



КОМПЬЮТЕРНЫЙ  
АНАЛИЗ  
ГИДРООЧИСТКИ ДТ

ТЕХНОЛОГИИ  
СЖИЖЕНИЯ  
ГАЗА

«КРАСНАЯ КНИГА»  
НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

# Нефтегаз.RU

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

ISSN 2410-3837

2 [122] 2022

## РЕАКТИВНОЕ ТОПЛИВО



Входит в перечень ВАК

# КАК РОССИЙСКАЯ НЕФТЯНКА ПОДГОТОВИЛАСЬ К НОВОЙ БЕЗУГЛЕРОДНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

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

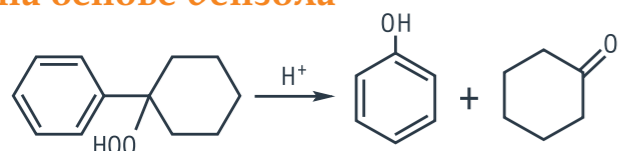


Технология сжижения газа с использованием в качестве хладагента гелийсодержащих смесей



14

Совместный способ получения фенола и циклогексанона на основе бензола



20

# СОДЕРЖАНИЕ

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



28

Разработка мембраны из анионообменной смолы для превращения CO<sub>2</sub> в CO



34

Эпохи НГК

4

РОССИЯ *Главное*

«Северный поток», развернись на восток!

6

Маркировка моторного масла изменит рынок нефтепродуктов

8

События

10

Первой строчкой

12

ГАЗОПОДГОТОВКА

Технология сжижения газа с использованием в качестве хладагента гелийсодержащих смесей

14

ПЕРЕРАБОТКА

Совместный способ получения фенола и циклогексанона на основе бензола

20

Влияние способа введения α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и цеолита на каталитические свойства цеолитсодержащих катализаторов крекинга

24

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

28

Разработка мембраны из анионообменной смолы для превращения CO<sub>2</sub> в CO

34

«Красная книга» нефтехимической промышленности: исчезающие институты

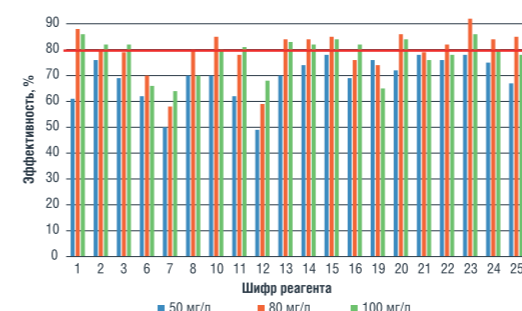
40

Синтез пиромеллитовых индикаторов для трассерных исследований нефтяного пласта



44

Выбор эффективного ингибитора солеотложения для группы месторождений Западной Сибири



50

Компьютерный анализ гидроочистки дизельного топлива – реальность и перспективные решения



80

Новые способы и оборудование для очистки нефтезагрязненных производственных сточных вод



88

ПРОМЫСЛОВАЯ ХИМИЯ

Синтез пиромеллитовых индикаторов для трассерных исследований нефтяного пласта 44

Выбор эффективного ингибитора солеотложения для группы месторождений Западной Сибири 50

ПРИКЛАДНАЯ НАУКА

Оценка микроэлементного состава нафтидов – необходимый этап нефтехимических исследований 56

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Роботизированный комплекс для оценки технологических трубопроводов 64

Моделирование системы транспортно-логистического обеспечения месторождений Обской и Тазовской губ 70

Компьютерный анализ гидроочистки дизельного топлива – реальность и перспективные решения 80

ЭКОЛОГИЯ

Новые способы и оборудование для очистки нефтезагрязненных производственных сточных вод 88

ГОСРЕГУЛИРОВАНИЕ

Таможенное законодательство в борьбе с изменением климата 96

Россия в заголовках 98

Календарь событий 99

Хронограф 100

Новости науки 102

Нефтегаз *Life* 104

Классификатор 106

Цитаты 112

**2472** года назад

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

**749** лет назад

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

**428** лет назад

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

**375** лет назад

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

**158** лет назад

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

**136** лет назад

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

**49** лет назад

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

**46** лет назад

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

**34** года назад

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

**25** лет назад

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

Издательство Neftegaz.RU

**РЕДАКЦИЯ**

**Главный редактор**  
Ольга Бахтина

**Шеф-редактор**  
Анна Павлихина

**Редактор**  
Анастасия Никитина

**Аналитики**  
Артур Гайгер  
Дарья Беляева

**Журналисты**  
Анна Игнатьева  
Елена Алифинова  
Сабина Бабаева  
Екатерина Свинцова

**Дизайн и верстка**  
Елена Валетова

**Корректор**  
Виктор Блохин

**РЕДКОЛЛЕГИЯ**

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

**Алюнов Александр Николаевич**  
Вологодский государственный университет

**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.з.н., профессор, член-корреспондент РАН, Институт водных проблем РАН

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

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

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

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

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

**Мастепанов Алексей Михайлович**  
д.з.н., профессор, академик РАН, Институт энергетической стратегии

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

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

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

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



Издательство:  
ООО Информационное агентство Neftegaz.RU

**Директор**  
Ольга Бахтина

**Отдел рекламы**  
Дмитрий Аверьянов  
Ольга Щербаква  
Валентина Горбунова  
Анна Егорова

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

**Представитель в Евросоюзе**  
Виктория Гайгер

**Служба технической поддержки**  
Сергей Прибыткин  
Евгений Сукалов

**Выставки, конференции, распространение**  
Мария Короткова

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

**Адрес редакции:**  
123001, г. Москва, Благовещенский пер., д. 3, с.1  
Тел.: +7 (495) 778-41-01  
www.neftgaz.ru  
e-mail: info@neftgaz.ru  
Подписной индекс МАП11407

Отпечатано в типографии «МЕДИКОЛОП»

Заявленный тираж 8000 экземпляров



**КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ:**  
в центре внимания, в центре Москвы



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ ФОРУМ**

www.oilandgasforum.ru

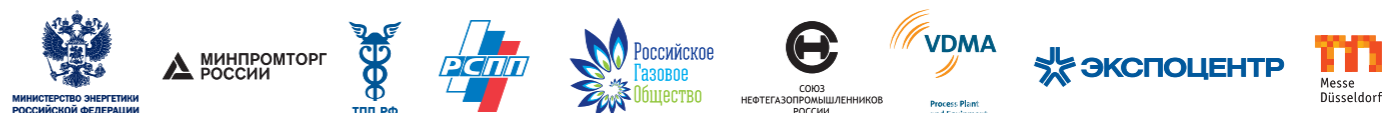
**21-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА НЕФТЕГАЗ-2022**



www.neftgaz-expo.ru

**18–21 апреля 2022**  
Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

12+  
Реклама





## «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК», РАЗВЕРНИСЬ НА ВОСТОК!

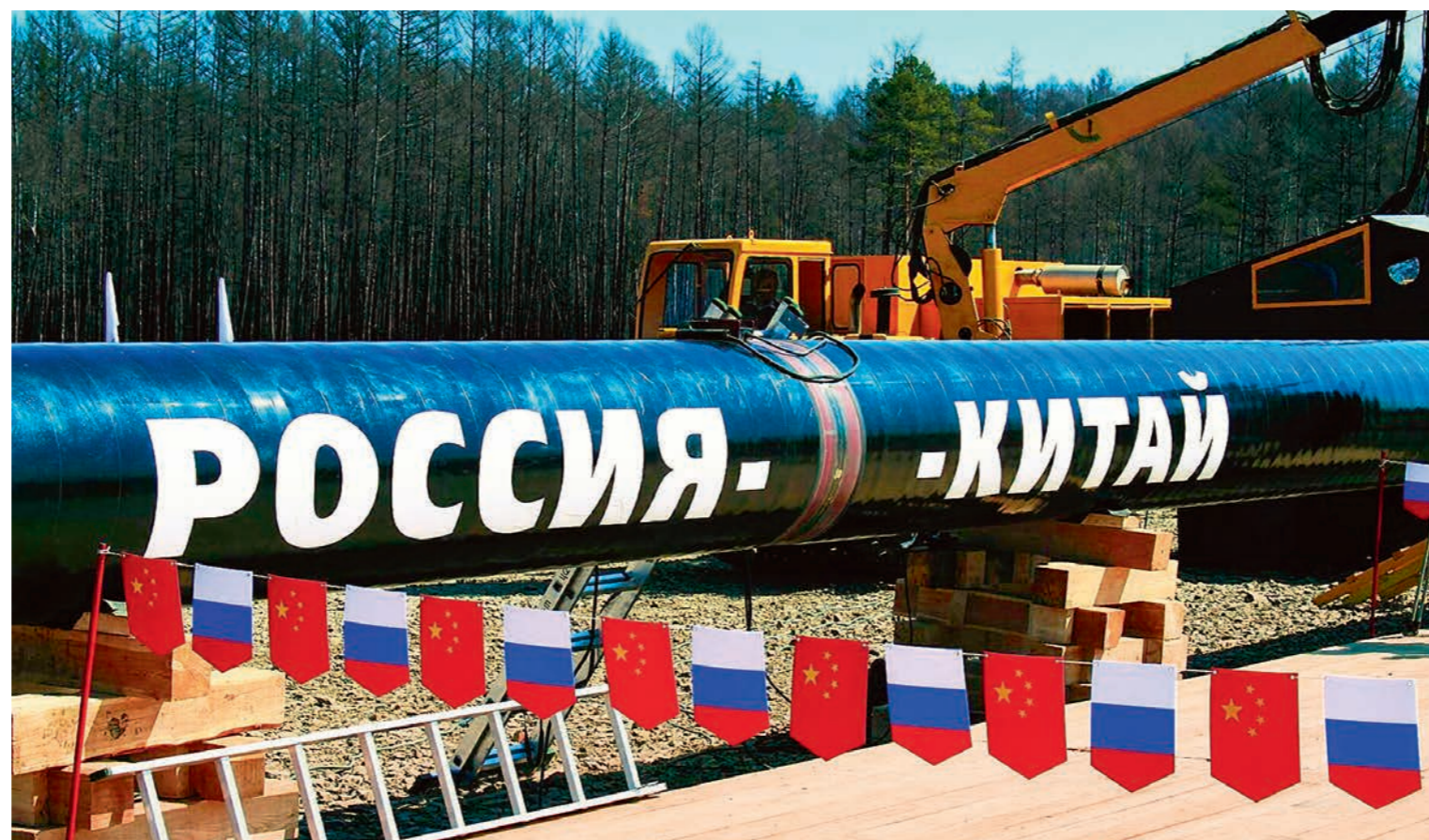
США НЕ ОСТАВЛЯЮТ ПОПЫТОК ПРЕСЕЧЬ ЗАПУСК МГП «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-2», НО У РОССИИ ЕСТЬ ЗАПАСНЫЕ ВАРИАНТЫ, ОНА ВСЕГДА МОЖЕТ РАЗВЕРНУТЬ СВОИ ГАЗОВЫЕ ПОТОКИ НА ВОСТОК, УТВЕРЖДАЮТ ЭКСПЕРТЫ. ТАК ЛИ ЭТО?

Анна Павлихина

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

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

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



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

У России и КНР уже есть тридцатипятилетний контракт на поставку 38 млрд м<sup>3</sup> газа в год по трубопроводу «Сила Сибири», заключенный восемь лет назад.

Потребности Китая в газе постоянно превышают уровень его собственной добычи. По оценкам «Газпрома», к 2030 г. спрос на газ в КНР вырастет до 501 млрд м<sup>3</sup>, и китайцы заблаговременно контрактуют для себя эти объемы. В декабре 2021 года китайские компании заключили долгосрочные контракты с США и Катаром на 9,5 млн тонн СПГ в год (более 13 млрд м<sup>3</sup>). Договоренности на поставки сжиженного газа были заключены ранее и с Россией, но в гораздо меньшем объеме – 4 млн тонн СПГ в год (5,5 млрд м<sup>3</sup>).

В пик декабрьским контрактам Россия спешит взять реванш, договорившись с Китаем об увеличении поставок своего трубопроводного газа на те самые 10 млрд м<sup>3</sup>, о которых гордо заявил российский президент на встрече с китайским лидером.

К слову, теперь объемы по контрактам уравниваются с небольшим перевесом в пользу России: 13 млрд м<sup>3</sup> СПГ из Штатов и Катара против 15 млрд м<sup>3</sup> российского газа (5,5 млрд м<sup>3</sup> СПГ плюс 10 млрд м<sup>3</sup> согласно новому договору).

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

как раз достроить недостающий участок второй нитки МГП «Сила Сибири». Таким образом общий объем поставок по газопроводу составит 48 млрд м<sup>3</sup>, что немного меньше, но сравнимо с объемом, который «Газпром» планировал поставить европейским потребителям по «Северному потоку-2» мощностью 55 млрд м<sup>3</sup>.

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

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

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

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

# МАРКИРОВКА МОТОРНОГО МАСЛА ИЗМЕНИТ РЫНОК НЕФТЕПРОДУКТОВ

Е. Свинцова

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

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

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

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

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

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

## Рейтинги Neftegaz.RU

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

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

34%

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

10%

В посткризисный период спрос существенно превысил предложение и продолжает расти

41%

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

15%

Неопределенность долгосрочных перспектив спроса отразится на стоимости нефти

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

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

25%

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

39%

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

26%

В Европу, но вместо трубопроводного газа будут продавать СПГ

10%

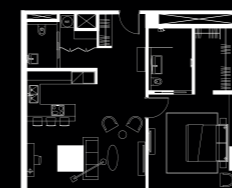
На внутренний рынок для развития газохимических проектов, в том числе на производство водорода

## ПРЕМИАЛЬНЫЕ АПАРТАМЕНТЫ С ОТДЕЛКОЙ, КУХНЕЙ И ТЕХНИКОЙ



T O W E R S

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



Апартаменты 909  
Этаж 9  
Площадь 85.7 м²



Апартаменты 5905  
Этаж 59  
Площадь 80.6 м²



Апартаменты 5602  
Этаж 56  
Площадь 171.4 м²

СМОТРЕТЬ СТОИМОСТЬ  
ВСЕХ АКЦИОННЫХ АПАРТАМЕНТОВ



495 181 33 32

CG CAPITAL GROUP

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

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

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

## Новая установка очистки на Белозерном ГПЗ

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



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

## Льготы для ТриЗ в Коми

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

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

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

## СИБУР инвестирует в нефтехимию

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

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



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

## Новый способ заправки авто на КПГ

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



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

## «Газпром нефть» инвестирует в нефтепереработку

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



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

## Российская технология для производства премиальных марок полимеров

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

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



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

15,98 млрд м<sup>3</sup> газа

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

На 8,7 тыс. тонн

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

За 2021 г. Украина купила у России угля

на 1,5 млрд долл. США

в денежном выражении импорт составил \$ 2 488 696

В 2021 г. «Газпром нефть» переработала

43,5 млн тонн нефти

более 1 млрд руб.

вложат в модернизацию энергообъектов в Приморском крае в 2022 году

56 млрд руб.

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

7,6 млрд руб.

заемных средств потратит Петербургский нефтяной терминал на модернизацию

«Транснефть-Дружба» реконструировала

140,6 км

магистральных трубопроводов в 2021 году

1 000 000 тонн нефти

добыли на Немчиновском месторождении,

вклад месторождения в общую добычу нефти Тямкинского хаба превысил 40%

на 2,4%

выросла добыча нефти в Югре за 2021 год,

нефтедобывающие предприятия добыли 215,7 млн т нефти

на 282%

восполнил запасы нефти РН-Няганьнефтегаз в 2021 г.

на 3,3%

снизило выработку электроэнергии «РусГидро» в 2021 г.,

с учетом Богучанской ГЭС по итогам 2021 г. выработано 116,26 млрд кВт.ч

24,4 млн тонн угля

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

на 4,5%

сократился импорт нефти из России в Китай в 2021 г.

11,5 млрд руб.

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

«Газпром» планирует транспортировать

до 30 млрд м<sup>3</sup>

жирного газа в год на ГКК в Татарстане, еще 45 млрд м<sup>3</sup> в год с 2024 г. пойдет на КПЭГ в п. Усть-Луга

свыше 100 млрд руб.

выделят на газификацию Сибири к 2025 г.

до 2% ВВП в год

могут составить расходы России на снижение углеродного следа

на 36%

вырос несырьевой неэнергетический экспорт РФ в 2021 г.

Китай в 2021 г. нарастил добычу нефти на

2,4%, газа – на 8,2%



# ТЕХНОЛОГИЯ СЖИЖЕНИЯ ГАЗА

## С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ХЛАДАГЕНТА ГЕЛИЙСОДЕРЖАЩИХ СМЕСЕЙ

**Мещерин Игорь Викторович**

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

**Разарёнова Елизавета Павловна,**

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

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

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

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

### Индустрия СПГ сегодня

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

### Основные тенденции развития технологий сжижения

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

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

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

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

### ФАКТЫ

#### Технологические санкции

стали одним из серьезных препятствий развитию сегмента СПГ в России

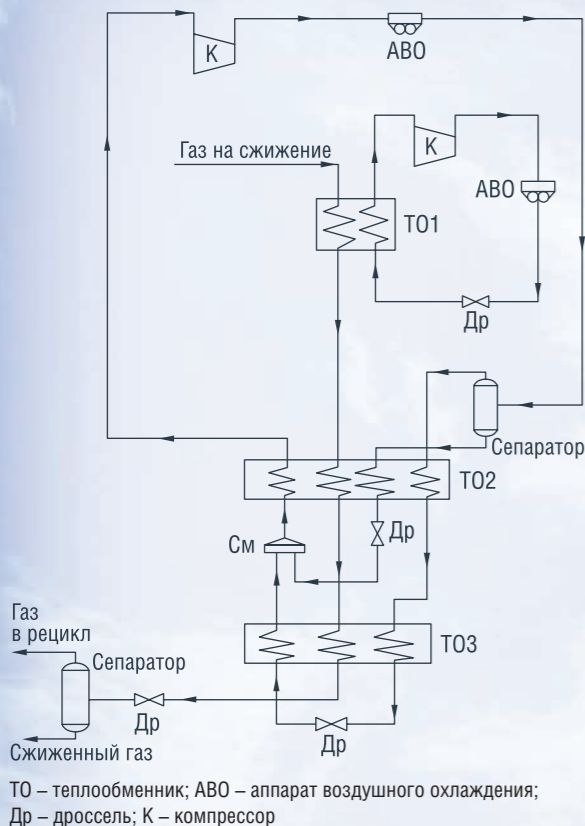
#### C<sub>3</sub>MR

Технологический процесс APC1 – самая распространенная технология сжижения в мире

Технологический процесс C<sub>3</sub>MR (APCI) (C<sub>3</sub> – пропан, MR – multicomponent refrigerant – многокомпонентный хладагент) – самая распространенная технология сжижения в мире. Процесс получил такое широкое распространение благодаря сочетанию преимуществ каскадного процесса на чистых хладагентах с технологией на смешанном хладагенте, из-за чего энергозатраты минимизируются, вывод установки на режим облегчается, а за счет применения в предохлаждении однокомпонентного хладагента – пропана – расчет цикла упрощается. Однако существуют недостатки при размещении завода, работающего по данной технологии на Севере. Такой процесс в холодном, тем более в арктическом климате будет менее эффективным, чем в теплой климатической зоне, поскольку пропановое предохлаждение позволяет охлаждать природный газ лишь до -35 °С, а в арктическом климате температура окружающего воздуха может опускаться и ниже указанной температуры. Для того, чтобы обеспечить работу пропанового цикла зимой, завод на Ямале получает сырьевой газ месторождения с температурой, близкой к пластовой, поэтому не использует в полной мере преимущества. Авторы считают, что для холодного климата можно подобрать более подходящие технологии [2].

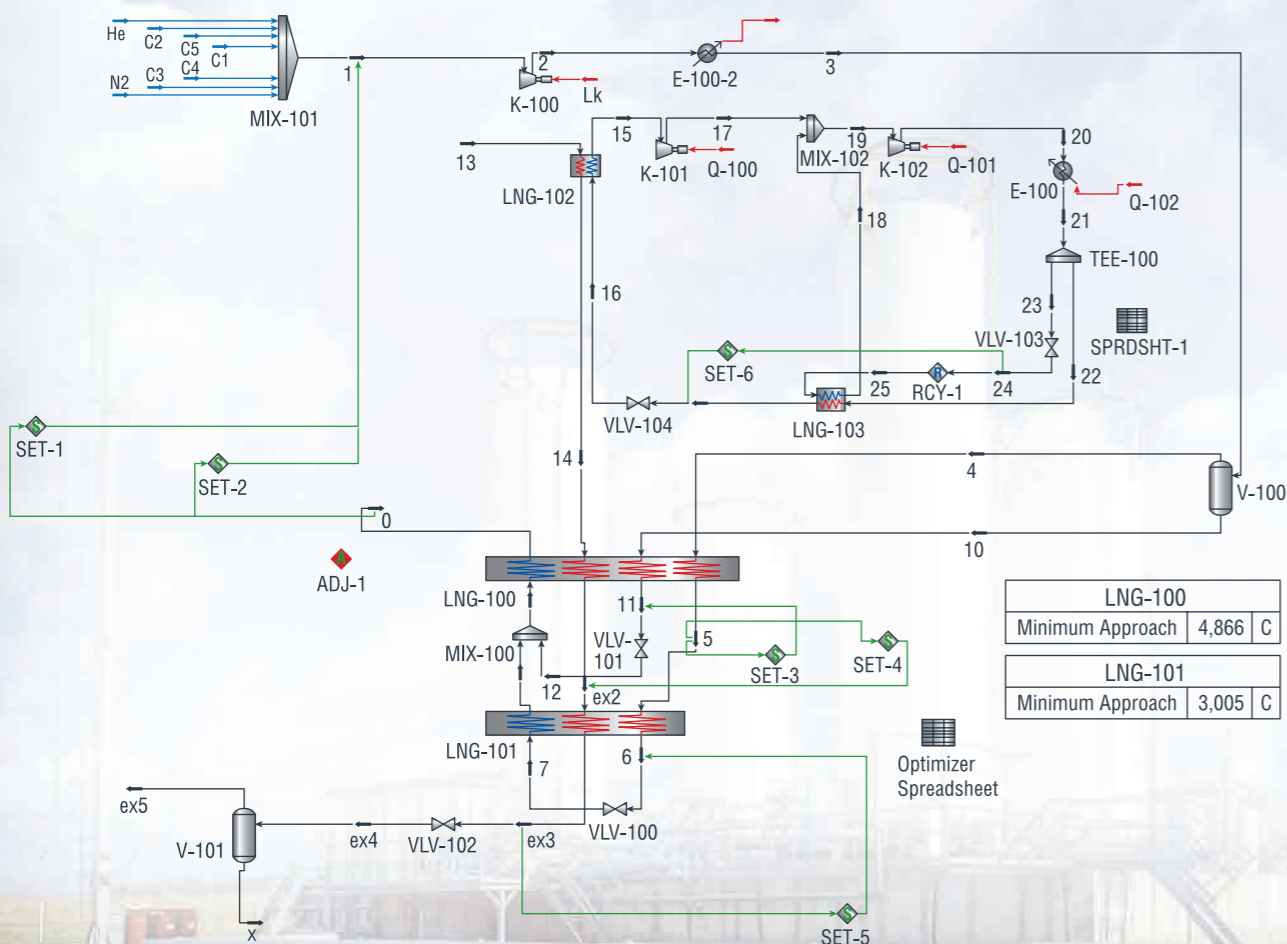
В целях изучения дальнейших перспектив технологий сжижения было рассмотрено расширение состава смешанного хладагента путем добавления в него гелия, который обладает уникальными физическими свойствами и является достаточно распространенной средой в криогенных системах. Производство гелия растет как в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

РИС. 1. Технологическая схема сжижения с контуром предварительного охлаждения



Т0 – теплообменник; АВО – аппарат воздушного охлаждения; Др – дроссель; К – компрессор

РИС. 2. Модель сжижения с предварительным охлаждением



**ФАКТЫ**

**60**

млн м<sup>3</sup> в год  
максимальная проектная мощность Амурского завода, благодаря которому Россия может стать лидером мирового рынка гелия

При увеличении

**3%**

содержания Не величина удельных энергозатрат снижается

так и в России. Благодаря вводу в эксплуатацию Амурского завода, максимальная проектная мощность которого составляет 60 млн м<sup>3</sup> в год, Россия может стать лидером мирового рынка гелия. Таким образом, предлагаемый способ может стать дополнительной областью реализации производимого в стране гелия, а с учетом ввода Амурского завода данный вопрос является достаточно актуальным.

**Моделирование цикла сжижения**

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

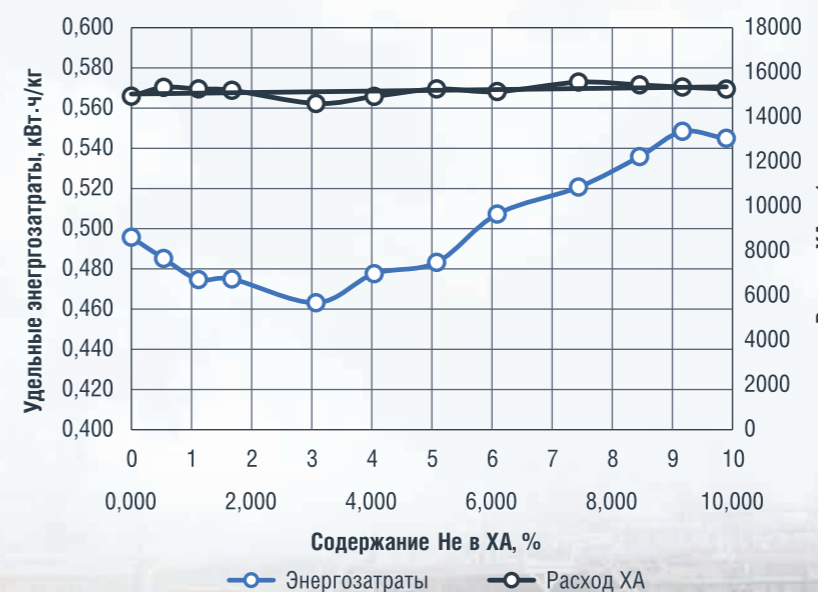
ТАБЛИЦА 1. Исходные данные

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

ТАБЛИЦА 2. Результаты моделирования

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

РИС. 3. Изменение удельных энергозатрат



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

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

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

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

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

**Анализ изменения удельных энергозатрат**

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

ТАБЛИЦА 3. Сравнение показателей крупнотоннажных установок

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

ТАБЛИЦА 4. Сравнение показателей малотоннажных установок

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

РИС. 4. Изменение удельных энергозатрат

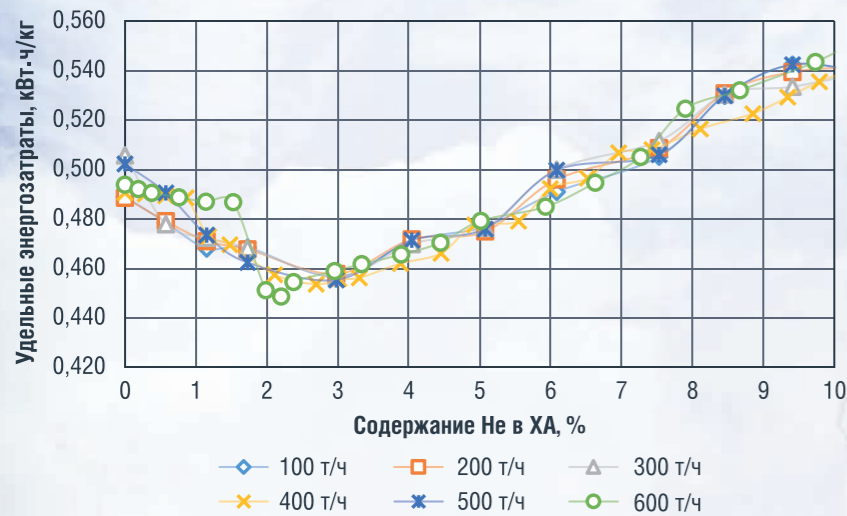
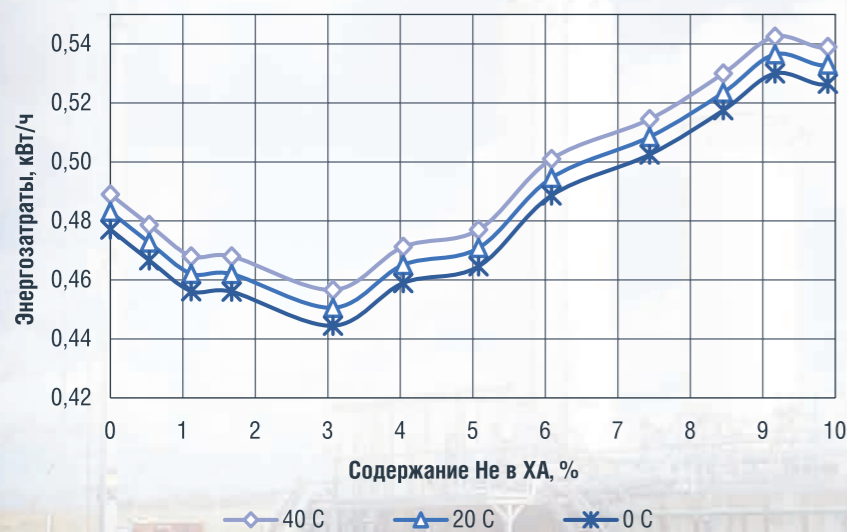


РИС. 5. Изменение удельных энергозатрат



### Производительность установки

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

### Температура окружающей среды

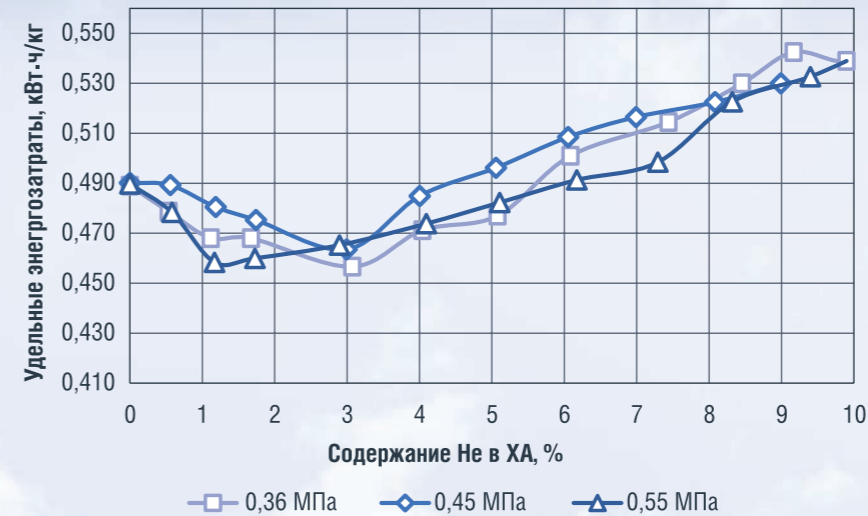
В рамках модели проанализировано несколько вариантов изменения температуры природного газа на входе в установку: 40, 20 и 0 °С. Результаты отражены на рисунке 5. При снижении температуры окружающей среды удельные энергозатраты уменьшаются на всем интервале измерений. Аналогичные результаты получены для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

### Давление природного газа на входе в установку

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

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

РИС. 6. Изменение удельных энергозатрат



### Выводы

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

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

**ФАКТЫ**  
**Минимум энергозатрат**  
достигается при содержании гелия от 1 до 3 %

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

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

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

### Литература

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

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



Полная версия журнала  
доступна по подписке