 2014 году расширилось за счет включения Крыма и в целом ориентировано на выпуск сельскохозяйственной продукции, то есть химическая промышленность не является приоритетной. Вместе с тем здесь имеются большие запасы углеводородного сырья, являющиеся основой развития химического производства. Значительным сырьевым ресурсом обладают Волгоградская и Астраханская области, Краснодарский край, Ингушетия и Чеченская Республика. Крупнейшее газовое месторождение расположено в Астраханской области.

В 2021 году в ЮФО выработано химической и нефтехимической продукции на сумму 283,1 млрд рублей, что составило всего 5% отраслевой отгрузки, но в регионе активно наращивается производство продукции с высокой добавленной стоимостью, прежде всего резиновых и пластмассовых изделий, доля которых в региональном выпуске продукции химического комплекса близка к 40%.

На рисунке 8 представлена структура размещения химических

производств в ЮФО по субъектам и видам экономической деятельности.

Из приведенного следует, что основной производственный потенциал ЮФО по выпуску химической продукции сосредоточен в Волгоградской области (почти половина регионального производства продукции химического комплекса), где размещены такие предприятия, как АО «Каустик», ПАО «Волжский оргсинтез». В Краснодарском крае размещено предприятие компании «ЕвроХим» – ООО «ЕвроХим-Белореченские минудобрения». В производстве изделий из пластмасс и резины лидируют предприятия Ростовской области (более 50% в 2021 г.).

Уральский федеральный округ (УФО)

Для развития химического производства в УФО имеются нефть, попутный нефтяной газ, минеральные соли, серный колчедан. В Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах разведаны газовые месторождения.

В УФО в 2021 году отгрузка продукции химического комплекса была на уровне 290,1 млрд руб., что составило порядка 5% отраслевой выработки химической и нефтехимической продукции. Почти 40% отгрузки составили пластмассовые и резиновые изделия, то есть округ в значительной степени ориентирован на выпуск средне- и малотоннажной химической продукции.

На рисунке 9 представлена структура размещения химических производств в УФО по субъектам и видам экономической деятельности.

РИСУНОК 9. Размещение производств химического комплекса по субъектам УФО (по данным за 2021 г.), %

Производство химических веществ и химических продуктов в 2021 году

211,4 млрд руб.



Производство резиновых и пластмассовых изделий в 2021 году

78,7 млрд руб.



Источник: ЕМИСС, 2022

Из приведенного на рисунке 9 очевидно, что основной потенциал химического производства в УФО размещен в Свердловской, Тюменской и Челябинской областях, при этом в Свердловской области превалирует производство пластмассовых и резиновых изделий, в Тюменской области доминирует крупнотоннажное производство химических продуктов.

Среди химических предприятий УФО следует выделить АО «Уралхимпласт», АО «Березниковский содовый завод», ПАО «Уральский завод РТИ», ООО «Полипластик Урал», ООО «Уральский завод лакокрасочных изделий».

Северо-Кавказский федеральный округ

Ресурсно-сырьевая база Северо-Кавказского федерального округа – одна из самых богатых в стране. По мнению международных экспертов, по запасам углеводородного сырья район Каспийского бассейна в скором времени может выйти на третье место в мире по добыче энергоресурсов после Ближнего Востока и Сибири. Запасы нефти сосредоточены в Республике Ингушетия и в Чеченской Республике.

Вместе с тем природный ресурс СКФО до настоящего времени используется в недостаточной степени. В 2021 году здесь произведено химической и нефтехимической продукции на сумму 191,5 млрд руб., что составило немногим более 3% отраслевой отгрузки. При этом более чем на 95% производство химических веществ и химической продукции, а также резиновых и пластмассовых изделий сосредоточено в Ставропольском крае. Здесь размещены предприятия крупнейших

российских компаний – АО «МХК «ЕвроХим» (ОАО «Невинномысский Азот») и ПАО «Лукойл» (ООО «Ставролен»). В г. Буйнакске работает ЗАО «Мушарака» – лидер по производству современных полимерных труб.

Дальневосточный федеральный округ (ДФО)

ДФО – самый крупный федеральный округ Российской Федерации (примерно 40% территории страны), но до настоящего времени химическое производство и здесь не имеет масштабы: в 2021 году продукции химического комплекса было отгружено на 40 млрд рублей, то есть всего 0,7% отраслевой отгрузки. Химические производства размещены в Хабаровском и Приморском краях (примерно с одинаковым объемом). Выпускаются минеральные удобрения и продукция, обеспечивающая потребности местных добывающей и перерабатывающих отраслей (кислоты, смолы и др.).

Возникает вопрос: каков вклад продукции химического комплекса в ВВП федеральных округов?

Блиц-анализ размещения химического производства по федеральным округам Российской Федерации показал различия в мощи региональных структур химического комплекса и в степени их вклада в развитие отрасли.

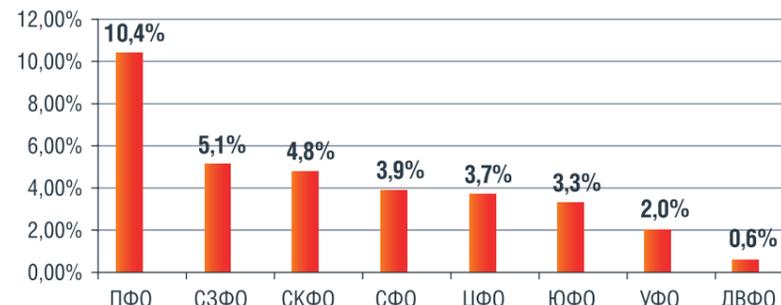
Рисунок 10, на котором представлены доли отгрузок продукции химического комплекса в ВВП федеральных округов, демонстрирует лидерство ПФО по вкладу химического производства в ВВП региона. И это объективно определяется наличием в данном округе всех факторов, способствующих размещению химических и нефтехимических производств.

В Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года (Распоряжение Правительства от 6 июня 2020 г. № 1512-р) приоритетными направлениями развития химического и нефтехимического комплекса являются: техническое перевооружение и модернизация действующих и создание новых экономически эффективных, ресурсо- и энергосберегающих и экологически безопасных химических и нефтехимических производств.

Во исполнение этой Стратегии во всех федеральных округах России ведется строительство целого ряда производств по выпуску широкого ассортимента химической и нефтехимической продукции, среди которых четыре мегапроекта. Их реализация должна существенно укрепить производственный и экспортный потенциал химического комплекса, изменить доли регионов в отгрузках химической и нефтехимической продукции и вклад химического производства в ВВП федеральных округов.

Площадками для размещения мегапроектов выбраны города двух федеральных округов – СЗФО и ДВФО – Усть-Луга (под г. Кингисеппом), Белогорск (Амурская обл.), Находка (Приморский край). Предпосылками для размещения мегапроектов химии и нефтехимии именно в этих районах являются геополитическое расположение (близость к глубоководным морским портам, обеспечивающим выход на рынки зарубежных стран) и возможность поступления сырьевого ресурса – этансодержащего природного газа: в СЗФО – с газовых месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа, в ДВФО – с газовых месторождений Якутии. При этом

РИСУНОК 10. Вклад продукции химического комплекса в ВВП федеральных округов (по данным за 2020 г.)



Источник: Росстат, 2022; ЕМИСС, 2022

для привлечения инвестиций в Усть-Луге и Находке созданы особые экономические зоны промышленно-производственного типа (ОЭЗ «Усть-Луга», ОЭЗ «Находка»), Белогорск получил статус территории опережающего развития.

Как реализуются эти мегапроекты в условиях санкционных ограничений?

Кластер проектов в Кингисеппе (Ленинградская область).

Компания «ЕвроХим» до настоящего времени не включена в санкционные списки, поэтому в новых геополитических условиях работает в обычном режиме: в г. Кингисеппе ведет строительство завода по выпуску порядка 1,5 млн т карбамида (проект «ЕвроХим-Северо-Запад-2») и до 1,7 млн т метанола (проект «ЕвроХим-Северо-Запад-3»). Одновременно начато строительство в г. Усть-Луге терминала для отгрузки производимой продукции на экспорт.

Суммарные инвестиции в кингисеппский кластер оцениваются в 4,4 млрд долл., из них 10% составят затраты на экологические технологии, превышающие действующие российские стандарты.

Проект «Балтийский газохимический комплекс» (БГК).

Проект «Газпрома» и «Русгаздобычи» в г. Усть-Луге включает два завода. Первый – газоперерабатывающий завод мощностью 45 млрд кубометров в год для выпуска 13 млн тонн СПГ, 3,8 млн тонн этановой фракции и 2,4 млн тонн СУГ.

Второй – газохимический комплекс мощностью 3 млн тонн полимеров в год, при этом в основе продуктовой линейки три продуктовые группы полиэтилена – ПЭВП, ЛПЭН и МЛПЭНП (металлоценовый ПЭНП).

Общая стоимость проекта оценивается в 3 трлн рублей, из которых примерно поровну придется на газохимическую и газоперерабатывающую части.

Ввод в эксплуатацию первой очереди проекта намечен на лето 2024 года и часть оборудования уже поставлена. Однако в марте 2022 г. в связи с санкциями ЕС относительно российской экономики немецкая компания Linde, являющаяся одной из немногих компаний в мире, занимающихся оборудованием для крупнотоннажного производства СПГ, вышла из проекта и остановила поставки оборудования. Прекращение поставок уникального оборудования чревато закрытием проекта БГК, поскольку ряд производственных агрегатов, необходимых для газоперерабатывающего завода, пока заменить нечем.

Проект «Амурский газохимический комплекс» (АГХК).

Проект по выпуску 2,3 млн тонн полиэтилена и 400 тыс. тонн полипропилена в г. Белогорске. В финансировании проекта участвуют отечественные и иностранные компании, в том числе СИБУР и крупнейшая корпорация Китая – Sinopec. По предварительным расчетам, на строительство предприятия уйдет четыре года (ввод в 2024 году), а стоимость проекта исчисляется в 10–11 млрд долларов. Проект АГХК уникален по причине включения более 150 цифровых и автоматизированных решений, возможность круглосуточного дистанционного мониторинга и управления большинством технологических блоков, что делает его уникальным в мире.

К февралю 2022 года 1/3 необходимого оборудования была поставлена, но уход

из России немецкой компании Linde, специализирующейся на поставках крупногабаритного тяжеловесового оборудования для газонефтехимических объектов, затормозил строительные работы. В сложившихся условиях СИБУР и Sinopec вынуждены пересмотреть стратегию развития проекта АГХК.

Проект по строительству Находкинского завода по производству минеральных удобрений (НЗМУ).

Проект определяет выпуск 1,7 млн тонн метанола и 3 млн тонн карбамида, ориентированных в основном на поставки в Китай. Проект НЗМУ пробивался с большими трудностями, поскольку 12 лет местное население выступало против строительства химического производства по экологическим мотивам. Протестный процесс усугублялся неприятием строительства на вырубленной площадке жилых помещений для китайских рабочих. Однако НЗМУ доказал экологическую безопасность и работы по его реализации начаты. В августе 2022 года завод получил разрешение на строительство морского терминала для поставок продукции на экспорт.

Какова роль региональных властей в реализации проектов в области химии и нефтехимии?

Региональные власти заинтересованы в размещении на своих территориях высокоприбыльных предприятий, каковыми в большинстве являются предприятия химического комплекса, и за счет разработанных региональных мер поддержки содействуют реализации инновационных проектов.

В условиях санкционных ограничений, введенных относительно российской экономики западными странами, пакет мер поддержки инновационных проектов существенно расширен. Со стороны региональных органов власти – это выделение земельных участков с льготной арендой, предоставление прямого финансирования (невозвратного, венчурного или долевого), субсидии разных видов, государственные гарантии, создание и поддержка промышленной инфраструктуры.

KEYWORDS: petrochemical production, territorial location of chemical enterprises, chemicals, plastics, rubber and technical products.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ:

способы создания и перспективы применения в газохимии



▶ ПРОСЛУШАТЬ СТАТЬЮ

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ НЕРАВНОВЕСНАЯ ПЛАЗМА ПРЕДСТАВЛЯЕТ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРЕС В КАЧЕСТВЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ. ПРОТЕКАНИЕ В НЕЙ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ В БОЛЬШЕЙ СТЕПЕНИ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЭЛЕКТРОНОВ И ПРАКТИЧЕСКИ НЕ ЗАВИСИТ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ САМОГО ГАЗА. ВЫСОКАЯ ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПОЗВОЛЯЕТ ЭФФЕКТИВНО ВОЗБУЖДАТЬ НЕЙТРАЛЬНЫЕ МОЛЕКУЛЫ В ГАЗАХ, ПРИ ЭТОМ РЕАКЦИИ МОГУТ БЫТЬ ОСУЩЕСТВЛЕНЫ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ И АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ. В ДАННОЙ СТАТЬЕ РАССМОТРЕНЫ ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ, ПРИВЕДЕНЫ ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ, А ТАКЖЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕЛЯХ. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ В ГАЗОХИМИИ ДЕЛАЕТ ЕЕ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ. В СТАТЬЕ ДАН ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ТАКИХ КАК: ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА, ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА, СИНТЕЗ АММИАКА И РАЗЛОЖЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА

LOW-TEMPERATURE NONEQUILIBRIUM PLASMA IS OF CONSIDERABLE INTEREST AS AN OBJECT OF RESEARCH. THE COURSE OF CHEMICAL REACTIONS IN IT IS DETERMINED TO A GREATER EXTENT BY THE TEMPERATURE OF THE ELECTRONS AND PRACTICALLY DOES NOT DEPEND ON THE TEMPERATURE OF THE GAS ITSELF. THE HIGH ELECTRON ENERGY MAKES IT POSSIBLE TO EFFICIENTLY EXCITE NEUTRAL MOLECULES IN GASES, WHILE REACTIONS CAN BE CARRIED OUT AT ROOM TEMPERATURE AND ATMOSPHERIC PRESSURE. THIS ARTICLE DISCUSSES THE MAIN METHODS OF CREATING A LOW-TEMPERATURE NONEQUILIBRIUM PLASMA AT ATMOSPHERIC PRESSURE, THEIR ADVANTAGES AND DISADVANTAGES, AS WELL AS APPLICATIONS FOR RESEARCH AND INDUSTRIAL PURPOSES. CURRENTLY, THE POSSIBILITY OF USING LOW-TEMPERATURE PLASMA IN GAS CHEMISTRY MAKES IT AN ATTRACTIVE SUBJECT OF STUDY FOR SCIENTISTS AND RESEARCHERS. THE ARTICLE PROVIDES AN OVERVIEW OF SOME PROMISING PLASMA CHEMICAL PROCESSES, SUCH AS: CARBON DIOXIDE PROCESSING, HYDROGEN-CONTAINING GAS PRODUCTION, AMMONIA SYNTHESIS AND HYDROGEN SULFIDE DECOMPOSITION

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, нетепловая плазма, неравновесная плазма, плазма в плотных газах, газохимия.

Максимова Дарья Вячеславовна
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Карпов Алексей Борисович
старший преподаватель кафедры газохимии РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, магистр

Плазма представляет собой частично или полностью ионизированный квазинейтральный газ. Как правило, выделяют два вида плазмы – равновесная и неравновесная. С точки зрения промышленного применения неравновесная (нетепловая) плазма наиболее интересна. Она характеризуется низкой степенью ионизации, то есть соотношение заряженных и нейтральных частиц очень мало и обычно не превышает 1%. Температура электронов в нетепловой неравновесной плазме значительно выше температуры нейтральных частиц и может достигать 1 млн К, поэтому протекание в ней химических реакций определяется в большей степени температурой электронов и практически не зависит от температуры самого газа.

Области применения неравновесной плазмы довольно разнообразны: медицина, обработка поверхностей полимерных материалов, газоразрядные лампы, плазменные дисплеи, дуговая сварка, очистка отходящих газов химической промышленности и различные газохимические производства, в том числе генерация озона, фиксация азота, получение синтез-газа и водорода и окисление метана до метанола.

Многочисленные уникальные свойства нетепловой плазмы, применимые в химическом производстве, потребовали создания эффективных методов ее генерации и соответствующей аппаратуры. Из-за увеличенной длины пробега молекул в разреженных газах возникновение газового разряда требует меньших затрат энергии, но тогда становится невозможным непрерывное проведение реакции, так как необходимо создавать в реакторе пониженное давление, а затем выгружать продукты. Именно поэтому наиболее актуальными являются разработка и усовершенствование методов, позволяющих создавать плазму при атмосферном или повышенном давлении.

Существует множество способов получения плазмы, каждый из которых генерирует плазму со специфическими свойствами и имеет свои преимущества и недостатки.

Это позволяет выбирать тот или иной метод в зависимости от оптимальных условий проведения конкретного процесса.

Выделяют следующие способы генерации плазмы: генерация в потенциальном поле постоянного тока, генерация в потенциале переменного тока и генерация высокочастотным излучением [1].

Возникновение плазмы от постоянного потенциала осуществляется путем подачи постоянного напряжения на два электрода, при этом разность потенциалов на них должна быть достаточной для ионизации молекул газа, находящегося в межэлектродном пространстве. В зависимости от взаимного расположения и формы электродов, приложенного напряжения и протекающего тока могут возникать коронный, тлеющий и дуговой разряды. Дуговые разряды характеризуются высоким током, низким напряжением и близкими температурами электронов и газовой фазы (порядка 10 тыс. К), что позволяет назвать плазму равновесной и низкотемпературной.

Данный разряд исследовался как способ улучшения горения [1]. Возникающий коронный разряд может быть сосредоточен на аноде (положительная корона) или на катоде (отрицательная корона), именно в этой области большого электрического поля происходит генерация химически активных частиц.

При увеличении тока в покое газе происходит полный пробой, а отрицательная корона переходит в искру, которая является неэффективной из-за малого объема активируемого ею газа. Этот переход можно стабилизировать путем прокачки газа между электродами. В таком случае корона переходит не в искру, а в тлеющий разряд и генерация активных частиц идет по всему плазменному столбу.

Одним из достоинств такого способа создания плазмы является его нечувствительность к содержанию различных примесей в обрабатываемом газе, в частности к концентрации водяных паров. Напротив, повышение содержания влаги приводит к росту напряжения и увеличивает эффективность генерации химически активных частиц.

Положительная корона при увеличении тока переходит в стримерную форму и только затем в искру. Стримеры возникают в хаотичном порядке и ионизируют молекулы газа достаточно равномерно, а токи на острие не превышают несколько сотен микроампер, что делает такой режим привлекательным для проведения в нем плазмохимических реакций [2]. Плазма, генерируемая постоянным током при атмосферном давлении, нашла свое применение в производстве озона, очистке дымовых газов от оксидов серы и азота и для исследования процессов конверсии метана.

Плазма, создаваемая переменным током, более известна как диэлектрический барьерный разряд (ДБР). Микроразряды возникают при приложении тока к электродам, один или оба из которых покрыты диэлектрическим материалом, что позволяет избежать загрязнения продуктов, так как отсутствует контакт между реакционной массой и электродом. Такая сильно неравновесная плазма позволяет генерировать химически активные частицы высокой плотности при умеренной температуре газа.

Для создания ДБР к электродам прикладывается напряжение порядка 10 кВ с частотой от 50 до 10⁵ Гц. Реакторы могут иметь различную геометрию, например тороидальную, с плоскими электродами, однако наибольшее

66.088+533.9.03

распространение получили реакторы цилиндрического типа. Распространенными диэлектриками, используемыми в подобных реакторах, являются кварц, стекло, тефлон, керамика и эмаль [1].

Существенным недостатком данного способа создания плазмы является необходимость охлаждения электродов, а также его чувствительность к влаге, которая может конденсироваться на стенке реактора, растворять в себе различные компоненты реакционной массы с образованием проводников тока, что приводит к локальному разрушению диэлектрического барьера вследствие перехода многочисленных микроразрядов в сильноточный разряд [2].

К преимуществам ДБР можно отнести возможность работы с газами при атмосферном давлении и относительно простое масштабирование до больших размеров, что делает его применимым в промышленных процессах. Самым ярким примером применения такой плазмы является процесс генерации озона из воздуха, разработанный Сименсом в 1857 году. Озон имеет огромное промышленное значение и используется как окисляющий реагент для отбеливания бумаги, очистки масел и для получения различных веществ в лаборатории и промышленности и как дезинфицирующее средство для стерилизации медицинских приборов, обработки одежды и очистки воды и воздуха от микроорганизмов.

На данный момент именно диэлектрический барьерный разряд используется в генераторах озона, промышленные установки заводов позволяют получать 1000 кг/ч при мощности свыше 50 МВт, при этом генерируется озон высоких (до 150 г/м³) и сверхвысоких концентраций (200 г/м³) [3]. Также ДБР применяется для активации жидкостей, в медицине, для модификации поверхностей различных материалов, для осаждения тонких пленок и для очистки выхлопных газов.

Плазма, генерируемая радиочастотным излучением (РЧ), как и ДБР, характеризуется отсутствием контакта между газом и электродами, что является ее несомненным преимуществом.

РЧ-излучение ионизирует газ при низких давлениях (1–1000 Па) и частоте тока в диапазоне 1–100 МГц. Такой вид плазмы может применяться, например, для модификации внутренних поверхностей изделий [1].

Плазма, создаваемая СВЧ излучением, может существовать и при атмосферном давлении. Наиболее часто используется частота 2,45 ГГц. Микроволновая плазма может существовать в широком пределе давлений, а разработанное семейство высокоэффективных СВЧ-плазменных генераторов позволяет выбрать необходимую конструкцию для любого применения. Микроволновая плазма может генерироваться в различных режимах при мощности от нескольких Ватт до сотен кВт. СВЧ плазма применяется для генерации активной среды в газоразрядных лазерах, в источниках света, для восстановления озонового слоя Земли и в плазмохимических процессах [4].

В настоящее время возможность применения неравновесной плазмы в химической технологии представляет для исследователей и ученых особый интерес. Плазма все чаще используется для преобразования газа как в исследовательских, так и в промышленных целях. Значительное внимание уделяется процессам утилизации углекислого газа в связи с его накоплением в атмосфере Земли и, как следствие, отрицательным воздействием на экологию. Превращение CO₂ в топливо и продукты с добавленной стоимостью остается серьезной проблемой, поскольку CO₂ является термодинамически стабильной молекулой и требует значительного количества энергии для ее активации.

Исследователям из ИПФ РАН совместно с исследователями из ННГУ им. Лобачевского удалось разложить CO₂ при атмосферном давлении в неравновесной плазме, поддерживаемой сверхвысокочастотным излучением гиротрона с частотой 24 ГГц и мощностью 5 кВт [5]. При этом наибольшее значение конверсии углекислого газа составило 31 % для смеси CO₂:Ar = 1 : 5 при энергоэффективности 9,5 %. Kim H. et al. в своей работе [6] сообщают, что смогли достичь конверсии

углекислого газа около 36 % при энергоэффективности в 14,7 %, используя гиротрон мощностью 1 кВт с частотой излучения 2,45 ГГц. Такие результаты были получены путем использования охлаждаемого водой закалочного стержня для повышения энергоэффективности процесса и ограничения реакции окисления CO обратно в углекислый газ.

В реакции разложения CO₂ до угарного газа и кислорода (1) применим и диэлектрический барьерный разряд. В обзоре Spoeskx R., Vogaerts A. [7] подробно описаны возможные технологические решения касательно процесса разложения углекислого газа, в том числе с применением плазменного катализа, однако отмечается, что энергоэффективность такого процесса в настоящий момент ставит под сомнение возможность его промышленной реализации, несмотря на простоту масштабирования реакторов подобного типа. Дальнейшее изучение с целью повышения энергоэффективности при высоких конверсиях углекислого газа все еще продолжаются. Исследование влияния различных параметров плазменных реакторов диэлектрического барьерного разряда и упаковки катализатора на протекание реакции разложения CO₂ представлено в работе Y. Uytendhouwen et al. [8], в результате удалось достичь конверсии в 71 %.



Существует множество путей переработки углекислого газа. Для его валоризации уже реализована реакция Сабатье, но у нее есть ряд недостатков, например, спекание катализатора под действием высоких температур. Применение плазмы барьерного диэлектрического разряда для метанирования CO и CO₂ (2 и 3) на катализаторе, содержащем до 10 % масс. Ni, рассмотрено в статье Jwa E. et al [9]. Исследователи сообщают, что лимитирующая стадия распада оксида углерода лучше протекает в адсорбированном состоянии, а воздействие плазмы позволяет значительно ускорить данную стадию, что позволяет достичь более высоких показателей конверсии при более низких

ТАБЛИЦА 1. Основные направления применения низкотемпературной плазмы в газопереработке и газохимии

Процесс	Условия процесса	Конверсия (К), %	Селективность (С), %	Промышленная реализация	Источник
Генерация озона	ДБР; 0,05–20 кГц; 1–30 кВ	н/д	н/д	+	[3]
Разложение диоксида углерода	СВЧ; 2,45 ГГц; 1 кВт; P = 1 атм	(CO ₂) = 36	н/д	–	[6]
	ДБР	(CO ₂) = 23-71	н/д		[8]
Гидрирование диоксида углерода	ДБР, 9,4 кВ; kat на основе Ni; T = 120–360 °C; P = 1 атм	(CO ₂) > 95	н/д		[9]
	ДБР; 10 Вт; kat на основе Co; T = 25 °C; P = 1 атм	(CO ₂) = 74	(CH ₄) = 50 (C ₂₊) = 46	–	[11]
	ДБР; 30 кВ; 9 кГц; kat на основе Cu; T = 30 °C; P = 1 атм	(CO ₂) = 21,2	(CH ₂ OH) = 53,7		[12]
Разложение метана	55 Вт	(CH ₄) = 19,7	(H ₂) = 84	–	[13]
Углекислотная конверсия метана	ДБР, 500 Вт; T = 200 °C; kat на основе LaNiO ₃	(CH ₄) = 88 (CO ₂) = 78	(CO) = 92 (H ₂) = 84	–	[14]
	СВЧ; 2 кВт; 2,45 ГГц; P = 1 атм	(CH ₄) = 96 (CO ₂) = 91	(CO) > 95 (H ₂) > 95		[15]
Пароуглекислотная конверсия метана	Дуговой разряд, 990–1360 В; 80–120 кВт; 50 А; P = 0,2 кПа	(CH ₄) = 90,8–99,8	(CO) = 94,8–97,1 (H ₂) = 80,8–89,0	–	[16]
Синтез аммиака	ДБР; 3,8–6,4 Вт; T = 200–330 °C; P = 1 атм	н/д	н/д	–	[17]
Разложение сероводорода	СВЧ; 500 кВт; 915 МГц, иницирование разряда в атмосфере Ar	н/д	н/д	Опытно-промышленный стенд	[19]

температурах. При использовании плазмы без катализатора было обнаружено, что конверсия CO и CO₂ составляет менее 1 %, это означает, что сама по себе плазма не может превращать оксиды углерода в метан, даже если она способствует каталитическим реакциям. Также отмечена разница в кристаллическом размере Ni до и после метанирования в плазменном каталитическом реакторе. Представленные данные указывают на то, что частицы Ni были более равномерно распределены по материалу носителя после плазменной реакции. Такие наблюдения хорошо согласуются с различными исследованиями, посвященными приготовлению катализатора с использованием плазменной технологии [10].



В своей работе Wang J. et al. [11] исследовали гидрирование CO₂ на катализаторе, содержащем до 15 % масс. Co, а также влияние конфигурации катализатора

на выход продуктов реакции. В результате экспериментов с высокой селективностью (46 %) были получены углеводороды C₂₊, в состав продуктов также входит метан (селективность около 50 %) и угарный газ при конверсии углекислого газа около 74 %.

Стоит отметить, что реакция (4) проводилась при атмосферном давлении, температуре печи 25 °C в ДБР мощностью 10 Вт. Данная работа демонстрирует значительное влияние конфигурации слоя катализатора на плазменно-каталитическое гидрирование CO₂ до высших углеводородов.



Еще одним способом превращения CO₂ в продукт с добавленной стоимостью является его селективное гидрирование до метанола. Протекание данной реакции (5) в плазмохимическом реакторе с катализатором было исследовано в работе Wang L. et al [12]. Сообщается, что при атмосферном давлении и комнатной температуре максимальный выход метанола составил 11,3 %, селективность

по метанолу 53,7 % на катализаторе Cu/γ-Al₂O₃ с конверсией CO₂ 21,2 % в плазменном процессе, в то время как реакция не происходила в условиях окружающей среды без использования плазмы.



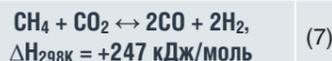
Из метана под воздействием нетепловой плазмы могут быть получены водород и твердый углерод, об этом сообщают в своей работе Raja R. B., Sarathi R., Vinu R [13]. В этом исследовании разработан новый вихревой реактор точечного разряда для прямого превращения метана в водород и твердый углерод (6).

Выход водорода составляет 16 % при конверсии метана около 20 %, селективность по водороду 84 %, также был получен твердый углерод высокой чистоты (96 %).

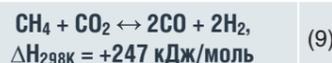


Процесс углекислотной конверсии метана (7) в плазме ДБР с применением различных катализаторов рассмотрен в статье Gao X. et al., приведены

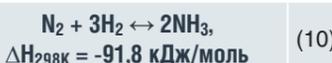
данные касательно конверсии и селективности реакции, а также ее энергоэффективность [14]. В исследовании Sun H. et al. [15] рассмотрен тот же процесс с применением плазмы, генерируемой СВЧ излучением. Были достигнуты конверсии CH_4 и CO_2 96% и 91% при селективности CO и H_2 более 95%.



Получение синтез-газа конверсией метана в плазме водяного пара (8) и углекислого газа (9) было изучено в работе Рутберга Ф.Г. и др. [16], в результате экспериментов исследователями была достигнута высокая степень конверсии метана в синтез-газ (90,8–99,8%) при низком уровне затрат энергии. Полученный синтез-газ состоял более чем на 95% из CO и H_2 с мольным соотношением H_2 : CO равным 2,2–2,4.



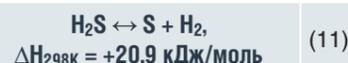
Еще одним перспективным направлением применения неравновесной плазмы в химической технологии является синтез аммиака. В статье Rouwenhorst K. H. R. et al. [17] представлены данные о возможности синтеза аммиака (10) за пределами теплового равновесия с применением катализатора на основе Ru. Исследователи сообщают, что плазмоактивированные молекулярные радикалы N_2 и N увеличивают скорость образования аммиака больше, чем активность катализатора по разложению аммиака. С увеличением мощности плазмы плотность активированных плазмой молекулярных радикалов N_2 и N увеличивается, тем самым увеличивая конверсию за пределами равновесия.



Однако в публикации Riotto T. et al. [18] приведены данные, свидетельствующие о том, что в процессе синтеза аммиака при атмосферном давлении в низкотемпературной плазме

сложно достичь положительного экологического эффекта и что необходимы значительные улучшения эффективности реактора, чтобы он стал экономически конкурентоспособным или привел к снижению воздействия на окружающую среду, так как энергозатраты на разделение продуктов реакции и генерацию плазмы довольно высоки.

Водород является ценным продуктом химической промышленности. Одним из возможных способов его получения является плазмохимический метод переработки сероводорода, содержащегося в природном газе. В Оренбурге была создана [19] опытно-промышленная установка по разложению сероводорода в СВЧ-плазме. Так как водород в H_2S связан значительно слабее, чем в H_2O , данный процесс может быть реализован при сравнительно низких энергозатратах. Опытно-промышленная установка плазмохимического процесса диссоциации сероводородосодержащих газов (11) осуществлена в опытно-технологическом цеху на площадке Оренбургского газоперерабатывающего завода. По полученным данным, энергозатраты составляют 1 кВт·ч на получение 1 м³ водорода и 1,4 кг серы.



Исследования возможностей применения неравновесной плазмы в химической технологии не ограничиваются приведенными в данной работе (таблица 1). Все вышеизложенное позволяет убедиться в необходимости дальнейшего изучения и совершенствования плазмохимических процессов с целью повышения их энергоэффективности и рентабельности, а также выявления закономерностей влияния различных параметров плазменных реакторов на протекание химических реакций. ●

Литература

1. Nizio M. Plasma catalytic process for CO_2 methanation: дис. – Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, 2016.
2. Акишев Ю.С. Низкотемпературная плазма при атмосферном давлении и ее возможности для приложений // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2019. – Т. 62. – № 8. – С. 26–60.

3. Силкин Е. Синтез озона в электрических разрядах и повышение его эффективности. Часть 1 // Компоненты и технологии. – 2008. – № 83. – С. 136–143.
4. Lebedev Y.A. Microwave discharges: generation and diagnostics // Journal of physics: conference series. – IOP Publishing, 2010. – Т. 257. – № 1.
5. Mansfeld D. et al. Conversion of carbon dioxide in microwave plasma torch sustained by gyrotron radiation at frequency of 24 GHz at atmospheric pressure // Journal of CO_2 Utilization. – 2020. – Т. 40.
6. Kim H. et al. Carbon dioxide conversion in an atmospheric pressure microwave plasma reactor: Improving efficiencies by enhancing afterglow quenching // Journal of CO_2 Utilization. – 2020. – Т. 37. – С. 240–247.
7. Snoeckx R., Bogaerts A. Plasma technology – a novel solution for CO_2 conversion? // Chemical Society Reviews. – 2017. – Т. 46. – № 19. – С. 5805–5863.
8. Uytendhouwen Y. et al. How process parameters and packing materials tune chemical equilibrium and kinetics in plasma-based CO_2 conversion // Chemical Engineering Journal. – 2019. – Т. 372. – С. 1253–1264.
9. Jwa E. et al. Plasma-assisted catalytic methanation of CO and CO_2 over Ni-zeolite catalysts // Fuel processing technology. – 2013. – Т. 108. – С. 89–93.
10. Benrabbah R. et al. Plasma DBD activated ceria-zirconia-promoted Ni-catalysts for plasma catalytic CO_2 hydrogenation at low temperature // Catalysis Communications. – 2017. – Т. 89. – С. 73–76.
11. Wang J. et al. One-step plasma-enabled catalytic carbon dioxide hydrogenation to higher hydrocarbons: significance of catalyst-bed configuration // Green Chemistry. – 2021. – Т. 23. – № 4. – С. 1642–1647.
12. Wang L. et al. Atmospheric pressure and room temperature synthesis of methanol through plasma-catalytic hydrogenation of CO_2 // ACS Catalysis. – 2018. – Т. 8. – № 1. – С. 90–100.
13. Raja R. B., Sarathi R., Vinu R. Selective Production of Hydrogen and Solid Carbon via Methane Pyrolysis Using a Swirl-Induced Point-Plane Non-thermal Plasma Reactor // Energy & Fuels. – 2022.
14. Gao X. et al. Recent developments in dielectric barrier discharge plasma-assisted catalytic dry reforming of methane over Ni-based catalysts // Catalysts. – 2021. – Т. 11. – № 4. – С. 455.
15. Sun H., Lee J., Bak M.S. Experiments and modeling of atmospheric pressure microwave plasma reforming of a methane-carbon dioxide mixture // Journal of CO_2 Utilization. – 2021. – Т. 46.
16. Рутберг Ф.Г. и др. Получение синтез-газа конверсией метана в плазме водяного пара и диоксида углерода // Письма в Журнал технической физики. – 2014. – Т. 40. – № 17. – С. 1–10.
17. Rouwenhorst K.H.R. et al. Plasma-catalytic ammonia synthesis beyond thermal equilibrium on Ru-based catalysts in non-thermal plasma // Catalysis science & technology. – 2021. – Т. 11. – № 8. – С. 2834–2843.
18. Riotto T. et al. Atmospheric Pressure DBD Plasma Ammonia Synthesis and Separation Process Design and Environmental Impact Assessment // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. – 2021. – Т. 9. – № 39. – С. 13233–13244.
19. Иванов В.Н. и др. Высокоэффективные плазменные технологии для нефтяной и газовой промышленности // Экспозиция Нефть Газ. – 2010. – № 1. – С. 13–17.

KEYWORDS: low-temperature plasma, non-thermal plasma, nonequilibrium plasma, plasma in dense gases, gas chemistry.



25-я юбилейная международная выставка химической промышленности и науки

ХИМИЯ

КНИМІА



Иновации и современные материалы



Нефтегазохимия



Startup ChemZone



Автоматизация и цифровизация производства



Химмаш. Насосы



Хим-Лаб-Аналит



Зеленая химия



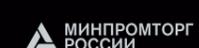
Индустрия пластмасс



Защита от коррозии «КОРРУС»

При поддержке:
 • Министерства промышленности и торговли РФ
 • Российского Союза химиков
 • ОАО «НИИТЭХИМ»
 • Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
 • Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
 • РХТУ им. Д.И. Менделеева

Под патронатом ТПП РФ



Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Организатор



КОНВЕРСИЯ МЕТАНА

с получением ароматических углеводородов

Афанасьев Сергей Васильевич
начальник ОСИС ПАО «Тольяттиазот»,
кандидат химических наук,
доктор технических наук,
доцент по экологии,
академик РАН

В СТАТЬЕ РАССМОТРЕНЫ КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ. ОТМЕЧЕНЫ ГЛАВНЫЕ НЕДОСТАТКИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ. ПОКАЗАНО, ЧТО ПОВЫШЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ПО ЦЕЛЕВЫМ АРОМАТИЧЕСКИМ УГЛЕВОДОРОДАМ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОЙ РАБОТЫ КАТАЛИЗАТОРА МОЖЕТ БЫТЬ ДОСТИГНУТО ОПТИМИЗАЦИЕЙ СОСТАВА КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ПОДДЕРЖАНИЕМ В НЕЙ СОДЕРЖАНИЯ МОЛИБДЕНА В ИНТЕРВАЛЕ 2–12 МАС. % ОТ МАССЫ КАТАЛИЗАТОРА, 0,1–3 МАС. % ПРОМОТОРА, ВЫБРАННОГО ИЗ ГРУППЫ RU, RH, RE, И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТНОГО НОСИТЕЛЯ С ОПРЕДЕЛЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ. НАБЛЮДАЕМОЕ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЕ КОКСООБРАЗОВАНИЕ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК МОЖЕТ БЫТЬ СУЩЕСТВЕННО СНИЖЕНО ПРИСУТСТВИЕМ В ПРИРОДНОМ ГАЗЕ ОДНОГО ИЗ КОМПОНЕНТОВ – ВОДОРОДА, МОНО ИЛИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

THE ARTICLE CONSIDERS CATALYTIC METHODS FOR THE CONVERSION OF NATURAL GAS INTO AROMATIC HYDROCARBONS. THE MAIN SHORTCOMINGS OF THE PROPOSED TECHNOLOGICAL PROCESSES AND WAYS TO ELIMINATE THEM ARE DESCRIBED. IT HAS BEEN SHOWN THAT INCREASING THE SELECTIVITY FOR TARGET AROMATIC HYDROCARBONS AND ENSURING STABLE OPERATION OF THE CATALYST CAN BE ACHIEVED BY OPTIMIZING THE COMPOSITION OF THE CATALYTIC SYSTEM, MAINTAINING THE MOLYBDENUM CONTENT IN IT IN THE RANGE OF 2–12 WT. % BY WEIGHT OF THE CATALYST, 0.1–3 WT. % PROMOTER SELECTED FROM THE GROUP: RU, RH, RE, AND THE USE OF A ZEOLITE CARRIER WITH A CERTAIN SET OF PROPERTIES. THE OBSERVED UNDESIRABLE COKE FORMATION DURING THE IMPLEMENTATION OF THE PROPOSED INNOVATIVE DEVELOPMENTS CAN BE SIGNIFICANTLY REDUCED BY THE PRESENCE OF ONE OF THE COMPONENTS IN NATURAL GAS – HYDROGEN, CARBON MONOXIDE OR CARBON DIOXIDE

Ключевые слова: ароматические углеводороды, конверсия природного газа, катализаторы и их состав, эффективность, регенерация.

Ароматические углеводороды являются важными химическими продуктами массового производства в нефтехимической промышленности. В настоящее время их синтезируют в основном при помощи процессов риформинга нефти и гидрирования пиробензина, в каждом из которых в качестве сырья используют нефть [1].

Наиболее перспективным сырьевым источником их получения рассматривается метан. Объем разведанных мировых запасов природного газа и биогаза ежегодно увеличивается, однако из-за проблем транспортировки большую часть попутного газа, добываемого вместе с нефтью, в особенности в отдаленных местах, сжигают в факеле и направляют в отход. Следовательно, особенно привлекательным методом повышения сортности природного газа является превращение содержащихся в нем алканов в более высокомолекулярные углеводороды, такие как олефины и ароматические соединения, при условии, что могут быть преодолены сопутствующие этому технические трудности [2, 3].

Значительная часть разработанных способов конверсии метана включает его первоначальное превращение в синтез-газ, то есть смесь H_2 и CO . Этот процесс сопряжен с большими капитальными затратами и является энергоемким; следовательно, предпочтительными окажутся пути, которые не требуют традиционной технологии генерирования синтез-газа.

При исследовании неокислительной конверсии метана рядом исследователей были рассмотрены каталитические системы на основе высококремнеземных цеолитов, в присутствии которых целевым продуктом превращения является смесь ароматических углеводородов [4–6]. Однако предложенные для реализации технологии обладают рядом недостатков (низкие стабильность и/или активность катализаторов, сложное и дорогостоящее технологическое оборудование).

Авторы [7] рассматривают более перспективные инновационные решения и предлагают способ комплексной переработки углеводородного газа

ФАКТЫ

450-
600 °C

– температура, при которой газ подвергают ароматизации в присутствии цеолитового катализатора с разделением образующихся ароматических углеводородов и водорода

нестабильного состава без предварительного отделения метана от его гомологов. Газ перед окислительной конверсией в синтез-газ кислородом воздуха и последующими стадиями получения метанола и моторных топлив подвергают ароматизации в присутствии цеолитового катализатора при 450–600 °C с разделением образующихся ароматических углеводородов и водорода.

Недостатком данного инновационного метода является использование цеолита, лишённого дополнительной мезопористой структуры, что затрудняет диффузию активного компонента в его поры и обуславливает снижение каталитической активности.

Принципиально новый подход к совершенствованию процесса ароматизации метана предложен в работах специалистов компании Эксонмобил кемикэл пейтентс инк [8, 9]. В качестве катализаторов был использован молибденсодержащий компонент, приготовленный с применением алюмосиликатного носителя типа MFI, MEL и др., и добавлением связующего, выбранного из группы оксид кремния, оксид титана, оксид циркония, оксид бора. Молибден вводят в количестве 1–20 мас.%. Катализатор также может содержать промотор, входящий в группу W, Zn, Re. Для улучшения доступа активного компонента к внутренней поверхности цеолита и изменения его активности,

носитель подвергают обработке водяным паром, промывают кислотой, щелочью, кремнийсодержащими и фосфорсодержащими соединениями. С целью увеличения теплопроводности и теплоемкости цеолита в состав катализатора также может быть включен инертный наполнитель, выбранный из группы карбид кремния, корунд. Полученные катализаторы были испытаны в широком интервале температур 700–1200 °С, давлении 0,1–10 МПа и скорости подачи метансодержащего газа 0,01–1000 г/(г_{кат}·ч) в одном и нескольких реакторах с неподвижным слоем катализатора, а также в кипящем или подвижном слоях. Регенерацию осуществляли в присутствии кислородсодержащего газа (менее 10 об. % O₂) при температуре 400–700 °С или водородсодержащим газом при 700–1200 °С. Средняя конверсия метана составила 10,5%, селективность по ароматическим углеводородам C₆, C₇, C₁₀ – 65%, выход ароматических углеводородов – 350 г/м³ переработанного сырья за 6 часов работы катализатора.

Для синтеза тяжелых углеводородов в Институте катализа СО РАН рекомендовали к метану добавлять не более 5 мас. % фракции C₃₊, а затем в мультитрадиционной реакторной системе привести ее в контакт с катализатором, включающим металлическую или окисленную платину. Водород, образующийся в ходе рассматриваемого процесса, способствовал улучшению конверсии оксидов углерода в CH₄ и повышал тем самым эффективность апробированной технологии [10].

Эффективность большинства из рассмотренных технических предложений по превращению метана в ароматические углеводороды зависит от качества применяемого природного газа.

Это вызвано тем, что многие его месторождения содержат большие количества, иногда больше 50 %, диоксида углерода. Углекислый газ является не только объектом ужесточения правительственных требований вследствие его потенциальной ответственности за глобальное изменение климата, но, вероятно, экономически запретным оказывается также любой способ, осуществление которого требует выделения из природного газа и утилизации больших количеств диоксида углерода [11]. По указанной причине многие месторождения в настоящее время рассматриваются как экономически безвозвратно утраченные.

Отмеченные негативные моменты должны быть учтены при переработке сложной газовой смеси в бензол, нафталин, ксилолы и водород.

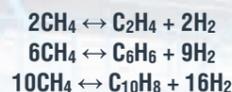
В то же время надо иметь в виду, что для ингибирования коксообразования при дегидроциклизации исходный материал должен содержать по меньшей мере один из компонентов – водород, водяной пар, моноксид углерода и диоксид углерода [12]. В случае необходимости эти добавки вводят в исходную углеводородсодержащую сырьевую смесь.

В перерабатываемом газе, используемом в рассматриваемом процессе, могут присутствовать гомологи метана, а также ароматические углеводороды. Их контакт с поверхностью катализатора проводится в условиях, эффективных для превращения CH₄ в более высокомолекулярные углеводороды, включая образование бензола, ксилолов и нафталина. При этом возможно параллельное протекание следующих реакций:

ФАКТЫ

10,5 %

составила средняя конверсия метана, селективность по ароматическим углеводородам C₆, C₇, C₁₀ – 65%, выход ароматических углеводородов – 350 г/м³ переработанного сырья за 6 часов работы катализатора



Моноксид и/или диоксид углерода, который находится в исходном материале, повышает активность и стабильность катализатора в результате протекания таких реакций, как:



Вместе с тем он негативно влияет на равновесие в результате конверсии метана по уравнению:



Катализаторы, применяемые для превращения метансодержащего газа в ароматические углеводороды, обычно являются бифункциональными: активный компонент выполняет дегидрирующую функцию, а кислотные центры катализатора ответственны за олигомеризацию и циклизацию интермедиатов в ароматические соединения. Добавление промотирующего металла способствует повышению стабильности и активности катализатора. В качестве носителя, по мнению ряда авторов, предпочтительно использовать микропористые цеолиты типа MFI и MEL или носители со сращенной структурой MFI/MEL [13, 14].

В патентных заявках US № 20120123176 A1 и US № 20140073828 A1, описаны составы, применяемые при ароматизации метана, способы их получения и осуществления данного процесса. При этом в роли носителя катализатора выступает цеолит типа MFI с добавлением в качестве связующего 10–30 мас. % неорганического оксида, который выбирают из оксидных соединений алюминия, циркония, титана, иттрия, церия, редкоземельных металлов или их комбинаций. Активным катализаторным компонентом является молибден в количестве 4–15 мас. %. В качестве его прекурсора используют оксалат молибдена, который вводят в цеолит способом пропитки. Процесс ароматизации исходного газа, содержащего 75–100 об. % метана, ведут при температуре 500–850 °С, давлении 0,5–10 МПа с объемной скоростью 100–10000 ч⁻¹. Среднее значение конверсии метана в другие продукты составило 10,3%, селективность по бензолу – 77%, а его выход – 420 г/м³ переработанного метансодержащего газа.

Повышение селективности по целевым ароматическим углеводородам и обеспечение стабильной работы катализатора может быть достигнуто оптимизацией состава каталитической системы, поддержанием в ней содержания молибдена в интервале 2–12 мас. % от массы катализатора, 0,1–3 мас. % промотора, выбранного из группы: Ru, Rh, Re, и использованием цеолитного носителя с определенным комплексом свойств:

- а) крупнокристаллического цеолита типа MFI с наличием в нем вторичной мезопористости с иерархической системой пор, с соотношением Si/Al в диапазоне 7,5–30, площадью поверхности в интервале 352–355 см²/г, объемом микропор 0,12–0,152 см³/г и наличием мезопор объемом 0,055–0,063 см³/г с размером кристаллитов 1–3 мкм;
- б) мелкокристаллического цеолита со сращенной структурой типа MFI/MEL и силанизированной внешней поверхностью, наличием вторичной мезопористости с иерархической системой пор, соотношением Si/Al в диапазоне 7,5–30, площадью поверхности 352–355 см²/г, объемом микропор 0,12–0,152 см³/г и наличием мезопор объемом 0,055–0,063 см³/г с размером кристаллитов 0,1–0,5 мкм.

Твердофазный синтез указанного катализатора осуществляют смешением порошка цеолитного носителя типа MFI или мелкокристаллического цеолита со сращенной структурой типа MFI/MEL с силанизированной внешней поверхностью и наличием вторичной мезопористости с иерархической системой пор с оксидом молибдена (MoO₃), взятого в качестве прекурсора, в течение 1–4 ч с последующим прокаливанием при температуре 400–600 °С в течение 4–8 ч, причем промотор вводят в цеолитный носитель перед или по завершении твердофазного синтеза методом пропитки в течение 3–6 ч с последующим высушиванием при температуре 100–120 °С в течение 8–24 ч и прокаливанием при температуре 400–600 °С в течение 4–8 час.

Способ конверсии метана с получением ароматических углеводородов предусматривает контактирование метансодержащего газа с выше обозначенным катализатором ароматизации метана при температуре 650–800 °С, давлении 0,1–0,5 МПа и объемной скорости подачи метана 1000–4000 ч⁻¹. Процесс проводят в одном или нескольких реакторах с неподвижным слоем катализатора с восстановлением каталитической активности дезактивированного катализатора при температуре 700–900 °С в токе водородсодержащего газа при чередовании циклов синтеза/регенерации длительностью от 2 до 6 ч [14,15].

Эффективность способа конверсии метана оценивают по следующим параметрам: конверсия исходного сырья, выход целевой бензол-толуол-нафталиновой фракции с единицы объема переработанного сырья, селективность по целевым продуктам.

Расчет конверсии метана (KCH₄, %) осуществляют по следующей формуле:

$$K\text{CH}_4 = 100 (F^{\text{вх}} - F^{\text{вых}}) / F^{\text{вх}},$$

где F^{вх} – мольный поток метана на входе в реактор, моль/ч; F^{вых} – мольный поток метана на выходе из реактора, моль/ч.

Представленная средняя конверсия рассчитана за время реализации способа не менее 300 ч.

ФАКТЫ

Эффективность

технических предложений по превращению метана в ароматические углеводороды зависит от качества применяемого природного газа

Катализаторы,

применяемые для превращения метансодержащего газа в ароматические углеводороды, обычно являются бифункциональными

Метилирующий агент

должен включать CO, диоксид углерода, H₂ и метанол

Селективность по ароматическим углеводородам S_{C_x}, %, где x равно 6 для бензола, 7 для толуола и 10 для нафталина, %, рассчитывают по формуле:

$$S_{C_x} = 100 G^{\text{вых}} \cdot X / (F^{\text{вх}} - F^{\text{вых}}),$$

где G^{вых} – мольный поток конкретного продукта C_x на выходе из реактора, моль/ч; x – число атомов углерода в молекуле конкретного соединения.

Общая селективность по целевой бензол-толуол-нафталиновой фракции рассчитывают по формуле:

$$S_{\text{общ}} = S_{C_6} + S_{C_7} + S_{C_{10}}.$$

Выход целевой бензол-толуол-нафталиновой фракции с единицы объема переработанного сырья определяют по уравнению:

$$\text{Выход БТН} = m_{\text{БТН}} \cdot 1000 / V_{\text{мет}},$$

где m_{БТН} – масса бензол-толуол-нафталиновой фракции, г/ч; V_{мет} – количество прореагировавшего метана, л/ч;

$$m_{\text{БТН}} = m_{C_6} + m_{C_7} + m_{C_{10}},$$

где m_{C₆}, m_{C₇}, m_{C₁₀} – масса бензола, толуола и нафталина соответственно, г;

$$V_{\text{CH}_4} = v_{\text{CH}_4} \cdot K_{\text{CH}_4} \cdot 10^{-2},$$

где v_{CH₄} – объемный расход метана, л/ч.

Для исследования влияния состава катализатора на процесс ароматизации авторы [14] использовали смесь 75 об. % метана и 25 об. % диоксида углерода.

Полученные ими экспериментальные данные представлены в таблице 1.

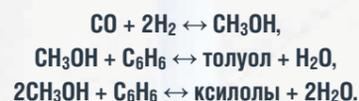
Из нее следует, что состав катализатора, дисперсность его частиц и способ получения определяют эффективность процесса ароматизации метансодержащей газовой смеси, позволяют достигать значений средней конверсии CH₄ не менее 8,1 %, селективности по целевым ароматическим углеводородам не менее 73,7 %, выхода бензол-толуол-нафталиновой фракции с единицы объема переработанного сырья не менее 428 г/м³ и обеспечивают стабильную работу при указанных показателях в течение не менее 300 ч.

Предложенный процесс может быть переоптимизирован на выпуск толуола и ксилолов. Для этого часть бензол-содержащего потока

ТАБЛИЦА 1. Влияние состава катализатора и дисперсности его частиц на ароматизацию метаносодержащего газа

№	Состав катализатора, мас. %	KCH ₄ , %	Выход БТН, г/м ³	S _{общ.} , %
1	Mo – 6,0; Rh – 0,5; цеолит MFI/MEL – остальное. Соотношение Si/Al = 7,5. Размер кристаллитов цеолита составляет 0,1–0,5 мкм	12,6	452	77,8
2	Mo – 8,0; Rh – 1,5; цеолит MFI/MEL – остальное. Соотношение Si/Al = 7,5. Размер кристаллитов цеолита составляет 0,1–0,5 мкм	11,2	454	78,2
3	Mo – 2,0; Rh – 0,1; цеолит MFI – остальное. Соотношение Si/Al = 30. Размер кристаллитов цеолита составляет 1–3 мкм	8,5	428	73,7
4	Mo – 6,0; Rh – 1,0; цеолит MFI/MEL – остальное. Соотношение Si/Al = 15. Размер кристаллитов цеолита составляет 0,1–0,5 мкм	8,1	510	87,8
5	Mo – 12,0; Rh – 3,0; цеолит MFI/MEL – остальное. Соотношение Si/Al = 15. Размер кристаллитов цеолита составляет 0,1–0,5 мкм	9,8	444	76,6
6	Mo – 8,0; Rh – 1,0; цеолит MFI – остальное. Соотношение Si/Al = 15. Размер кристаллитов цеолита составляет 1–3 мкм	8,1	499	85,9
7	Mo – 2,0; Rh – 0,1; цеолит MFI – остальное. Соотношение Si/Al = 7,5. Размер кристаллитов цеолита составляет 1–3 мкм	9,4	434	74,8
8	Mo – 8,0; Rh – 0,5; цеолит MFI/MEL – остальное. Соотношение Si/Al = 7,5. Размер кристаллитов цеолита составляет 0,1–0,5 мкм	11,5	443	76,3
9	Mo – 6,0; Rh – 0,5; цеолит MFI/MEL – остальное. Соотношение Si/Al = 15. Размер кристаллитов цеолита составляет 0,1–0,5 мкм	9,2	471	81,1
10	Mo – 12,0; Rh – 3,0; цеолит MFI/MEL – остальное. Соотношение Si/Al = 30,0. Размер кристаллитов цеолита составляет 0,1–0,5 мкм	8,5	445	76,7

после стадии дегидроциклизации направляют в реактор алкилирования, работающего в условиях протекания параллельных химических реакций:



Таким образом, метилирующий агент должен включать CO, диоксид углерода, H₂ и метанол [15].

Иллюстрацией метода является изобретение Эхсонмобил Кемикэл Пейтентс ИНК (США), в котором поток природного газа, содержащий не менее 25 мас. % диоксида углерода конвертируется на Ni/TiO₂ – катализаторе в метанолсодержащий синтез-газ [13]. Температуру в аппарате поддерживают около 900 °С, давление – 27,6 МПа. Полученная газовая смесь направляется далее в реактор алкилирования с катализатором Cr₂O₃/ZnO на специальном носителе, смешанном с селективированным катализатором PZSM-5. Процесс осуществляют при температуре 500 °С и давлении не более 30 МПа. Получаемая смесь ароматических углеводородов содержит 38 мас. % бензола и 10 мас. % нафталина, 48 мас. % п-ксилола и 4 мас. % других ксилолов. При изменении состава используемого сырья возможна корректировка данных результатов.

Рассмотренные результаты исследований подтверждают перспективность организации промышленного процесса ароматизации природного газа. ●

Литература

- Афанасьев С.В. Процессы и аппараты химической технологии. Учебное пособие для работников химических предприятий и студентов ВУЗов. – Самара: Изд. Сам. научн. центра РАН. 2020. – 407 с.
- Birss V.I., Golezinski M., Galuszka J., Conversion of Methane by oxidative coupling // Catal. Rev. – Sci. Ing. 1990. V. 32 (3). P. 163–227.

- Патент RU № 2508164. Способ приготовления катализатора для получения бензола из метана, катализатор, приготовленный по этому способу, и способ получения бензола из метана с использованием полученного катализатора / Заявка № 2012156144 от 25.12.2012, опублик. 27.02.14. Бюл. № 6.
- Афанасьев С.В., Сергеев С.П. Унифицированный энергосберегающий способ переработки углеводородов в синтез-газ // Neftegaz.RU. Деловой журнал. 2020. № 3. С. 4–10.
- Виниченко Н.В., Голинский Д.В., Заложкина Е.В., Паукштис Е.А., Удрас И.Е., Белый А.С. Совместное превращение метана и n-пентана в неокислительных условиях в присутствии алюмоплатиновых катализаторов с различной кислотностью // Нефтегазохимия. 2017. № 4. С. 41–45.
- Виниченко Н.В., Голинский Д.В., Заложкина Е.В., Паукштис Е.А., Гуляева Т.И., Павлюченко П.Е., Кроль О.В., Белый А.С. Новые данные о способности алюмоплатиновых систем катализировать реакцию ароматизации метана в неокислительных условиях // Кинетика и катализ. 2018. Т. 59. № 3. С. 386–393.
- Патент RU № 2362760. Способ получения ароматических углеводородов, водорода, метанола, моторных топлив и воды из газа нестабильного состава газоконденсатных и нефтяных месторождений и установка для его осуществления / Заявка № 2008104658 от 12.02.2008, опублик. 27.07.09. Бюл. № 21.
- Патент RU № 2491120. Получение ароматических соединений из метана / Заявка № 2010135622 от 22.12.2008, опублик. 27.08.13. Бюл. № 24.
- Патент RU № 2514915. Получение ароматических соединений из метана / Заявка № 2010138646 от 05.02.2009, опублик. 10.05.14. Бюл. № 13.
- Патент RU № 2135441. Способ переработки метана (варианты) / Заявка № 97113155 от 31.07.1997, опублик. 27.08.1999.
- Афанасьев С.В., Волков В.А. Получение диоксида углерода из дымовых газов как способ выполнения Парижского соглашения и интенсификации нефтедобычи // Neftegaz.RU. Деловой журнал. 2021. № 1. С. 52–55.
- Афанасьев С.В., Садовников А.А., Гартман В.Л., Обысов А.В., Дульнев А.В. Промышленный катализ в газохимии. Монография. Под ред. д.т.н. С.В. Афанасьева. – Самара: Изд. СНЦ РАН. 2018. – 160 с.
- Патент RU № 2417974. Получение алкилированных ароматических углеводородов / Заявка № 2007128110 от 02.12.2005, опублик. 10.05.11. Бюл. № 13.
- Патент RU № 2585289. Катализатор ароматизации метана, способ его получения и способ конверсии метана с получением ароматических углеводородов / Заявка № 2015123561 от 18.06.2015, опублик. 27.05.16. Бюл. № 15.
- Афанасьев С.В., Садовников А.А., Гартман В.Л., Обысов А.В., Дульнев А.В. Каталитические процессы в газохимии. Монография. Под ред. д.т.н. Афанасьева С.В. – Самара: Изд. СНЦ РАН. 2021 – 244 с.

KEYWORDS: aromatic hydrocarbons, natural gas conversion, catalysts and their composition, efficiency, regeneration.

США И РОССИЯ СПОРЯТ О ЛИДЕРСТВЕ В UN TECH GROUP

The New York Times

США и Россия борются за контроль над подразделением ООН, устанавливающим стандарты новых технологий в сфере Интернета и средств связи. Соединенные Штаты агитируют голосовать за американского сотрудника Дорин Богдан-Мартин, которая соперничает на этих выборах с Рашидом Исмаиловым, бывшим заместителем министра связи и массовых коммуникаций российского правительства и бывшего руководителя Huawei.



Тот, кто возглавит МСЭ, будет иметь право влиять на правила, по которым разрабатываются новые технологии во всем мире. Некоторые опасаются, что Россия и Китай могут использовать МСЭ, чтобы изменить правила во всемирной сети. В прошлом году эти две страны выступили с совместным заявлением, в котором призвали сохранить «суверенное право государств регулировать национальный сегмент интернета». Они заявили, что подчеркивают «необходимость повышения роли Международного союза электросвязи и усиления представительства двух стран в его руководящих органах».

ПОСТАВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В 2023 ГОДУ СТАНУТ ЕЩЕ БОЛЕЕ ОГРАНИЧЕННЫМИ

INSIDER

Поставки природного газа в следующем году станут еще более ограниченными, поскольку газопровод Nord Stream имеет



дело с явным актом саботажа, заявил глава Международного энергетического агентства Фатих Бироль. Предупреждение Бироля прозвучало в тот момент, когда этой зимой Европа столкнулась с серьезным кризисом энергоснабжения, поскольку потоки российского газа по газопроводу «Северный поток-1» были остановлены. Это привело к тому, что и без того высокие цены на газ взлетели еще выше: голландские фьючерсы TTF, европейский эталон природного газа, выросли на 28,5% вскоре после остановки. «Мы вполне можем увидеть, что рынки СПГ в 2023 году будут довольно узкими, может быть, более узкими, чем в этом году», – сказал Бироль. «Если китайская экономика восстановится... Европе будет трудно привлечь столько СПГ».

АТАКИ НА NORD STREAM ВЫЯВИЛИ УЯЗВИМОСТЬ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ЗАПАДЕ

The Guardian

Страны НАТО изо всех сил пытаются повысить безопасность крайне уязвимых подводных трубопроводов и кабелей связи после того, как нападение на Северный поток в Балтийском море подчеркнуло крайнюю уязвимость Запада. Сообщается о четырех утечках газа на двух газопроводах Nord Stream. Согласно нескольким сообщениям со ссылкой

на европейских официальных лиц, российские суда были замечены вблизи трубопроводов Nord Stream I и II, где они были повреждены, но изучение повреждений может быть невозможно в течение нескольких недель по соображениям безопасности, а доказательства причастности Москвы отсутствуют. В понедельник, до взрывов в «Северном потоке», Норвежское управление по безопасности сообщило о том, что неопознанные беспилотники летали вблизи норвежских морских нефтегазовых буровых установок. Норвегия является основным поставщиком газа в Европу, и ей нужно



патрулировать почти 9000 км трубопровода. Осло обратился за помощью к союзникам по НАТО в патрулировании своей инфраструктуры. Запад особенно уязвим из-за своей зависимости от подводных кабелей, по которым проходит более 90% мирового интернет-трафика. Королевский флот заказал специализированное судно для патрулирования и защиты подводной инфраструктуры с использованием датчиков и автономных подводных дронов. ●

ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

Голубева Ирина Александровна

профессор кафедры газохимии,
д.х.н.

Худяков Денис Сергеевич

доцент кафедры газохимии,
к.т.н.

РГУ нефти и газа (НИУ) имени
И.М. Губкина

АВТОРЫ РАССМАТРИВАЮТ ПРОБЛЕМЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ РОССИИ: УСТАРЕВШЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ, ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА, ОТСУТСТВИЕ ЦЕЛОГО РЯДА ТОВАРОВ ВЫСОКОГО ПЕРЕДЕЛА, ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И УТИЛИЗАЦИИ СЕРЫ, ПРОИЗВОДСТВА И ХРАНЕНИЯ ГЕЛИЯ, А ТАКЖЕ ПРОВОДЯТ АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬСТВА КРУПНОГО АМУРСКОГО ГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

THE PROBLEMS OF OPERATING GAS PROCESSING ENTERPRISES IN RUSSIA ARE CONSIDERED: OUTDATED EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES, PROBLEMS OF TRANSPORT, THE ABSENCE OF A NUMBER OF HIGH VALUE-ADDED GOODS, PROBLEMS OF PRODUCTION AND UTILIZATION OF SULFUR, PRODUCTION AND STORAGE OF HELIUM. THE ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION OF THE AMUR GAS CHEMICAL COMPLEX IS CARRIED OUT

Ключевые слова: газоперерабатывающий завод, проблемы, производство серы, производство и хранение гелия, Амурский газохимический комплекс.

Россия обладает крупнейшими в мире запасами природных газов. Первые заводы по переработке нефтяных газов в России были созданы в 1920-х гг. и их основной целью было отбензинивание газа. В 1930-х гг. в СССР построены газоперерабатывающие заводы для переработки природных и попутных газов в Башкирии, Татарстане и Куйбышевской области, на Северном Кавказе и др. Газопереработка как самостоятельная подотрасль возникла в конце 1960-х и начале 1970-х гг. [1].

В России действует тридцать ГПЗ, которые входят в состав нефтяных и газовых компаний: Газпром, Сибур, Лукойл, Роснефть, Татнефть, Новатэк и др. В этой статье не рассматриваются 8 газоперерабатывающих заводов, принадлежащих компании СИБУР, продукция которых подвергается химической переработке на функционирующих нефтегазохимических предприятиях. В стадии строительства находится крупнейший Амурский ГПЗ.

Для сохранения позиций ведущего производителя энергоресурсов, России нужны азиатские рынки, для этого понадобятся не только трубопроводы, но и мощности по сжижению газа, чтобы поставлять его в более отдаленные страны

К проблемам газопереработки в РФ относятся следующие:

- конкуренция со стороны СПГ из других стран;
- рост добычи сланцевого газа в США;
- стремление Европы к энергонезависимости;
- устаревшее оборудование и технологии;
- проблемы транспорта: замена газопроводов, строительство новых;
- проблемы с компрессорными станциями: установка новых агрегатов, строительство новых компрессорных станций взамен старых, модернизация;
- отсутствие производства целого ряда товаров высоких переделов;
- проблемы производства и утилизации серы;
- проблемы производства и хранения гелия.

ФАКТЫ

30 ГПЗ

действуют сегодня на территории России

456,3

трлн м³ составляют мировые запасы сланцевого газа

Конкуренция со стороны СПГ из других стран

Для сохранения позиций ведущего производителя энергоресурсов, России нужны азиатские рынки, которые сегодня определяют спрос. Для этого понадобятся не только трубопроводы, чтобы напрямую качать газ в Китай и другие страны, но и мощности по его сжижению, чтобы поставлять голубое топливо в более отдаленные страны.

Существует две тенденции, вынуждающие Москву смотреть на восток:

- во-первых, обеспокоенность европейских стран по поводу чрезмерной зависимости от российского газа,
- во-вторых, укрепление позиций США как крупной нефте- и газодобывающей страны.

Процессы производства сжиженного природного газа (СПГ)

Дешевый в добыче газ – важнейшее преимущество российского СПГ [2] Однако необходимо отметить следующее:

- невысокая стоимость газа на рынках Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) для проектов в Арктике, где ожидается основной прирост мощностей;
- отсутствие собственных технологий сжижения и производства, необходимого сопутствующего оборудования;
- значительная часть стоимости экспортируемого СПГ возвращается на зарубежные рынки в виде оплаты за оборудование для его производства;

- возможны новые санкции, которые могут поставить под вопрос даже покупку необходимого оборудования.

Пути решения проблем с СПГ

Основными технологическими решениями проблем производства сжиженных природных газов являются следующие:

- разработка собственных технологий сжижения СПГ или локализация зарубежных решений (иностранные партнеры, с которыми сотрудничают ПАО «Газпром» (Shell) и ПАО «Новатэк» (Linde);
- организация крупнотоннажного экспортного производства на основе собственных линий среднетоннажного сжижения.

Помимо технологических решений, российским компаниям следует присмотреться к новым подходам своих зарубежных конкурентов в области маркетинга, развивать активный собственный трейдинг СПГ. Также необходимы стратегия «создания спроса» и развитие «особых отношений» с потребителями совместно с иностранными партнерами.

Рост добычи сланцевого газа в США

Сланцевый газ (shale gas) состоит из метана с примесями углекислого газа, азота и сероводорода. Его источником являются газоносные сланцы – самая распространенная в мире осадочная порода, поэтому можно считать, что такой газ имеется повсеместно. В настоящее время мировые запасы сланцевого газа оценены в 456,3 трлн м³, при этом ресурс технически извлекаемого сланцевого газа, по последним данным, составляет 200 трлн м³ [3].

Первыми ставку на добычу сланцевого газа сделали США – самые крупные в мире потребители природного газа с ежегодным объемом потребления более 650 млрд м³. На территории Соединенных Штатов пять крупных месторождений газоносных сланцев: Barnett, Haynesville, Fayetteville, Marcellus и Woodford. США активно занимаются разведкой сланцевых месторождений: залежи газоносной породы обнаружены уже в 23 штатах.

Помимо технологических решений российским компаниям следует присмотреться к новым подходам своих зарубежных конкурентов в области маркетинга, развивать активный собственный трейдинг СПГ

Крупными запасами сланцевого газа обладают Канада, Австралия, Индия, Китай, а также некоторые страны Европы – Германия, Польша, Украина, Венгрия, Австрия, которые, как известно, являются импортерами российского природного газа.

За счет применения технологии горизонтального бурения в сочетании с многостадийным

ФАКТЫ

200

трлн м³

– ресурс технически извлекаемого сланцевого газа

3

промышленных робота приходится на 10 000 рабочих в России, в среднем по всему миру – 69

гидроразрывом пласта (фрекинг) удалось извлекать эти углеводороды в больших количествах. В скважину под давлением закачивают смесь воды, песка и химикатов, через возникшие трещины газ поступает в скважину. Приток падает очень быстро: примерно вдвое в течение первого года. Нужно постоянно бурить и делать новые операции по стимулированию.

Проблемы для России могут появиться, только если произойдет экспорт больших объемов сланцевого газа в виде СПГ и/или масштабный опыт добычи сланцевого газа получит распространение в других регионах мира, прежде всего в Европе и Китае.

Устаревшее оборудование и технологии

Большая часть оборудования газоснабжения России была установлена в 70–80-е гг. прошлого века и уже выработала свой ресурс. Часть оборудования в настоящее время не подлежит ремонту, другая – требует постоянных ремонтов. Многие сняты с производства либо не соответствуют действующим нормам и правилам промышленной безопасности.

Правительство поставило задачу полного импортозамещения нефтегазовых подводных добывающих комплексов, а затем и снижения наполовину доли ввозимого из-за рубежа оборудования для освоения российских арктических месторождений нефти и газа.

Автоматизация

В России на 10 000 рабочих приходится три промышленных робота, тогда как в среднем по всему миру – 69, а в странах, лидирующих по уровню цифровизации, – более 100. По доле станков с числовым программным управлением лидируют Китай, Япония и Германия, выпускающие не менее половины этой продукции во всем мире. С отставанием следуют за ними США, Южная Корея, Италия, Тайвань, Швейцария. Россия – в числе отстающих.

Проблемы транспорта

Газовая отрасль России характеризуется не только наличием значительных ресурсов газа, но и высокой степенью их концентрации в отдаленных от потребителей регионах страны, в основном на севере Западной Сибири (75% этих запасов сосредоточено на 21 крупном месторождении). Это обостряет проблему транспортировки газа.

Проблемы с компрессорными станциями

Для решения проблем при проектировании компрессорных станций (КС) необходимо сокращение сроков работ на пять-шесть месяцев и затрат на 10–30%. При строительстве КС с учетом применения типовых решений – сокращение сроков работ на десять месяцев.

При проведении монтажа и пусконаладки газоперекачивающего агрегата (ГПА) – экономия еще как минимум двух месяцев. И это помимо снижения затрат собственно на производство ГПА, сокращения сроков поставки и транспортных расходов.

Все это говорит о том, что унификация газоперекачивающего оборудования полностью оправдана и, соответственно, эта работа будет продолжаться.

Низкий уровень производства товаров высоких переделов

По стратегии развития химической промышленности для решения этой проблемы предусматривается срок до 2030 года:

- снижение доли импорта в структуре потребления продукции химического комплекса глубокой переработки с 46 до 28%;
- увеличение доли экспорта в структуре выпуска продукции глубокой переработки с 21 до 45%.

В этом направлении предусматривается реализация около 200 инвестиционных проектов в химическом комплексе на сумму более триллиона рублей. В настоящее время эта проблема не решена, она обострилась, так как зарубежные компании закрыли свои установки в РФ по химической переработке углеводородных газов.

Проблемы производства и утилизации серы

При очистке углеводородного сырья побочным продуктом является кислый газ, который направляется на получение серы. Более 90% серы производится этим методом, чему способствовало ужесточение экологических требований к выбросам [5, 6].

К данным проблемам можно отнести следующие:

- состав кислого газа;
- пенообразование в абсорбере;
- деструкция аминовых растворов при регенерации, осмоление и загрязнение аминовых растворов;
- коррозия аппаратуры;

ФАКТЫ

70-

80-е гг.

была установлена большая часть оборудования газоснабжения России

- высокие энергозатраты при регенерации аминовых растворов;
- утилизация отработанного аминового раствора;
- низкая конверсия на термической и каталитической стадии процесса Клауса;
- проблемы доочистки хвостовых газов процесса Клауса;
- проблемы при дегазации серы;
- проблема утилизации серы.

Проблемы производства и хранения гелия

В России сконцентрированы 34% всех мировых запасов гелия, это 16,6 млрд м³.

Для создания сверхнизких температур в тысячные доли градуса, кроме гелия, не подходит больше ни одно вещество во Вселенной. Производство гелия в мире сосредоточено на 31 предприятии, 22 из которых расположены в США [7].

В России сконцентрированы 34% всех мировых запасов гелия, это 16,6 млрд м³

Ключевые проблемы развития российской гелиевой промышленности

- Капиталоемкость и энергозатратность криогенных технологий извлечения гелия, НТР гелиевого концентрата.
- Отсутствие отработанных мембранных технологий извлечения гелия для месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока.
- Отсутствие опыта создания подземных хранилищ гелиевого концентрата.
- Отсутствие опыта эксплуатации гелийсодержащих месторождений с обратной закачкой гелиевого концентрата в разрабатываемую залежь.
- Отсутствие криогенных контейнеров-цистерн отечественного производства для транспортировки. Отсутствие жидкого товарного гелия.
- Отсутствие закона РФ, регламентирующего взаимоотношения.

Реализация российских гелиевых проектов

Количество потребляемого гелия – показатель технологического и оборонного развития страны, уровня развития высоких технологий. Потребность в гелии в мире растет, к 2030 г. ожидается удвоение потребления гелия по сравнению с текущим моментом. Гелий Восточной Сибири затребован мировым рынком; с развитием этих месторождений Россия станет глобальным игроком на рынке гелия с долей 40–50 %.

В период до 2030 г. будет реализовано порядка 10 новых гелиевых проектов. Центры производства гелия смещаются из США в другие страны.

Освоение новых сибирских гелиевых проектов должно предусматривать создание крупных подземных хранилищ гелия, разработку энергосберегающей технологии выделения гелия, криогенных контейнеров для хранения и транспортировки.

Необходимо создание нормативной правовой базы, обеспечивающей развитие гелиевой промышленности. Основным рынком сбыта сибирского гелия являются страны АТР, в меньшей степени Европа и США.

Наличие масштабных источников российского гелия способствует развитию новых проектов в областях нанотехнологий, энергетики, медицины на территории России с участием зарубежных партнеров.

Чтобы Россия стала лидером на мировом рынке гелия, необходимо:

- наладить производство транспортных цистерн жидкого гелия отечественного производства и другого криогенного оборудования;
- внедрять отечественную технологию извлечения гелиевого концентрата из газа;
- создавать новые технологии тонкой очистки гелиевого концентрата;
- организовать систему долгосрочного хранения гелиевого концентрата, в том числе создать госрезерв гелия на базе герметичных подземных хранилищ.

Если не принять мер по организации системы отбора и хранения гелия, то в течение 20 лет общие потери гелия могут составить 1,5 млрд м³.

Перспективы производства гелия в России

В настоящее время строится Амурский ГПЗ, в составе которого будут реализованы производства по извлечению, очистке и сжижению гелия мощностью 60 млн м³/год. Установка сжижения гелия ОГ-500 в г. Оренбурге рассматривается в качестве будущего центра подготовки персонала для работы на гелиевом производстве Амурского ГПЗ.

Амурский газоперерабатывающий завод – строящееся предприятие возле города Свободный Амурской области России. Проект принадлежит ПАО Газпром. Плановый срок запуска 2024 год. Снабжение завода природным газом будет осуществляться с осваиваемых Чаяндинского и Ковыктинского месторождений.

ФАКТЫ

1,5

млрд м³

могут составить общие потери гелия в течение 20 лет

У России на сегодняшний день есть все, чтобы стать мировым лидером на рынке гелия. Вопрос в том, сумеет ли государство воспользоваться этими возможностями.

Заключение

Чтобы решить рассмотренные проблемы необходимо:

- Осознать, что санкции – реальность, и использовать это во благо, а именно начать вкладывать в модернизацию всех технологий, разрабатывать новые отечественные технологии.
- Перестать продавать только сырье и продукты низкого передела, получая отдачу здесь и сейчас, а начать производить ценные продукты и получить отдачу позже, но значительно более высокую, быть независимыми от импорта.
- Ставки высоки, нацелившихся на этот рынок много, но успеха добьется тот, кто сможет наиболее эффективно работать и предложить покупателям самые привлекательные условия. В этом залог успеха на международном рынке. ●

Литература

1. Голубева И.А., Мещерин И.В., Родина Е.В. Газоперерабатывающие предприятия России. Монография / Под ред. А.Л. Лалидуса. – СПб: Издательство «Лань» – 2018. – 456 с.
2. Жувакин Д.Ю. Европейский рынок сжиженного природного газа. Нефть, газ и бизнес – 2014. – № 4 – С. 44–47.
3. Гавриленко В.А. Сланцевый газ: мифы и реальность «Neftegaz.RU» – 2012. – № 12.
4. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Состояние, тенденции и перспективы выработки запасов углеводородов из сланцевых отложений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник) 2014. № 4. С. 39–51.
5. Голубева И.А. Газовая сера: ресурсы, производство, мировой рынок серы, проблемы и пути развития. Учебное пособие. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. 2015. – 244 с.
6. Лалидус А.Л., Голубева И.А., Жагфаров Ф.Г. Газохимия: учебник для ВУЗов. М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. 2013. – 405 с.
7. Геско Н.Н. Реализация проекта создания установки сжижения гелия на Оренбургском гелиевом заводе. Газохимия на современном этапе развития. Труды Московского семинара по газохимии. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. 2016. С. 162–173.

KEYWORDS: gas processing plant, problems, sulfur production, helium production and storage, Amur gas chemical complex.

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



Кафедра ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ и КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

готовит специалистов в области математического и компьютерного моделирования, анализа данных, искусственного интеллекта

Основанная в 1970 году, Кафедра бережно хранит высокие стандарты обучения, поэтому ее выпускники являются признанными профессионалами, работают в ведущих научных центрах России и мира, занимают лидирующие позиции в нефтегазовых и IT-компаниях

ОБУЧЕНИЕ ВЕДЕТСЯ В БАКАЛАВРИАТЕ по направлению «Прикладная математика»

Профиль Математическое моделирование в технике и экономике

ОБУЧЕНИЕ ВЕДЕТСЯ В МАГИСТРАТУРЕ по направлениям «Прикладная математика»

Программа Анализ данных и компьютерное моделирование (вечерняя форма обучения)

Программа Математическое моделирование в нефтегазовой отрасли

ОБУЧЕНИЕ ВЕДЕТСЯ В АСПИРАНТУРЕ по специальностям

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

БАЗОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ИЗУЧАЕМЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

- фундаментальные и прикладные разделы современной математики и информатики
- современные методы математического и компьютерного моделирования сложных промышленных комплексов и систем
- анализ данных, машинное обучение и его приложения
- статистические методы обработки массивов данных
- технико-экономические подходы к эффективному управлению и обеспечению надежной работы сложных технических систем



КОНТАКТЫ

119991, г. Москва, Ленинский проспект, дом 65, корпус 2
+7 (499) 507-86-19
pkm@gubkin.ru

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАСЕЛ для компрессоров холодильных машин

Багдасаров Леонид Николаевич

доцент кафедры химии и технологии смазочных материалов и химмотологии, к.т.н.

Семенов Никита Александрович

инженер кафедры химии и технологии смазочных материалов и химмотологии

Тонконогов Борис Петрович

заведующий кафедрой химии и технологии смазочных материалов и химмотологии, д.х.н.

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Одной из динамично развивающихся в настоящее время отраслей химмотологии являются исследования в области физико-химических и эксплуатационных свойств холодильных масел. Это связано с разработкой рецептур новых холодильных масел, пригодных для применения с хладагентами современных классов HFC и HFO. В статье описаны современные методы исследования физико-химических и эксплуатационных свойств масел для компрессоров холодильных машин

ONE OF THE CURRENT DYNAMICALLY DEVELOPING BRANCHES OF CHEMOTOLGY IS RESEARCH IN THE FIELD OF PHYSICOCHEMICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF REFRIGERATION OILS. THIS IS DUE TO THE DEVELOPMENT OF FORMULATIONS OF NEW REFRIGERATION OILS SUITABLE FOR USE WITH REFRIGERANTS OF MODERN HFC AND HFO CLASSES. THE ARTICLE DESCRIBES MODERN METHODS FOR STUDYING THE PHYSICOCHEMICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF OILS FOR REFRIGERATION COMPRESSORS

Ключевые слова: холодильные масла, компрессоры холодильных машин, фреон, конструкционные материалы, химмотология.

УДК 665.765

Основное применение с хладагентами классов HFC и HFO нашли холодильные масла на основе полиалкиленгликолей и сложных эфиров, также производятся холодильные масла на основе поливинилэфиров.

Сложности при исследовании свойств холодильных масел вызваны наличием в системе фреона, смешиваемость и растворимость (или несмешиваемость и нерастворимость) которого с маслом может оказывать влияние на физико-химические и эксплуатационные свойства холодильных масел, следовательно, и на работу компрессоров холодильных систем.

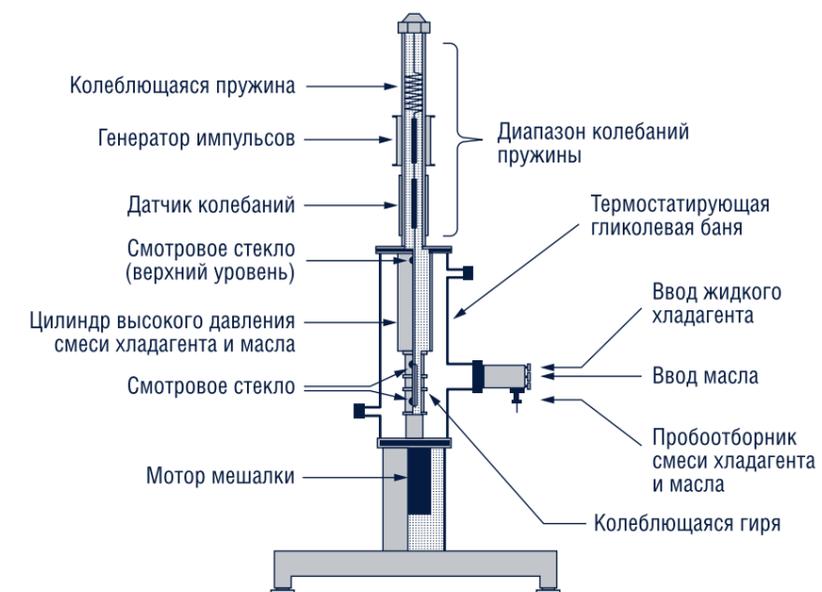
В настоящее время в РФ действует ГОСТ 5546-2021 «Масла для холодильных машин. Технические условия». Данный ГОСТ не отражает изменения, произошедшие в холодильной промышленности и не позволяет адекватно оценить физико-химические и эксплуатационные свойства масел. В соответствии с данным ГОСТом не определяются трибологические характеристики масел, взаимная смешиваемость и растворимость хладагента с маслом, диэлектрические свойства и другие, необходимые для эксплуатации холодильных масел свойства. Это приводит к необходимости рассмотреть методы исследования физико-химических и эксплуатационных свойств холодильных масел, применяемые зарубежными исследователями.

Действующий в РФ ГОСТ 5546-2021 «Масла для холодильных машин. Технические условия» не отражает изменения, произошедшие в холодильной промышленности. Это приводит к необходимости рассмотреть методы исследования физико-химических и эксплуатационных свойств холодильных масел, применяемые зарубежными исследователями

Поведение системы масло-хладагент напрямую зависит от взаимной растворимости компонентов системы.

Растворимость хладагента в масле напрямую зависит от температуры и давления, соответственно свойства смеси различаются в различных секциях холодильной системы.

РИС. 1. Прибор для измерения вязкости и плотности смесей хладагентов и масел по Cavestri



Наиболее заметный эффект изменение концентрации фреона в масле оказывает на вязкость и плотность смеси.

Плотность и вязкость

Для определения плотности смесей хладагента и масла можно использовать формулу:

$$\rho_{см} = \frac{\rho_m \times A}{1 + \omega \left(\frac{\rho_m}{\rho_{хл.} - 1} \right)},$$

где $\rho_{см}$ – плотность смеси; ρ_m – плотность масла при температуре определения; $\rho_{хл.}$ – плотность хладагента при температуре определения; ω – массовая доля хладагента в растворе;

A – коэффициент коррекции, учитывающий межмолекулярные взаимодействия масла и хладагента [1].

Стандартизированная методика для определения вязкостно-плотностных характеристик в настоящее время отсутствует. Следует рассмотреть исследовательские методы,

разработанные Richard C. Cavestri и Jonsson и Höglund [2, 3].

Конструкция прибора, применяемая в методе Cavestri, приведена на рисунке 1.

Система измерения вязкости данного прибора состоит из поплавка на колеблющейся пружине, заключенного в трубку из нержавеющей стали. Поплавок соединен с термостатируемой пружиной и датчиком колебаний и представляет собой стальной цилиндр с сердечником, выполненным из никелевого сплава. При поднесении внешнего электромагнита к поплавку, поплавок начинает колебаться, в дальнейшем замедляясь. Уменьшение амплитуды колебательного процесса описывается синусоидой. Вязкость может быть определена из логарифмического декремента затухания и плотности смеси. Измерение вязкости, плотности и давления насыщенных паров производится при постоянной температуре. Состав жидкой фазы определяется газохроматографическим анализом пробы, отобранной с помощью вакуум-насоса.

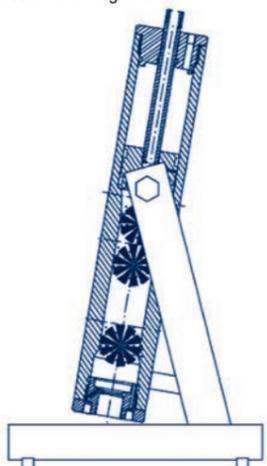
Сходимость измерений для данного прибора составляет для:

- вязкости 0,5 % (при вязкости от 0,4 сСт до 68 сСт) и 1,5 % (при вязкости 500 сСт и выше);
- массовой концентрации хладагента 0,5 %.

Конструкция прибора для измерения вязкости, разработанная Jonsson and Höglund, представляет собой модифицированный вискозиметр Гепплера и отображена на рисунке 2.

Вязкость определяется из времени прохождения 100 миллиметровым шариком внутри трубки, по закону Стокса. На концах трубки смонтированы окошки из сапфирового стекла, на которые установлены фотосенсоры. Вискозиметр также снабжен поршнем для поднятия давления в испытательной трубке выше давления паров хладагента. Объем под поршнем постоянно продувается инертным газом для предотвращения загрязнения испытуемой жидкости. Концентрацию хладагента определяют гравиметрическим способом отбором пробы в капиллярную трубку, с последующим испарением из нее хладагента.

РИС. 2. Прибор для измерения вязкости и плотности смесей хладагентов и масел по Jonsson and Höglund



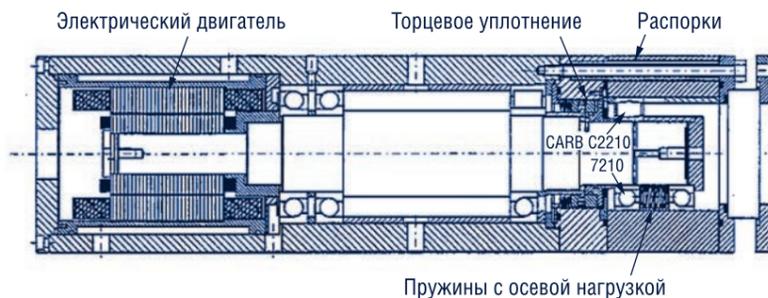
Смазочные характеристики

Смазочные свойства холодильных масел будут зависеть от количества растворенного в них хладагента, поэтому применяются различные конструкции, позволяющие оценить смазочные характеристики в условиях, приближенных к рабочим.

Для измерения влияния содержания хладагента в масле на износ радиально-упорных и роликовых подшипников U. Jonsson был предложен аппарат, изображенный на рисунке 3 [4].

Прибор представляет собой закрытую ячейку, в которую

РИС. 3. Прибор для измерения противозносных характеристик смазочных материалов в смеси с хладагентом по Jonsson



помещен электродвигатель с изменяемой частотой вращения и подшипники. Аксиальная нагрузка на подшипники сообщается при помощи 12 пружин. Радиальная нагрузка сообщается при помощи гидравлического цилиндра. Максимальная прилагаемая аксиальная нагрузка 11,5 кН, максимальная прилагаемая радиальная нагрузка 10 кН. Скорость вращения электродвигателя варьируется от 1500 до 12 000 Гц. Давление в ячейке варьируется от 0,3 до 0,8 МПа. Продолжительность испытания от 168 до 192 часов. Износ подшипников определяется по содержанию частиц металла в масле, а также по состоянию подшипников после испытания оптическими методами.

Также различными исследователями были предложены модификации общепринятых методов, таких как испытание на ЧШМ, испытания на машине Falex и т.д., позволяющие оценить смазочные свойства холодильных масел в присутствии хладагента.

Химическая и термическая стабильность, совместимость с конструкционными материалами

В настоящий момент общепринятым методом для оценки химической и термической стабильности, а также совместимости с конструкционными материалами служит «тест Спаучуса» стандарт ANSI/ASHRAE 97-2007 [5]. Сущность данного метода состоит в выдерживании образцов масла с фреоном в запаянной трубке при температурах от 150 до 200 °С в течение 14 дней в присутствии металлических пластинок катализаторов из стали, меди и алюминия. Термическая и химическая стабильность холодильного масла и фреонов оценивается с помощью методов газовой хроматографии с учетом особенностей, присущих фреонам. Совместимость с конструкционными материалами оценивается

РИС. 4. Заполнение стеклянной трубки хладагентом по стандарту ANSI/ASHRAE 97-2007

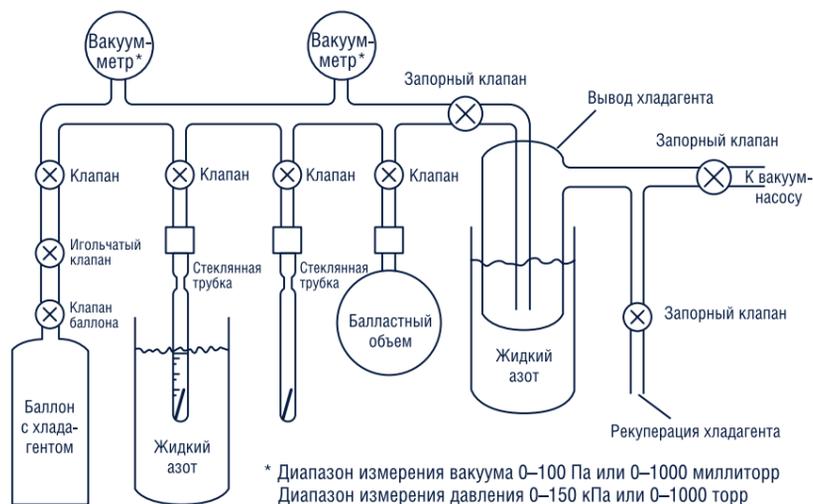
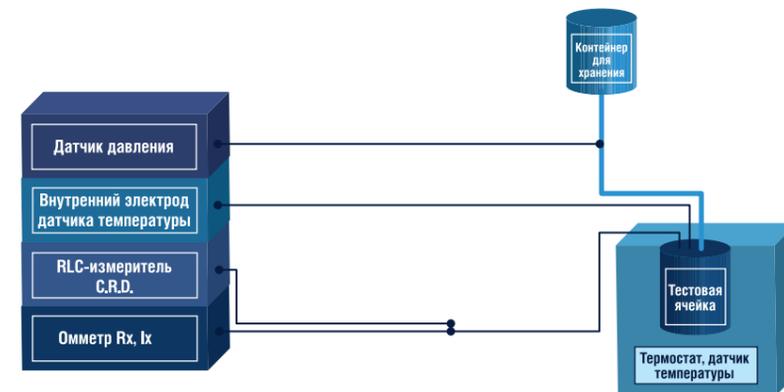


РИС. 5. Схема прибора для определения электрических свойств смесей хладагент-масло



визуальными методами, а также измерением изменений массы и линейных размеров испытуемых образцов материалов. Процесс заполнения стеклянной трубки показан на рисунке 4.

Данный метод позволяет в полной мере оценить химическую и термическую стабильность холодильных масел в присутствии фреона, а также оценить возможность использования конструкционных материалов в холодильных машинах. Также для испытания стабильности смесей хладагентов и фреона применяются методы, основанные на использовании бомб различного строения, которые позволяют оценить свойства смесей при высоких давлениях и температурах.

сопротивление смесей масла с хладагентом в концентрационных пределах от 0 до 100 %, максимальное рабочее давление 80 Бар, температура определения от -30 до +90 °С. Определение электрических характеристик смесей хладагент-масло важно для устранения проблем, которые могут возникнуть при работе электродвигателей герметичных и полугерметичных компрессоров.

Прочие свойства

Другие свойства холодильных масел определяются без присутствия хладагента стандартными методиками. Авторы считают, что следует упомянуть о тех из них, которые могут оказывать влияние на эксплуатацию

Необходимо унифицировать и стандартизировать методы измерения свойств холодильных масел и их смесей с фреоном, а также скоординировать работу различных групп ученых для более глубокого изучения данной области химмотологии

Электрические свойства

Так, подавляющее большинство компрессоров холодильных систем идет в герметичном или полугерметичном исполнении, важным является определение электрических свойств. Наиболее удобным методом определения электрических свойств смесей хладагент-масло является метод, предложенный S. Feja [6]. Схема прибора и конструкция электродов изображена на рисунках 5, 6.

По этому методу определяются диэлектрическая проницаемость и удельное электрическое

сопротивление смесей масла с хладагентом в концентрационных пределах от 0 до 100 %, максимальное рабочее давление 80 Бар, температура определения от -30 до +90 °С. Также важным является снижение содержания воды в холодильных маслах, зарубежные производители масел нормируют данный показатель не более 300 ppm. Определению подлежат

РИС. 6. Внешний вид внутреннего (слева) и внешнего (справа) электродов



температура вспышки в открытом тигле, кислотное число, содержание механических примесей, цветность [7].

Можно отметить отсутствие стандартных методов определения некоторых важных физико-химических и эксплуатационных показателей, а также широкое разнообразие предлагаемых исследовательских методик, большую номенклатуру используемых хладагентов, холодильных масел, типов компрессоров холодильных систем. Данные факты наводят на мысль о необходимости унификации и стандартизации методов измерения свойств холодильных масел и их смесей с фреоном, а также о координации усилий в данной области между различными группами ученых для более глубокого изучения данной области химмотологии. ●

Литература

- Löffler H.J. «Density of oil-refrigerant mixtures», Kältetechnik, Vol. 11, Issue.3, p. 70, 1959.
- Richard C. Cavestri «Measurement of viscosity, density, and gas solubility of refrigerant blends in selected synthetic lubricants. Final report», 1995.
- Jonsson, U. and Höglund, E. «Lubrication of rolling element bearings with HFC-polyol ester mixtures». Accepted for presentation at Nordtrib, Denmark, 1998.
- Jonsson, U.J. and Hansson, N. «Lubrication Limits of Rolling Element Bearings in Refrigeration Compressors», Proceedings of International Compressor Engineering Conference at Purdue, West Lafayette, IN, USA, pp.129–134, 1998.
- ANSI/ASHRAE Standard 97-2007 (RA 2017) – Sealed Glass Tube Method to Test the Chemical Stability of Materials for Use within Refrigerant Systems (ANSI Approved).
- Feja S. «Measurement of electrical properties of refrigerants and refrigerant-oil mixtures», 23rd IIR International Congress of Refrigeration, 2011.
- ASHRAE Handbook of Refrigeration, 2018.

KEYWORDS: refrigerating oils, compressors of refrigerating machines, freon, construction materials, chemmotology.

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАНОЛА в карбамидоформальдегидный концентрат и продукцию на его основе

РАССМОТРЕНЫ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАНОЛА В ШИРОКИЙ АССОРТИМЕНТ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАЛЬДЕГИДСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ, ШИРОКО ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ, В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ, В КАЧЕСТВЕ АНТИПИРЕНОВ, ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ, НЕЙТРАЛИЗАТОРА СЕРОВОДОРОДА В НЕФТИ, НАПОЛНИТЕЛЯ КРАСОК, ГЕЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДАХ

ONE OF THE CURRENT DYNAMICALLY DEVELOPING BRANCHES OF CHEMMOTOLGY IS RESEARCH IN THE FIELD OF PHYSICO-CHEMICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF REFRIGERATION OILS. THIS IS DUE TO THE DEVELOPMENT OF FORMULATIONS OF NEW REFRIGERATION OILS SUITABLE FOR USE WITH REFRIGERANTS OF MODERN HFC AND HFO CLASSES. THE ARTICLE DESCRIBES MODERN METHODS FOR STUDYING THE PHYSICO-CHEMICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF OILS FOR REFRIGERATION COMPRESSORS

Ключевые слова: метанол, окисление в формальдегид, аппаратура процесса, катализ, смолы, антипирены, ингибитор коррозии, гелевые поршни, очистка нефти от сернистых соединений.



Афанасьев Сергей Васильевич
начальник ОСИС ПАО «ТоАЗ»,
доцент по специальности
«Экология»,
академик РАЕН,
к.х.н., д.т.н.

Технологические процессы окисления метанола в формальдегид с применением металлооксидных катализаторов широко известны в нашей стране и за рубежом, например, при синтезе карбамидоформальдегидного концентрата (КФК-85), используемого в качестве антислеживающей добавки к карбамиду, а также в производстве древесностружечных и волокнистых плит.

Впервые в России его технология разработана и внедрена в ПАО «ТоАЗ», что позволило оздоровить экономическую обстановку на десятках предприятий деревообрабатывающей отрасли России, исключить образование сотен тысяч тонн метанол- и формальдегидсодержащих высокотоксичных сточных вод [1].

Основным аппаратом внедренных установок является реактор окислительного дегидрирования метанола в формальдегид. Он имеет уникальную конструкцию

типа теплообменника, где железо-молибденовый катализатор расположен в трубках малого диаметра, а в межтрубном пространстве циркулирует теплоноситель, охлаждающий катализатор и продукты реакции.

Процесс окисления метанола является экзотермическим, то есть сопровождается выделением большого количества тепла. Максимум температуры приходится на среднюю часть контактного аппарата и здесь же находится область максимальной параметрической чувствительности. Соответственно ввод жидкого теплоносителя выгоднее производить именно в центральную часть межтрубного пространства, а вывод осуществлять снизу и сверху.

Данное обстоятельство было учтено при проектировании усовершенствованной конструкции реактора окислительного дегидрирования метанола в формальдегид производительностью не менее 25 тыс. т в год при пересчете на карбамидоформальдегидный концентрат марки КФК-85.

Для достижения требуемых показателей процесса превращения метанола в формальдегид в аппарате установлено около 10 000 трубок с диаметром 25×2 мм, имеющих площадь теплообмена 800 м² [2].

Для аппарата, выведенного на оптимальный режим работы, конверсия метанола в формальдегид превышает 95%.

Получаемый в реакторе газ поступает в абсорбционную колонну для хемосорбции содержащегося в нем формальдегида раствором карбамида [3, 4].

Она представляет собой стальной теплоизолированный аппарат диаметром 2600 мм и высотой 36 740 мм. Внутри нее расположены три тарелки, предназначенные для распределения потоков жидкой фазы, поступающих на насадочные секции.

Разработанные аппараты могут найти применение при синтезе безметанольного формалина в производстве изопрена и других отраслях промышленности. Они отличаются пониженным расходом метанола на единицу производимой продукции, более длительным сроком эксплуатации железо-молибденового и платинового катализаторов и меньшим влиянием на окружающую среду

В качестве насадки использованы кольца Палля из нержавеющей стали, насыпанные в несколько слоев на решетки, приваренные к корпусу. Между насадочными секциями находятся камеры с уровнемерами, предназначенные для поддержания необходимого уровня жидкой фазы по высоте массообменного аппарата.

В колонне имеется тарельчатая зона, состоящая из двенадцати тарелок, на которые осуществляется подача раствора карбамида с концентрацией 50–64% мас. и 6–10%-ного водного раствора щелочного агента.

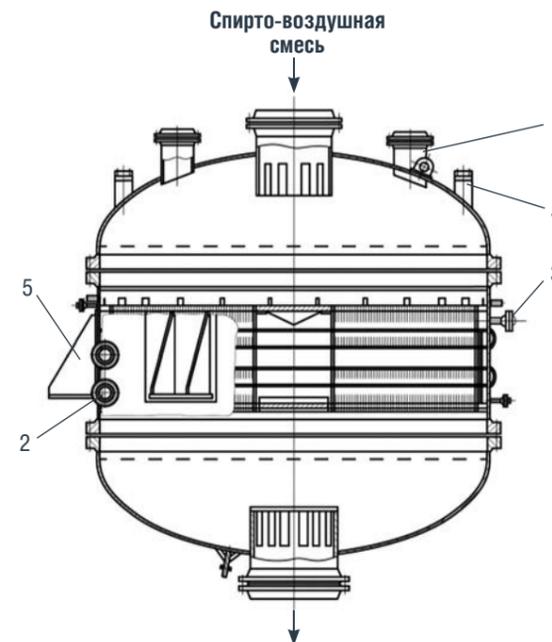
Поддержание необходимой температуры жидкой фазы в насадочных секциях достигается путем циркуляции жидкой фазы через пластинчатые теплообменники с помощью насосов.

Подобная конструкция колонны обеспечивает поддержание в карбамидоформальдегидном концентрате оптимального содержания метилолмочевин и мольного соотношения между ними, а также длительной стабильности продукта при хранении.

Несомненным позитивным шагом в области защиты окружающей среды явилась разработка конструкции каталитического реактора, предназначенного для обеззараживания формальдегидсодержащих газов, выходящих из верха абсорбционной колонны [5].

Он представляет собой стальной теплоизолированный аппарат диаметром 800 мм с расположенными по высоте термодатчиками. В нижней части аппарата приварена решетка, на которую насыпан слой платинового катализатора марки РРt-47 высотой 800 мм, причем в слое катализатора смонтированы шесть U-образных электроподогревателей, размещенных строго симметрично по сечению аппарата. Электроподогреватели выведены на регулятор мощности, включаемый в работу преобразователем сигналов с термодатчиков.

РИС. 1. Реактор окислительного дегидрирования метанола в формальдегид конструкции ПАО «Тольяттиазот»



1 – предохранительная мембрана; 2, 3 – штуцеры ввода теплоносителя; 4 – смотровое окно; 5 – опора

Реакторные трубки заполнены гранулами железо-молибденового катализатора марки КН-26С фирмы Дж. Матти в виде полых цилиндров, содержащих 80% мас. МоО₃ и 20% мас. Fe₂O₃, а верхняя их часть – инертной керамической насадкой (рис. 1).

Жидкий теплоноситель подается в межтрубное пространство четырех зон, расположенных одна над другой, радиально по периферии трубного пучка.

УДК 661.721

Выбранный катализатор представляет сферы диаметром 4,0–6,7 мм из высокопористого оксида алюминия, в котором диспергирована платина в количестве не менее 0,09 % мас. Это обеспечивает пониженное сопротивление реактора потоку газовой смеси, подаваемой на каталитическую очистку.

Разработанные и запатентованные инновационные аппараты отличаются высокой надежностью в эксплуатации и экологически безопасны. Они могут найти применение при синтезе безметанольного формалина в производстве изопрена и других отраслях промышленности. К их достоинствам относятся пониженный расход метанола на единицу производимой продукции, более длительный срок эксплуатации железо-молибденового и платинового катализаторов, ничтожно малое влияние на окружающую среду.

Производимый карбамидоформальдегидный концентрат является сложной композицией из смеси метилломочевин (моно-, ди- и три-) и метиленгликоля. Этот важный момент подтвержден в ходе исследований данного продукта с применением ЯМР-спектроскопии высокого разрешения. На данную тему подготовлен ряд научных статей, размещенных в высокорейтинговых журналах. Что касается формальдегида, то непрореагировавшая с карбамидом часть связывается водой в метиленгликоль [6, 7].

Среди моно-, ди- и триметилломочевин в составе КФК-85 доминируют последние. Все три мономера образуются в результате взаимодействия газообразного формальдегидсодержащего газа и водного раствора карбамида, поступающих в колонну абсорбции.

Параллельно с созданием производства карбамидоформальдегидного концентрата КФК-85 была решена важная задача, а именно, разработка технологии получения широкого ассортимента карбамидоформальдегидных и других смол, используемых для выпуска высококачественной плитной продукции [8, 9], в производстве формовочных смесей для металлургии [10], наполнителя лакокрасочных композиций по ТУ2321-020-00206492-2003 [11].

В числе других направлений использования карбамидоформальдегидного концентрата могут быть названы ниже перечисленные варианты.

Огнезащитные составы для древесины и средства для тушения лесных пожаров

Основным и доступным сырьем для их синтеза выступает полиамин, получаемый взаимодействием карбамидоформальдегидного концентрата и

ТАБЛИЦА 1. Свойства ингибитора коррозии ИКФ-1 по ТУ 2433-022-00206492-03

Температура, °С	Концентрация ИКФ-1, мас. %		Скорость коррозии (×10 ³), мм/год
	МДЭА/ КФК-85	Этанол /N-МП	
Сплав Ст3			
20	0		6,1
	20		2,7
	0,5		1,7
	1,0		0,6
45	0		114,1
	45		1,5
70	0		2300,1
	70		3,3
Сталь 09Г2С			
20	0		4,4
	0,2		2,5
	0,5		1,7
	1,0		0,4
45	0		97,2
	1,0		1,2
70	0		2010,7
	1,0		3,4

аммиачной воды при невысокой температуре [13]. В зависимости от используемого состава антипирены могут использоваться для огнезащиты как деревянных, так и металлических изделий.

Ингибитор коррозии ИКФ-1

Его эффективность представлена в таблице 1.

Согласно проведенным исследованиям с использованием ЯМР-спектроскопии, разработанный продукт является смесью различных аминокислотных соединений, содержащих метиленаминную группу – CH₂NH₂ и уротропин. Это способствует их многоцентричной адсорбции на поверхности металла, а высокое содержание аминных фрагментов обеспечивает достижение высокого антикоррозионного эффекта [14].

Об этом свидетельствуют результаты исследования коррозионной активности карбамидоформальдегидного концентрата КФК-85 на образцах низколегированных сталей в присутствии ингибитора коррозии ИКФ-1 [15].

ТАБЛИЦА 2. Свойства ингибитора коррозии ИКФ-1 по ТУ 2433-022-00206492-03

Композиция	Концентрация ингредиентов, % мас.			ρ, г/см ³	рН	t _{заст.} , °С, не выше
	МДЭА/ КФК-85	Этанол /N-МП	Вода			
Дельта НС-1	37,0/0тс.	0тс./0тс.	63,0	1,088	8,7	-20
Дельта НС-4	22,2/40,0	0тс./10,0	27,8	1,166	8,5	-25
Дельта НС-5	0тс./40,0	60,0/0тс.	–	0,975	7,7	-35

ТАБЛИЦА 3. Свойства ингибитора коррозии ИКФ-1 по ТУ 2433-022-00206492-03

Компонент	Содержание компонентов в гелевых композициях, мас. %						
	Прототип [20]	1	2	3	4	5	6
полиакриламид	8,0	9,1	8,6	8,3	7,8	7,7	7,5
КФК-85	3,0	4,0	6,0	6,5	8,6	8,7	8,3
дизельное топливо	7,0	6,0	5,7	5,5	5,2	5,2	5,0
алюмохромфосфатное связующее	0,002						
карбамид	–	–	–	–	3,9	7,4	8,0
меламин	–	–	–	3,7	2,3	–	–
вода, содержащая 6 мас. % хлорида натрия	остальное						
Свойства гелевых композиций							
сила упругости, Н	0,47	0,56	0,55	0,75	0,73	0,64	0,67
жесткость, Н/м	16,8	20,1	20,8	27,3	26,2	23,1	23,5

Было установлено, что при его дозировке более 1,0 % мас. в расчете на карбамидоформальдегидный концентрат изменение окраски последнего при температуре ниже 45 °С и продолжительном хранении не наблюдается.

Разработанный ингибитор коррозии проявил высокую эффективность и в случае жидкого комплексного удобрения КАС-30.

Компонент для очистки нефтей от сероводорода

На основе карбамидоформальдегидного концентрата и отработанного метилдиэтанолamina (МДЭА) с агрегатов аммиака и метанола создана и успешно апробирована высокоэффективная композиция для нейтрализации сероводорода в нефтях (таблица 2).

В ее состав, наряду с отходом МДЭА, были включены карбамидоформальдегидный концентрат марки КФК-85 и N-метилпирролидон (N-МП).

Выполненные исследования показали, что для нефти с содержанием в ней сероводорода 160 ppm расход наиболее эффективного Дельта НС-4, необходимый для достижения в ней концентрации H₂S в 20 ppm, составляет 1,29 кг/тону нефтепродукта [16]. Это гораздо ниже, чем для известных в отрасли продуктов.

Гелевые поршни для очистки магистральных трубопроводов от отложений

Описанный в [17, 18] универсальный способ успешно апробирован на многочисленных объектах АО «Татнефть».

В дальнейшем он был существенно усовершенствован с целью улучшения физико-механических характеристик получаемых поршней. Указанный результат достигается в результате замены карбамидоформальдегидного концентрата при их изготовлении на водный раствор смолы на его основе.

Регулируя состав композиции, можно добиться улучшения ее характеристик по сравнению с прототипом, что позитивно отражается на удалении различных отложений с внутренней поверхности труб при прохождении по ним гелевого поршня

По данным [19], предлагаемая композиция содержит водорастворимый или частично сшитый полиакриламид, продукт хемосорбции формальдегида водным раствором карбамида, углеводородную жидкость, неорганический сшивающий агент и воду, а также второй амид, в качестве которого выступает карбамид, меламин или их смесь при следующем содержании компонентов, мас. %:

Водорастворимый или частично сшитый полиакриламид	7,0 – 10,0
Углеводородная жидкость	4,0 – 7,0
Продукт хемосорбции формальдегида водным раствором карбамида	2,0 – 9,0
Неорганический сшивающий агент	0,001 – 0,003
Карбамид	3,5 – 8,0
Меламин (при содержании карбамида менее 4 мас. %)	1,0 – 4,0
Вода	остальное

Составы поршней и результаты их исследования приведены в таблице 3.

Регулируя состав композиции, можно добиться существенного улучшения ее упругих рабочих характеристик по сравнению с прототипом, что позитивно отражается на удалении различных отложений с внутренней поверхности труб при прохождении по ним гелевого поршня.

Производство удобрений пролонгированного действия

В отличие от традиционных агрохимикатов, они не вымываются из почвы атмосферными осадками и характеризуются замедленным выделением азота, как сами по себе, так и в комбинации с другими продуктами. Благодаря этому предотвращается попадание связанного азота в водоемы и существенно замедляется процесс цветения воды в жаркую летнюю погоду.

Согласно опубликованным результатам исследований, замена мочевины на карбамидоформальдегидное удобрение пролонгированного действия позволит увеличить сбор кормов суданской травы на 12%, а проса на 6%. Рост урожайности отмечен и для других сельскохозяйственных культур.

Замена мочевины на карбамидоформальдегидное удобрение пролонгированного действия позволяет увеличить сбор кормов суданской травы на 12%, а проса – на 6%

В зависимости от длины молекулярных цепей карбамидоформальдегидных полимеров (КФП) и их разветвленности их гидролитическое расщепление в почве протекает с различной скоростью. Свойства КФП могут быть оценены с использованием химического метода, называемого анализом индекса активности (ИА), рассчитываемого по формуле:

$$IA = (m_{АНХВ} - m_{АНГВ}) * 100 / m_{АНХВ},$$

где $m_{АНХВ}$ и $m_{АНГВ}$ – массовое содержание азотного нерастворимого удобрения в холодной и горячей воде соответственно.

Предложенная авторами [21] технология предусматривает конденсацию карбамида с метилломочевинной композицией в водной среде в присутствии фосфорной кислоты при температуре $(80 \pm 3)^\circ\text{C}$ и $\text{pH } 2,6-3,3$, нейтрализацией полученной суспензии до $\text{pH } (7 \pm 0,3)$ добавлением мела, доломитовой пыли или аммиака водного, с последующей фильтрацией осадка и его сушкой, а также возвращением водного фильтрата для приготовления исходного раствора карбамида, причем в качестве метилломочевинной композиции используется карбамидоформальдегидный концентрат КФК-85, а мольное соотношение карбамид : формальдегид в получаемом азотном удобрении составляет $(2 \div 1) : 1$. Это позволяет оптимизировать величину ИА, то есть добиться желаемого эффекта пролонгации азотного удобрения.

Таким образом, в ходе выполненного исследования показано, что на основе метанола может быть получена широкая гамма инновационных продуктов для различных отраслей хозяйства. ●

Литература

1. Афанасьев С.В., Махлай С.В. Карбамидоформальдегидный концентрат. Технология. Переработка. Монография / Под ред. д.т.н. С.В. Афанасьева – Самара: СНЦ РАН. 212. 298 с.

2. Пат. RU № 40012. МПК В 01 J 8/8. Реактор. № 2004105469. Заявл. 01.03.04, опубл. 27.08.04. Бюл. № 24.
3. Афанасьев С.В. Инновационные аппараты для установок карбамидоформальдегидного концентрата // Химреграты. 2021. № 3 (55). С. 8, 19.
4. Пат. RU № 66224. МПК О J 8/8. Колонна абсорбции. № 2007105725. Заявл. 11.04.07, опубл. 10.09.07. Бюл. № 25.
5. Афанасьев С.В., Садовников А.А., Гартман В.Л., Обысов А.В., Дульнев А.В. Каталитические процессы в газохимии. Монография / Под ред. д.т.н. С.В. Афанасьева. – Самара: СНЦ РАН. 2021. – 244 с.
6. Пат. RU № 214964. МПК С08 G 12/12. Способ получения карбамидоформальдегидного концентрата. № 98103556/04. Заявл. 11.03.98, опубл. 20.12.99. Бюл. № 35.
7. Афанасьев С.В., Садовников А.А., Гартман В.Л. и др. Промышленный катализ в газохимии. Монография / Под ред. д.т.н. С.В. Афанасьева. – Самара: СНЦ РАН. 2018. – 160 с.
8. Пат. RU № 2174523. МПК С 08 G 12/12. Способ получения карбамидоформальдегидной смолы. № 2000108592/04. Заявл. 10.04.2000, опубл. 10.10.2001. Бюл. № 28.
9. Пат. RU № 2215007. МПК С 08 G 12/12. Способ получения модифицированной карбамидомеламиноформальдегидной смолы. № 2002100632/04. Заявл. 16.01.02, 27.10.03. Бюл. № 30.
10. Пат. RU № 226897. МПК С 08 G 8/28, В 22 С 1/22. Способ получения фенолкарбамидофуранового связующего. № 2004117321/04. Заявл. 9.06.2004, опубл. 7.01.2006. Бюл. № 03.
11. Пат. RU № 2250238. МПК В 22 G 12/12; D 21 H 7/47. Способ получения карбамидоформальдегидного наполнителя. № 200312708/04. Заявл. 08.09.2003, опубл. 20.04.2005. Бюл. № 11.
12. Афанасьев С.В., Балакин В.М. Теория и практика огнезащиты древесины и древесных изделий. Монография / Под ред. д.т.н. С.В. Афанасьева. – Самара: 2012. – 138 с.
13. Пат. RU № 2228925, МПК С 07 С 211/13; 209/60. № 2002117274/04. Способ получения полиамины. Заявл. 01.07.2002, опубл. 20.05.2004. Бюл. № 14.
14. Афанасьев С.В., Шевченко Ю.Н., Волков В.А., Соков С.А. Ингибитор формальдегидной и солевой коррозии сталей // Межотраслевой журнал для главных специалистов предприятий «Химическая техника». 2018. № 2. С. 27, 28.
15. Пат. RU № 2231574. МПК С 23 F 11/04; 11/14. Ингибитор формальдегидной коррозии углеродистых сталей. № 2003111818/03. Заявл. 23.04.03, опубл. 27.06.04. Бюл. № 18.
16. Афанасьев С.В., Волков В.А. Вторичное сырье для предприятий нефтехимии // Neftegaz.RU. Деловой журнал. 2020. № 4. С. 88–91.
17. Пат. RU № 2619682. МПК В08В 9/027; В08В 9/053; F17D 1/12. Многофункциональный гелевый поршень для очистки трубопроводов и разделения сред и способ получения его. № 2015124876. Заявл. 24.06.2015, опубл. 17.05.2017. Бюл. № 14.
18. Афанасьев С.В., Волков В.А., Турапин А.Н. Очистка магистральных трубопроводов сложной конфигурации и переменного диаметра от отложений // Neftegaz.RU. Деловой журнал. 2019. № 12. С. 64–67.
19. Пат. RU № 2745191. МПК В08В 9/027; В08В 9/053; С08L 33/26. F17D 1/12. Состав многофункционального гелевого поршня для очистки магистральных трубопроводов от отложений. № 2020123454. Заявл. 08.07.2020, опубл. 22.03.2021. Бюл. № 9.
20. Пат. RU № 2720773, МПК В08В 9/027; В08В 9/053; F17D 1/12. Состав многофункционального гелевого поршня для применения на магистральных трубопроводах. № 2019129765. Заявл. 23.09.2019, опубл. 13.05.2020. Бюл. № 14.
21. Набиуллин Р.Ш., Хузиахметов Р.Х., Сазанов А.В., Афанасьев С.В. Технология производства пролонгированного карбамидоформальдегидного удобрения и оценка его влияния на активность микрофлоры почвы, загрязненной углеводородами // Экология родного края: Проблемы и их решения. Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 1. 26–27 апреля 2022 г. Киров: ВятГУ. 2022. С. 436–441.
22. Пат. RU № 2752942. МПК С05С 9/02. Способ получения удобрения пролонгированного действия. № 2020142604. Заявл. 22.12.2020, опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23.

KEYWORDS: methanol, oxidation to formaldehyde, process equipment, catalysis, resins, flame retardants, corrosion inhibitor, gel pistons, oil purification from sulfur compounds.



SUN SIYAM
RESORTS

ДЛЯ УДИВИТЕЛЬНЫХ ВПЕЧАТЛЕНИЙ



www.sunsiyam.com



РЕКЛАМА

SIYAM
WORLD

SUNSIYAM
IRU FUSHI

SUNSIYAM
IRU VELI

SUNSIYAM
VILU REEF

SUNSIYAM
OLHUVELI

SUNSIYAM
PASIKUDAH

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗОМЕРИЗАЦИИ ГЕПТАНОВОЙ ФРАКЦИИ



▶ ПРОСЛУШАТЬ СТАТЬЮ

Чузлов Вячеслав Алексеевич
доцент ОХИ ИШПР, к.т.н.

Копычева Ульяна Николаевна
аспирант

Национальный исследовательский
Томский политехнический университет

БОЛЕЕ 30 % ПРОДУКЦИИ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ НА ОТЕЧЕСТВЕННОМ РЫНКЕ, ПРИХОДИТСЯ НА ДОЛЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ТОВАРНЫМ БЕНЗИНАМ, ВЫЗЫВАЮТ НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКООКТАНОВЫХ КОМПОНЕНТОВ СМЕШЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ. ТРАДИЦИОННЫМ КОМПОНЕНТОМ СМЕШЕНИЯ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ НПЗ ЯВЛЯЕТСЯ БЕНЗИН КАТАЛИТИЧЕСКОГО РЕФОРМИНГА, СОСТАВЛЯЮЩИЙ ИХ БАЗОВУЮ ОСНОВУ. ОН ОБЛАДАЕТ ОТНОСИТЕЛЬНО ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ, И В ЧАСТНОСТИ БЕНЗОЛА, ЧТО ПРИВОДИТ К НЕОБХОДИМОСТИ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМОМ ПРОИЗВОДСТВА ТОВАРНЫХ БЕНЗИНОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ СТАНДАРТАМ. ПРОЦЕСС ИЗОМЕРИЗАЦИИ ГЕПТАНОВОЙ ФРАКЦИИ ПЕРЕРАБАТЫВАЕТ ФРАКЦИЮ 62–105 °С (70–105 °С) ПРЕИМУЩЕСТВЕННО В РАЗВЕТВЛЕННЫЕ ИЗОМЕРЫ ГЕПТАНА И МЕТИЛЦИКЛОПЕНТАН, ЧТО ПОЗВОЛЯЕТ СНИЗИТЬ СОДЕРЖАНИЕ БЕНЗОЛА В ТОВАРНОМ БЕНЗИНЕ. ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗОМЕРИЗАЦИИ ГЕПТАНОВОЙ ФРАКЦИИ НЕОБХОДИМО СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДАННОГО ПРОЦЕССА, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ РАССЧИТЫВАТЬ СОСТАВ И СВОЙСТВА ИЗОМЕРИЗАТА ДЛЯ РАЗЛИЧНОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО СЫРЬЯ, А ТАКЖЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЦЕССА

MORE THAN 30% OF THE PRODUCTS OF THE PETROCHEMICAL COMPLEX CONSUMED IN THE DOMESTIC MARKET ARE ACCOUNTED FOR BY MOTOR GASOLINE. THE ENVIRONMENTAL STANDARDS FOR COMMERCIAL GASOLINE NECESSITATE THE PRODUCTION OF HIGH-OCTANE MOTOR GASOLINE BLENDING COMPONENTS WITH IMPROVED ENVIRONMENTAL PROPERTIES. THE TRADITIONAL BLENDING COMPONENT FOR DOMESTIC REFINERIES IS CATALYTIC REFORMING GASOLINE, WHICH FORMS THEIR MAIN BASIS. IT HAS A RELATIVELY HIGH CONTENT OF AROMATIC HYDROCARBONS AND, IN PARTICULAR, BENZOLE, WHICH LEADS TO THE NEED TO REDUCE THE PRODUCTION OF COMMERCIAL GASOLINE TO MEET ENVIRONMENTAL STANDARDS. THE HEPTANE FRACTION ISOMERIZATION PROCESS CONVERTS THE 62-105°C (70-105°C) FRACTION MAINLY INTO BRANCHED HEPTANE ISOMERS AND METHYLCYCLOPENTANE, WHICH MAKES IT POSSIBLE TO REDUCE THE BENZOLE CONTENT IN COMMERCIAL GASOLINE. TO ASSESS THE EFFECT OF THE INTRODUCTION OF HEPTANE FRACTION ISOMERIZATION TECHNOLOGY, IT IS NECESSARY TO CREATE A MATHEMATICAL MODEL OF THIS PROCESS, WHICH MAKES IT POSSIBLE TO CALCULATE THE COMPOSITION AND PROPERTIES OF THE ISOMERIZATE FOR VARIOUS HYDROCARBON COMPOSITIONS OF THE PROCESSED RAW MATERIALS, AS WELL AS FOR VARIOUS TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE INDUSTRIAL PROCESS

Ключевые слова: бензин, экологические стандарты, изомеризация гептановой фракции, математическая модель, углеводороды.

Объектом исследования в данной работе является лабораторная установка изомеризации гептановой фракции. Принципиальная схема процесса представлена на рис. 1. Сырьем является прямогонная бензиновая фракция НК-180 °С. Продуктом данного процесса является высокооктановый компонент смешения товарных бензинов, не содержащий ароматических углеводородов [3].

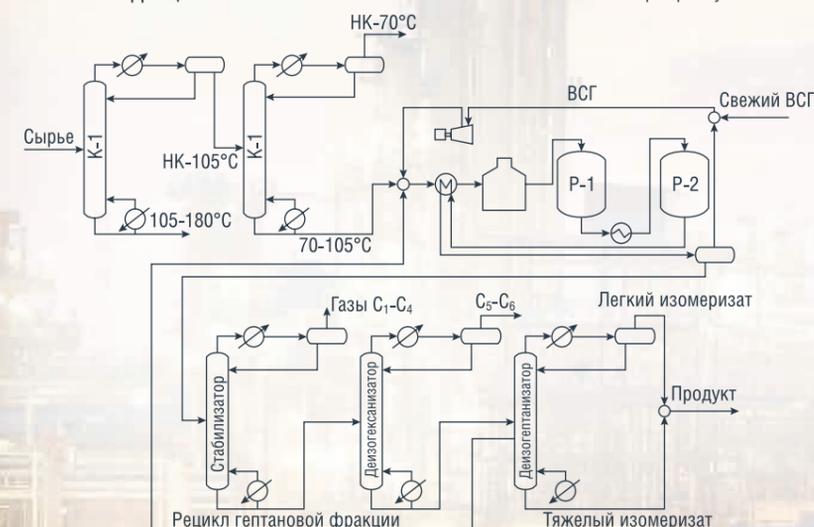
ФАКТЫ Математическая модель

процесса изомеризации гептановой фракции основана на формализованной схеме химических превращений, составленной на основании проведенного термодинамического анализа процесса и данных по пробегу лабораторной установки

Данная схема наиболее полно раскрывает потенциал технологии изомеризации гептановой фракции, при этом октановое число получаемого изомеризата составляет 81–83 пункта.

Предварительно гидроочищенное сырье (рис. 1) поступает на блок ректификации. В колонне К-1 происходит выделение фракции НК-105 °С, которая следует в колонну К-2 для выделения фракций НК-70 °С – сырья процесса изомеризации пентангексановой фракции, и 70–105 °С – сырья процесса изомеризации гептановой фракции. Гептановая фракция подается в тройник смешения с ВСГ и рециклом малоразветвленных гептанов. Смесь нагревается до температуры реакции и поступает в реакторный блок изомеризации. Газопродуктовая смесь после реакторного блока поступает в блок стабилизации для отделения легких углеводородных газов, далее происходит отделение C₅–C₆ фракции и отделение потока малоразветвленных гептанов в колонне-деизогептанизаторе.

РИС. 1. Принципиальная схема процесса изомеризации гептановой фракции



Методы исследования

Основу математической модели процесса изомеризации гептановой фракции составляет формализованная схема химических превращений, составленная на основании проведенного термодинамического анализа процесса, а также данных по пробегу лабораторной установки. Термодинамический анализ включает в себя оценку свободной энергии Гиббса и теплового эффекта каждой реакции, протекающей в процессе изомеризации. Тепловой эффект химических реакций рассчитывался по закону Гесса. Значения изменений энтальпии и свободной энергии Гиббса при 300 К представлены в таблице 1.

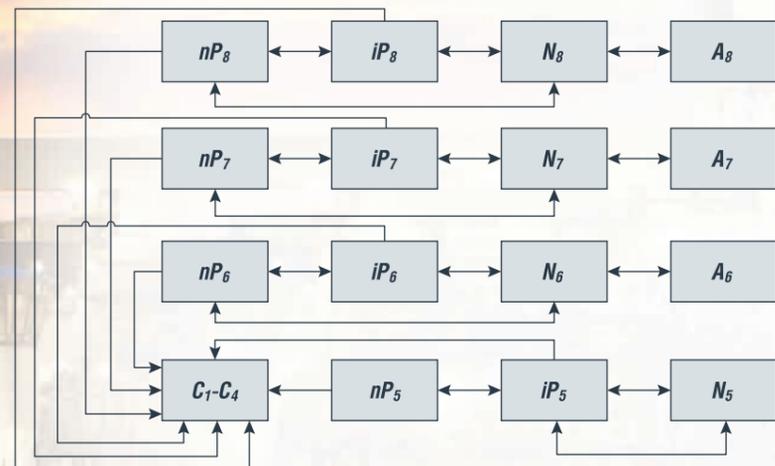
Реакции изомеризации являются слабо экзотермическими и протекают без изменения объема. Низкие температуры благоприятствуют образованию разветвленных алканов с точки зрения термодинамики, однако для таких условий характерны низкие скорости реакции с точки зрения химической кинетики.

Реакции гидрирования нафтеновых углеводородов протекают быстрее при повышенных температурах, в то время как гидрирование ароматических углеводородов протекает быстро и при более мягком температурном режиме.

На основании результатов лабораторных испытаний установки изомеризации гептановой фракции, а также результатов термодинамического анализа была составлена формализованная схема химических превращений, протекающих в данном процессе (рис. 2). Компоненты, участвующие в данной схеме, объединены в группы по схожим физико-химическим свойствам, реакционной способности и термодинамическим характеристикам.

Математическая модель процесса изомеризации гептановой фракции представлена системой дифференциальных уравнений материального

РИС. 2. Формализованная схема превращений процесса изомеризации гептановой фракции



C_1-C_4 – углеводородные газы; nP_5 – парафины C5; iP_5 – изопарафины C5; N_5 – нафтеновые углеводороды C5; nP_6 – нормальные парафины C6; iP_6 – изопарафины C6; N_6 – нафтены C6; A_6 – ароматические углеводороды C6; nP_7 – нормальные парафины C7; iP_7 – изопарафины C7; N_7 – нафтеновые углеводороды C7; A_7 – ароматические углеводороды C7; nP_8 – нормальные парафины C8; iP_8 – изопарафины C8; N_8 – нафтеновые углеводороды C8; A_8 – ароматические углеводороды C8

ТАБЛИЦА 1. Значения энтальпии и энергии Гиббса для основных реакций процесса изомеризации гептановой фракции

Реакция	ΔH , кДж/моль	ΔG , кДж/моль
$nC_6 \rightarrow iC_6$	-9,88	-4,94
$cC_6 + H_2 \rightarrow iC_6$	-62,24	-38,88
$cC_6 + H_2 \rightarrow nC_6$	-52,35	-33,94
$A_6 + 3H_2 \rightarrow cC_6$	-198,20	-95,45
$nC_7 \rightarrow iC_7$	-11,06	-4,27
$cC_7 + H_2 \rightarrow nC_7$	-49,73	-32,57
$cC_7 + H_2 \rightarrow iC_7$	-69,79	-36,84

Примечание: nC_6 – нормальный гексан, iC_6 – изогексан, cC_6 – циклогексан, A_6 – бензол, nC_7 – нормальный гептан, iC_7 – изогептан, cC_7 – нафтены C7

ФАКТЫ

Реакции гидрирования

нафтеновых углеводородов протекают быстрее при повышенных температурах, в то время как гидрирование ароматических углеводородов протекает быстро и при более мягком температурном режиме

и теплового балансов реактора идеального вытеснения. Программная реализация модели выполнена на языке программирования высокого уровня. Кинетические параметры предложенной математической модели были определены решением обратной кинетической задачи. Значения предэкспоненциальных множителей и энергий активации для основных реакций представлены в таблице 2.

Адекватность математической модели процесса изомеризации гептановой фракции была оценена путем сравнения экспериментальных данных по углеводородному составу изомеризата, полученных на лабораторной установке при различных температурах, с расчетными значениями (рис. 3).

По результатам проведенной оценки, абсолютное отклонение расчетных значений состава изомеризата не превышает 5%, что позволяет использовать данную модель для описания процесса изомеризации гептановой фракции.

Результаты и обсуждение

Состав сырья, перерабатываемого в процессе изомеризации, изменяется в достаточно широком диапазоне, что служит причиной корректировок технологического режима работы промышленной установки с целью обеспечения требуемого качества и объема получаемой продукции. Состав низкооктановых потоков, перерабатываемых в процессе изомеризации, зависит от структуры предприятия и качества

перерабатываемой нефти. На рис. 4 представлен групповой состав сырья процесса изомеризации гептановой фракции.

Исследование влияния состава перерабатываемого сырья на качество получаемого изомеризата было проведено при постоянных технологических параметрах процесса (таблица 3) с использованием предложенной математической модели.

На рис. 5 представлены октановые числа изомеризата при различном составе перерабатываемого сырья.

По результатам проведенных исследований, высокое содержание в исходном сырье парафиновых углеводородов C_7-C_8 нормального и изостроения благоприятно сказывается на октановом числе получаемого изомеризата: поток, содержащий более 60% масс. парафиновых углеводородов C_7-C_8 характеризуется максимальным октановым числом 88 пунктов (по исследовательскому методу). Сырье с содержанием ароматических углеводородов более 20% масс. (состав 4 на рис. 5) характеризуется минимальным октановым числом. Конверсия ароматических углеводородов в нафтены в процессе изомеризации гептановой фракции происходит быстро, однако дальнейшее преобразование нафтенов в разветвленные алканы характеризуется низкими скоростями, в сравнении с переходом нафтенов в алканы нормального строения.

Исследование влияния температуры на октановое число и выход изомеризата было проведено с использованием предложенной математической модели процесса для составов 2 и 4. На рис. 6 приведены результаты расчетов.

В сырье 2 содержится более 80% масс. парафиновых углеводородов C_7-C_8 нормального и изостроения, вследствие чего наблюдается более интенсивное снижение выхода изомеризата в сравнении с сырьем 4 при одинаковом повышении температуры. Исходя из этого, для сырья с высоким содержанием парафиновых углеводородов C_7+ не желательно повышать температуру более 200 °C при необходимости максимизации выхода изомеризата. В сырье 4 содержится более 20% масс. ароматических и нафтеновых углеводородов, для их конверсии в разветвленные алканы требуются более высокие температуры, чем для алканов нормального

РИС. 4. Групповой состав сырья процесса изомеризации гептановой фракции

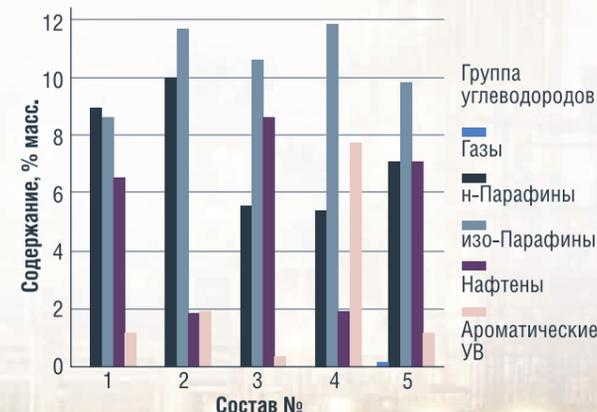


ТАБЛИЦА 2. Кинетические параметры основных реакций изомеризации гептановой фракции

Реакция	Предэкспоненциальный множитель, c^{-1}	Энергия активации, кДж / моль
$nC_5 \rightarrow iC_5$	$2,94 \cdot 10^2$	48,54
$nC_6 \rightarrow iC_6$	$1,83 \cdot 10^7$	84,73
$nC_7 \rightarrow iC_7$	$3,48 \cdot 10^1$	40,25
$nC_8 \rightarrow iC_8$	4,37	15,23

РИС. 3. Оценка адекватности математической модели

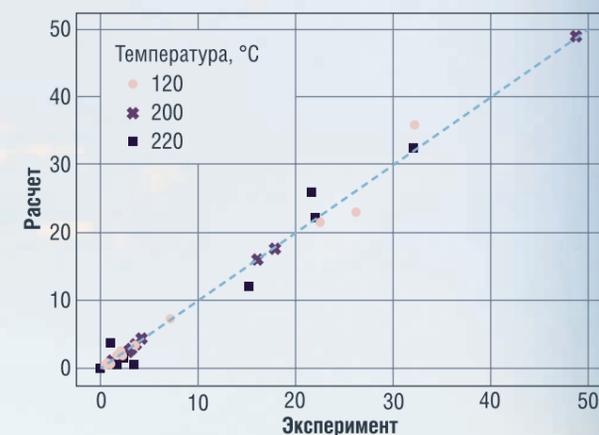


ТАБЛИЦА 3. Технологические параметры процесса изомеризации гептановой фракции

Параметр	Значение
Объемная скорость подачи сырья, $ч^{-1}$	2,5
Температура на входе в реактор, °C	200
Давление на входе в реактор, МПа	2,5
Мольное соотношение H_2/CH	2

РИС. 5. Исследовательское октановое число изомеризата при различном составе перерабатываемого сырья (расчет на модели)

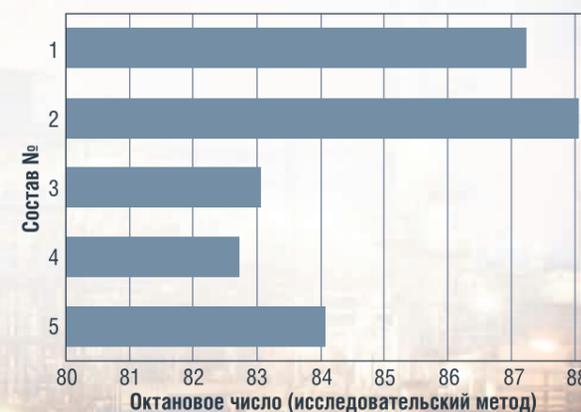


РИС. 6. Выход (А) и октановое число (Б) изомеризата при различной температуре процесса

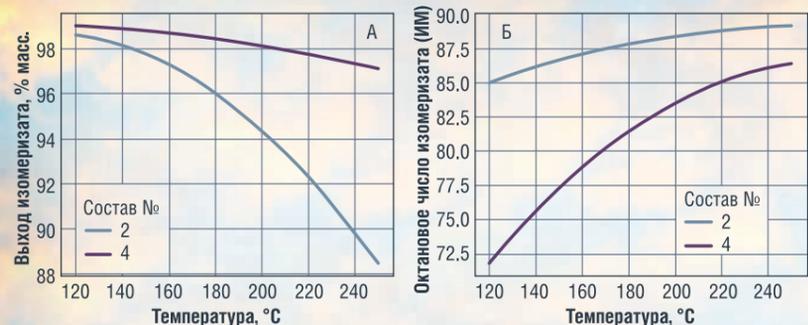


РИС. 7. Выход изомеризата в зависимости от объемной скорости подачи сырья при различной температуре

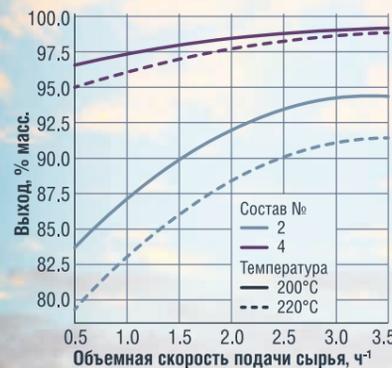


РИС. 8. Октановое число (исследовательский метод) изомеризата в зависимости от объемной скорости подачи сырья при различной температуре



строения. Следовательно, для сырья с подобным составом необходимо поддерживать температуру процесса на уровне 215–220°C.

С использованием предложенной математической модели были проведены исследования влияния объемной скорости подачи сырья на выход и октановые характеристики получаемого изомеризата (рис. 7, 8).

По результатам проведенных исследований, оптимальное значение объемной скорости подачи сырья составляет 2,5 ч⁻¹ при температуре 200°C. При снижении объемной скорости подачи сырья ниже оптимального значения происходит увеличение выхода легких газов.

Повышение объемной скорости подачи сырья при оптимальной температуре процесса (200°C) приводит к снижению времени контакта сырья с поверхностью катализатора и, как следствие, снижению октанового числа изомеризата в силу снижения конверсии исходного сырья в разветвленные изоалканы (рис. 8).

Объемная скорость подачи сырья и температура процесса оказывают антиблатное влияние на конверсию исходного сырья в разветвленные изоалканы. При увеличении объемной скорости подачи сырья на 0,1 ч⁻¹ для обеспечения прежней степени превращения необходимо повысить температуру процесса на 1–1,5°C.

Заключение

В данной работе на основании проведенного термодинамического анализа составлена математическая модель процесса изомеризации гептановой фракции. Предложенная модель

позволяет рассчитывать оптимальные технологические параметры работы установки для достижения требуемых октановых характеристик изомеризата при его заданном выходе в условиях изменения углеводородного состава перерабатываемого сырья.

На основании проведенных исследований разработаны следующие рекомендации по корректировке технологического режима процесса изомеризации в зависимости от качества перерабатываемого сырья:

- При содержании углеводородов C₇₊ более 50% масс. необходимо поддерживать температуру процесса в пределах 185–190°C для снижения вклада побочных реакций гидрокрекинга, при этом выход изомеризата увеличивается на 3–4% масс., а октановое число составляет примерно 87 пунктов по исследовательскому методу.
- Для сырья с содержанием 35–45% масс. углеводородов гексанового ряда требуется увеличение температуры до 210°C с целью увеличения конверсии нормальных алканов C₆ в разветвленные изомеры. Для данного типа сырья повышение температуры процесса приводит к незначительному снижению выхода изомеризата, однако прирост октанового числа составляет примерно 2 пункта по исследовательскому методу.
- Сырье с содержанием 20–25% масс. ароматических и нафтеновых углеводородов требует более высоких температур для протекания реакций превращения нафтенов в разветвленные изоалканы в пределах 215–225°C. ●

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-2911.2022.4

Литература

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учеб. пособие для ВУЗов. – Уфа: Изд. «Гилем», 2002. – 672 с.
2. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Верёвкин А.П., Докучаев Е.С., Малышев Ю.М. Технология, экономика и автоматизация процессов переработки нефти и газа: Учеб. пособие / Под ред. С.А. Ахметова. – М.: «Химия», 2005. – 736 с.
3. Шакун А.Н. Способ изомеризации легких бензиновых фракций, содержащих C₇–C₈ парафиновые углеводороды / А.Н. Шакун, М.Л. Федорова // Патент РФ. – Приоритет от 20.07.2009. – № 2408659.

KEYWORDS: gasoline, environmental standards, heptane fraction isomerization, mathematical model, hydrocarbons.

ФАКТЫ

5%

составляет предел абсолютного отклонения расчетных значений состава изомеризата по результатам проведенной оценки

Состав

низкооктановых потоков, перерабатываемых в процессе изомеризации, зависит от структуры предприятия и качества перерабатываемой нефти



Тендерный КОНСАЛТИНГ

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



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

+7 495 987 18 50 (многоканальный)

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

УМНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ В ПРОЦЕССАХ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ: влияние физических факторов на протекание реакции

Для интенсификации протекания химических реакций и преодоления барьеров активации часто используют дополнительные источники энергии: тепло, свет и давление. Их выбор зависит от способности среды протекания реакции к передаче энергии выбранным способом (например, проникновение света для фотохимии, теплопередача для термически активируемых реакций и т.д.). К менее изученным способам активации можно отнести использование ультразвука, микроволнового излучения, механической силы и электрической энергии (например, электрохимии). Каждый из методов предлагает относительно уникальный механизм активации или передачи энергии. Использование ультразвука в качестве фактора внешнего воздействия для стимуляции реакций полимеризации в последние годы привлекает все большее внимание. В представленной статье описаны фундаментальные процессы, способные привести как к гомолитическому расщеплению полимерных цепей, так и к сонолизу малых молекул растворителя под действием ультразвука. Эти реакции способствуют образованию реакционноспособных радикалов, которые могут быть использованы в радикальной полимеризации с ростом цепи при правильных условиях. В дополнение к химическому воздействию механические эффекты также играют важную роль в полимеризации, индуцированной ультразвуком, поскольку они могут вызывать разрыв молекул образованных полимеров. В статье дается краткий обзор развития радикальной полимеризации с помощью ультразвука, особое внимание уделяется системам, управляемым методами поэтапного высвобождения компонентов, – принципу умных контейнеров

TO INTENSIFY THE BEHAVIOR OF CHEMICAL REACTIONS AND OVERCOME BARRIERS TO ACTIVATION, ADDITIONAL ENERGY SOURCES ARE OFTEN USED: HEAT, LIGHT, AND PRESSURE. THEIR CHOICE DEPENDS ON THE ABILITY OF THE REACTION MEDIUM TO TRANSFER ENERGY IN THE CHOSEN WAY (EG, LIGHT PENETRATION FOR PHOTOCHEMISTRY, HEAT TRANSFER FOR THERMALLY ACTIVATED REACTIONS, ETC.). LESS STUDIED METHODS OF ACTIVATION INCLUDE THE USE OF ULTRASOUND, MICROWAVE RADIATION, MECHANICAL FORCE AND ELECTRICAL ENERGY (FOR EXAMPLE, ELECTROCHEMISTRY). EACH METHOD OFFERS A RELATIVELY UNIQUE MECHANISM FOR ACTIVATING OR TRANSFERRING ENERGY. THE USE OF ULTRASOUND AS AN EXTERNAL INFLUENCE FACTOR FOR STIMULATING POLYMERIZATION REACTIONS HAS ATTRACTED INCREASING ATTENTION IN RECENT YEARS. THIS ARTICLE DESCRIBES THE FUNDAMENTAL PROCESSES THAT CAN LEAD TO BOTH THE HOMOLYTIC CLEAVAGE OF POLYMER CHAINS AND THE SONOLYSIS OF SMALL SOLVENT MOLECULES UNDER THE ACTION OF ULTRASOUND. THESE REACTIONS PROMOTE THE FORMATION OF REACTIVE RADICALS THAT CAN BE USED IN CHAIN-GROWTH RADICAL POLYMERIZATION UNDER THE RIGHT CONDITIONS. IN ADDITION TO CHEMICAL ACTION, MECHANICAL EFFECTS ALSO PLAY AN IMPORTANT ROLE IN ULTRASOUND-INDUCED POLYMERIZATION, AS THEY CAN CAUSE THE MOLECULES OF THE FORMED POLYMERS TO BREAK. THE ARTICLE PROVIDES A BRIEF OVERVIEW OF THE DEVELOPMENT OF ULTRASONIC-ASSISTED RADICAL POLYMERIZATION, WITH PARTICULAR ATTENTION TO SYSTEMS CONTROLLED BY METHODS OF PHASED RELEASE OF COMPONENTS – THE PRINCIPLE OF SMART CONTAINERS

Ключевые слова: ультразвук, микроволновое излучение, полимеризация, ингибитор, высокомолекулярное соединение.

УДК 66.095.26



**Максимов
Антон Львович**
ФГБУН «Институт
нефтехимического синтеза
им. А.В. Топчиева Российской
академии наук», д.х.н.,
профессор, член-корр. РАН



**Антонов
Сергей Вячеславович**
ФГБУН «Институт
нефтехимического синтеза
им. А.В. Топчиева Российской
академии наук», к.х.н.



**Замрий
Анатолий Владимирович**
Межотраслевой экспертно-
аналитический центр Союза
нефтегазопромышленников
России



**Викторова
Наталья Васильевна**
Межотраслевой экспертно-
аналитический центр Союза
нефтегазопромышленников
России



**Алиева
Лейля Азадиевна**
Межотраслевой экспертно-
аналитический центр Союза
нефтегазопромышленников
России



**Безруков
Николай Петрович**
ФГБУН «Институт
нефтехимического синтеза
им. А.В. Топчиева Российской
академии наук»,
младший научный сотрудник



**Кострубова
Ирина Сергеевна**
Межотраслевой экспертно-
аналитический центр Союза
нефтегазопромышленников
России



**Котикова
Екатерина Дмитриевна**
Межотраслевой экспертно-
аналитический центр Союза
нефтегазопромышленников
России

Процесс внедрения УЗИ в химию полимеров имеет долгую историю. Первоначально его использование ограничивалось альтернативным методом инициирования радикальной полимеризации через разложение растворителей с образованием радикалов или деструкцией полимеров, приводящей к образованию макрорадикалов. В последнее время основное направление воздействия УЗИ было сосредоточено на разрыве «слабых» связей в полимерных цепях, что позволяет получать макрорадикалы определенного строения.

В химических реакциях обычно используются различные источники энергии для преодоления активационных барьеров и диссоциации инициаторов. Инициатор может диссоциировать путем термической, фотохимической или окислительно-восстановительной реакции, в результате чего образуются активные свободные радикалы [1]. Вышеупомянутые процессы инициирования имеют недостатки, например, для термического разрушения химического инициатора требуется повышенная температура, фотохимический разрыв генерирует только радикал и только в приповерхностном слое, а для радиолитического используется источник излучения, что, в свою очередь, требует особых мер безопасности. В последние годы растет интерес к использованию альтернативных методов активации реакций полимеризации, особенно в аспекте развития возможностей для точного контроля длины цепи и/или молекулярно-массового распределения (ММР) [2].

В качестве таких альтернативных методов могут выступать воздействие УЗИ, микроволновое излучение (СВЧ), механическое воздействие и электрический ток (в электрохимических процессах) [2, 3, 4, 5].

УЗИ

Среди этих методов одним из наиболее перспективных является ультразвуковое кавитационное воздействие [3]. Ультразвуковая кавитация – образование газовых или паровых пузырьков (полостей) в среде, на которую воздействует УЗИ, а также эффекты, возникающие при их взаимодействии со средой и с акустическим полем. Часть эффектов (разрушение и диспергирование твердых тел, эмульгирование жидкостей) связана с ударами при захлопывании полостей и микропотоками вблизи пузырьков, другие эффекты (ускорение химических реакций) – с образованием промежуточных частиц (ионов и радикалов) при образовании полостей [6]. Ультразвуковые волны дают возможность генерировать чрезвычайно большие локальные области повышенного давления (> 100 МПа) и температуры (> 10 000 К) [6, 7], создавать высокие плотности энергии [4] практически в любой жидкой среде, которая может переносить звуковые волны. Сдвиговые усилия, возникающие при воздействии УЗИ, достаточно сильны, чтобы разорвать ковалентные связи (даже даже связи С-С в основной цепи полимера) [2]. При возникновении таких условий происходит разложение воды, поверхностно-активного вещества, мономеров и олигомеров, вызывая образование радикалов, которые участвуют в иницировании и распространении полимеризации [2, 7–11]. Разрыв макромолекул дает возможность получения различных блок- и привитых сополимеров [3], а также инициирования полимеризации соединений

с двойной связью (или других веществ, способных реагировать с радикалами с образованием макрорадикалов возрастающей длины) [12]. Ультразвук может обеспечить протекание реакций, которые неосуществимы даже в присутствии катализаторов [8], за счет диспергирования частиц катализатора, при этом, однако, также возможно и слипание частиц под действием сил Бьеркнеса [13].

Химические явления, возникающие в результате воздействия ультразвука, могут быть разделены на первичную (химические процессы в газовой фазе, происходящие внутри схлопывающегося пузыря), вторичную (химические процессы в фазе раствора, происходящие вне пузыря) и физическую (химические явления, происходящие в результате действия сильных поперечных сил, возникающих при схлопывании пузыря) сонохимию [14].

На эффективность УЗИ влияют несколько параметров: вязкость раствора, применяемая частота и интенсивность («мощность»), давление пара любого растворенного вещества, однородность/неоднородность раствора, наличие растворенных газов, температура раствора [15]. Основными преимуществами использования УЗИ являются: проведение реакции при более низкой температуре, с более высокой скоростью и с более высоким выходом продуктов [16, 17]. Ультразвуковое воздействие характеризуется многими чертами, присущими «зеленой химии»: использование менее опасных химикатов и растворителей, снижение энергопотребления и повышенная селективность по продукту [17, 18].

Использование УЗИ в полимеризации в массе

Влияние ультразвука на протекание эмульсионной полимеризации рассматривалось во многих литературных источниках. При этом в большинстве случаев основное внимание уделялось протеканию в реакционных системах деструктивных процессов – образования иницирующих радикалов в результате деполимеризации, разложения мономера или диссоциации воды, а также уменьшению размера капель эмульсии.

В ранних источниках сообщалось, что в мономерах, не содержащих воды или растворенного полимера, полимеризация под действием УЗИ не происходила [19, 20, 21]. Однако в последующем возможность иницирования полимеризации действием УЗИ была неоднократно подтверждена. Так, авторами статей [22, 23] было показано, что кавитация во многих безводных органических жидкостях приводит к появлению свободных радикалов, которые могут иницировать полимеризацию. Тщательное изучение иницирования полимеризации с помощью ультразвука в чистом метилметакрилате, проведенное в работе [24], позволило найти доказательства такого иницирования и выявить некоторые возможности и ограничения этой технологии. В данной работе особое внимание уделялось рассмотрению способности акрилатных мономеров полимеризоваться под действием УЗИ.

Первым и наиболее изученным членом гомологического ряда акрилатов является метилметакрилат, полимеризация которого под действием УЗИ может проходить как при добавлении

инициаторов, так и без них. Полимер, получаемый в отсутствие инициатора, не содержит в составе своих молекул функциональных групп химического инициатора, что повышает степень чистоты образующегося продукта [25].

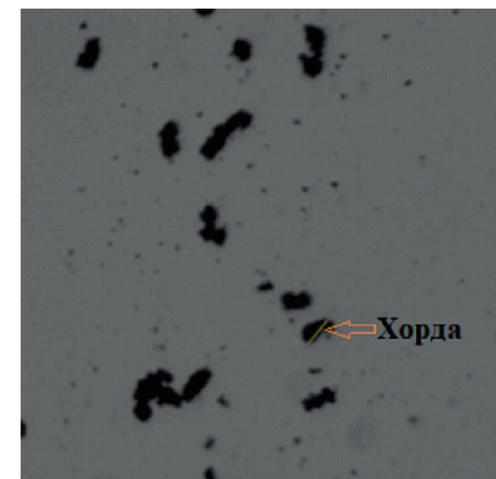
Интенсивность ультразвукового излучения и его частота являются важными факторами, влияющими на процесс полимеризации, иницируемой ультразвуком. В работе [26] исследовалось воздействие ультразвуковых волн низкой интенсивности (0,25 Вт/см²) на объемную полимеризацию метилметакрилата. По результатам экспериментов с обработкой реакционной системы ультразвуковым излучением разных частот (20, 30, 40, 50 кГц) при разном времени обработки (1, 2, 3 часа) было установлено, что скорость реакции полимеризации увеличивалась с уменьшением частоты ультразвука. Однако, когда время обработки увеличили до 3 часов, скорость реакции перестала зависеть от частоты ультразвука, и главным фактором влияния стало время реакции. В других исследованиях было показано, что для данной системы требуется подведение менее интенсивных ультразвуковых волн [26]. Также было показано, что скорость реакции полимеризации при превышении пороговой интенсивности пропорциональна квадратному корню от акустической интенсивности [27, 28]. Численно определенная энергия активации процесса блочной полимеризации метилметакрилата составляет 19,3 ± 0,8 кДж/моль. При интенсивности ультразвука 15,4 ± 0,5 Вт/см² и температуре 25 °С спустя 6 часов достигается конверсия мономера 12%. Однако далее процесс характеризуется прекращением кавитации из-за возрастания вязкости и замедлением полимеризации мономера [29].

Ультразвуковое излучение облегчает формирование свободных радикалов, необходимых для процесса полимеризации в массе мономера метилметакрилата, а также является ключевым фактором начала полимеризации в такого рода реакциях. Без применения ультразвука реакция полимеризации метилметакрилата может начаться, если предварительно ввести в массу азобисизобутиронитрил, температура процесса при этом должна поддерживаться на уровне 70 °С. В отсутствие инициатора таких же скоростей иницирования полимеризации метилметакрилата можно добиться при температуре 25 °С с использованием ультразвука [29].

Экспериментальная часть

Экспериментальная часть, описываемая в текущей статье, посвящена изучению принципиального влияния УЗИ на процессы полимеризации смесей на основе акрилатных мономеров с использованием промышленного инициатора азобисизобутиронитрила, который проявляет свои иницирующие свойства при температуре 70–80 °С. Во всех проводимых экспериментах концентрация инициатора составляла 1% от массы мономера. Первая рабочая установка представляла собой ультразвуковую ванну УЗДН-А (Россия) с баней для поддержания нужной температуры реакции. Рабочая частота генератора и излучателя составила 22 кГц, а максимальная выходная электрическая мощность блока питания на эквиваленте нагрузки – 130 Вт.

РИСУНОК 1. Частицы парамагнетика под ПЭМ



Поскольку в дальнейшем предполагалось использовать реакционные составы в парадигме умных микроконтейнеров, управляемых внешними воздействиями, в часть реакционных смесей добавлялся парамагнитный железистый оксидный наполнитель.

Определение размера частиц производили с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ), используя специальные программные обеспечения с сорокократным увеличением. На рисунке 1 показаны частицы парамагнетика под ПЭМ. За статистическую длину хорды (размер частиц) брали наибольшую длину хорды в заданном направлении.

В таблице 1 приведены результаты расчета распределения частиц по размерам.

РИСУНОК 2. График дифференциальной кривой численного распределения частиц по размерам

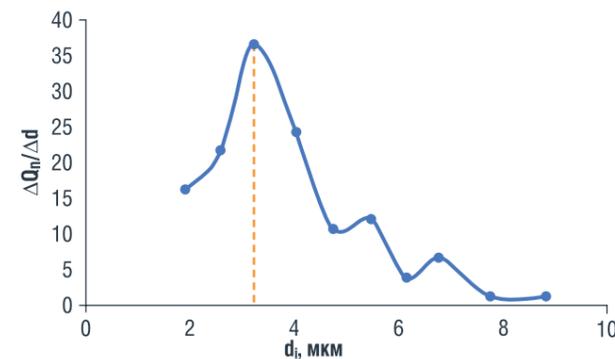


ТАБЛИЦА 2. Составы используемых смесей на основе бутилакрилата (БА), % масс

Код смеси	Состав
БА	БА чистый
БА-3	БА + ПМ 3%
БА1	БА 98,5% + AIBN 1% + ПЭТА 0,5%
БА1-3	БА 95,5% + AIBN 1% + ПЭТА 0,5% + ПМ 3%

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета дифференциальной кривой численного распределения частиц по размерам

d _i , мкм	Число частиц в данной фракции, n _i	Содержание частиц с d ≥ d _i , Q _n , %	ΔQ _n /Δd, %/мкм
1,923	12	100	16,30435
2,595	16	88	21,73913
3,238	27	72	36,68478
4,039	18	45	24,45652
4,744	8	27	10,86957
5,48	9	19	12,22826
6,16	3	10	4,076087
6,786	5	7	6,793478
7,79	1	2	1,358696
8,84	1	1	1,358696

По графику на рисунке 2 можно сделать вывод, что наиболее вероятный диаметр частицы ферромагнетика равен ≈ 3,2 мкм.

Для оценки температурного фактора и фактора воздействия УЗИ проводили серию экспериментов с постепенным повышением температуры. Составы используемых для текущего исследования смесей в массовом соотношении представлены в таблице 2. Результаты полимеризации, проводимой на установке УЗДН-А, приведены в таблице 3.

Из полученных наблюдений можно заключить, что, помимо повышения температуры, наличие в смеси железистого оксидного пигмента также повышает интенсивность процесса и снижает время гелеобразования, что видно из графика (рисунок 3).

ТАБЛИЦА 3. Результаты расчета дифференциальной кривой численного распределения частиц по размерам

Смесь	T, °С	ПМ	t, мин	Результат
БА1	25	+	100	Полимеризация не идет
	35	+	87	Полимеризация не идет
	50	+	60	Полимеризация не идет
БА1	55	-	33	Образовывалась вязкая текучая система
БА1-3	55	+	20	
БА1	60	-	7	
БА1-3	60	+	5	
БА1	65	-	5	
БА1-3	65	+	3	
БА1	70	-	5	
БА1-3	70	+	3	

Примечание: T – температура реакционной системы, °С; ПМ – парамагнетик (железистый оксидный пигмент); t – время гелеобразования, мин.

РИСУНОК 3. Графики зависимости времени гелеобразования от температуры смесей БА с ПМ и без

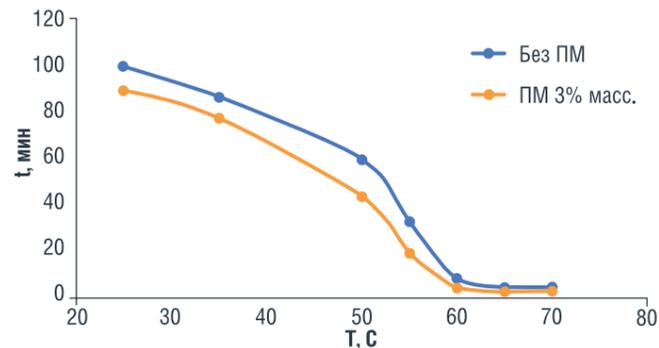
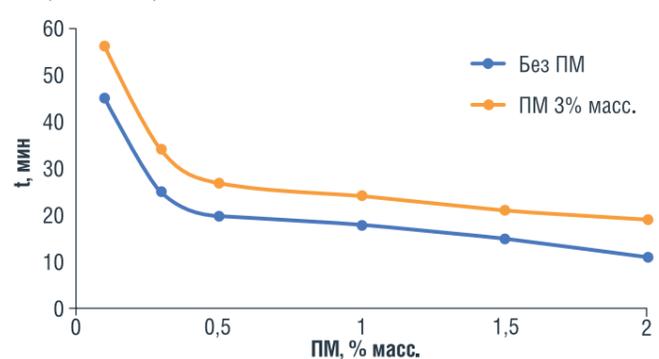


РИСУНОК 4. Графики зависимости влияния концентрации инициатора на время гелеобразования БА и БА-3



Для оценки применимости УЗИ в мягких условиях температуру фиксировали на уровне 40 °С, что обеспечивалось путем использования водяной охлаждающей бани, многократно превышающей размером реакционную систему.

В данной серии экспериментов оценивали влияние концентрации инициатора на время гелеобразования в системах без ПМ и с ПМ (значения последних указаны в скобках) в отношении чистого БА и смеси БА-3. Результаты приведены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4. Результаты полимеризации при воздействии УЗДН-А при температуре 40 °С и рабочей частоте генератора и излучателя 22 кГц на БА и (БА-3)

№	t, мин	AIBN, %	Примечание
1	–	0	Отсутствие полимеризации
2	56 (45)	0,1	Образование пузырьков, увеличение вязкости
3	34 (25)	0,3	Образование вязкой структуры
4	(27) 20	0,5	Образование желеобразной структуры
5	(24) 18	1	Образование желеобразной структуры
6	(21) 15	1,5	Образование желеобразной структуры
7	(19) 11	2	Образование более плотной желеобразной структуры

Примечание: AIBN – азобисизобутиронитрил, t – время гелеобразования, мин.

Как можно наблюдать из зависимости, представленной на рисунке 4, добавление ПМ оказывает стабильное положительное влияние на процесс, предположительно за счет взаимодействия УЗИ с частицами ПМ и их последующего нагрева, вносящего вклад в иницирование полимеризации. Получаемый полимер во всех случаях имел схожую желеобразную упругую структуру (рисунок 5).

Поведение тех же составов изучали на ультразвуковом гомогенизаторе JY98-IIIDN производства компании

РИСУНОК 5. Вид полимера БА1



РИСУНОК 6. Ультразвуковой гомогенизатор JY98-IIIDN для 50–1200 мл (А) и преобразователь (трансформатор) амплитуды с радиусом 7 мм (Б)



ТАБЛИЦА 5. Результаты полимеризации смеси БА при мощности 1080 Вт и частоте 20 кГц

№	AIBN, %	t, мин	T _{кон.} , °С	Комментарии
1	0,1	14,5	68	Получаемый полимер имел высокую адгезию и представлял собой очень липкую гелевую структуру (рис. 7)
2	0,3	11,2	73	Визуально полимер выглядел аналогично. Структура стала более рыхлой и снизилась адгезия по отношению к металлическим щипцам
3	0,5	10,2	75	Аналогичное снижение адгезии. Последний образец демонстрировал рыхлую желеобразную структуру
4	1	9,28	76	
5	1,5	8,4	78	

Примечание. t – время гелеобразования, мин; T_{кон.} – конечная температура эксплуатационной среды (воды).

РИСУНОК 7. Образец смеси БА, полученный при добавлении 0,1 масс. % инициатора при мощности 1080 Вт и частоте 20 кГц



ТАБЛИЦА 6. Результаты полимеризации БА и ММА при мощности 1080 Вт, частоте 20 кГц и концентрации инициатора 1 масс. %

№	БА, мл	ММА, мл	t, мин	T _{кон.} , °С	Комментарии
БМ1	1,7	0,3	9,03	70	Высокая адгезия, мягкая структура
БМ2	1,5	0,5	9,45		Снижение адгезии, увеличение прочности
БМ3	1	1	10,57		Снижение адгезии, увеличение прочности
БМ4	0,5	1,5	10,54		Ярко выраженные прочностные свойства (рис. 8)

Примечание. t – время гелеобразования, мин; T_{кон.} – конечная температура эксплуатационной среды (воды).

РИСУНОК 8. Вид смеси БМ4 после полимеризации



Chongqing Drawell Instrument Co., Ltd (рисунок 6 А), который в свою очередь позволяет воздействовать на пробу более точно, повышая тем самым удельную производительность установки и степень воздействия излучения.

Источником ультразвука выступал преобразователь, в частности трансформатор амплитуды с радиусом 7 мм (рисунок 6 Б).

Все реакции проводили при одинаковых условиях (частота 20 кГц) в целях изучения влияния концентрации инициатора и агента сшивки на скорость процесса и визуального качества получаемого полимера. Необходимо обратить внимание, что мощность описываемого устройства была использована на 90 % и составляла 1080 Вт, а температура начала процесса была на уровне 20 °С.

Эксперименты проводили в виалах объемом 2 мл, в качестве имитации предполагаемой эксплуатационной среды использовали обычный лабораторный стакан с водой, в которую помещали виалу с исследуемым веществом.

Так как кислород является мощным ингибитором полимеризации БА, предварительно пробы проходили вакуумную систему дегазации при комнатной

температуре (20 °С). Результаты полимеризации представлены в таблице 5.

В пределах текущего исследования проводили также сополимеризацию двух акриловых мономеров ММА (метилметакрилата) и БА с диаметрально разными свойствами, варьируя их соотношения (в аналогичных условиях и без использования сшивающего агента). Целью данного опыта также является ознакомление с принципиальным откликом или его отсутствием в системах, представляющих дальнейший интерес в рамках исследования управляемой полимеризации. В таблице 6 представлены результаты сополимеризации мономеров под воздействием УЗИ.

Общее время полимеризации не превышало 10 мин при начальной температуре мономеров 20 °С.

Также проводили аналогичную серию опытов с добавлением ПМ в количестве 3 масс. %. Результаты представлены в таблице 7.

Исходя из полученных результатов можно заключить, что наличие ПМ в смеси действительно ускоряет время запуска полимеризации, что подтверждает принципиальный вклад ПМ в иницирование процесса. Предположительно, при колебании твердого тела относительно жидкости возможно

ТАБЛИЦА 7. Результаты полимеризации БА и ММА с добавлением ПМ 3 масс. % при мощности 1080 Вт, частоте 20 кГц и концентрации инициатора 1 масс. %

№	БА, мл	ММА, мл	t, мин	Ткон, °С	Комментарии
БМ1-3	1,71	0,3	7,21	70	Высокая адгезия, мягкая структура
БМ2-3	1,5	0,54	7,56		Снижение адгезии, увеличение прочности
БМ3-3	1,05	1	9,05		Снижение адгезии, увеличение прочности
БМ4-3	0,5	1,54	9,10		Ярко выраженные прочностные свойства

Примечание: t – время гелеобразования, мин; T_{кон} – конечная температура эксплуатационной среды (воды).

возникновение вибрационной кавитации, которая в свою очередь возникает из-за воздействия ультразвуковых колебаний, что в совокупности влияет на энтропию движения молекул в целом и последующее инициирование реакции за счет локального нагрева. Помимо этого, нельзя не отметить вклад параллельного ультразвукового диспергирования, которое позволяет частицам распределяться равномерно по всему объему пробы.

Вывод

Таким образом, проведены исследования влияния ультразвукового воздействия на эфиры акриловой кислоты (БА и ММА). В ходе выполнения экспериментов установлено, что воздействие УЗИ оказывает положительное влияние на полимеризацию систем БА, БА-3, БА1, БА1-3, БМ1-3 – БМ4-3. Полученные результаты представляют собой крепкий фундамент для дальнейшего более глубокого изучения причинно-следственных связей (аргументации текущих результатов) и развития новых направлений. Помимо воздействия УЗИ, следующими этапами являются изучение влияния СВЧ и магнитной индукции на скорость полимеризации в рамках акрилатных эфиров и ароматических мономеров. ●

Литература

- McKenzie, Dr. Thomas G.; Karimi, Fatemeh; Ashokkumar, Muthupandian; Qiao, Greg G., «Ultrasound and Sonochemistry for Radical Polymerization: SoundSynthesis», ChemPubSoc Eur., № 25, pp. 1–18, 2019.
- McKenzie, Dr. Thomas G.; Karimi, Fatemeh; Ashokkumar, Muthupandian; Qiao, Greg G., «Ultrasound and Sonochemistry for Radical Polymerization: Sound Synthesis», Chemistry – A European Journal, т. 25, № 21, pp. 5372–5388, 2019.
- М.А. Маргулис. Звукохимические реакции и сонолюминесценция, Химия, 1986.
- А. Шибашов и Е.Ю. Сокина. Влияние низкочастотного ультразвукового воздействия на процесс полимеризации мочевино-формальдегидной смолы, Актуальные вопросы естествознания, 2019.
- X. Xu, Z. Zhang, X. Ge, M. Zhang. «Effect of dose rate on emulsion and microemulsion polymerization of styrene», Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, т. 36, № 2, pp. 257–262, 1998.
- Е. Прищеп, Т. Ракула. «Исследование процессов полимеризации в условиях акустической кавитации» / Сборник научных трудов Ангарского государственного университета, т. 1, № 1, pp. 37–43, 2017.
- B.A. Bhanvase, D.V. Pinjari, S.H. Sonawane, P.R. Gogate, A.B. Pandit. «Analysis of semibatch emulsion polymerization: Role of ultrasound and initiator», Ultrasonics Sonochemistry, т. 19, № 1, pp. 97–103, 2012.
- В.З. Мингалеев, В.П. Захаров, И.А. Ионова, А.В. Захарова, Ю.Б. Монаков. «Полимеризация бутадиена и изопрена в присутствии титановой каталитической системы при ультразвуковом облучении», Высокомолекулярные соединения, т. 53, № 7, pp. 1102–1112, 2011.
- G.J. Price, «Recent developments in sonochemical polymerisation», Ultrasonics Sonochemistry, т. 10, № 4–5, pp. 277–283, 2003.

- B.M. Teo, S.W. Prescott, M. Ashokkumar и F. Grieser, «Ultrasound initiated miniemulsion polymerization of methacrylate monomers», Ultrasonics Sonochemistry, т. 15, № 1, pp. 89–94, 2008.
- R.Wang и H.M. Cheung, «Ultrasound assisted polymerization of MMA and styrene in near critical CO₂», The Journal of Supercritical Fluids, т. 15, № 1, pp. 89–94, 2005.
- А. Шибашов и А.С. Смирнова, «Исследование влияния ультразвукового воздействия различной мощности на вязкость растворов предконденсатов терморезистивных смол» АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ, pp. 32–35, 2018.
- М.А. Маргулис. Основы звукохимии. Москва: Высшая школа, 1984.
- H. Xu, B.W. Zeigera и K.S. Suslick, «Sonochemical synthesis of nanomaterials», Chemical Society Reviews, т. 42, № 7, pp. 2555–2567, 2013.
- R.J. Wood, J. Lee и M.J. Bussemaker, «A parametric review of sonochemistry: Control and augmentation of sonochemical activity in aqueous solutions», Ultrasonics Sonochemistry, т. 38, pp. 351–370, 2017.
- S.K. Ooi и S. Biggs, «Ultrasonic initiation of polystyrene latex synthesis», Ultrasonics Sonochemistry, т. 7, № 3, pp. 125–133, 2000.
- N. Yin, K. Chen и W. Kang, «Preparation of BA/ST/AM nano particles by ultrasonic emulsifier-free emulsion polymerization», Ultrasonics sonochemistry, т. 13, № 4, pp. 345–351, 2006.
- G. Cravotto и P. Cintas, «Power ultrasound in organic synthesis: moving cavitation chemistry from academia to innovative and large-scale applications», Chemical Society Reviews, т. 35, № 2, pp. 180–196, 2006.
- K.F. O'Driscoll и A.U. Sridhari, «In Polymerization and Polycondensation Processes: Symposium Held During the 169th National Meeting of the American Chemical Society», J. Appl. Polym., т. 26, p. 135, 1975.
- H. Fujiwara, K. Kimura, H. Mori и K. Goto, «Mechanochemical Reaction of Polymers by Ultrasonic Irradiation. V. Mechanochemical Copolymerization in Mixtures of Poly(vinyl chloride), Styrene, and Solvents», Polymer Journal, т. 13, pp. 927–933, 1981.
- A.A. Berlin, «The main lines of research on the chemical reactions of macromolecules», Russian Chemical Reviews, т. 29, № 10, pp. 541–560, 1960.
- M. Anbar; I. Pecht, Phys. Chem, № 40, p. 608, 1964.
- G.K. Diedrich; L.M. Kruus, Rachl's Chem, № 50, p. 1743, 1972.
- P. Kruus и T. J. Patraboy, «Initiation of polymerization with ultrasound in methyl methacrylate», The Journal of Physical Chemistry, т. 89, № 15, pp. 3379–3384, 1985.
- S. Ma, L. Zhong, P. Wang, C. Xu и X. Li, «A Fast Way to Fabricate Polymethyl Methacrylate for Graded-Index Polymer Optical Fibers», Technology and Engineering, т. 45, № 3, pp. 373–378, 2006.
- C.-b. Gu, D.-j. Wang, X.-q. Wang, Y.-. Huang, Z. Zhen и X.-h. Liu, «Bulk polymerization of methyl methacrylate initiated by high intensity ultrasonic irradiation and ESR study», Journal of applied polymer science, т. 86, № 7, pp. 1731–1735, 2002.
- V.A. Henglein, «Die Auslösung und der Verlauf der Polymerisation des Acrylamids unter dem Einfluß von Ultraschallwellen», Die Makromolekulare Chemie, т. 14, № 15, 1954.
- G.C. Eastmond, «Comprehensive Chemical Kinetics», Free Radical Polymerization (Eds CH Bamford and CFH Tipper) Elsevier, Amsterdam, 1976.
- G.G.J. Price, D.J. Norris и P.J. West, «Polymerization of methyl methacrylate initiated by ultrasound», Macromolecules, т. 25, № 21, pp. 6447–6454, 1992.

KEYWORDS: ultrasound, microwave radiation, polymerization, inhibitor, high molecular weight compound.

РЕКЛАМА ЛИЦЕНЗИЯ № ЛО-77-01-012469, ОГРН 1155024001220 ПРОКОНСУЛЬТИРУЙТЕСЬ СО СПЕЦИАЛИСТОМ ВОЗМОЖНЫХ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯХ

ШВЕЙЦАРСКИЕ ИМПЛАНТЫ STRAUMANN® В «ФАМИЛЬНОЙ СТОМАТОЛОГИИ»



В «ФАМИЛЬНОЙ СТОМАТОЛОГИИ» ИМПЛАНТАЦИЮ ПРОВОДЯТ ИМПЛАНТОЛОГИ ВО ВТОРОМ ПОКОЛЕНИИ, ЧЛЕНЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ИМПЛАНТОЛОГОВ ITI АЛЕКСАНДР И ЕВГЕНИЙ АХТАНИНЫ. ЭТО И ТО, ЧТО КЛИНИКА — ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР КОМПАНИИ STRAUMANN® ПОЗВОЛЯЕТ ГАРАНТИРОВАТЬ НАДЕЖНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗУБОВ ДАЖЕ В САМЫХ СЛОЖНЫХ СЛУЧАЯХ.

● **НАДЕЖНОСТЬ.** СИСТЕМА ИМПЛАНТОВ STRAUMANN® ВХОДИТ В ТОП-3 САМЫХ АВТОРИТЕТНЫХ СИСТЕМ В ЕС И США.

● **ПРИЖИВАЕМОСТЬ.** ПОВЕРХНОСТЬ SLActive® ОБЕСПЕЧИВАЕТ УСКОРЕННОЕ ПРИЖИВЛЕНИЕ ИМПЛАНТОВ — ОТ 1,5 МЕСЯЦЕВ.

● **ПРОЧНОСТЬ.** ИМПЛАНТЫ STRAUMANN® ДО 2 РАЗ ПРОЧНЕЕ ТИТАНОВЫХ.

● **ПОЖИЗНЕННАЯ ГАРАНТИЯ** НА ИМПЛАНТЫ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ*.



*При соблюдении гигиены полости рта импланты Straumann® прослужат вам всю жизнь.



МЫ УСТАНОВИЛИ БОЛЕЕ **26 500** ИМПЛАНТОВ

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

сокращения потерь алканоламина и воды при газоочистке

Сыроватка Владимир Антонович

старший преподаватель кафедры технологии нефти и газа, Кубанский государственный технологический университет, к.т.н.

Ясьян Юрий Павлович

зав.кафедрой технологии нефти и газа, Кубанский государственный технологический университет, д.т.н., профессор

Голубева Ирина Александровна

профессор кафедры газохимии, РГУ нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, д.х.н.

Погосов Тигран Суменович

аспирант кафедры технологии нефти и газа, Кубанский государственный технологический университет

Сыроватка Александра Владимировна

бакалавр кафедры технологии нефти и газа, Кубанский государственный технологический университет

В ДАННОЙ СТАТЬЕ РАССМОТРЕНО ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ НА УРОВНЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЕ УМЕНЬШИТЬ ПОТЕРИ АЛКАНОЛАМИНА И ВОДЫ С ОЧИЩЕННЫМ ГАЗОМ. ПРЕДСТАВЛЕНА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ДОСТУПНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, КОТОРАЯ ДАЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ СОКРАТИТЬ ПОТЕРИ ПАРОВ ВОДЫ И АЛКАНОЛАМИНА СУММАРНО ДО 100% ЗА СЧЕТ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ ОЧИЩЕННОГО ГАЗА

THIS ARTICLE DISCUSSES A TECHNICAL SOLUTION AT THE LEVEL OF THE INVENTION, WHICH MAKES IT POSSIBLE TO REDUCE ALKANOLAMINE AND WATER LOSSES WITH PURIFIED GAS. IT ALSO PRESENTS A RESOURCE-SAVING AVAILABLE TECHNOLOGY, WHICH MAKES IT POSSIBLE TO REDUCE WATER VAPOR AND ALKANOLAMINE LOSSES UP TO 100% IN TOTAL, DUE TO THROTTLING AND COOLING OF THE PURIFIED GAS

Ключевые слова: хемосорбционные процессы, потери алканоламина и воды, ресурсосберегающая технология.

В настоящее время для очистки углеводородных газов от сероводорода в газовой и нефтяной промышленности в основном применяют хемосорбционные процессы с использованием водных растворов алканоламинов [1]. Типовая схема устройства для аминовой очистки газа состоит из абсорбционной колонны, где происходит очистка газа, десорбера, в котором происходит процесс регенерации насыщенного абсорбента, а также из вспомогательного оборудования для обеспечения технологической связи и рациональности процесса [2]. Недостатком указанной схемы устройства аминовой очистки газа является потеря паров воды и алканоламина с очищенным газом, что повышает эксплуатационные расходы.

ФАКТЫ
Моноэтанол-АМИН
использовался в качестве аминового абсорбента

Предлагаемое решение

Реализация ресурсосберегающей технологии связана с необходимостью усовершенствования устройства для аминовой очистки газа, позволяющего снизить потери паров амина и воды за счет охлаждения при дросселировании [4].

Предлагается для эффективной работы устройства аминовой очистки газа по сокращению потерь алканоламина и паров воды охлаждать очищенный производственный газ и конденсировать пары воды и алканоламина без применения дорогостоящего дополнительного холодильного оборудования с внешним хладагентом (рисунок 1). В качестве аминового абсорбента использовался моноэтаноламин (МЭА).

Очистку предлагается осуществлять следующим образом: очищаемый производственный газ (I) отделяют от углеводородного конденсата и воды (II) в трехфазном сепараторе очищаемого газа 1, смешивают с частью регенерированного абсорбента (III) в смесителе 2 и подают в низ абсорбера 3. При этом на распределительное устройство верхней секции абсорбера подают деминерализованную воду (IV) в количестве, необходимом для компенсации потерь воды с кислым газом и сохранения рабочей концентрации абсорбента, а на распределительное устройство нижней секции абсорбера подают другую часть регенерированного абсорбента (III), при этом в тепло-массообменный блок через верхний патрубок подают хладагент (V) для поддержания оптимальной температуры процесса.

РИС. 1. Устройство для аминовой очистки технологического газа, с ресурсосберегающей технологией

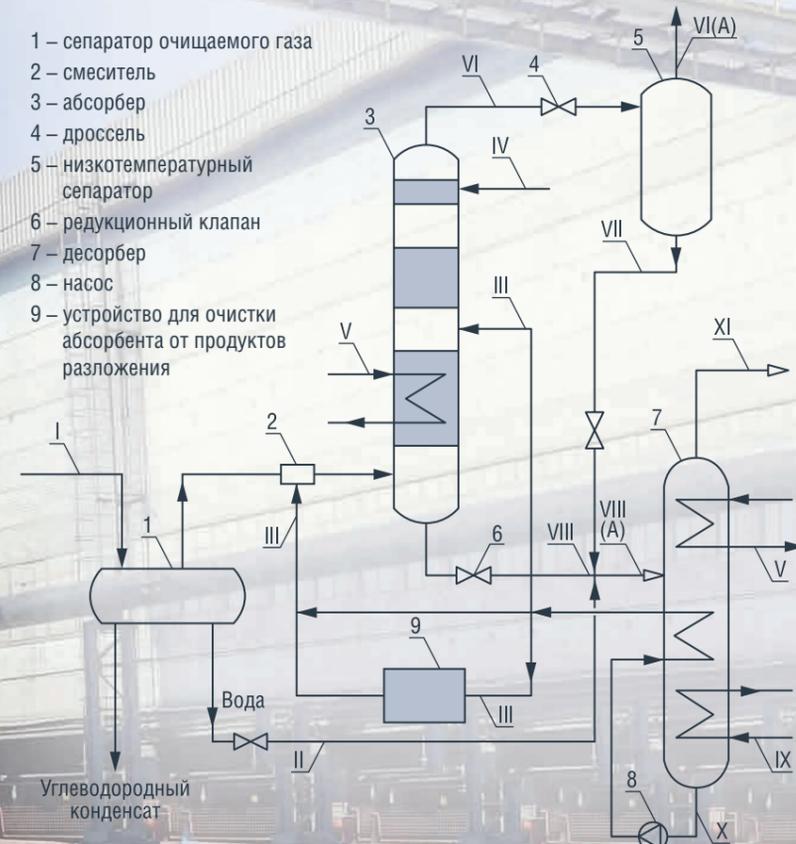


ТАБЛИЦА 1. Основные параметры процесса

Параметры, ед. изм.	Значение	
Расход исходного газа, т/ч	1766	3531
Общий расход абсорбента МЭА, т/ч	1250	2500
Расход очищенного газа, т/ч	1705	3411
Температура в абсорбере, °С	38	37
Давление в абсорбере, МПа	6,0	6,0
Температура верха десорбера, °С	25	25
Температура низа десорбера, °С	138	138
Давление в десорбере, МПа	0,3	0,3

Очищенный производственный газ (VI) подают через дроссель 4 в низкотемпературный сепаратор 5, где происходит разделение на очищенный газ (VI (А)), который выводят с установки, и разбавленный раствор МЭА (VII). Насыщенный абсорбент (VIII) проходит редукционный клапан 6, смешивается с водой (II) и с разбавленным раствором МЭА (VII), а полученный насыщенный абсорбент (VIII(А)) подают на распределительное устройство средней тепло-массообменной секции десорбера 7. В нижний патрубок десорбера 7 подают теплоноситель (IX) для поддержания температуры десорбции в низу десорбера.

С целью использования тепла нагретого регенерированного абсорбента для отпарки кислых газов и охлаждения регенерированного абсорбента, с низа десорбера 7 насосом 8 нагретый регенерированный абсорбент (X) подают в тепло-массообменный блок средней секции через нижний патрубок. Регенерированный абсорбент (III) направляют в абсорбер 3, при этом часть абсорбента пропускают через устройство 9 для очистки от продуктов разложения и направляют вместе с балансовой частью абсорбента на предварительную абсорбцию в смеситель 2.

Отпаренный кислый газ (XI) перед выводом с установки, с целью конденсации паров амина и воды, охлаждают в верхней тепло-массообменной секции десорбера 7 хладагентом (V), который подают в тепло-массообменный блок через верхний патрубок.

За счет перепада давлений в дросселе 4 понижается температура очищенного газа, без использования внешнего хладагента. После охлаждения в устройстве 4 газ поступает в низкотемпературный сепаратор 5, где из потока газа отделяются сконденсировавшийся водный раствор моноэтаноламина VII. Отсепарированный газ (VI (А)) из сепаратора 5 подается в газопровод потребителю. Жидкая фаза VII (водный раствор моноэтаноламина) из низкотемпературного сепаратора 5 смешивается с насыщенным абсорбентом (VIII) и водой (II), а затем смесь подается в десорбер 7, где регенерируется водный раствор МЭА. Это позволяет снизить потери МЭА с очищенным газом.

ФАКТЫ Степень извлечения

МЭА и воды тем больше, чем ниже температура НТС при изохальном расширении и чем больше содержание в газе МЭА и воды

Эффективность данной ресурсосберегающей технологии с использованием низкотемпературной сепарации (НТС) зависит от состава очищенного газа, температуры и давления в низкотемпературном сепараторе. Чем ниже температура НТС при изохальном расширении и чем больше содержание в исходном газе МЭА и воды, тем больше степень извлечения последних. Процесс ограничивается температурой максимальной конденсации МЭА и воды. Дальнейшее снижение температуры при изохальном расширении энергетически нецелесообразно.

Расчеты

Согласно предлагаемой схеме были проведены теоретические расчеты. Расчеты проводились с целью подтверждения сокращения потерь паров МЭА и воды с очищенным газом, что влияет на эффективность процесса и может снизить эксплуатационные затраты.

В расчетах применялись различные соотношения давления при изохальном расширении очищенного газа, при которых достигаются наилучшие показатели по сокращению потерь паров растворителя и воды с очищенным газом.

При расчетах процесса сероочистки в качестве поглотительного раствора в процессе очистки используется 15%-ный водный раствор МЭА при относительно высоких расходах исходного газа, чтобы оценить максимально возможные потери растворителя.

В таблице 1 представлены параметры технологического режима работы абсорбера и десорбера, согласно которым проводился теоретический расчет ресурсосберегающей технологии с использованием низкотемпературной сепарации (НТС). Параметры технологического режима работы абсорбера и десорбера должны обеспечивать нормативные значения по содержанию кислых компонентов в очищенном газе.

Реализация каждого рассматриваемого варианта теоретического расчета процесса очистки МЭА представлены

ТАБЛИЦА 2. Компонентный состав исходного (1766 т/ч) и очищенного газа

Описание потока	Исходный газ	Очищенный газ
Давление	6,1 МПа	6,0 МПа
Температура	30 °С	38 °С
Массовый расход	1766 т/ч	1705 т/ч
Массовое содержание компонентов	масс. %	масс. %
O ₂	0,05	0,05000
N ₂	15,35	15,53962
CO ₂	0,60	0,00002
CH ₄	55,26	57,17000
C ₂ H ₆	8,31	8,60000
C ₃ H ₈	8,31	8,93000
i-C ₄ H ₁₀	2,98	3,09000
n-C ₄ H ₁₀	3,80	3,94000
i-C ₅ H ₁₂	2,41	2,49000
C ₅₊	0,07	0,07000
H ₂ S	2,76	0,00003
H ₂ O	0,10	0,12000
МЭА	0,00	0,00033
Итого	100	100

ТАБЛИЦА 3. Компонентный состав исходного (3531 т/ч) и очищенного газа

Описание потока	Исходный газ	Очищенный газ
Давление	6,1 МПа	6,0 МПа
Температура	30 °С	38 °С
Массовый расход	3531 т/ч	3411 т/ч
Массовое содержание компонентов	масс. %	масс. %
O ₂	0,05	0,05000
N ₂	15,35	15,53955
CO ₂	0,60	0,00003
CH ₄	55,26	57,17000
C ₂ H ₆	8,31	8,60000
C ₃ H ₈	8,31	8,94000
i-C ₄ H ₁₀	2,98	3,09000
n-C ₄ H ₁₀	3,80	3,94000
i-C ₅ H ₁₂	2,41	2,49000
C ₅₊	0,07	0,07000
H ₂ S	2,76	0,00011
H ₂ O	0,10	0,11000
МЭА	0,00	0,00031
Итого	100	100

ТАБЛИЦА 4. Изохальное расширение очищенного газа при расходе 1705 т/ч и давлении 5,9 МПа

Описание потока	Очищенный газ перед дросселированием	Очищенный газ после дросселирования									
		5,0 МПа		4,0 МПа		3,0 МПа		2,0 МПа			
Давление	5,9 МПа	5,0 МПа		4,0 МПа		3,0 МПа		2,0 МПа			
Температура	37,7 °С	33,5 °С		28,9 °С		23,2 °С		17,4 °С			
Фаза	паровая	жидкая		жидкая		жидкая		жидкая			
Массовое содержание компонентов	масс. %	кг/ч	масс. %	кг/ч	масс. %	кг/ч	масс. %	кг/ч	масс. %	кг/ч	
МЭА	15,29	5,68	4,09	4,84	1,85	5,45	1,31	5,58	1,24	5,62	
H ₂ O	84,19	1996,90	95,73	113,53	98,01	288,23	98,57	419,06	98,65	445,16	
H ₂ S	0,01	0,51	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,04	
CO ₂	0,04	0,28	0,08	0,09	0,04	0,12	0,03	0,13	0,03	0,15	

в таблицах 2 и 3 при расходе исходного газа 1766 т/ч и 3531 т/ч соответственно.

Из таблиц 2 и 3 следует, что предлагаемый способ при указанных параметрах исследования очистки газа МЭА обеспечивает нормативно-технические показатели по содержанию кислых компонентов (H₂S, CO₂).

Результаты расчета конденсации и выделения раствора амина при изохальном расширении очищенного газа представлены в таблице 4 при расходе 1705 т/ч и в таблице 5 при расходе 3411 т/ч.

ТАБЛИЦА 5. Изобарное расширение очищенного газа при расходе 3411 т/ч и давлении 5,9 МПа

Описание потока	Очищенный газ перед дросселированием	Очищенный газ после дросселирования									
		5,0 МПа 33,5 °С жидкая		4,0 МПа 28,9 °С жидкая		3,0 МПа 23,2 °С жидкая		2,0 МПа 17,4 °С жидкая			
Давление	5,9 МПа	5,0 МПа		4,0 МПа		3,0 МПа		2,0 МПа			
Температура	37,7 °С	33,5 °С		28,9 °С		23,2 °С		17,4 °С			
Фаза	паровая	жидкая		жидкая		жидкая		жидкая			
Массовое содержание компонентов	масс. %	кг/ч	масс. %	кг/ч	масс. %	кг/ч	масс. %	кг/ч	масс. %	кг/ч	
	МЭА	15,29	6,68	4,09	5,84	1,85	6,45	1,31	6,58	1,24	6,67
H ₂ O	84,19	2096,90	95,73	213,53	98,01	388,23	98,57	519,06	98,65	545,16	
H ₂ S	0,01	0,52	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,05	
CO ₂	0,04	0,29	0,08	0,10	0,04	0,13	0,03	0,14	0,03	0,16	

Согласно представленным таблицам 4 и 5 процесс НТС с изобарным расширением очищенного газа был исследован при давлении 5,0 МПа, 4,0 МПа, 3,0 МПа и 2,0 МПа. Переход МЭА и воды из паровой фазы в жидкую фазу в максимальном количестве происходит при давлении 2,0 МПа и температуре 17,4 °С.

При давлении 2,0 МПа и температуре 17,4 °С предлагаемый способ позволяет получить максимальное добавочное количество МЭА 5,62 т/ч и воды 0,445 т/ч (при расходе очищенного газа 1705 т/ч) и МЭА 6,67 т/ч и воды 0,545 т/ч (при расходе очищенного газа 3411 т/ч), что обеспечивает значительное ресурсосбережение.

Заключение

Ресурсосберегающая технология с использованием НТС с изобарным расширением газа позволяет охлаждать очищенный газ и конденсировать пары МЭА и воды, входящие в его состав, с извлечением разбавленного водного раствора МЭА, который далее используют для подпитки насыщенного абсорбента. Конденсация паров МЭА и воды очищенного производственного газа в низкотемпературном сепараторе путем охлаждения дросселированием до температуры конденсации позволяет снизить потери МЭА и воды, что обеспечивает ресурсосбережение.

Смешивание разбавленного водного раствора МЭА, полученного в низкотемпературном сепараторе при конденсации паров воды и МЭА, с насыщенным абсорбентом образует насыщенный абсорбент, который направляют в десорбер для очистки от кислых газов H₂S и CO₂ (на регенерацию).

Регенерированный абсорбент далее можно использовать для аминной очистки производственного газа. Смешивание (подпитка) абсорбента проводится с учетом сохранения рабочей концентрации

ФАКТЫ

2,0 МПа

– давление, при котором предлагаемый способ позволяет получить максимальное добавочное количество МЭА и воды при температуре 17,4 °С

регенерированного абсорбента и материального баланса процесса аминной очистки производственного газа.

Таким образом, из представленных результатов расчета следует, что предлагаемая схема с ресурсосберегающей технологией позволяет эффективно очищать углеводородный производственный газ от кислых компонентов, что обеспечивает значительное сокращение потерь раствора МЭА. Предлагаемая схема может быть использована для предпроектных исследований и мониторинга существующих установок, где применяются разные типы алканолamines. ●

Литература

1. Аджиев А.Ю., Пуртов П.А. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России: в 2 ч. Ч. 2 / А.Ю. Аджиев, П.А. Пуртов. – Краснодар: ЭДВИ, 2014. – С. 504.
2. Патент РФ № 2500460, Устройство для аминной очистки газа и способ ее осуществления, МПК В01Д 53/18, № 2012131313/05: Заявл. 20.07.2012, опубл. 10.12.2013 г.
3. Анучин К.М., Мирошниченко Д.А. / Возможность применения метилдиэтанолamina, активированного пиперазином, в качестве абсорбента для глубокой очистки газа от CO₂ на основании расчетов в программе Petro-SIM / Научно-технический сборник «Вести газовой науки», № 1 (21) / 2015 г. – С. 9–16.
4. Шкляр Р.Л. Энергосберегающая технология очистки природного газа от кислых примесей / Р.Л. Шкляр, А.В. Мамаев, С.А. Сиротин и др. // Газовая промышленность. – 2014. – № 4. – С. 95–98.

KEYWORDS: chemisorption processes, loss of alkanolamine and water, resource-saving technology.

КАЛЕНДАРЬ СОБЫТИЙ

1–2 ноября

17-я Международная специализированная выставка

Israchem 2022

Израиль, г. Тель-Авив

16–18 ноября

14-я Международная специализированная выставка

Нефтедобыча. Нефтепереработка. Химия 2022

г. Самара

23–25 ноября

XXIII Международная научно-практическая конференция

Металлургия - 2022

г. Новокузнецк

НОЯБРЬ

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

17–18 ноября

XVII Международная научно-практическая конференция

Трубопроводный транспорт – 2022

г. Уфа

25 ноября

VI Международная Конференция

Рынок нефтепродуктов России и СНГ-2022

г. Москва, «Балчуг Кемпински»

21–25 ноября

21-я Международная конференция

Авиация и космонавтика

г. Москва

29–30 ноября

9-й ежегодный форум и выставка

Ямал, Арктика, нефтегаз

г. Тюмень

ГАЗОПЕРЕРАБОТКА

КРУПНЫЕ

- Амурский ГПЗ**
ООО «Газпром переработка Благовещенск»
42 млрд м³/год
- Оренбургский ГПЗ**
ООО «Газпром переработка»
37,5 млрд м³/год
- Астраханский ГПЗ**
12 млрд м³/год

Нижневартовский ГПК
АО «СибурТюменьГаз»
6,2 млрд м³/год

Сургутский ГПЗ
ПАО Сургутнефтегаз
5 млрд м³/год

Завод по стабилизации конденсата (ЗСК)
ООО «Газпром переработка»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
3 млрд м³/год

Вынгапуровский ГПЗ
АО «СибурТюменьГаз»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
4,20 млрд м³/год

Белозерный ГПК
АО «СибурТюменьГаз»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
4,60 млрд м³/год

Сосногорский ГПЗ
ООО «Газпром переработка»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
3 млрд м³/год



РОССИЙСКИЕ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ¹

¹energybase.ru

БОЛЕЕ
1 млрд м³

- Зайкинское газоперерабатывающее предприятие (ЗГПП)**
АО «Оренбургнефть»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
2,20 млрд м³/год
- Установка очистки газа**
АО «ЮУПК»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
2,50 млрд м³/год
- ГПЗ Няганьгазпереработка (НГП)**
АО «СибурТюменьГаз»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
2,60 млрд м³/год
- Губкинский ГПЗ (ГПК)**
АО «СибурТюменьГаз»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
2,60 млрд м³/год

Муравленковский ГПЗ
АО «СибурТюменьГаз»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
1,30 млрд м³/год

Локосовский ГПК
ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
2,14 млрд м³/год

Южно-Балыкский ГПЗ
АО «СибурТюменьГаз»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
2,90 млрд м³/год

Завод «Мономер»
Газохимический завод
ООО «Газпром переработка»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
1 млрд м³/год

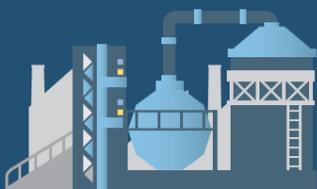
МЕНЕЕ
1 млрд м³

Усинский ГПЗ
ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
0,6 млрд м³/год

ГПЗ Южно-Приобского месторождения
ООО «Газпромнефть-Хантос»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
0,90 млрд м³/год

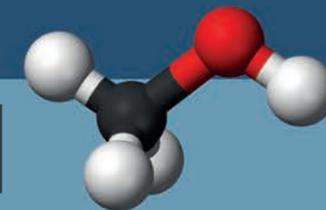
Туймазинский ГПЗ
АО «ОНК»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
0,73 млрд м³/год

Шкаповский ГПЗ
АО «ОНК»
Первичная переработка природного газа и ПНГ
0,04 млрд м³/год



Россия экспортирует **1,7 млн т** метанола в год

МЕТАНОЛ



КРУПНЕЙШИЕ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА В РОССИИ



МИРОВЫЕ ЛИЦЕНЗИАРЫ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА

- Haldor-Topsoe
- Johnson Matthey (ICI)
- Lurgi
- Toyo Engineering Corporation
- Casale
- Thyssenkrupp Industrial Solutions AG

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАВОДЫ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕТАНОЛА В РОССИИ К 2030 ГОДУ



ЭНЕРГАЗ – 15 лет в сфере технологического оборудования газоподготовки

24 СЕНТЯБРЯ ЭНЕРГАЗ ОТМЕТИЛ 15-ЛЕТИЕ. ЭТОТ ГОД ОТКРЫЛ ДЛЯ КОМПАНИИ ПЕРИОД ЖЕСТКИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ – НА ВОЛЕВУЮ СТОЙКОСТЬ, ОРГАНИЗАТОРСКУЮ ЦЕЛЕУСТРЕМЛЕННОСТЬ, ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ЗНАЧИМОСТЬ И ВОСТРЕБОВАННОСТЬ ИНЖЕНЕРНОГО ОПЫТА

ON SEPTEMBER 24, ENERGAZ CELEBRATED ITS 15TH ANNIVERSARY. THIS YEAR OPENED A PERIOD OF TOUGH PROFESSIONAL TESTS FOR THE COMPANY – FOR WILLPOWER, ORGANIZATIONAL COMMITMENT, PROFESSIONAL SIGNIFICANCE AND DEMAND FOR ENGINEERING EXPERIENCE

Ключевые слова: компримирование, попутный нефтяной газ, энергообеспечение, газоприемная станция, газоснабжение.

На вызовы времени энергазовцы отвечают своевременным и качественным исполнением проектов газоподготовки для различных объектов электроэнергетики, нефтегазовой отрасли и газоиспользующих предприятий.

ИТОГИ СДЕЛАННОГО

В начале уточним итоги. Начиная с 2007 года ЭНЕРГАЗ в общей сложности поставил 320 установок подготовки и компримирования газа. В электроэнергетике наше технологическое оборудование обеспечивает топливом 230 газовых турбин и газопоршневых агрегатов суммарной мощностью свыше 6,7 ГВт. В нефтегазовой отрасли установки «ЭНЕРГАЗ» осуществляют подготовку

природного и попутного нефтяного газа в составе 63 объектов на 47 месторождениях.

ЭНЕРГАЗ наращивает уникальный опыт компримирования низконапорного ПНГ. Всего в этом сегменте задействовано 126 компрессорных установок, перекачивающих газ с входным давлением от -0,02 до 0,4 МПа. При этом 57 машин действуют на объектах сбора и транспортировки газа, а 69 установок подготавливают ПНГ в качестве топлива для энергоцентров месторождений.

Расширяется география труда энергазовцев. Ряд проектов выполнены в Беларуси, Казахстане, Узбекистане. В России оборудование марки «ЭНЕРГАЗ» подготавливает различные типы газа повсюду – от Сахалина до

Калининградской области, включая основные нефтегазодобывающие регионы – Тюменскую область, Республику Саха (Якутия), Крайний Север.

В активе ЭНЕРГАЗа производство, комплексный ввод в эксплуатацию и обслуживание 320 технологических установок подготовки и компримирования газа для объектов нефтегазовой отрасли, электроэнергетики и промышленных предприятий

15-й год своей деятельности коллектив отметил тринадцатью значимыми проектами, где применены специальные инженерные решения, разработанные под особые требования заказчиков,

условия эксплуатации, состав исходного газа, поступающего для комплексной подготовки и компримирования. Приведем некоторые примеры.

ОПЫТ ПОПОЛНЯЕТСЯ

Заводской энергоцентр нового предприятия НАУАТ оснащен системой «ЭНЕРГАЗ» для комплексной подготовки топливного газа

«ХАЯТ Россия» наращивает свои производственные мощности: на Боровской площадке особой экономической зоны «Калуга» построен крупный завод по выпуску бумажной продукции санитарно-гигиенического назначения.

Здесь же создается автономный (децентрализованный) энергоцентр для снабжения производства собственными энергоресурсами. Электричество будут генерировать две газотурбинные установки (ГТУ) SOLAR Mars 100 установленной мощностью по 10 МВт каждая. Выработку высокопотенциального технологического пара обеспечат два котла-утилизатора производительностью по 15 т/ч. Помимо когенерационного энергоблока в структуру энергоцентра входит газовая котельная собственных нужд.

Одним из важнейших факторов, способствующих надежной и эффективной эксплуатации генерирующего оборудования, является качество топливного газа. Снабжение ГТУ и котельной топливом с заданными параметрами по чистоте, температуре,



ФОТО 1. Блочный пункт подготовки газа «ЭНЕРГАЗ», действующий на энергоцентре завода НАУАТ

давлению и расходу гарантирует многофункциональная система «ЭНЕРГАЗ» – блочный пункт подготовки газа (БППГ) и дожимная компрессорная станция (ДКС).

БППГ (фото 1) с пропускной способностью 9 317 м³/ч служит для учета, фильтрации, редуцирования и контроля качества газа. Эта технологическая установка введена в эксплуатацию и на данном этапе (до пуска ГТУ) обеспечивает топливом котельную энергоцентра.

Пункт оснащен коалесцирующими фильтрами, эффективность очистки составляет 99,9% для твердых частиц крупнее 3 мкм и 100% для капельной влаги. В БППГ очищенный газ будет разделяться на два потока. Первый напрямую направляется на ДКС и далее в турбины ГТУ, второй поток проходит через систему редуцирования, которая снижает давление газа

и стабилизирует его на уровне 0,3 МПа, необходимом для подачи в котлоагрегаты.

На БППГ измеряется общий объем поступающего на энергоцентр газа (коммерческий учет) и отдельно – объем топлива для котельной (технологический учет). Блоки учета выполнены на базе расходомеров ультразвукового типа.

Пункт подготовки газа размещен в отдельном всепогодном блок-боксе, снабжен системами рабочего и аварийного освещения, отопления и вентиляции, системами безопасности. БППГ полностью автоматизирован, локальная система управления интегрирована в АСУ ТП объекта.

Дожимная компрессорная станция (фото 2), входящая в систему «ЭНЕРГАЗ», предназначена для компримирования подготовленного в БППГ топлива и его подачи в турбину под давлением 2,6 МПа. Максимальная объемная производительность ДКС – 6336 м³/ч, расход газа зависит от нагрузки ГТУ и контролируется в диапазоне от 0 до 100% специальной двухконтурной системой регулирования.

Технологическая схема ДКС гарантирует устойчивое поддержание расчетной температуры топлива, необходимой для нормальной работы турбины. Линия нагнетания станции оборудована теплообменным аппаратом, который охлаждает рабочую среду и обеспечивает оптимальную температуру подачи газа (до +70 °С), определенную производителем ГТУ и условиями проекта.



ФОТО 2. Газокомпрессорная станция смонтирована на эксплуатационной площадке нового предприятия



ФОТО 3. Технологический отсек газоприемной станции «ЭНЕРГАЗ»

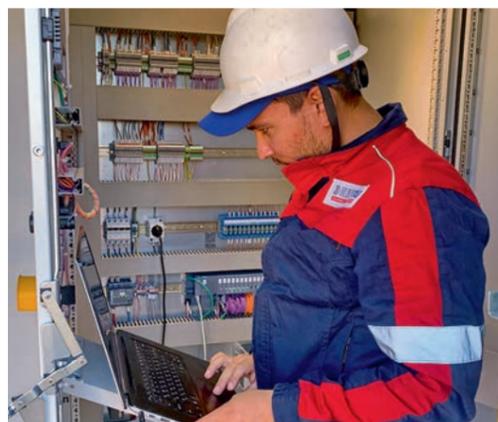


ФОТО 4. Настройка системы управления

Учитывая жесткие требования к чистоте топливного газа, базовая система фильтрации ДКС, состоящая из газо-масляного сепаратора и коалесцирующего фильтра 1-й и 2-й ступеней очистки, усилена дополнительными элементами: 1) на линии всасывания компрессорной станции установлен защитный стрейнер; 2) в модуль ДКС встроен страховочный фильтр тонкой очистки газа. В итоге содержание примесей в топливе на входе в блок отключающей арматуры ГТУ не превышает 0,1 ppmw (мг/кг).

Газодожимной агрегат размещается в собственном укрытии, оснащенный системами жизнеобеспечения. В соответствии с требованиями безопасности ДКС укомплектована системами пожаробнаружения, газодетекции, сигнализации и пожаротушения.

В настоящее время компрессорная станция смонтирована на эксплуатационной площадке нового предприятия НАУАТ, запланирована наладка оборудования. ДКС поставлена в максимальной заводской готовности, что значительно сокращает продолжительность предпусковых работ.

Пиково-резервные энергоисточники в Белоруссии получили четыре газоприемные станции «ЭНЕРГАЗ»

В Республике Беларусь создаются пиково-резервные энергоисточники (ПРЭИ) на базе турбин Siemens SGT-800: на Минской ТЭЦ-5 это ГТЭС мощностью 300 МВт в составе 6 турбин, на Березовской ГРЭС – ГТЭС-250 МВт (5 турбин),

на Лукомльской ГРЭС – ГТЭС-150 МВт (три турбины), на Новополоцкой ТЭЦ – ГТЭС-100 МВт (две турбины).

Компания ЭНЕРГАЗ оснастила белорусские ПРЭИ четырьмя газоприемными станциями. ГПС изготовлены ЭНЕРГАЗом по специальным проектам и представляют собой пункты подготовки газа (фото 3), которые будут обеспечивать установленные расчетные параметры топлива перед его подачей в турбины. Основное назначение ГПС – очистка, измерение расхода и подогрев газа.

Все станции оснащены сепарационной системой с коалесцирующими фильтрами-скрубберами. Эффективность очистки газа – 99,9% для загрязнений размером более 10 мкм (микрон). Предусмотрена возможность быстрой замены фильтрующих элементов.

Для измерения объема топлива, поступающего в газотурбинные энергоблоки, ГПС оборудованы двухлинейными блоками коммерческого учета. Данные от них передаются по коммуникационным каналам на верхний уровень АСУ ТП.

Для достижения проектной температуры газа (до +40 °С) на каждой ГПС установлен модуль подогрева, состоящий из теплообменных аппаратов и узла сбора и хранения газового конденсата с дренажным резервуаром.

Технологические установки укомплектованы узлами контроля качества топлива, смонтированными на выходных трубопроводах и оснащенные измерительно-аналитическим оборудованием.

Станции размещены в тепло- и звукоизолирующих модулях и снабжены необходимыми инженерными системами. ГПС спроектированы для работы в автоматическом режиме, их пропускная способность составляет от 29 210 до 87 506 м³/ч – в зависимости от количества сопряженных турбин и мощности ПРЭИ.

Техническое сопровождение всех проектов осуществляет компания СервисЭНЕРГАЗ, входящая в Группу ЭНЕРГАЗ. Сервисные инженеры выполняют полный цикл предпусковых мероприятий: шефмонтаж, наладку, собственные и интегрированные испытания, обучение персонала

На Актюбе ТЭЦ в Казахстане готовится к эксплуатации система «ЭНЕРГАЗ» для топливоснабжения нового газотурбинного энергоблока

Актюбинская теплоэлектроцентраль – это единственный источник централизованного теплоснабжения Актюбе, крупнейшего города Западного Казахстана. Электрическая и тепловая мощность – 118 МВт и 878 Гкал/ч соответственно.

Новый газотурбинный энергоблок (ГТУ) проектной мощностью 57 МВт интегрируется в технологическую схему объекта для работы в парогазовом цикле. Основную генерацию обеспечит индустриальная турбина Siemens SGT-800.

Отработавшие горячие газы (продукты сгорания топлива) будут поступать из турбины в котел-утилизатор производства АО «Подольский машиностроительный завод» для выработки пара с давлением 3,0 МПа и температурой 420 °С в объеме 70 тонн в час. Полученный перегретый водяной пар среднего давления направляется на существующие паровые турбины Актюбе ТЭЦ для вторичной генерации электроэнергии.

Для топливоснабжения энергоблока предназначена система комплексной газоподготовки «ЭНЕРГАЗ», которая обеспечит качество топлива в соответствии с проектными параметрами. Основные элементы этой системы – блочный пункт подготовки газа (фото 5) и дожимная компрессорная станция.

БППГ служит для очистки, снижения и стабилизации давления, измерения объема поступающего газа. Пункт оснащен блоком фильтрации, модулем редуцирования и узлом технологического учета. Пропускная способность БППГ составляет 15 433 м³/ч – аналогично номинальному расходу топлива на ГТУ.

После предварительной подготовки поток газа направляется в ДКС из двух дожимных установок (фото 6) производительностью по 12 000 кг/ч, предназначенных для компримирования и подачи топлива в турбину SGT-800 с давлением 3,1 МПа и температурой +60 °С.

Пункт подготовки газа и дожимная компрессорная станция полностью автоматизированы.



ФОТО 5. БППГ «ЭНЕРГАЗ» обеспечит подготовку топлива для газотурбинной установки Актюбе ТЭЦ

Их системы управления выполнены на базе микропроцессорной техники с использованием современного программного обеспечения, коммутационного оборудования, каналов и протоколов связи. Локальные САУ интегрируются с АСУ ТП объекта. Они обеспечивают дистанционное управление установками, автоматические защиты и сигнализацию, контролируют технологические параметры и загазованность в помещениях, обрабатывают параметры рабочих процессов и аварийных событий, выводят информацию на панель оператора.

Ввод системы газоподготовки и топливоснабжения для новой ГТУ Актюбе ТЭЦ – шефмонтаж, пусконаладку, индивидуальные и интегрированные испытания, а также обучение оперативного

персонала осуществляют специалисты компании СервисЭНЕРГАЗ (Группа ЭНЕРГАЗ).

Реконструкция ГРС «Белоозерск-2» обеспечена основным оборудованием от компании ЭНЕРГАЗ

Березовская ГРЭС (РУП «Брестэнерго») – одно из крупнейших предприятий электроэнергетики Республики Беларусь. Станция обеспечивает выработку и поставку электричества в энергосистему страны, а также теплоснабжение промышленных предприятий и жилищно-коммунального сектора города Белоозерска. На сегодня установленная электрическая мощность ГРЭС составляет 1095 МВт.

В связи с планируемым ростом потребления топлива здесь модернизируется схема внешнего газоснабжения – осуществляется строительство подводящего трубопровода высокого давления и реконструкция газораспределительной станции (ГРС) «Белоозерск-2». Реконструкция предполагает демонтаж существующего узла очистки газа, установку новой системы газовой фильтрации и увеличение проектной производительности ГРС до 145 200 м³/ч.

Система фильтрации, изготовленная и поставленная на объект компанией ЭНЕРГАЗ, предназначена для удаления твердых частиц и влаги из магистрального газа высокого давления (3,1...5,4 МПа) и состоит



ФОТО 6. Газодожимные установки в составе системы топливоснабжения нового энергоблока

из трех фильтров-сепараторов пропускной способностью по 72 600 нм³/ч. Система включает две работающие линии и одну резервную.

Необходимая очистка газа обеспечивается в две ступени – за счет применения гравитационного принципа и комбинированных фильтрующих элементов. Эффективность при этом составляет 100% для загрязнений крупнее 50 мкм (микрон), содержание примесей в газе на выходе не превышает 1 мг/м³.

ЭНЕРГАЗ поставил многоблочный газорегуляторный пункт для газоснабжения Заинского района Татарстана

Газорегуляторный пункт (фото 7) представляет собой установку подготовки газа и состоит из нескольких блок-модулей с оборудованием различного назначения, состыкованных в единое здание. Функционал ГРП «ЭНЕРГАЗ» – очистка, одоризация, снижение давления и измерение расхода газа.

Максимальная пропускная способность установки составляет 100 000 м³/ч. ГРП обеспечит снабжение потребителей г. Заинска и Заинского района газом с давлением 0,3 МПа и 0,6 МПа соответственно.

Основные элементы многофункционального технологического комплекса:

- система фильтрации газа с эффективностью 99,9 % для примесей крупнее 10 мкм;



ФОТО 7. Технологическое пространство одного из модулей газорегуляторного пункта «ЭНЕРГАЗ»

- узел автоматической одоризации с емкостью для хранения и выдачи одоранта;
- два блока коммерческого учета (для газа 0,3 и 0,6 МПа);
- два модуля редуцирования и стабилизации давления (0,3 и 0,6 МПа);
- узел контроля качества газа с измерительно-аналитическим оборудованием;
- система автоматизированного управления.

Новополюцкая ТЭЦ получила высокоэффективную систему газовой фильтрации «ЭНЕРГАЗ»

Данное технологическое оборудование предназначено для сверхтонкой очистки газового топлива на входе в блок отключающей арматуры

турбин SGT-800. Концевая система фильтрации «ЭНЕРГАЗ» состоит из четырех фильтров вертикального картриджного типа пропускной способностью по 14 890 нм³/ч каждый.

Эффективность фильтрации – 99,9% для частиц крупнее 0,01 мкм. В результате остаточное содержание примесей в очищенном газе не превышает 0,001 ppmw (мг/кг). Коалесцирующие фильтры оборудованы датчиками перепада давления, которые сигнализируют о загрязнении сменных элементов. Сигналы поступают непосредственно на верхний уровень АСУ ТП.

Начался новый, 16-й год работы ЭНЕРГАЗа в сфере комплексной газоподготовки. Коллектив компании, как и прежде, сосредотачивает свои усилия и опыт на инженерном творчестве и качественном исполнении проектных и технологических требований заказчиков.

Пресс-служба
Группы компаний ЭНЕРГАЗ

KEYWORDS: *compression, associated petroleum gas, energy supply, gas receiving station, gas supply.*

ЭНЕРГАЗ
ГАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

105082, Москва, ул. Б. Почтовая, 55/59, стр. 1
Тел.: +7 (495) 589-36-61
Факс: +7 (495) 589-36-60
info@energaz.ru
www.energaz.ru



ФОТО 8. Высокоэффективная система газовой фильтрации

О ЧЕМ ПИСАЛ Neftegaz.RU 10 ЛЕТ НАЗАД...

А. Новак & Ч. Пин. Определены перспективы энергетического сотрудничества Китая и России. Газа нет

В октябре 2012 г. Ч. Пин обсудил с А. Новаком возможности реализации проектов по увеличению объемов экспорта российской электроэнергии в КНР. Россия долго пытается повысить эффективность сотрудничества с Китаем. По нефти вопрос удалось урегулировать.



Вопрос поставки газа, похоже, окончательно «завис». Есть Соглашение о стратегическом сотрудничестве, Меморандум о взаимопонимании в сфере природного газа, Рамочное соглашение об условиях поставки, нет только 30-летнего контракта на поставку газа в Китай.

Комментарий Neftegaz.RU

В 2022 г. китайский рынок стал главным экспортным направлением для российских энергоносителей. Очередной контракт между CNPC и ПАО «Газпром» на поставку 10 млрд м³ в год в течение 25 лет был заключен в феврале 2022 г. В первом полугодии объем прокачки газа в Китай по трубопроводу «Сила Сибири» вырос на 63%. По данным газеты Коммерсант, из России за первое полугодие импортировали 2,35 млн тонн газа на сумму \$2,16 млрд. Турецкое издание Yeni Safak



высказывает предположение, что Китай решил заработать на перепродаже российского газа в Европу.

Иран хочет остановить экспорт нефти зимой в ряд стран

В октябре 2012 г. Иран заявил о готовности обсудить законопроект, согласно которому может быть введен запрет на экспорт нефти зимой в страны, применяющие санкции против нефтяного сектора Республики. Министр нефти Р. Гасеми сказал, что хоть Запад и ввел санкции в отношении нефтяного сектора Ирана, экспорт нефти остановить невозможно.

Комментарий Neftegaz.RU

В 2012 г. в ответ на санкции Иран прекратил продажу нефти США и Великобритании, а с 2013 г. – странам ЕС. Сегодня страна



планирует привлечение 160 млрд долл. инвестиций в свой нефтяной сектор, чтобы нарастить экспорт после возобновления ядерной сделки. Пока основным рынком сбыта является Китай, закупаящий иранскую нефть по низкой цене.

Из-за конкуренции с Россией в странах АТР в 2022 г. Иран был вынужден снизить объемы поставок с 1 млн барр. до среднего значения в 750 тыс. барр.

Газпром нефть продала около 4 млн единиц сокращения выбросов в рамках Киотского протокола

В октябре 2012 г. Газпром нефть реализовала 3,93 млн ЕСВ (каждая единица соответствует 1 тонне CO₂), что более чем в 13 раз превышает объемы, выставленные на продажу в мае 2011 г., когда она первой из российских нефтяных компаний завершила сделку по продаже ЕСВ. 1 ЕСВ стоит порядка 10 долл. США. Газпром нефть получит около 40 млн долл. США за продажу ЕСВ.

Комментарий Neftegaz.RU

В 2019–2022 г. российские компании купили около 700 тыс. углеродных единиц на зарубежных рынках. Ожидается, что в течение 7–8 лет объем рынка углеродных единиц в мире увеличится примерно в 25 раз. Драйверами рынка станут компании, принявшие добровольные обязательства по снижению собственного углеродного следа. Их на данный момент в России около 200. С 1 сентября в России заработал реестр рынка углеродных единиц. Участники могут регистрировать климатические проекты, выпускать углеродные единицы в обращение и проводить сделки.



СПГ: проблемы и перспективы строительства производственно-сбытовых объектов

В ПРОШЛОМ НОМЕРЕ АВТОР НАШЕГО ЖУРНАЛА ПРОФЕССОР ЗАХАРОВ С КОЛЛЕГАМИ АНАЛИЗИРОВАЛ ОСТРЫЕ ВОПРОСЫ СУБСИДИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СПГ. УЧИТЫВАЯ ПОВЫШЕННЫЙ ИНТЕРЕС К ТЕМЕ СО СТОРОНЫ СПЕЦИАЛИСТОВ ОТРАСЛЕВЫХ КОМПАНИЙ, МЫ ПРОДОЛЖАЕМ ЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ. НА ВОПРОСЫ О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ, ЕЕ НЕДОСТАТКАХ И ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТВЕЧАЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР ГРУППЫ «ДЕЛОВОЙ ПРОФИЛЬ» КСЕНИЯ АРХИПОВА

УДК 665.725

IN THE LAST ISSUE, THE AUTHOR OF OUR JOURNAL, PROFESSOR ZAKHAROV AND COLLEAGUES ANALYZED THE ACUTE ISSUES OF SUBSIDIZING THE LNG PRODUCTION AND MARKETING INFRASTRUCTURE. GIVEN THE INCREASED INTEREST IN THE TOPIC ON THE PART OF SPECIALISTS FROM INDUSTRY COMPANIES, WE CONTINUE TO DISCUSS IT. KSENIA ARKHIPOVA, EXECUTIVE DIRECTOR OF BUSINESS PROFILE GROUP, ANSWERS QUESTIONS ABOUT THE FUNCTIONING OF THE CURRENT REGULATORY FRAMEWORK, ITS SHORTCOMINGS AND INCREASING EFFICIENCY

Ключевые слова: нормативная база, СПГ, производственно-сбытовая инфраструктура, технологии, КриоАЗС.

Ксения Архипова

старший партнер,
исполнительный директор
Группы «Деловой профиль»

– **Нормативная база, касающаяся строительства объектов производственно-сбытовой инфраструктуры СПГ, изменяется и дополняется, насколько эффективны принимаемые меры?**

– В феврале 2021 года была утверждена «дорожная карта», призванная изменить устаревшие требования к проектированию и строительству

малотоннажных производств СПГ и газозаправочной инфраструктуры. Усовершенствование нормативов, многие из которых были разработаны еще в СССР, могло бы способствовать развитию малотоннажного производства СПГ.

После принятия «дорожной карты» процесс разработки нормативной базы движется крайне медленно, и ее обновления еще не произошло. Но, поскольку новые

нормы будут гармонизованы с международными, компании смогут активно использовать параллельный импорт технологий и оборудования при строительстве малотоннажных производств СПГ или покупать за рубежом эффективные готовые компактные решения.

– **Насколько нормативная база полноценна в части требований, касающихся хранения и обслуживания техники, использующей в качестве топлива природный газ?**

– Государственная программа, действующая в 2017–2022 гг., направлена на расширение использования природного газа в качестве моторного топлива на транспорте и технике специального назначения. В соответствии с поставленными программой целями, объем потребления сжатого природного газа должен был увеличиться за шесть лет почти в два с половиной раза, а СПГ – более чем в семьдесят семь раз.

Однако производство СПГ дороже, чем КПГ, а газозаправочная инфраструктура не развита (на начало второго полугодия в России работают всего 24 КриоАЗС), поэтому техники, которая работает на СПГ, очень мало. КриоАЗС вынуждены конкурировать с АГНКС (автомобильные газонаполнительные компрессорные станции), которых в России уже около 650 единиц. Поддерживает розничный рынок СПГ государственное субсидирование строительства КриоАЗС и перевод общественного транспорта на СПГ в некоторых регионах России.

– Единственным налоговым стимулом для инвестиций в строительство СПГ-заводов в России является полукратное увеличение расходов на НИОКР при определении налоговой базы по налогу на прибыль. Но эта льгота не является особенной, а предоставляется всем компаниям, осуществляющим НИОКР. Других налоговых льгот, которые могли бы подтолкнуть инвестиции в производство СПГ, нет.

– Действующая в России нормативная база во многом не согласуется с требованиями на других развитых рынках. Поэтому все импортные технологии и оборудование приходится адаптировать к российским требованиям.

В соответствии с долгосрочной программой, утвержденной в марте прошлого года, планировалось к 2035 году увеличить производство СПГ почти в пять

В середине 2022 года в России работало всего

24 КриоАЗС

Интерес участников рынка СПГ к розничным продажам повышает субсидирование строительства на ведущих федеральных трассах 80 КриоАЗС (по 45–62 млн руб. на каждую, в зависимости от мощности и конструкции), которые должны быть введены в эксплуатацию не позднее 1 октября 2023 года.

Покупку автобусов, грузовых и легковых автомобилей категории М1, а также коммерческих автомобилей на КПГ и СПГ с 2014 года поддерживает Минпромторг, который за счет субсидий предоставляет покупателям газомоторной техники скидку.

60% затрат на установку газобаллонного оборудования, работающего на СПГ или КПГ, в том числе смешанного, субсидируются из федерального бюджета по инициативе Минэнерго. Однако «Газпром газомоторное топливо» компенсирует автовладельцам, устанавливающим КПГ-оборудование, 30% их затрат, что позволяет последним

раз и достичь объема 140 млн т. Строящиеся и заплаченные к строительству производства рассчитывали приобрести технологии и оборудование в США и в Европе. Однако введение пятого пакета антироссийских санкций приостановило действие даже оплаченных контрактов по поставкам оборудования для производства СПГ и сделало невозможными новые покупки.

СПГ-технологии средне- и крупнотоннажного производства в России локализованы недостаточно, и единственный опыт запуска НОВАТЭКом СПГ-линии из оборудования российского производства нельзя назвать успешным: оборудование работает с перебоями, а его мощность ниже линий западного производства.

Поэтому крайне важно на законодательном уровне сформировать основу для разработки отечественных технологий и локализации производства критически важного оборудования для строительства средне- и крупнотоннажных производств СПГ: необходимо развитие и масштабирование имеющихся или адаптированных западных технологий; нужны новые стандарты в переработке и сжижении природного газа; требуются налоговые и финансовые механизмы стимулирования НИОКР, создания СПГ-кластеров и газохимических производств. Из запланированных 23 млрд руб. на НИОКР на 2022 год Минфин выделил всего 2,8 млрд руб. ●

KEYWORDS: regulatory framework, LNG, production and distribution infrastructure, technologies, cryo filling stations.

Из запланированных в 2022 году на НИОКР 23 млрд руб. Минфин выделил всего

2,8 млрд руб.

– **Строительство производственно-сбытовых объектов СПГ – задача для отдельной компании сложная, каким должно быть в ее решении государственное участие (финансовое стимулирование, налоговые льготы, субсидии, преференции)?**

оплачивать всего 10% стоимости переоборудования. Владельцы автомобилей, переходящих на использование СПГ, подобных льгот не имеют.

– **Какие пробелы или излишние требования Вы могли бы отметить в действующей нормативной базе?**

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА, ЛОГИСТИКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА

Карасевич Владислав Александрович
к.т.н., доцент,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Федюхин Александр Валерьевич
Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
доцент, к.т.н.

Повернов Михаил Сергеевич
технический директор ООО «Дельта П»,
ведущий инженер МФТИ (НИУ)

В СТАТЬЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, ХРАНЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА. МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДОРОДА ПРЕВЫШАЕТ 70 МЛН ТОНН В ГОД (БЕЗ УЧЕТА ВОДОРОДА В ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ) И, ПО МНЕНИЮ АНАЛИТИЧЕСКИХ АГЕНТСТВ, БУДЕТ РАСТИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЗА СЧЕТ РАСШИРЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ. В СТАТЬЕ ТАКЖЕ ПРИВОДЯТСЯ РАЗЛИЧНЫЕ КЛАССИФИКАЦИИ ВОДОРОДА, РАССМАТРИВАЕТСЯ УГЛЕРОДНОСТЬ РАЗНЫХ ЕГО ВИДОВ. АВТОРЫ ОПИСЫВАЮТ НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА, А ТАКЖЕ ПРИВОДЯТ ВАРИАНТЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В НЕЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

THE ARTICLE DISCUSSES THE MAIN TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION, STORAGE, TRANSPORTATION AND USE OF HYDROGEN. WORLD PRODUCTION AND CONSUMPTION OF HYDROGEN EXCEEDS 70 MILLION TONS PER YEAR (EXCLUDING HYDROGEN IN GAS MIXTURES) AND, ACCORDING TO ANALYTICAL AGENCIES, IT WILL GROW, INCLUDING DUE TO THE EXPANSION OF ITS USE. THE ARTICLE ALSO PROVIDES VARIOUS CLASSIFICATIONS OF HYDROGEN, CONSIDERS THE CARBON CONTENT OF ITS VARIOUS TYPES. THE AUTHORS DESCRIBE THE MOST POPULAR PRODUCTION TECHNOLOGIES, CONSIDER THE TECHNOLOGIES FOR ITS TRANSPORTATION AND STORAGE, AND ALSO PROVIDE OPTIONS FOR ITS USE AS AN ENERGY RAW MATERIAL AND USE FOR NON-ENERGY PURPOSES

Ключевые слова: водород, водородная энергетика, топливные элементы, метано-водородная смесь.

Несмотря на то, что интерес к водородным технологиям в последнее время значительно вырос, первые опыты использования водорода были более 200 лет назад, а сам водород играет значительную роль в жизни человека на протяжении более чем 100 лет (как сырье для производства удобрений, хладагент в электроэнергетике, на нефтеперерабатывающих и химических производствах, в пищевой промышленности и микроэлектронике).

По прогнозам Международного энергетического агентства, производство и потребление водорода в мире будет расти и к 2050 году может достигнуть 245 млн тонн (при сегодняшних 94 млн тонн), рост спроса на водород ожидается за счет развития его использования в электроэнергетике, системах накопления энергии для автономного энергоснабжения объектов и поселений, в транспортном секторе (в том числе и в виде аммиака в качестве судового топлива) [1, 2].

УДК 661.96

Ожидается, что важную роль в производстве водорода будут играть низкоуглеродные технологии, такие как электролиз воды с использованием возобновляемой электроэнергии, применение традиционных технологий (такие как паровая конверсия метана и газификация угля) с улавливанием и захоронением CO₂. Хранение и транспортировка водорода осуществляется и будет осуществляться по трубопроводам, а также в сжатом, сжиженном и связанном (металлогидриды, органические носители) состояниях.

Далее по тексту будут рассмотрены основные технологии производства, транспортировки, подземного хранения и использования водорода.

РИС. 1. Мировое производство водорода [2]

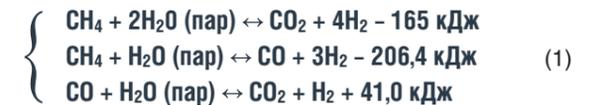


Производство водорода

В 2020 году, по оценкам Международного энергетического агентства, было произведено 90 млн тонн водорода, из них 18 млн тонн в составе газовой смеси пошло на производство метанола. Как видно из рисунка 1, больше половины водорода было получено из природного газа, почти 20% водорода было получено из угля и еще более 20% водорода было получено как побочный продукт при производстве других веществ [2].

Паровая конверсия метана – наиболее распространенный в России и один из самых популярных в мире способов получения водорода.

Паровая конверсия метана обычно проходит в два этапа (формула 1) в трубчатых реакторах под давлением 20–40 бар и при температуре 750–900 °C с применением катализаторов (оксидов никеля или алюминия).



На рисунке 2 представлена схема установки паровой конверсии метана датской компании Haldor Topsøe, установки которой пользуются большой популярностью в России [2]. Из проектов компании, реализуемых в 2020–2021 годах можно отметить строительство завода на 135 тыс. м³ водорода в Нижнекамске для АО ТАНЕКО (дочерней компании ПАО «Татнефть»), на 105 тыс. м³ для Московского НПЗ (ПАО «Газпромнефть») и на 30 тыс. м³ в Усть-Луге для ПАО «Новатэк». Природный газ вначале поступает в модуль сероочистки, где проходит очистку от серных соединений. Далее смешивается с паром и поступает в установку предриформинга и риформинга, где в два этапа происходит химическая реакция паровой конверсии (формула 1). На первом этапе в результате эндотермической реакции метана и водяного пара образуется синтез-газ, который может являться сырьем для дальнейших химических процессов (например, производства метанола). На втором этапе в результате экзотермического процесса из водяного пара образуется водород, а оксид углерода доокисляется до диоксида углерода. После выхода из блока риформинга полученный водородосодержащий газ охлаждается и отделяется от примесей: в результате на выходе получается водородосодержащий газ, доля водорода в котором составляет 97%, а остальные 3% распределены между CH₄, CO и CO₂. Этого достаточно для работы установки гидрокрекинга на НПЗ, при необходимости получения более чистого водорода ВСГ направляется на адсорбционную установку.

Углеродные выбросы можно оценить в 10–16 кг CO₂ на 1 кг H₂ без улавливания и захоронения углекислого газа и 3–6 кг CO₂ на 1 кг H₂ при улавливании

РИС. 2. Технология паровой конверсии метана Haldor Topsøe [2]

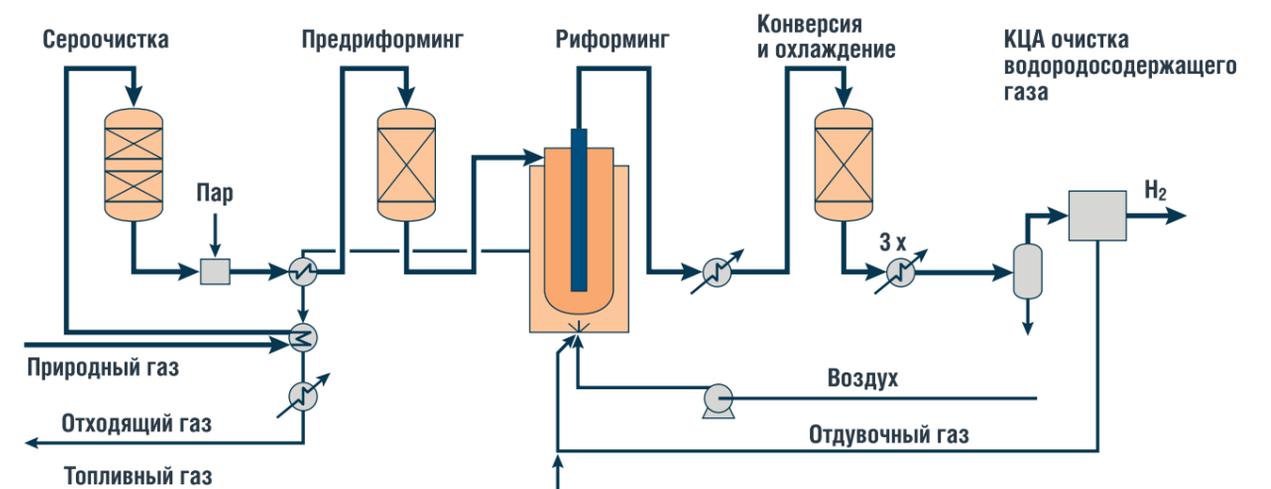
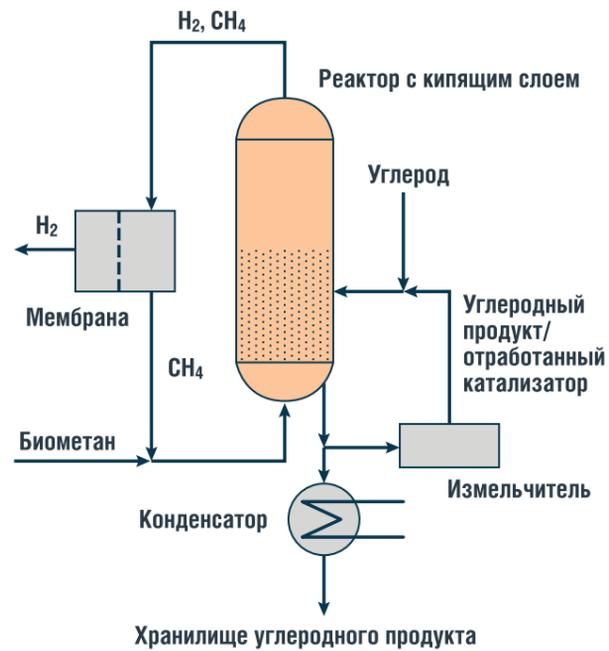


РИС. 3. Схема пиролиза метана с углеродным катализатором



и захоронении углекислого газа. Стоимость 1 кг полученного паровой конверсией метана водорода в России можно оценить в 40–60 рублей за 1 кг.

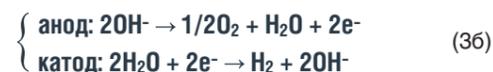
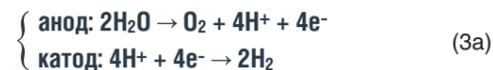
В отличие от паровой конверсии промышленные пиролизные установки для метана (рисунок 3, формула 2) сегодня отсутствуют, а сама технология больше распространена для переработки отходов (резины, пластика, активного ила водоканалов и т. д.) или для получения из метана ацетилена и этилена. В то же время, учитывая наличие у технологии явных преимуществ (например, отсутствие необходимости улавливания и утилизации/захоронения CO₂) было принято решение включить ее в статью.



При пиролизе метана под при высокой температуре разлагается на твердый углерод и газообразный водород, CO₂ при этом не выделяется. Однако при пиролизе метана необходимо решить вопрос

с утилизацией получаемого при процессе углерода. Углеродные выбросы при пиролизе метана обусловлены выбросами на производство потребляемой в процессе пиролиза электроэнергии и, по оценкам авторов, составляют до 2,5 кг CO₂ на 1 кг H₂.

Одной из наиболее перспективных технологий является производство водорода методом электролиза воды (рисунок 4). По данным МЭА, в 2020 году в мире эксплуатировалось 286 МВт электролизеров, из которых на щелочные электролизеры приходилось более 60 %, еще 31 % – на электролизеры с твердополимерной мембраной [2].



На рисунке 4 показаны три типа низкотемпературных электролизных ячеек: популярный в мире и в России щелочной вариант, а также электролизные ячейки с протон-обменной и анион-обменной мембранами (рисунки а, б и с соответственно). В зависимости от типа ячейки на аноде и катоде происходят разные химические реакции. Для ячеек с протон-обменной мембраной деление воды на ионы водорода и кислород происходит на аноде, формирование молекул водорода происходит на катоде (3а), куда ионы водорода попадают через мембрану. В щелочных ячейках (к ним также можно отнести и ячейки с анион-обменной мембраной) вода поступает на катод, где распадается на гидроксид-ионы и водород (3б). Гидроксид-ионы через электролит попадают на анод, где из них образуются кислород и вода. Щелочные электролизеры дешевле чем электролизеры с протон-обменной мембраной и менее прихотливы к качеству воды (для щелочных электролизеров электрическая проводимость воды может быть до 20 мкСм/см, в то время как для электролизеров с протон-обменной мембраной электрическая проводимость воды не должна превышать 1 мкСм/см), в то время как электролизеры с протон-обменной мембраной более долговечны (до 40 000 часов и до 30 000 часов работы

РИС. 4. Типы низкотемпературных электролизных ячеек (источник – [5])

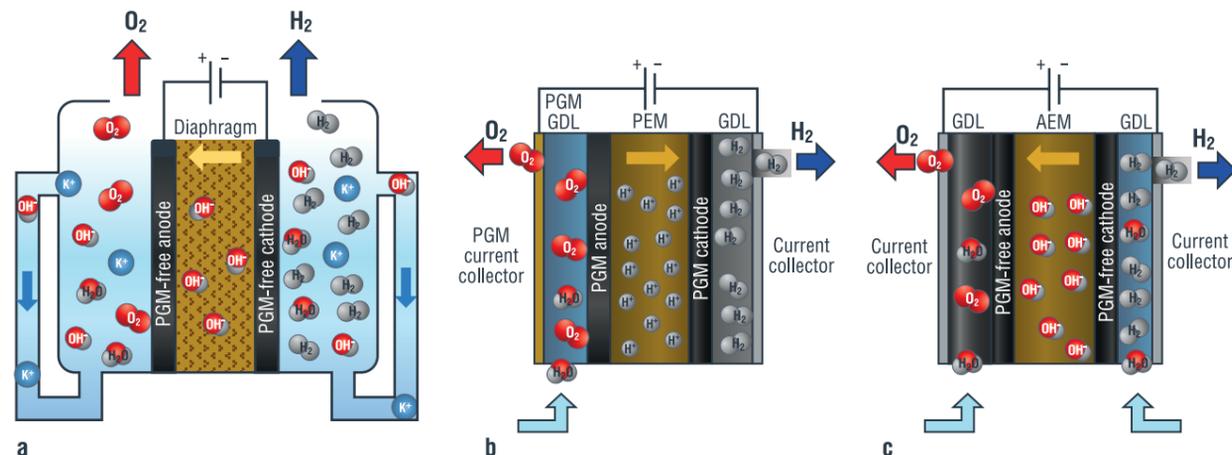
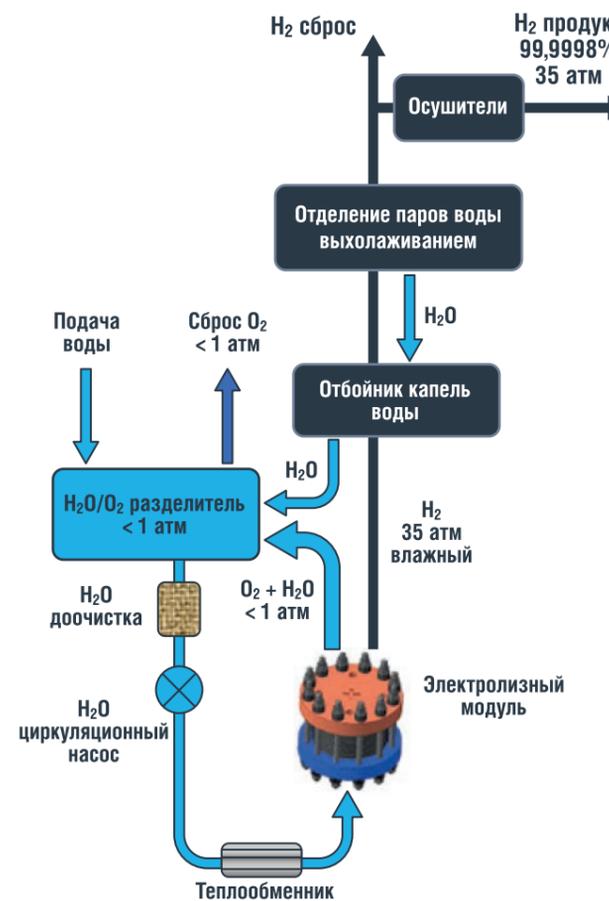


РИС. 5. Генератор водорода [6]



у щелочных) и в них отсутствуют щелочные растворы, которые необходимо периодически менять и наличие которых усложняет эксплуатацию.

Обычно, кроме электролизных ячеек, в электролизе (или генераторе водорода) также входят блоки водоподготовки, очистки и осушки водорода (например, на рисунке 5 показана схема электролизера на протон-обменных мембранах производства ООО «Поликом»). Требования по электрической проводимости электролизеров озвучены выше и устанавливаются их производителями, водород после очистки может выходить с давлением до 40 бар и чистотой 99,9 % и выше.

В зависимости от модели низкотемпературного электролизера потребление электроэнергии на выработку 1 м³ водорода составляет от 4 до 7 кВт·ч, на высокотемпературном электролизере с твердооксидной мембраной (принцип работы похож на щелочной электролизер, но на вход подается не вода, а пар) потребление электроэнергии на выработку 1 м³ водорода может быть значительно ниже и зависит от параметров пара (в теории возможно полностью термическое разложение воды на кислород и водород).

В России и сегодня в эксплуатации находятся несколько сотен электролизеров, которые производят водород для собственных нужд химических предприятий (например, Ставролен, ПАО «Лукойл»), нефтеперерабатывающих заводов (например, Московский НПЗ, ПАО «Газпром нефть»), на объектах электроэнергетики (стоят практически у всех

генерирующих компаний), микроэлектроники и пищевой промышленности. Только на АЭС Росатома их общая номинальная производительность составляет 5500 м³/час, или 4200 тонн/год. Вместе с тем для производства или хранения энергии водород в стране сегодня не используется, хотя можно говорить о появлении пилотных проектов (например, водородная система хранения энергии или водородная СНЭ) будет стоять на арктической станции «Снежинка», которая в 2024 году должна быть построена в Нефритовой долине в ЯНАО. Также водородные СНЭ рассматриваются на нескольких реализуемых проектах по строительству водородных автозаправочных станций (рассматриваются варианты заправки водородных автомобилей под давлением 350 и 700 бар). Стоимость водорода с применением технологии электролиза воды, по данным авторов, начинается от 250 рублей за 1 кг (при использовании электроэнергии АЭС) и может превышать 600 рублей за 1 кг при использовании возобновляемой электроэнергии.

Кроме рассмотренных в разделе технологий большой популярностью в мире также пользуются газификация угля (более 50 % производства водорода в Китае), получение водорода как побочного продукта (до 20 % водорода, получаемого в Нидерландах).

Транспортировка и хранение

В таблице 1 представлены основные направления транспортировки и хранения водорода. Большинство представленных технологий, за исключением трубопроводного транспорта и подземного хранения, могут использоваться как для хранения, так и для транспортировки водорода.

Самый дешевый вариант транспортировки водорода в больших объемах – это трубопроводный транспорт. Транспортировка водорода активно осуществляется с 30-х годов 20-го века, когда в Рейнско-Рурском районе Германии был построен первый магистральный водородопровод. На сегодняшний день в мире построено примерно 5 тысяч км магистральных водородопроводов, которые в большинстве своем принадлежат химическим производствам (Linde, Air Liquid, Air Products). Более 80 % сетей находится в Северной Америке и Европе (Германия и страны Бенилюкса). Кроме водородопроводов, эксплуатирующихся химическими гигантами, в последние годы в странах ЕС появился ряд проектов как по переоборудованию существующей газовой инфраструктуры под транспортировку водорода (Нидерланды, Великобритания, Италия), так и строительства новых водородопроводов (Нидерланды, Германия). Кроме традиционных стальных труб, в Нидерландах тестируется участок трубопровода длиной 2,5 км, в котором стоят полиэтиленовые трубы под давлением до 42 бар [6].

В отличие от стран Европы и Северной Америки, где были традиционно развиты водородопроводы, соединяющие предприятия по производству водорода с его потребителями, в России этот вид транспортировки отсутствует, а водородопроводы обычно ограничиваются внутренними сетями на промышленных предприятиях или электростанциях. Строительство водородопроводов регламентируется разделом Требований к трубопроводам, арматуре и соединениям Правил безопасности процессов получения или применения металлов

ТАБЛИЦА 1. Технологии хранения и транспортировки водорода

	Транспортировка	Хранение
В сжатом виде	да	да
В сжиженном виде	да	да
Трубопровод	H ₂ , H ₂ + CH ₄	нет
В смешанном виде	метано-водородная смесь	
Подземные резервуары	нет	да
Кабельные линии	да	нет
В связанном виде:		
аммиак	да	да
металлогидриды	да	да
органические носители	да	да

(утверждены Приказом Ростехнадзора от 09.12.2020 № 512): при прокладке водородопроводов применяются бесшовные стальные трубы или трубопроводы из нержавеющей стали, соединенные с применением сварки.

С начала 2000-х наряду с транспортировкой водорода стали смотреть возможность транспортировки метано-водородных смесей, однако до сих пор эта технология не вышла за рамки пилотных проектов. Исследования показывают, что для использования существующей газотранспортной инфраструктуры объемная доля водорода в метано-водородной смеси не должна превышать 10–20% [6]. Вместе с тем при оценке возможности транспортировки водорода в составе метано-водородной смеси по газопроводу Северный поток-2, выполненному при участии одного из авторов, предложенная оптимальная объемная доля водорода в метано-водородной смеси составляла лишь 5% [7].

Небольшие объемы водорода можно хранить и транспортировать в сжатом виде в баллонах. В России наиболее часто встречаются стандартные баллоны по 40 литров, в которые водород закачивается под давлением 150 бар, следовательно, объем водорода в баллоне составляет 6 м³. Зарубежные баллонные накопители водорода в зависимости от типа способны, как правило, хранить водород объемом от 30 до 120 литров при давлении до 700 бар. В автомобильном транспорте, например, используют комPOSITE баллоны давлением до 350 бар для легкового автотранспорта и автобусов и до 700 бар для грузового автотранспорта. Емкость ресиверов для хранения и транспортировки водорода (исключая автотранспорт, где объемы хранения водорода невелики) обычно составляет до 200 м³ с давлением до 250 бар, на водородных заправках для автотранспорта давление в ресиверах может достигать 900 бар.

Если раньше сжиженный водород в основном использовали в космической промышленности

(например, на сжиженном водороде, произведенном дросселированием сжатого водорода с двумя степенями предварительного охлаждения, работала вторая ступень ракетносителя «Энергия», который вывел на орбиту шаттл «Буран»; на сжиженном водороде летали американские космические корабли «Аполлон» и китайские космические корабли «Чанжень»), то в последнее время рассматривается транспортировка сжиженного водорода морским и сухопутным транспортом. В 2021 году с верфи сошел японский водородовоз Suisi Frontier, первое в мире судно для транспортировки сжиженного водорода. В 2022 году состоялся первый коммерческий рейс, который доставил сжиженный водород из Австралии в Японию.

Одним из перспективных направлений хранения водорода является его хранение в связанном состоянии: в виде металлгидридов или в составе жидких органических носителей (ЖОН). Принцип хранения и транспортировки водорода в виде металлгидридов построен на том, что некоторые соединения способны поглощать и удерживать в себе водород при небольшом избыточном давлении (формула 4). Принцип технологии ЖОН заключается в том, что водород может быть достаточно легко помещен в молекулу органического носителя, в связанном виде он может храниться и транспортироваться при нормальных атмосферных условиях и дегидрироваться в месте его применения.



В настоящий момент в мире рассматривается подземное хранение водорода, как в чистом виде, так и в составе метано-водородных смесей. Обычно речь идет о соляных кавернах и куполах, также применительно к подземному хранению водорода упоминаются каверны в скалистых породах и истощенные месторождения нефти и газа. Технология впервые была применена в Техасе (США) в 80-е годы: соляная каверна располагалась на глубине 850 метров, а емкость хранилища составляла 30,2 млн м³, или 2520 тонн водорода. В случае подземного хранения водорода обычно идет речь об объемах до 300 млн м³ газа при давлении до 200 бар. В случае с подземным хранением метано-водородной смеси можно отметить пилотный проект Underground Sun Storage в Австрии: емкость хранилища составляет 1,2 млн м³, объемная доля закачанного водорода – 10%.

Несмотря на то, что в некоторых публикациях аммиак и метанол рассматривают в качестве технологий хранения и транспортировки энергетического водорода, на наш взгляд, более правильно относиться к ним как к конечным продуктам, полученным из водорода. Это связано с высокой востребованностью аммиака и метанола в мире, что делает малоцелесообразным выделение из них водорода. В данной статье эти технологии рассмотрены в разделе по использованию водорода.

Использование водорода

По данным МЭА, в 2021 году на производство аммиака было направлено 34 млн тонн водорода, или 36,2% от его мирового потребления. Еще 15 млн тонн (16,0% от мирового потребления) было направлено

на производство метанола. В России является вторым производителем (19,6 млн тонн в 2020 году) и вторым экспортером (4,4 млн тонн аммиака в 2020 году) аммиака в мире, а также крупным экспортером метанола на производство аммиака и метанола пошло 58% и 12% водорода соответственно [8]. На производство экспортных аммиака и метанола было потрачено свыше 1 млн тонн водорода. С учетом того, что прогнозируется рост потребления аммиака, азотных удобрений и метанола, а в число крупных экспортеров входят такие страны, как Китай, Индия и Бразилия (азотные удобрения), у России есть шанс увеличить свой экспорт водородосодержащей продукции.

На перерабатывающие производства в мире в 2021 году было направлено 40 млн тонн водорода, или 42,6% от его мирового потребления. В России этот показатель составляет 27%. На нефтеперерабатывающих заводах водород используется в процессах гидроочистки, гидроизомеризации и гидрокрекинга.

Примерно 5 млн тонн водорода в год идет на металлургию, где водород используется на прямое восстановление железа из железной руды (формула 5). Процесс протекает при температуре 1000 °C и позволяет избежать альтернативного восстановления с использованием кокса и доменных печей. Кроме того, высокая температура горения водорода (2048 °C при его сжигании в воздухе) позволяет использовать водород в качестве топлива для литейных печей.



Одним из перспективных направлений развития водородной энергетики является использования водорода в системах накопления энергии (СНЭ). В этом случае в период низкого спроса электроэнергия через промежуточный литий-ионный накопитель попадает на электролизер и идет на выработку водорода. В период высокого спроса на электроэнергию водород подается на электрохимических генератор, на топливных элементах которого из водорода получают электроэнергию и тепло. Современные электрохимические генераторы позволяют получать из 1 м³ водорода до 2 электроэнергии и до 1 кВт тепла температурой до 120 °C, а общее КПД СНЭ при использовании тепла может достигать 70% (электрический КПД составляет до 40%). Этот показатель уступает литий-ионным батареям и сопоставим с воздушно-аккумулирующими (с учетом использования тепла и холода) и гидроаккумулирующими электростанциями.

Отдельным направлением использования водорода являются водородные котлы, которые целесообразно использовать в те моменты времени, когда потребность в тепле есть, а потребность в электроэнергии отсутствует. В рамках проведенного авторами исследования попадались как котлы с прямым сжиганием водорода, так и котлы с каталитическим горением водорода.

Несмотря на бурный рост как количества водородных заправок, так и количества транспорта (авто и ж/д) на водороде, мировое потребление водорода в данном сегменте за 2021 год составило всего 31 тыс. тонн [2]. В России водородный транспорт

и заправочная инфраструктура находятся в стадии НИОКР, из разработок можно выделить Augus в легковом секторе, автобусные разработки КамАЗ и ГАЗ, коммерческий автотранспорт от ГАЗ. Отдельного внимания заслуживают работы ТМХ по разработке пригородных поездов на водороде для Сахалина: к 2024 году компания должна поставить 7 локомотивов для нужд РЖД.

Выводы

В отличие от стран Европы и Северной Америки, где были традиционно развиты водородопроводы, соединяющие предприятия по производству водорода с его потребителями, в России этот вид транспортировки отсутствует, а водородопроводы обычно ограничиваются внутренними сетями на промышленных предприятиях или электростанциях.

Несмотря на то, что в некоторых публикациях аммиак и метанол рассматривают в качестве технологий хранения и транспортировки энергетического водорода, на наш взгляд, более правильно относиться к ним как к конечным продуктам, полученным из водорода. Это связано с высокой востребованностью аммиака и метанола в мире, что делает малоцелесообразным выделение из них водорода.

По мнению авторов, наиболее перспективным водородным направлением для России является развитие химической промышленности (производство аммиака, азотных удобрений и метанола), где страна является одним из ведущих мировых экспортеров. Это связано как с растущим спросом на водородосодержащую продукцию, так и наличием среди крупных импортеров стран БРИКС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00700, <https://rscf.ru/project/22-29-00700/>

Литература

- Global hydrogen demand by sector in the Sustainable Development Scenario, 2019-2070, IEA, 2020, URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-hydrogen-demand-by-sector-in-the-sustainable-development-scenario-2019-2070>.
- Global hydrogen review, IEA, 2022, URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>.
- Haldor Topsoe Flexible Solutions for hydrogen production for refineries, A. Капаягина, 2020, https://www.ctkeuro.ru/userfiles/docs/rss/2015/04_BBTC/RusBBTC2015_HALDOR_TOPSOE_ALEXANDRA_KARYAGINA_eng.pdf.
- Презентация генерального директора ООО «Поликом» Е. Волкова.
- Li, D., Park, E.J., Zhu, W. et al. Highly quaternized polystyrene ionomers for high performance anion exchange membrane water electrolyzers. *Nat Energy* 5, 378–385 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0577-x>.
- Материалы компании SoluForce, <https://www.soluforce.com/renewable-energy.html>.
- Melaina, M.W.; Antonia, O.; Penev, M. Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues; National Renewable Energy Lab: Golden, CO, USA, 2013.
- Родичкин И., Карасевич В. «Северный поток-2» для водорода, «Нефтегазовая вертикаль» – 2021. – № 9. – С. 23–29, URL: <http://www.ngv.ru/magazines/article/severnnyy-potok-2-dlya-vodoroda>.
- Карасевич В.А., Руденко С.Ю., Кортиков А.В. «Текущее состояние и потенциал использования природного газа для производства и экспорта водородосодержащей продукции», *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Вопросы экономики и управления нефтегазовым комплексом»*, с. 161–165, 2022 г.

KEYWORDS: hydrogen, hydrogen energy, fuel cells, methane-hydrogen mixture.



Формулы пермских ученых повысили эффективность ГТС

НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ГАЗОПРОВОДА ВЛИЯЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТРАНСПОРТА ГАЗА. Ученые Пермского Политеха разработали метод, позволяющий определить оптимальный тепловой режим МГП с учетом территориальных особенностей региона.

На компрессорных станциях газ проходит через систему очистки, где его температура повышается в среднем на 20 °С. Для направления газа к следующей станции его охлаждают. Часто паспортные характеристики аппарата не соответствуют фактическому режиму работы. Для решения этой проблемы ученые преобразовали паспортные характеристики оборудования в виде графиков в формулы для расчетов. В результате были определены диапазоны включения вентиляторов АВО, что помогло сократить расходы электроэнергии. Снижение температуры газа влияет на увеличение пропускной способности и продление срока службы всей газотранспортной системы.

Раскрыта тайна жидких фракций при паротепловом воздействии на пласт

ПРОЦЕСС ПАРОТЕПЛОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЯВЛЯЕТСЯ ОДНИМ ИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ДОБЫЧИ ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ. Однако состав жидких фракций в этом процессе оставался до конца неясным. Ученые КФУ совместно с зарубежными коллегами провели работу по созданию кинетической модели процесса паротеплового воздействия с учетом конверсии тяжелой нефти с образованием газов. Разработка позволяет подобрать вид катализаторов, спрогнозировать природу реакций и расход реагентов. Ученые провели анализ распределения продуктов реакции с использованием статистических методов для оценки кинетических параметров, обеспечивающих наилучшее соответствие экспериментальным данным. Научная новизна заключается в обширном раскрытии состава жидких фракций тяжелой нефти при реакциях аквагермолиза. Работа обеспечивает понимание взаимодействия нефти с водяным паром при ее внутривластовом обогащении.

Генератор водорода от ученых ТПУ

СОТРУДНИКИ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ СПГУ «СПИНУС» РАЗРАБАТЫВАЮТ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОБРАЗЕЦ ПРИБОРА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО, НЕ ВСКРЫВАЯ УПАКОВКИ, ОПРЕДЕЛЯТЬ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖИДКОСТИ ВНУТРИ. Работа анализатора основана на принципе ядерного магнитного резонанса. Ученым удалось разработать устройство, способное в зашумленном электромагнитными помехами и искаженном магнитном поле Земли получать качественный сигнал от ядер водород- и фторсодержащих жидкостей. Датчик прибора окружает стенка из немагнитных металлов, уменьшающие электромагнитные помехи. Внутри находится катушка индуктивности, в которую помещается образец исследуемого вещества. На него воздействуют сильным магнитным полем, затем – слабым радиоимпульсом. В итоге ядра вещества излучают радиосигнал, который с помощью компьютера преобразуется в спектр, по которому можно определять, какая жидкость находится внутри упаковки, не открывая ее.

Образование плазмы в атмосферных условиях впервые описал ученый КНИТУ

УЧЕНЫЙ КАЗАНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ВПЕРВЫЕ ОПИСАЛ МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ. Он выяснил, что, меняя условия охлаждения электродов, можно контролировать свойства разрядов, искусственно контролируя температуру электродов, можно добиться различных режимов разрядов, а следовательно, и свойств плазмы. В частности, исследователь нашел условия, при которых формировался дуговой разряд, имеющий вблизи катода диффузную, то есть в виде расплывчатого пятна, или, наоборот, сжатую до точки форму. Фактически было показано, что этими двумя режимами можно управлять. Результаты математического моделирования были подтверждены экспериментальными измерениями. Эти данные позволят использовать плазму с определенными свойствами при синтезе высококачественных искусственных наноалмазов, которые применяются в приборах для хранения больших объемов информации.

Ученые Пермского Политеха закатали отходы в асфальт

УЧЕНЫЕ ПЕРМСКОГО ПОЛИТЕХА РАЗРАБОТАЛИ АСФАЛЬТОБЕТОН, МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШОК КОТОРОГО СОСТОИТ ИЗ ОТХОДОВ НЕФТЕДОБЫЧИ. Для исследования были отобраны три образца бурового шлама из различных нефтяных месторождений Западной Сибири. Содержание нефти в горной породе считается положительным фактором и может быть использовано для производства активированного минерального порошка. Для анализа физико-механических характеристик материала, в составе которого в качестве минерального порошка использовался обезвоженный буровой шлам, было сформировано три серии образцов асфальтобетона. Смесь состояла из песка, щебня, отсева дробления, бурового шлама и битума. Анализ результатов показал, что содержание тяжелых металлов не превышает норму. Буровой шлам на нефтяной основе может быть рекомендован для включения в состав асфальтобетона от 1 до 6 % в качестве минерального порошка.

Новые топливные смеси от сибирских ученых

СОТРУДНИКИ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА (СФУ) И ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА (ТПУ) НАШЛИ СПОСОБ ПОВЫСИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ. Ученые изучили процессы горения двух- и трехкомпонентных твердотопливных смесей. Лучшее всего показали себя в эксперименте трехкомпонентные смеси с добавкой 30 % частично газифицированного угля: они быстро воспламеняются и обладают высокими энергетическими характеристиками. Вовлечение в топливно-энергетический комплекс высококалорийных карбонизированных углей – это перспективное направление в теплоэнергетике. Но переход на сжигание карбонизата в чистом виде экономически нецелесообразен, это слишком дорого, поэтому ученые предлагают добавлять к бурым углям не более 30 % карбонизата для повышения калорийности топливной смеси.



Посетители ПМГФ-2022



Стенд компании Nordpipe на ПМГФ-2022



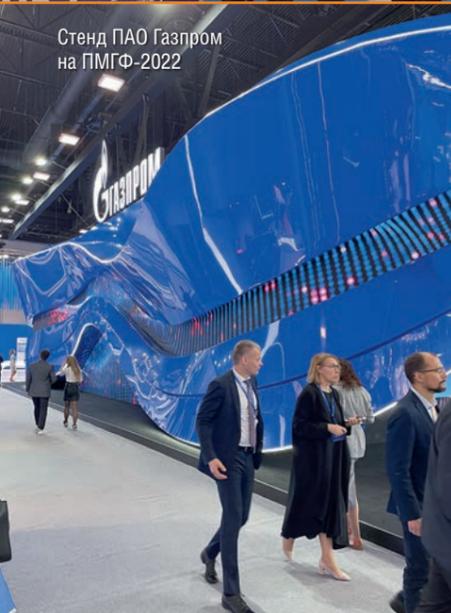
Стенд компании Газпром газонефтепродукт холдинг на ПМГФ-2022



Стенд компании Броен на ПМГФ-2022



Стенд компании Газдевайс на ПМГФ-2022



Стенд ПАО Газпром на ПМГФ-2022



Стенд компании ТРЭМ Инжиниринг на ПМГФ-2022



Участники ПМГФ-2022



Стенд Завода ГазЭнергоКомплект на ПМГФ-2022



Стенд компании Nakel на ПМГФ-2022



Посетители ПМГФ-2022



Оборудование ОДК на стенде компании на ПМГФ-2022



Экспонат на ПМГФ-2022



Посетители ПМГФ-2022



Стенд компании KAMAZ на ПМГФ-2022



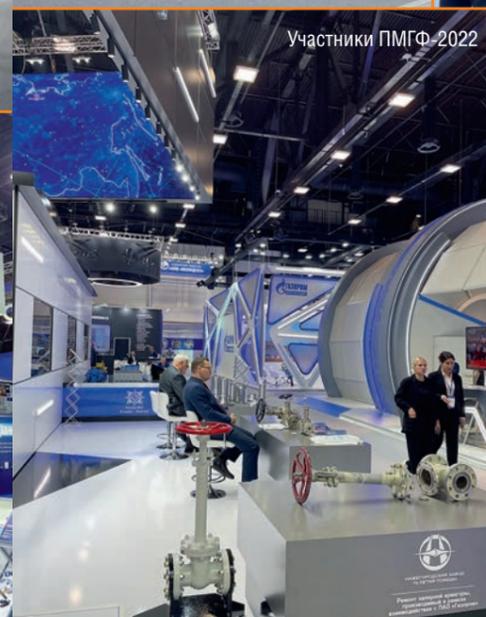
Стенд Innopolis University на ПМГФ-2022



Стенд компании Tagras на ПМГФ-2022



Стенд компании Крус-Запад на ПМГФ-2022



Участники ПМГФ-2022



Стенд компании Газпром бурение на ПМГФ-2022



Стенд компании Intiled на ПМГФ-2022



Си Цзиньпин

В глобальной торговой войне не может быть победителей



Д. Пауэлл

Текущая экономическая ситуация выходит за рамки исторического опыта



А. Новак

Если они введут ограничение цен, то мы им не будем поставлять нефть



Н. Шульгинов

Мы не будем продавать себе в убыток или ниже себестоимости. Это картельный какой-то сговор против нас



Д. Мантуров

РФ планирует к 2025 году использовать в нефтегазовой отрасли 80% российского оборудования



П. Сорокин

Важно оказывать не точечную, а системную поддержку по всей цепочке производства водорода



А. Козлов

Прекращение инвестиций в добычу нефти и газа не поможет достичь углеродной нейтральности



В. Яковлев

Нефтяной отрасли России требуется 135–140 флотов ГРП



К. Симсон

Страны ЕС не смогут вернуть цены на энергию на докризисный уровень



С H A M O V S K I K H

РЕКЛАМА



г. Екатеринбург | КД «Тихвинь», ул. Сакко и Ванцетти, 99
ТЦ «Покровский пассаж», ул. Розы Люксембург, 4
☎ +7 800 234 99 22 🌐 chamovskikh.com 📱 chamovskikh



IT'S HIGH LIFE

ВИДОВЫЕ КВАРТИРЫ НА САДОВОМ
СКИДКА 10%

HIGH LIFE
ЛЕТНИКОВСКАЯ 11



РЕКЛАМА

Первым шагом на пути создания новой городской легенды стал HIGH LIFE Летниковская 11 от компании «Пионер». Устремленные ввысь и искрящиеся на солнце башни из стекла и бетона создают образ лаконичной и прогрессивной архитектуры.

Квартиры на набережной с видовыми эркерами и невероятными видами, словно бросают вызов всему привычному.