КАТАЛИЗАТОРЫ РИФОРМИНГА • ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАСЛА • ПЛАСТ ПЕРЕРАБОТКА

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

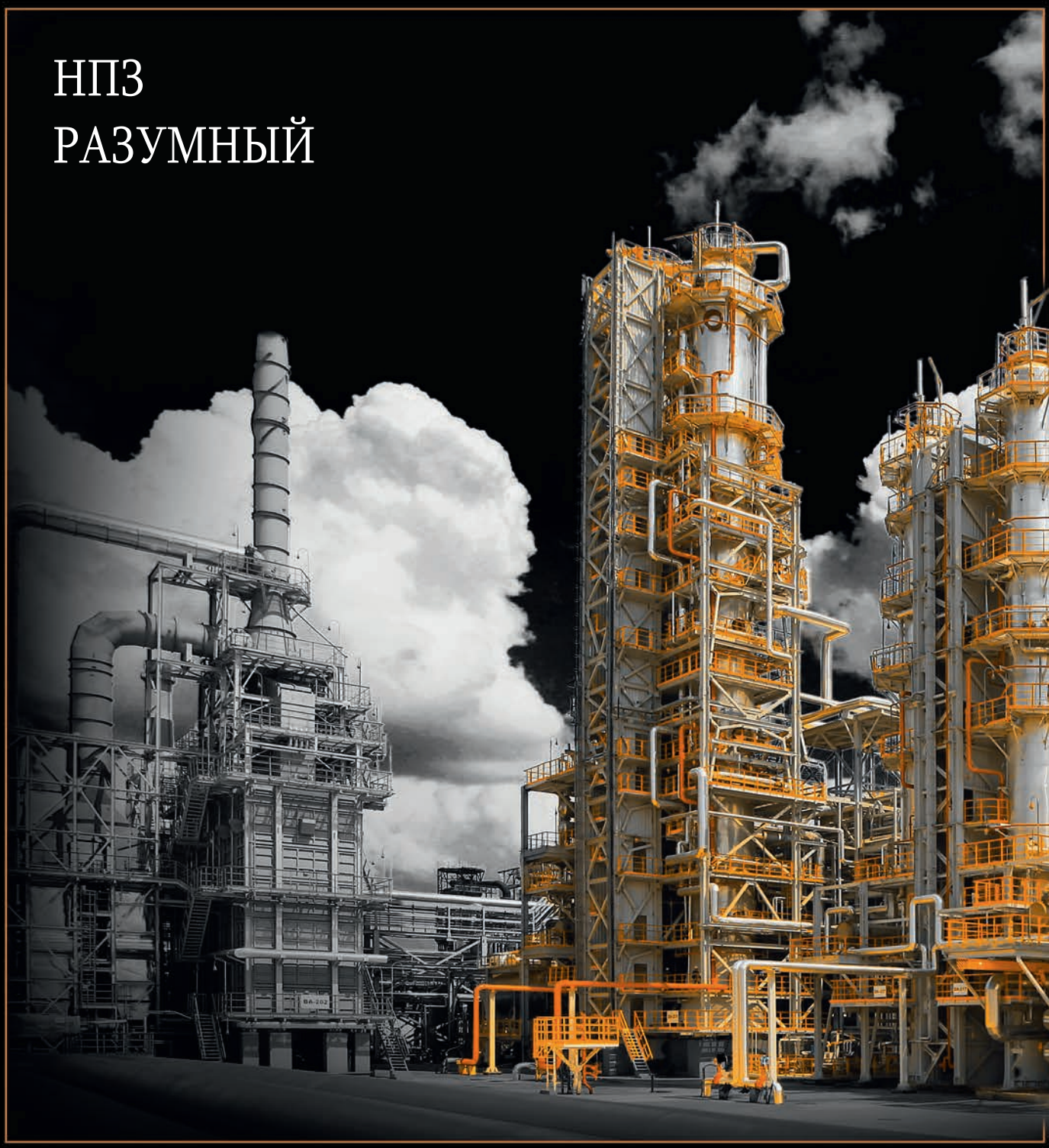
Neftegaz.RU

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

ISSN 2410-3837

3 [99] 2020

НПЗ РАЗУМНЫЙ



Входит в перечень ВАК

Резиденция – строительство и авторский архитектурный дизайн элитных особняков, усадеб и гостиниц

Мы строим не имеющие аналогов в России и Европе эксклюзивные авторские дома высокой технологической сложности

Проект дома «Миллениум» от компании Резиденция
Архитектор Панков Олег Леонидович, защищено авторским правом

Проект дома «Миллениум» от компании Резиденция
Архитектор Панков Олег Леонидович, защищено авторским правом

Собственные проекты и уникальные идеи Вас удивят!

От идеи до реализации! Невероятно, но выполнимо!

Резиденции – дома класса Люкс

Спроектируем и построим под Ваши пожелания:

- *комбинированные, каменные, фахверковые дома,*
- *дома из клееного бруса по технологии Timber Frame,*
- *ручной рубки по технологии Post&Beam*
- *из любого дерева - кедр, сосна, лиственница;*
- *из материала на Ваш выбор – клееного бруса, рубленого бревна или лафета*

РЕЗИДЕНЦИЯ

строительство элитных домов

www.resident-house.ru
@resident_house.ru
+7 (495) 120-80-09

Большие расходы vs маленькие доходы

6

НПЗ разумный

12

СОДЕРЖАНИЕ

Реакционные трубы для нефтехимии и нефтепереработки

18

Пластпереработка: состояние и перспективы

24

Эпохи НГК 4

РОССИЯ ***Главное***

Большие расходы vs маленькие доходы 6

Льготы для инвесторов 8

События 10

ПЕРВОЙ СТРОЧКОЙ

НПЗ разумный 12

ПЕРЕРАБОТКА

Реакционные трубы для нефтехимии и нефтепереработки 18

Пластпереработка: состояние и перспективы 24

ПЕРЕРАБОТКА

Математическое моделирование пиролиза 30

Катализаторы риформинга серии ПР 38

Энергосберегающие масла 44

Исследование термодинамических, кинетических и структурных параметров термолиза асфальтенов тяжелой ярегской нефти 46

Бесцеховое производство на предприятиях нефтехимии в условиях индустриализации 4.0 52

БУРЕНИЕ

CONTINENTAL – компания, устанавливающая промышленные стандарты 58

СПЕЦТЕХНИКА

Ходовые системы для нефтегазовой промышленности 62

Катализаторы риформинга

38

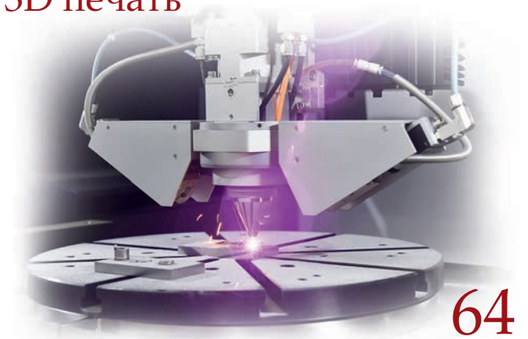
Энергосберегающие масла

44

Бесцеховое производство на предприятиях нефтехимии в условиях индустриализации 4.0

52

3D печать



64

ОБОРУДОВАНИЕ

3D-печать для повышения эффективности малорасходных турбомашин 64

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

Универсальный работник 72

ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ

Юбилейная выставка «НЕФТЕГАЗ-2020» – главное событие для специалистов отрасли 74

Россия в заголовках 76

SAPE LAB: лучшие практики на одной площадке 78

ГАЗОПОДГОТОВКА

ЭНЕРГАЗ: опыт подготовки и компримирования низконапорного ПНГ 80

Календарь событий 87

ТРАНСПОРТИРОВКА

Численные методы для оптимизации производительности трубопрводной системы 88

Хронограф 91

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Повышение эффективности редуцирования природного газа на газораспределительных станциях 92

ЭКОЛОГИЯ

Утилизация промышленных отходов в России и в мире: проблемы и решения 98

Нефтегаз Life 106

Классификатор 108

Цитаты 112

ЭПОХИ НГК

166 лет назад

В 1854 году Т. Кокрейн и А. Геснер разработали процесс выделения масел из природного асфальта и гудрона, чтобы получить высококачественные продукты для освещения.

158 лет назад

В 1862 году американский керосин доставили в Россию. Топливо быстро стало популярным.

131 год назад

В 1889 году Г. Фрэш, химик из Standard Oil, сделал открытие: если в присутствии окиси меди перегонять сырую нефть, из нее исчезает сероводород. Благодаря этому процессу нефть становится пригодной для получения керосина.

107 лет назад

В 1913 году граф П. Д. Конти построил первую геотермальную электростанцию. Ее установили в городе Лардерелло.

100 лет назад

В 1920 году бензин в Америке продавали в универсамах и мелких лавках, количество магазинов не превышало 100 тыс.

89 лет назад

В 1931 году в СССР, в районе Балаклавы, запустили крупнейшую на тот момент в мире сетевую ветроэнергетическую установку мощностью 100 кВт.

88 лет назад

В 1932 году Венесуэла стала самым крупным поставщиком нефти в Британию, после нее шли Персия и США.

66 лет назад

В 1954 году в Нью-Джерси работники лаборатории «Белла» создали первую солнечную кремневую ячейку.

62 года назад

В 1958 году на американском космическом спутнике опробовали первые солнечные батареи.

22 года назад

В 1998 году в Киото представители 160 стран подписали протокол по уменьшению выбросов в атмосферу отходов каменного угля, нефти, газа и других видов топлива.

Neftegaz.RU

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Выпускающий редактор
Илья Громов

Аналитики
Артур Гайгер
Анастасия Султанова

Журналисты
Анна Игнатьева
Елена Алифирова
Денис Савосин
Сабина Бабаева

Дизайн и верстка
Елена Валетова

Корректор
Виктор Блохин

РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

Алюнов Александр Николаевич
Вологодский государственный университет

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

Галиулин Рауф Валиевич
д.г.н., Институт фундаментальных проблем биологии РАН

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

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

Данилов Александр Михайлович
д.т.н., ВНИИ НП

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 Алексей Михайлович
д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

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

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

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

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

Мищенко Игорь Тихонович
д.т.н., профессор, Академик РАЕН, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

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

Половинкин Валерий Николаевич
д.т.н., профессор, действительный член РАИН, Военно-морская академия

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

Neftegaz.RU

Издательство:
ООО Информационное агентство Neftegaz.RU

Директор
Ольга Бахтина

Представитель в Евросоюзе
Виктория Гайгер

Отдел рекламы
Дмитрий Аверьянов
Денис Давыдов
Екатерина Романова
Ольга Щербакова
Валентина Горбунова
Андрей Тощев-Васильев
Антон Пауль
Денис Васильев

Отдел по работе с клиентами
Софья Егорова

Служба технической поддержки
Андрей Верейкин
Сергей Прибыткин
Евгений Сукалов

Выставки, конференции, распространение
Мария Короткова

pr@neftegaz.ru
Тел.: +7 (495) 650-14-82

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:
127006, г. Москва, ул. Тверская, 18, корпус 1, оф. 812
Тел. (495) 650-14-82, 694-39-24
www.neftegaz.ru
e-mail: info@neftegaz.ru

Подписной индекс МАП11407

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

Отпечатано в типографии «МЕДИАКОЛОР»

Заявленный тираж 8000 экземпляров

9 772410 383004

Что такое Маркет от Neftegaz.RU?

Neftegaz.RU

B2B-маркетплейс нефтегазовой и смежных отраслей промышленности России.

Современная торговая площадка — многоцелевой инструмент повышения эффективности взаимодействия участников рынка. Сервис значительно сокращает время поиска и отбора наиболее выгодных предложений на рынке.

Сколько компаний уже выбрали Маркет?

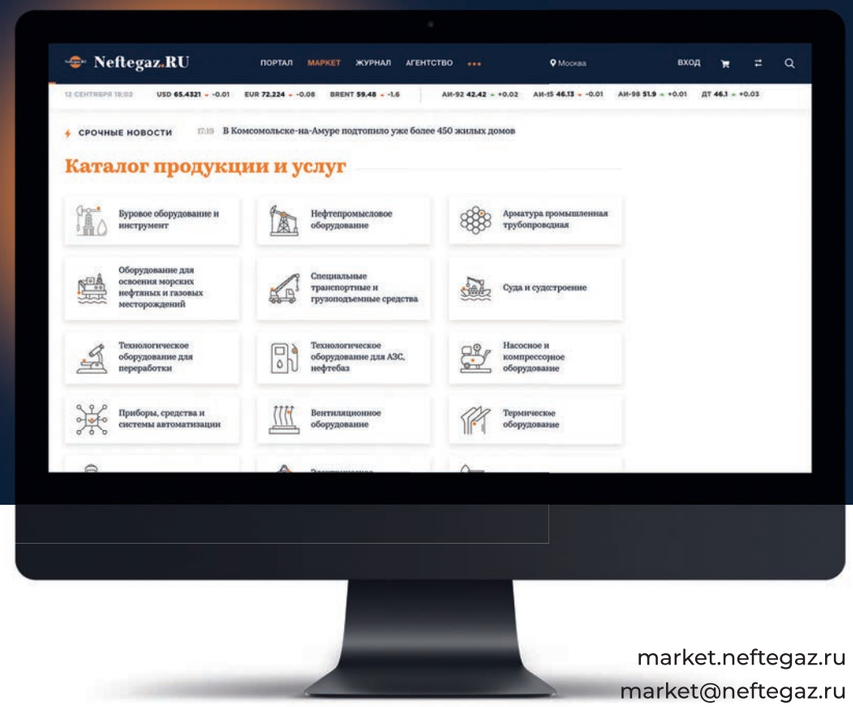
На портале зарегистрировано свыше 30000 компаний и их число продолжает расти.

Какие возможности дает Маркет?

Во-первых — размещение товарных каталогов или услуг с описанием, фото, стоимостью и вашими контактами.

Во-вторых — присутствие вашей компании в информационном медиаполе. В пакетах Optimum и Extra доступны публикации новостей и статей.

Отсканируйте QR-код и попробуйте возможности Маркета в течение месяца бесплатно!

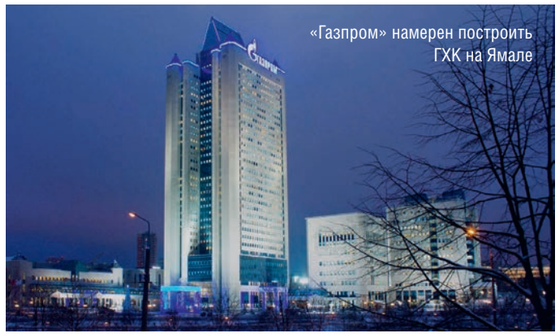


market.neftegaz.ru
market@neftegaz.ru

Рынок полимеров продолжает расти

После запуска «ЗапСибНефтехима» на полную мощность внутренний спрос на ПЭ будет закрыт

РОССИЯ
Главное


«Газпром» намерен построить ГХК на Ямале

Д. Рокфеллер: «Не надо бояться больших расходов, надо бояться маленьких доходов»

БОЛЬШИЕ РАСХОДЫ VS МАЛЕНЬКИЕ ДОХОДЫ

Анна Павлихина

В конце февраля появился слух о намерении «Газпрома» построить газоперерабатывающий комплекс на Ямале. По мере обрастания слуха подробностями стало известно, что в планах компании строительство газоперерабатывающего завода, который будет производить 37,8 млрд м^3 метана, 2,3 млн т этана и 0,8 млн т СУГ и газохимического завода, использующего в качестве сырья продукты газоперерабатывающего завода – этан и СУГ. Финальным этапом передела станет полиэтилен.

Если проект действительно воплотится в жизнь, а полагать так есть все основания, то его смело можно причислить к самым трендовым в нефтегазовой отрасли, ведь вложение в газохимию – одно из ключевых направлений, в котором развиваются крупные мировые газодобывающие компании. Причины очевидны. Во-первых, таким образом компании снижают риски от колебания цен на энергоносители. Во-вторых, даже мировые гиганты, ведущие добычу нефти и газа, не застрахованы от тенденции перехода к «зеленой» энергетике стран-потребителей. Эксперты ожидают существенное снижение потребления газа уже в ближайшие 10–15 лет. Рано или поздно этот тренд заставит газодобывающие компании диверсифицировать производства. Третья причина – неизменно работающая закономерность: чем глубже переработка, тем выше прибыль. Даже если это переработка на Крайнем Севере.

Помимо объективных предпосылок есть и субъективные факторы, делающие этот проект выгодным для «Газпрома». Проект будет основан на ресурсной базе Бованенковского месторождения, до которого у «Газпрома» проведена железнодорожная ветка и где в целом компания за годы работы успела обрасти развитой инфраструктурой. Близость к сырью, прямой маршрут к рынкам сбыта, наконец, вклад в развитие отдаленного региона и наполнение грузопотока Северного морского пути выносят на поверхность саму идею газопереработки в регионе.

Единственное опасение может быть связано с насыщенностью рынка. Несмотря на то, что мировой спрос на полимеры растет и динамика продолжится, предложение идет на шаг впереди. BusinesStat прогнозирует, что в 2020–2023 гг. выпуск полиэтилена в России будет расти в среднем на 12,4% в год.

Если говорить о российском рынке, он не достигает и двух процентов от общемирового объема. Но санкции способствовали налаживанию российского производства многих продуктов. Рынок ПЭ не стал исключением. Основной вклад вносят мейджоры: «Нижнекамскнефтехим», «Ставролен», «Казаньоргсинтез» и «СИБУР-холдинг», запустивший осенью 2019 года крупнейший не только в нашей стране, но и в Европе нефтехимический комплекс «ЗапСибНефтехима». До запуска завода объемы производства росли в основном за счет модернизации существующих мощностей на действующих предприятиях. С выходом «ЗапСибНефтехима» на плановую мощность спрос на полиэтилен внутри страны будет полностью закрыт. Если прибавить к этому продукцию газпромовских заводов (Амурский ГХК и строящееся предприятие в Усть-Луге), то становится очевидным, что «Газпрому» придется выходить на внешние рынки и конкурировать с мировыми гигантами, в первую очередь с китайскими, японскими, германскими и американскими компаниями, которые прочно зарекомендовали себя на рынке.

Несмотря на возможные сложности, полимеры находят все новые сферы применения, отвоевывая позиции у металла и других традиционных конструкционных материалов. Neftegaz.RU неоднократно писал о необходимости развития перерабатывающей промышленности в нашей стране, а санкции и волатильность цен на энергоносители при правильном подходе скорее бонус, чем препятствие. Однако не все с этим согласны.

Так, компания Роснефть в прошлом году отказалась от уже начавшей реализовываться идеи создания нефтегазохимического комплекса на Дальнем Востоке, полагая, вероятно, что вложения в добычу (особенно если всегда есть шанс получить госсубсидии) более надежны, чем создание перерабатывающих мощностей, где капиталовложения окупаются медленнее, но в результате приносят больший доход компании и формируют стабильный рынок продукта в стране, минимизируя рычаги влияния на последнюю (все помнят историю с остановкой производства современного самолета из-за запрета ввоза в Россию конструкционного пластика, не производимого в нашей стране). Представляется, что компании с госучастием должны нести некоторую ответственность в этом отношении. Но пока даже крупный бизнес ориентируется на быстрые доходы, а в перерабатывающих производствах кто-то видит высокие затраты, а кто-то высокую прибыль. Как говорил Д. Рокфеллер: «Не надо бояться больших расходов, надо бояться маленьких доходов». ●

ЛЬГОТЫ ДЛЯ ИНВЕСТОРОВ

Денис Савосин

Госдума в первом чтении приняла поправки в Налоговый кодекс, предусматривающие льготы для инвесторов, которые будут финансировать проекты в Арктическом регионе. Цель законопроекта – создание ресурсной базы, обеспечивающей увеличение грузовых перевозок по Севморпути в объеме не менее 50 млн т к 2030 г. с потенциалом роста до 100 млн т к 2050 г.

Поправки предусматривают оптимизацию обложения налогом на добычу полезных ископаемых (НДПИ) для организаций, добывающих углеводородное сырье на новых морских месторождениях, расположенных, в том числе, в северной части Охотского моря, южной части Баренцева моря, Печорском и Белом морях, а также в Японском море.

Для этих месторождений предполагается установление ставки НДПИ на уровне 5% от выручки на 15 лет.

Законопроект устанавливает нулевую ставку НДПИ при добыче газового конденсата совместно с горючим природным газом, добываемого и используемого исключительно для производства СПГ или для производства нефтехимической продукции, на новых производственных мощностях до достижения объема добычи 250 млрд м^3.

Ставка будет применяться при условии, что срок разработки запасов участка недр не превышает 12 лет с даты реализации продукции нефтехимии, на участках недр, полностью расположенных севернее Северного полярного круга: в границах Архангельской области, Республики Коми, ЯНАО, Красноярского края, Якутии, Чукотского автономного округа.

Кроме того, предусматривается распространение налога на дополнительный доход от добычи углеводородного сырья и льготная ставка по НДПИ на участки недр, расположенные севернее 70° северной широты полностью в границах Красноярского края, Якутии, Чукотского автономного округа, с распространением на пользователей недр таких участков права перейти на НДД.

В случае принятия законопроект вступит в силу по истечении месяца со дня его официального обнародования.

Рейтинги Neftegaz.RU

Международная морская организация предложила запретить использовать флотский мазут в Арктике. Окончательно утвердить запрет планируют осенью 2020 г. Готова ли Россия?

Сможет ли Россия отказаться от использования флотского мазута в Арктике?

5% — **Да, мы должны показать пример всем арктическим прибрежным государствам**

33% — **Нет, часть судовых энергетических установок может работать только на флотском мазуте**

10% — **Да, переход на СПГ не повлечет дополнительных затрат, а переход на дистиллятное топливо увеличит затраты только на 6%**

9% — **Нет, 75% российских судов в Арктике использует флотский мазут**

17% — **Да, разлив мазута наносит урон экосистеме, переход на экологичное топливо нужно было осуществить много лет назад**

26% — **Других вариантов нет, экология – всемирный тренд**

22 апреля страна будет голосовать за принятие (или непринятие) поправок в действующую Конституцию, к чему это приведет и как скажется на экономике России?

Что ждет экономику России после изменения Конституции?

14% — **С момента принятия документа прошла четверть века, некоторые положения необходимо привести в соответствие с изменившейся конъюнктурой**

30% — **Ограничение полномочий региональных властей приведет к закреплению принципа «ручного» управления**

12% — **Наделение Совета Федерации полномочиями отрешать от должностей судей нарушит систему сдержек и противовесов**

25% — **Изменение положений о Госсовете станет путем к продлению срока действующего президента на неопределенный срок**

20% — **Возможность не исполнять международные соглашения станет причиной новых санкций, что ухудшит инвестиционный климат**

CAPITAL TOWERS
495 152 06 84

Квартиры в небоскрёбах

— в парке “Красная Пресня”
— рядом с “Москва-Сити”
— на набережной Москвы-реки
— с отделкой от Antonio Citterio

CG CAPITAL GROUP

Реклама. *Капитал Тауэрс.
Застройщик ООО «Мегаполис груп». С проектной декларацией можно ознакомиться на сайте capitaltowers.ru.

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

США и Великобритания закупились нефтью в России

Крупнейшими покупателями российской нефти в 2019 г. стали Китай, Нидерланды и Германия, а наиболее сильный прирост закупок продемонстрировали США, Великобритания и Турция. США и Великобритания в 2019 г. более чем в два раза увеличили закупку нефти в России.

В целом экспорт нефти из России вырос на 2,7 % по сравнению с 2018 г. и составил 267,5 млн т. На фоне снижения нефтяных цен в третьем и четвертом кварталах 2019 г. в стоимостном выражении экспорт российской нефти уменьшился на 6 %, до 121,4 млрд долл. США.

Крупнейшими покупателями российской нефти в 2019 г. стали Китай, Нидерланды (где находится крупнейший транзитный порт Роттердам) и Германия. На США пришлось 1,8 % российских продаж нефти в 2019 г., на Великобританию – 0,9 %, а на Турцию – 3 %. Экспорт сырой нефти из России в США по итогам 2019 г. увеличился почти в 2,4 раза – с 0,9 млрд долл. США до почти 2,2 млрд долл. США. В физическом выражении объем экспорта нефти увеличился в 2,6 раза – с 1,8 млн т до 4,7 млн т.

Такая динамика обусловлена санкциями, введенными США против Венесуэлы и Ирана.

Однако американская легкая сланцевая нефть не подходит для переработки на многих НПЗ США, настроенных на тяжелую венесуэльскую нефть.

Поэтому США на фоне роста внутреннего потребления нефтепродуктов приходится искать других поставщиков, основным из которых стала Россия.

Виртуально-цифровая АЭС

Росатом принял в эксплуатацию виртуально-цифровую АЭС с реактором ВВЭР, разработанным ВНИИАЭС (входит в Росэнергоатом)

совместно с Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН). Платформа программно-технического комплекса станет основной для разработки современных тренажеров оперативного персонала АЭС.

Работы по проектированию и созданию виртуально-цифровой АЭС начались в 2009 г. по поручению правительства РФ.

Виртуально-цифровая АЭС позволяет моделировать и отрабатывать любые режимы работы энергоблоков с реактором ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор), от нормальной эксплуатации до сложных нештатных ситуаций. Комплекс позволяет тестировать различные режимы работы оборудования АЭС, прогнозировать изменения его состояния. Комплекс объединяет все расчетные модули в единую систему и закладывает основу для построения детальных моделей энергоблоков АЭС.

В рамках проекта ВНИИАЭС разработал и верифицировал более 10 расчетных модулей для моделирования широкого круга процессов и явлений, протекающих в оборудовании энергоблока АЭС, в максимально возможном спектре режимов работы.

Нет флотскому мазуту в Арктике

Комитет по защите морской среды планирует окончательно утвердить запрет на использование флотского мазута в Арктике осенью 2020 г. Ожидается, что запрет вступит в силу в 2024 г., однако некоторые суда, прежде

всего имеющие двойной корпус, смогут использовать флотский мазут до 2029 г. Кроме того, для стран, у которых есть арктическое побережье, в том числе для России, предусматривается возможность выдавать специальные разрешения для отдельных судов также до 2029 г. Около 75 % всего топлива, которое сейчас используется в арктическом судоходстве, – это флотский мазут, но его разливы наносят огромный вред экосистемам. В Антарктике использование флотского мазута уже запретили. Согласно отчету Арктического совета об альтернативных видах топлива, наилучшей заменой флотского мазута признан СПГ.

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

Газпром и Wintershall Dea начали добычу в Северном море

Газпром и Wintershall Dea начали добычу природного газа на шельфе Северного моря на границе Великобритании и Нидерландов. Месторождение «Силлиманит» было открыто в 2015 г. Оно расположено примерно в 200 километрах от побережья Ден-Хелдера.

Чтобы обустроить месторождение, использовали верхнее строение, ранее установленное на платформе E18-A, а еще раньше – на P14-A. Wintershall установила верхнее строение с E18-A на морскую платформу D12-B в блоке D12-A в нидерландском секторе.

Платформа-спутник D12-B работает в автоматическом режиме, без экипажа.

Транспортировка газа осуществляется по 12-километровому газопроводу Ø25,4 см (10 дюймов) на основную морскую платформу (МП) D15-FA-1, управляемую компанией Neptune. Отсюда добытый газ транспортируется через газотранспортную систему (ГТС) NGT (Noordgastransport) к берегу.

НДПИ на ПНГ

Профильные ведомства не поддержали идею введения НДПИ на ПНГ, ранее предложенную Минфином. Тем не менее ведомство не хочет так просто отказываться от своей точки зрения. По утверждению Сазанова, позиция Минфина состояла в том, что вводить налог на ПНГ надо в случае повышения налога на СУГ.

Из протокола совещания следует, что с 1 января 2022 г. этан становится подакцизным товаром со ставкой сбора в размере 9 тыс. руб./ т; акциз на СУГ вводится с 1 января 2023 г. в размере 4,5 тыс. руб./т, затем он повышается до 5,5 тыс. руб./т с 2024 г., 6,5 тыс. руб./т с 2025 г. и 7,5 тыс. руб./т с 2026 г.

Обратный вычет для акцизов на этан и СУГ применяется для производств, которые введут новые мощности по выпуску товаров нефтехимии после 1 января 2022 г. объемом переработки не менее 300 тыс. т/год.

В ином случае у компании до конца 2022 г. должно быть заключено инвестсоглашение с Минэнерго о модернизации существующих мощностей на сумму не менее 65 млрд руб.

Водород из воды

В России ученые создали дешевый материал для водородной энергетики.

Ученые из Балтийского федерального университета имени Канта (Калининград) совместно с коллегами из Национального исследовательского ядерного университета МИФИ (Москва) создали дешевый и эффективный материал для катализаторов, позволяющих получать водород из воды.

Авторы проекта считают, что разработка пригодится в водородной энергетике. Водород является перспективным альтернативным источником энергии. Чтобы получить водород из воды путем химического процесса необходим катализатор, который обычно делается из платины или молибдена.

Эти материалы дорогие, а потому и энергия получается дорогой. Российские ученые предложили использовать в качестве катализатора сульфид молибдена.

Это вещество эффективнее обыкновенного молибдена и значительно дешевле, т.к. в нем меньше содержание дорогого металла, а серы в природе много, и она дешевая.

Предлагается использовать тонкие пленки сульфида молибдена, нанесенные на поверхность стеклоуглерода.

В таком случае расход получается минимальным, а площадь катализатора такая же, как если бы катализатор полностью делался из сульфида молибдена.

БИЗНЕС-АКЦЕНТ

НПЗ разумный

Ирина Герасимова

ОЖИДАЕТСЯ, ЧТО В ОБОЗРИМОМ БУДУЩЕМ НПЗ ДОЛЖНЫ СТАТЬ «ЦИФРОВЫМИ» ИЛИ «УМНЫМИ», ТО ЕСТЬ ПЕРЕЙТИ К ПОЛНОСТЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ, КОТОРОЕ УПРАВЛЯЕТСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ. СЧИТАЕТСЯ, ЧТО ЭТО СДЕЛАЕТ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКУ БОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ, МЕНЕЕ ЗАТРАТНОЙ И ЛУЧШЕ УПРАВЛЯЕМОЙ. ПОКА ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЯЮТСЯ НА РОССИЙСКИХ НПЗ ГЛАВНЫМ ОБРАЗОМ ФРАГМЕНТАРНО, НА ОТДЕЛЬНЫХ СТАДИЯХ ИЛИ УСТАНОВКАХ, НО БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ ОТРАСЛЬ «УМНЕЕТ»

Старт дан

Фактически цифровизация в нефтепереработке началась гораздо раньше, чем сам термин вошел в активный оборот. Крупные заводы оснащены автоматизированными системами управления производством (АСУП) и технологическими процессами (АСУТП), актуальными контрольно-измерительными приборами и аппаратурой (КИПиА), непрерывно развивается ИТ-инфраструктура предприятий.

Но сейчас отрасль идет дальше – ВИНКи переводят свои НПЗ на более «продвинутые» системы усовершенствованного управления технологическим процессом, или СУУТП (в международной практике – Advanced Process Control, APC). Это системы, построенные на основе многопараметрических регуляторов и виртуальных анализаторов. Система способна сама вносить корректировки в управление технологическим процессом, выбирая оптимальный режим в зависимости от внешних факторов и качества сырья. За человеком остается только контроль за работой самой СУУТП.

Так, в 2015 г. была внедрена СУУТП на установке гидроочистки бензина каталитического крекинга Московского НПЗ «Газпром нефти» (поставщиком системы стала Emerson). В 2016 г. аналогичное решение было применено на установке первичной переработки нефти того же предприятия. Система помогла повысить выход бензиновой фракции и дизельного топлива, сократить расход топливного газа.

СУУТП работают на ряде НПЗ «Роснефти» (а всего их 13), благодаря чему был получен экономический эффект свыше 1,4 млрд руб. (по подсчетам компании, данные на сентябрь 2019 г.). Так, СУУТП управляет установкой первичной переработки нефти ЭЛОУ-АВТ-6 Сызранского НПЗ, с помощью чего увеличен отбор целевой продукции требуемого качества. Аналогичные системы предприятие планирует внедрить и на установках низкотемпературной изомеризации и каталитического риформинга. СУУТП на ЭЛОУ-АВТ-6 Новокуйбышевского НПЗ позволила оптимизировать работу установки, повысить эффективность и увеличить отбор целевой продукции на 0,3%. До 2024 г. «Роснефть» обещала внедрить более 80 СУУТП.

Также ведется внедрение технологий автоматизации для повышения надежности отдельных видов оборудования НПЗ. Сызранский НПЗ в прошлом году ввел в промышленную эксплуатацию цифровую систему контроля герметичности трубопроводов.

ФАКТЫ

В 2015 г.

была внедрена СУУТП на установке гидроочистки бензина каталитического крекинга Московского НПЗ «Газпром нефти»

Автоматизированная система сбора и обработки информации непрерывно получает и анализирует данные от высокоточные КИПов, смонтированных вдоль трубы от завода до нефтебазы. Это позволяет быстро и точно обнаружить место разгерметизации, а при отклонениях в режиме эксплуатации поступает сигнал прекратить перекачку нефтепродуктов.

На «Рязанской нефтеперерабатывающей компании» (РНПК), крупнейшем НПЗ «Роснефти», внедрена система контроля технических устройств (СКТУ), которая собирает, обрабатывает и хранит данные о фактическом состоянии технологического оборудования, определяет оптимальный срок и объем его замены. А с прошлого года РНПК в качестве пилотного проекта ведет мониторинг коррозионного состояния оборудования методом ультразвуковой толщинометрии.

Завод 4.0

В последние годы крупные НПЗ начали использовать такие технологии, как промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), большие данные (big data), «цифровой двойник» (digital twin), нейротехнологии, искусственный интеллект (ИИ) и другие.

Технология «цифровой двойник» (или «гибридный двойник», hybrid twin) – программный аналог, достоверно моделирующий работу своего физического прототипа, – считается одной из важнейшей на пути создания «цифрового» НПЗ. Для построения «двойников» используется целый комплекс передовых технологий, включая ИИ, машинное обучение, большие данные, 3D-моделирование и другие.

На «ТАНЕКО» «Татнефть» вместе с ChemTech создает «цифровой

двойник» установки ЭЛОУ-АВТ-7. Как сообщалось ранее, в ходе проекта обработаны исторические данные за несколько лет работы установки, создана термодинамическая модель действующего производства, разработаны виртуальные анализаторы с возможностью предсказания составов технологических потоков, определены возможности оптимизации технологического режима.

«Газпром нефть» создала цифровые «двойники» установки гидроочистки бензина каталитического крекинга на Московском НПЗ и установки первичной переработки нефти АТ-9 на Омском НПЗ. Также над подобной технологией активно работают в «ЛУКОЙЛе», «Роснефти».

Ожидается, что в будущем будут создаваться «двойники» целых заводов, всей цепочки поставок и еще далее – нефтяной компании в целом.

Перспективной технологией для НПЗ считается роботизация, позволяющая автоматизировать простые операции и свести к минимуму участие человека в производственном процессе. Этому направлению уделяют большое внимание, в частности, в «ЛУКОЙЛе».

В нефтепереработке также могут успешно применяться беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Например, на ряде НПЗ «Роснефти» аппараты с тепловизионным контролем и системой видеоаналитики служат для охраны объектов и мониторинга состояния нефтепроводов. «Газпром нефть» применяла дроны для мониторинга капитального строительства на своих НПЗ. По предварительным оценкам компании, беспилотники позволяют на 60–70% снизить затраты на строительный контроль, на 30% сократить нарушения требований к выполнению работ и вдвое повысить оперативность контроля.

На ряде российских НПЗ есть опыт применения технологий дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR). Например, обучающие тренажеры виртуальной и дополненной реальности применяются на предприятиях «Башнефти», «Газпром нефти».

Цифровизация начинает охватывать и работу персонала НПЗ. Используются «умные» браслеты, «умные» каски и другие мобильные устройства, подключенные к IIoT. Они помогают усиливать охрану труда и безопасность на производстве, повысить производительность.

На нефтеперерабатывающем заводе «Татнефти» «ТАНЕКО» применяется система раннего обнаружения отклонений (аномалий) в технологическом процессе установки ЭЛОУ-АВТ-7. Для этого используется продукт «Лаборатории Касперского» MLAD (Machine Learning for Anomaly Detection). Этот инструмент позволяет предотвращать опасные ситуации.

Собрать в один кулак

Еще одним шагом к «умному» НПЗ является централизация управления. Этот процесс растянут на годы и проходит поэтапно. Так, единую систему управления выстраивает РНПК. За последние годы «дочка» «Роснефти» интегрировала в систему «цифровой завод» управление несколькими объектами завода, в частности – установку гидроочистки дизтоплива.

ФАКТЫ

80–98%

составляет импортозависимость российской нефтяной отрасли

«Газпром нефть» создала каждом из своих заводов Центр мониторинга и диагностики систем автоматизации управления производством – ЦМиД. К нему подключили КИПы, АСУ и СУУТП установок предприятий. ЦМиД Омского НПЗ был создан в 2015 г., на Московском НПЗ – в 2017 г. В том же году компания запустила новый проект – Центр управления эффективностью нефтепереработки и сбыта (ЦУЭ). В этом центре создается единая цифровая платформа управления эффективностью цепочки добавленной стоимости (от поступления нефти на НПЗ до реализации нефтепродуктов конечному потребителю). При этом используются инструменты предиктивного анализа, нейросети, ИИ, формируются цифровые «двойники» производственных объектов, сообщала компания.

В 2019 г. «Газпром нефть» заявила, что создает Центр управления производством своих НПЗ. Будущий Центр обеспечит переход от управления отдельными установками и комплексами к предиктивному управлению технологическими цепочками. Реализовать проект компания собирается совместно с японской Yokogawa.

Центр будет построен на работе современных плоских моделей кросс-функциональных команд, объединенных в единую среду IT-инструментов и систем анализа больших данных. Благодаря внедрению «цифровых двойников» всех технологических установок и комплексов НПЗ Центр сможет обеспечить прогнозирование и проактивное устранение возможных отклонений от оптимального режима производства и интегрированного плана, сообщала компания. В текущем году пилотный проект планируется реализовать на Омском НПЗ, а в 2021 г. – на Московском.

Проблемы

Пожалуй, важнейшие проблемы на пути цифровизации НПЗ связаны с кибербезопасностью. Согласно недавним исследованиям Positive Technologies, во всем мире растет количество уязвимостей в АСУТП предприятий. Так, в 2018 г. показатель увеличился на 30%. При этом число компонентов АСУТП в России, доступных из интернета, увеличилось примерно 1,5 раза. Растет и число уязвимостей, которые могут эксплуатироваться удаленно без необходимости получения привилегированного доступа. Цифровизация повышает рентабельность нефтегазовой отрасли, однако требует применения современных средств защиты критической инфраструктуры от киберугроз, отмечено в материалах компании.

По мнению экспертов Positive Technologies, компании, которые ставят перед собой цель реально защитить себя в киберпространстве, сегодня сталкиваются с тотальным дефицитом кадров, имеющих достаточный уровень знаний и навыков. Это при том, что компетенции хакеров постоянно возрастают.

Напомним, в июне 2017 г. вирус-шифровальщик поразил компьютеры на НПЗ «Башнефти» (хотя основной «удар» пришелся на офисы «Роснефти»). Тогда обошлось без серьезных последствий. Но негативные последствия успешной для злоумышленников атаки на крупное нефтеперерабатывающее предприятие могут быть колоссальными, предупреждают эксперты.

Так, сохраняется высокая зависимость от иностранных технологий и ПО на фоне действия санкций – как и для всей «нефтянки» в целом. По оценке «Выгон консалтинг» (2018), импортозависимость российской нефтяной отрасли составляет 80–98% в зависимости от сегмента бизнеса.

Некоторые эксперты говорят о несоответствии КИПиА многих НПЗ новым задачам. Поэтому для ряда предприятий потребуется дооснащение установок и оборудования первичными средствами измерений.

ФАКТЫ

1,4

млрд руб.

совокупный экономический эффект, полученный на перерабатывающих заводах «Роснефти» благодаря внедрению СУУТП

Также отмечается недостаток в России высококвалифицированных специалистов для реализации проектов по цифровизации. Особенно это актуально для НПЗ, расположенных в удаленных от центра регионах.

Цифровизация охватывает главным образом НПЗ ВИНКов. Некоторые независимые НПЗ также работают в этом направлении, однако в этом случае обычно подразумевается внедрение актуальных АСУТП и отдельных передовых технологий.

Кроме того, в России во всех крупных проектах важна роль государства. Чиновники много говорят о цифровизации, иногда излишне оптимистично. Но на рынке ожидают также и активной поддержки НИОКР, снятия излишних регуляторных ограничений и административных барьеров и, кроме того, выработки общих подходов и целей для участников цифровизации отрасли. В последнем направлении определенное движение есть: сформированы федеральная и ведомственные программы цифровизации, действует рабочая группа «Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли» при участии ключевых компаний.

Global Medical System
clinics & hospitals

НАДЕЖНОСТЬ И ПРОФЕССИОНАЛИЗМ

Global Medical System
clinics & hospitals

ПРОФОСМОТР В КЛИНИКЕ GMS

РЕКЛАМА

Номер лицензии №ЛО-77-01-013294

Профилактические медицинские осмотры — это не только обязательство работодателей, но и неотъемлемая часть современной системы охраны здоровья, построенной на риск-ориентированном подходе.

Медосмотры позволяют сопоставить индивидуальные риски для здоровья работника и риски, связанные с его трудовой деятельностью. Это даёт возможность определить пригодность к работе, а также разработать индивидуальные профилактические программы, направленные на сохранение качества жизни и трудовое долголетие.

Дополнительно к требованиям законодательства GMS Clinic предлагает расширенные медосмотры, адаптированные под корпоративные требования наших клиентов. Также у нас есть упрощенные медосмотры, направленные на выявление ключевых рисков у работников, не подлежащих обязательным профосмотрам (например, офисный персонал, работающий во 2 классе условий труда).

Кроме того, GMS Clinic является единственной клиникой в России от Владивостока до Калининграда, которая может проводить медосмотры по международному стандарту OGUK.

ЧТО ТАКОЕ СЕРТИФИКАТ OGUK?

Сертификат OGUK — это документ, который выдаётся специалистам нефтегазовой отрасли по итогам медицинского осмотра и действует 2 года. Сертификат подтверждает возможность работать на удалённых и особо удалённых оффшорных объектах нефтегазовой отрасли. В большинстве развитых стран документ является обязательным для допуска к работе на морских проектах.

ПРОФОСМОТР В КЛИНИКЕ GMS — ЭТО:

- Консультации и анализы в одном месте за 2-3 часа с результатами в тот же день;
- Работа по принципам доказательной медицины;
- Понимание потребностей корпоративных клиентов;
- Выдача медицинских сертификатов международного образца (OGUK);
- Доброжелательная атмосфера;
- Доверие лидеров нефтегазовой отрасли в России и за рубежом.

www.gmsclinic.ru
Tel. 7-495-781-55-77
occupational@gmsclinic.ru

ПРОКОНСУЛЬТИРУЙТЕСЬ СО СПЕЦИАЛИСТОМ О ВОЗМОЖНЫХ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯХ

РЕАКЦИОННЫЕ ТРУБЫ ДЛЯ НЕФТЕХИМИИ И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

РОСТ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ СЕГОДНЯ НЕМЫСЛИМ БЕЗ РЕАЛИЗАЦИИ МАСШТАБНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ИХ ГЛУБОКУЮ ПЕРЕРАБОТКУ. ВАЖНОЕ МЕСТО В ЭТИХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ ОТВЕДЕНО ТЕХНОЛОГИЯМ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА В ПЕЧАХ РИФОРМИНГА И ПИРОЛИЗУ НЕФТЕПРОДУКТОВ. В ОБОИХ СЛУЧАЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА БАЗИРУЕТСЯ НА ПРИМЕНЕНИИ ЖАРОСТОЙКИХ РЕАКЦИОННЫХ ТРУБ И ЗМЕЕВИКОВ С ПОВЫШЕННЫМ РЕСУРСОМ РАБОТЫ. ЭТИМ ВАЖНЫМ ВОПРОСАМ И ПОСВЯЩЕНА ДАННАЯ НАУЧНАЯ СТАТЬЯ, В КОТОРОЙ РАССМОТРЕНО РЕЦЕПТУРОСТРОЕНИЕ СПЛАВОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

THE GROWTH OF HYDROCARBON PRODUCTION IS UNTHINKABLE WITHOUT THE IMPLEMENTATION OF LARGE-SCALE MEASURES AIMED AT THEIR DEEP PROCESSING TODAY. AN IMPORTANT PLACE IN THESE INNOVATIVE PROCESSES IS GIVEN TO THE TECHNOLOGIES USED TO PRODUCE SYNTHESIS GAS IN REFORMING FURNACES, AS WELL AS TO THE PYROLYSIS OF PETROLEUM PRODUCTS. IN BOTH CASES, THE PROCESS INTENSIFICATION IS BASED ON THE USE OF HEAT-RESISTANT REACTION TUBES AND COILS WITH AN INCREASED SERVICE LIFE. THESE IMPORTANT ISSUES ARE THE SUBJECT OF THIS SCIENTIFIC ARTICLE, WHICH DISCUSSES THE FORMULATION OF NEW GENERATION ALLOYS

Ключевые слова: *пиролиз, печи риформинга, сплавы, жаростойкие трубы, змеевики, ползучесть, науглероживание, интерметаллиды.*

УДК 665.6

Афанасьев Сергей Васильевич,
начальник БРиЗОИС ПАО «Тольяттиазот», к.х.н., д.т.н., доцент по экологии

Интенсификация процесса пиролиза идет по пути повышения температуры разложения углеводородов и уменьшения продолжительности контакта в зоне реакции. Это приводит к повышению теплонапряженности металла реакционных труб и достижению на их поверхности температуры около 1100 °С [1–3]. Для их изготовления на российских предприятиях и в научных организациях предпринимаются усилия по совершенствованию жаропрочных сплавов аустенитной структуры, хорошо зарекомендовавших себя в производственных условиях.

В частности, в ЦНИИ КМ «Прометей» успешно прошли испытания двух сталей 45Х26Н33С2Б2 и 45Х26Н33В5С2Б с карбидным типом упрочнения, обладающих достаточно высокими уровнями стойкости к окислительным процессам и науглероживанию.

Расчеты длительной прочности для реакционных труб из указанных сплавов показывают, что их работоспособность должна быть обеспечена при эксплуатации по крайней мере до 10^5 часов. На практике нередки случаи, когда уже через ~ 4000 часов работы, трубы выбраковываются из-за недопустимого формоизменения [4].

Для выяснения причин возникновения аварийных ситуаций надо иметь в виду, что современные печи пиролиза представляют собой сложные устройства, внутри которых смонтированы трубные пучки (змеевики). Часть труб каждого змеевика размещается в конвективной камере для подогрева сырья до 600 °С, другая часть расположена в высокотемпературной радиантной зоне, где поток газов подогревается при пониженном давлении до ~850 °С. В печах высокотемпературного каталитического пиролиза с коротким временем контакта реагирующих компонентов, змеевики в топочной камере подвешены вертикально на тягах и пружинах, что обеспечивает возможность свободного деформирования труб. Используемые газовые горелки акустического типа создают равномерный нагрев футеровки печи до 1100–1200 °С. При этом температура наружной поверхности выходных реакционных труб радиантной секции змеевика может повышаться до 1100–1150 °С, что является предельным значением для большинства известных жаропрочных сплавов.

Об этом же свидетельствуют и кратковременные испытания сплава 45Х26Н33С2Б2 в экстремальных

ТАБЛИЦА 1

№ п/п	Температура испытания, °С	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	Ψ, %
1	20	565	351	10,67	10,33
2	800	326	202	16,80	26,80
3	900	220	175	18,50	31,28
4	1000	136	114	28,00	48,81
5	1100	72	65	32,65	54,10

$\sigma_в$ – предел прочности; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести; δ – относительное удлинение; Ψ – остаточная деформация

условиях, механические свойства которого приведены в таблице 1.

Для пиролизных печей максимально допустимая температура стенки радиантных змеевиков, выполненных из рассматриваемой стали, составляет 1070 °С. Давление внутри выходных труб змеевика может варьировать в пределах от (0,16–0,2) МПа до 0,7 МПа (максимально допустимое значение). Теплонапряженность поверхности выходной трубы, работающей в наиболее жестких термических условиях, достигает 150–200 кВт/м^2 [3, 5]. В процессе эксплуатации система реакционных змеевиков подвергается циклическому изменению температур при плановых и аварийных остановах с последующими выходами на штатный тепловой режим. В качестве негативного процесса в условиях пиролиза следует отметить образование свободного углерода, который отлагается в виде слоя кокса на внутренней поверхности труб. Тем самым нарушаются условия теплообмена между стенкой трубы и газовым потоком, что приводит к локальному перегреву трубных элементов реакционного змеевика и способствует так называемому прогару. Отложение кокса также благоприятствует ускорению коррозии и износу материала труб, что ведет к снижению выхода олефинов, сокращению срока службы труб, а также к уменьшению длительности межремонтных периодов эксплуатации печей [6].

Следует отметить, что скорость отложения кокса зависит не только от состава сырья и температуры процесса, но и от конструктивных параметров установки. Наибольшее коксообразование наблюдается на выходных трубах с повышенной температурой стенки. Оно также возрастает при резких колебаниях производственного температурного режима. Все эти обстоятельства определяют ресурс эксплуатации жаростойких реакционных труб как в печах риформинга нефтехимических агрегатов, так и на установках каталитического пиролиза.

Наиболее распространенный способ удаления кокса в последних – паровоздушный выжиг, проводимый периодически (через ~500 часов непрерывной работы в штатном режиме) или при наличии дополнительных показателей (повышение давления на входе в змеевик более 0,7 МПа; местное изменение цвета труб, свидетельствующее о повышении температуры стенки свыше 1070 °С). При возникновении аварийных ситуаций, быстрое охлаждение неравномерно нагретой трубы может привести к появлению остаточных термических напряжений. Впоследствии они сопровождаются пластическим деформированием материала трубы и ее разрушением. Поэтому в условиях нормальной эксплуатации пиролизных установок скорость снижения и подъема температуры не должна превышать 2 °С/мин.

В случае аварийного останова печи допускается повышение скорости изменения температуры до 9 °С/мин.

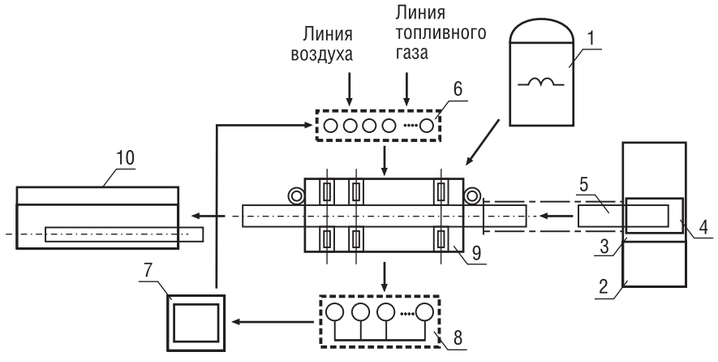
Технология получения реакционных труб для змеевиков печей пиролиза и печей риформинга агрегатов аммиака и метанола оказывает значительное влияние на надежность их работы. Их изготавливают способом центробежного литья, фасонные отливки – методом статического литья.

Линия центробежного литья включает индукционную плавильную печь, платформу с тележкой и механизм ее перемещения, с размещенными на ней баком и соплом для подачи разделительной суспензии в полость кокиля, станок центробежного литья и узел извлечения отливок, а также блок газовых горелок, обеспечивающий необходимый температурный градиент на поверхности кокиля, контролируемый с дистанционного блока управления, преобразующего показания функционально связанных с ним пирометрических датчиков температуры в электрические сигналы, поступающие к регулирующим клапанам подачи воздуха и топливного газа в зону горения [7, 8].

Принципиальная схема установки, рассчитанной на использование аустенитных сплавов определенного состава, приведена на рис. 1.

К ее достоинствам можно отнести наличие системы газовых горелок, создающих температурный градиент на поверхности кокиля, работа которых автоматически регулируется блоком управления, функционально связанным с пирометрическими датчиками и клапанами подачи топливного газа и воздуха в зону горения.

РИС. 1. Установка центробежного литья жаропрочных труб



Линия работает следующим образом. В индукционную печь *1* производительностью 1050 кг/час последовательно загружают необходимые шихтовые компоненты с целью получения жаропрочного сплава состава, мас. %: углерод, 0,40–0,45, кремний 1,10–1,50, марганец 1,10–1,40, хром 24–27, никель 33–35, ниобий 0,6–1,1, ванадий 0,0005–0,10, титан 0,05–0,15, алюминий 0,01–0,05, цирконий 0,01–0,20, церий 0,005–0,10, вольфрам 0,005–0,10, кобальт 0,01–0,10, железо и примеси – остальное.

Разделительное покрытие на основе водной суспензии TERMODUR 1409/20 предварительно наносят на внутреннюю поверхность кокиля, имеющего длину 6 м, путем перемещения по платформе *2* тележки обмазки *3* с баком *4*, соединенным с соплом *5*. Поступление антиадгезива через сопло *5* достигается сжатым воздухом, подаваемым в бак. Разогрев трех зон кокиля до рабочих температур 330 °С (головная часть), 340 °С (центральная часть) и 350 °С (хвостовая часть) осуществляется с помощью блока газовых горелок *6*, содержащего 120 сопел. Указанные температуры поддерживаются блоком управления *7*, преобразующего показания пирометров с инфракрасными датчиками *8* в электрические сигналы, поступающие к регулирующим клапанам подачи воздуха и топливного газа.

Разливочный ковш с температурой 600–700 °С устанавливают на тензовесах и в него выливают необходимое количество сплава с температурой 1640 °С.

Ковш перемещают к машине центробежного литья *9*, с помощью которой задается вращение кокиля со скоростью 1510 об./мин и расплавленный металл выливают в него в виде непрерывной струи.

Машину центробежного литья останавливают, а отливку трубы выталкивают на блоке *10* и направляют на расточку.

Жаропрочные трубы на основе данного сплава характеризуются пределом прочности и пределом текучести (не менее 600 и 300 МПа соответственно [9, 10]).

При затвердевании металла в обогреваемом кокиле неметаллические включения и содержащиеся в жидком металле газы под действием центробежной силы сосредотачиваются на внутренней поверхности изготавливаемой трубы. Охлаждение металла начинается с наружной поверхности трубы, которая соприкасается с кокилем, что обусловливает его направленное затвердевание от наружной поверхности к внутренней.

Вследствие этого формирующиеся при затвердевании металла литейные дефекты – раковины, пористость, неметаллические включения – наблюдаются лишь на внутренней поверхности отлитой трубы. Шероховатость наружной поверхности змеевика повышает теплопередачу от потока излучения в топочной камере к потоку газов внутри труб и способствует увеличению глубины процесса пиролиза.

Для изготовления фасонных отливок используются коллекторные низкоуглеродистые сплавы. Они обладают пониженной низкотемпературной пластичностью по сравнению с металлом центробежно-литых труб. В то же время, при рабочих температурах характеристики длительной прочности и пластичности применяемых сталей достаточно близки. Фасонные отливки, работающие при более низких температурах и имеющие большую толщину по сравнению с прямыми трубами, разрушаются гораздо реже, чем выходные трубы змеевика, причем в основном из-за дефектов на стадии изготовления, и поэтому практически не влияют на работоспособность конструкции. Наиболее теплонапряженные участки трубной системы реакционного змеевика состоят из сваренных в стык длинномерных (9–14 м) центробежнолитых труб. В работах [6, 11] показано, что металл шва обладает мелкокристаллической структурой в отличие от крупнокристаллического основного металла и характеризуется повышенными значениями прочностных характеристик при кратковременных испытаниях в диапазоне температур от 20 до 1000 °С. В случае длительного статического нагружения при температурах 900, 1000 и 1100 °С разрушение образцов в основном происходит в металле шва.

По данным ЦНИИ КМ «Прометей», в макроструктуре центробежно-литой трубы можно различить три зоны: тонкий слой мелких равноосных кристаллов на наружной поверхности трубы; зону столбчатых кристаллов, распространяющуюся на ~ 50 % толщины сечения стенки трубы; зону равноосных кристаллов на внутренней поверхности стенки трубы. Практически структура металла труб может быть полностью столбчатой, равноосной или смешанной.

В последние годы в технических условиях на центробежно-литые трубы для радиантных змеевиков предусматривается специальное требование к макроструктуре по толщине стенки, 40–70 % которой должна состоять из столбчатых кристаллов. Это требование объясняется положительным влиянием подобной структуры на жаропрочность реакционных труб [12, 13].

При анализе работы печей пиролиза надо также иметь в виду, что суммарные температурные напряжения с эффектом науглероживания затрагивает преимущественно внутреннюю поверхность змеевиков.

В свою очередь, ползучесть сплава вблизи границ аустенитных зерен приводит к возникновению пустот, в дальнейшем выстраивающихся в линии и приводящие к возникновению микротрещин.

Этот процесс протекает в три стадии.

На начальном этапе эксплуатации реакционных труб, в процессе упрочнения металла скорость деформации снижается. При этом происходит замедление перемещения микроэлементов в структуре сплава, однако наблюдается образования микропор на границе зерен и фаз.

Вторичная стадия ползучести обусловлена старением жаропрочного сплава и проявляется в виде увеличения диаметра труб с постоянной, но медленной скоростью. На данном этапе происходит рост и объединение микропор.

Третичная ползучесть характеризуется высокой скоростью деформации и объединением микротрещин в глубокие трещины, размером больше размеров аустенитного зерна. Возрастающая скорость деформации в конечном итоге приводит к разрушению реакционной трубы.

Для увеличения работоспособности трубных систем крайне важно определить момент окончания вторичной ползучести, а также отодвинуть процесс наступления третичной ползучести, при которой пустоты на границах зерен разрастаются вплоть до образования трещин в структуре металла.

Одной из возможных причин недостаточно высокой жаропрочности труб, изготовленных из известных жаропрочных хромоникелевых сплавов, является увеличенный относительный размер частиц вторичных карбидов, их низкая однородность и неравномерность распределения в металле. Многие исследователи справедливо полагают, что механизм упрочнения сплава достаточно сложен и не может быть объяснен с позиций карбидной теории.

В то же время нельзя отрицать, что формирование карбидов в микроструктуре металла приводит к определенному торможению его ползучести.

Известно, что по своей структуре карбиды подразделяют на два типа: первичные карбиды, которые образуются в процессе затвердевания в виде тонкой сетки на границах аустенитных зерен и вторичные карбиды, формирующиеся при высокотемпературной нагрузке реакционных труб. В ходе эксплуатации труб они осаждаются в виде мелкодиспергированных частиц не по границам, а в самих аустенитных зернах жаропрочного сплава (процесс старения).

Вторичный карбид на уровне микроструктуры действует как своеобразное препятствие, предотвращающее деформационный сдвиг.

В зависимости от состава жаропрочного сплава и условий его получения наряду с карбидами в нем могут формироваться другие структурные образования, которые не только препятствуют процессу ползучести и науглероживания внутренней поверхности реакционных труб, но существенно повышают их эксплуатационный ресурс.

Согласно информации авторов [8], значения механических параметров реакционных труб проходят через экстремум, приходящийся на их среднюю часть.

Причина разброса показателей состоит в том, что на их уровень для конкретных аустенитных сплавов сильное влияние оказывают основная аустенитная матрица, включающая преимущественно железо, хром и никель и две интерметаллидные фазы, обогащенные хромом и ниобием соответственно.

Сочетание интерметаллидного и карбидного механизмов упрочнения жаростойких сталей позволило автору данной статьи принципиально по-иному подойти к рецептуростроению аустенитных сплавов для изготовления труб к агрегатам аммиака, метанола и для пиролизных установок.

Первой из подобных разработок стал базовый сплав на железоникелевой основе ХН33БС для печей риформинга паровой конверсии углеводородов, легированный микродобавками [14].

Расширенные испытания изделий на его основе были выполнены во ФГУП ЦНИИчермет и показали гораздо лучшие результаты в сравнении с известным сплавом 45Х25Н35ВС.

В ходе исследования было установлено, что испытанные образцы после разрыва слабо окислены. Значение предела длительной прочности $\sigma_в$ сплава ХН33БС при температуре 960 °С за 100 000 ч, полученное методом экстраполяции, составляет 17,4 Н/мм², что на 26 % выше данных по жаропрочности сплава 45Х25Н35ВС. При 810 и 1110 °С величина данного показателя равна 66 и 4,9 МПа соответственно, что в 1,5 и 2 раза превосходит допустимые напряжения [σ]. Значения длительной прочности и допустимого напряжения для аустенита-1 в широком интервале температур приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Длительная прочность и допускаемое напряжение сплава ХН33БС при различных температурах для времени эксплуатации 100 000 часов

Температура, °С	Длительная прочность, МПа	Допустимое напряжение, МПа
460	399,1	266,1
560	272,0	181,3
660	170,4	113,6
760	94,2	62,8
860	43,0	28,7
960	17,4	11,6

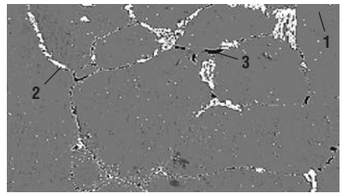
Благодаря оптимизации состава аустенита-1 величина зерен первичных карбидов варьирует около 250 мкм (вместо 215 мкм для прототипа). Параллельно с этим отмечено улучшение структуры сплава, оцениваемое коэффициентом неоднородности $A = R_{max}/R_{min}$, где R_{max} и R_{min} – максимальный и минимальный линейные размеры зерен в структуре стали, соответственно. В прототипе он изменяется в интервале 1,13–1,17, а для заявляемого сплава 1,08–1,12, что свидетельствует о более высокой однородности кристаллических образований.

Металлографическое исследование сплава ХН33БС показало наличие равноосных зерен аустенитного раствора Fe-Cr-Ni. В достаточно большом количестве присутствует эвтектическая фаза, содержащая карбид типа Cr_7C_3 и имеющая пластинчатое строение.

Не менее важным упрочняющим фактором является присутствие в аустенитной матрице двух интерметаллидных образований, описываемых следующими формулами – **$Cr_{39}Fe_4Ni$** и **$Nb_{28}Cr_3FeNiTi$**.

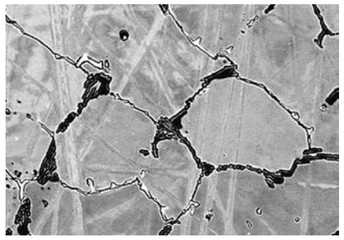
Марка сплава	№ патента на изобретение
аустенит-1	жаропрочный сплав RU №2393260
аустенит-2	жаропрочный хромоникелевый сплав с аустенитной структурой RU №2446223
аустенит-3	жаропрочный хромоникелевый сплав с аустенитной структурой RU №2485200
аустенит-4	жаропрочный хромоникелевый сплав с аустенитной структурой RU №2533072
аустенит-5	жаропрочный сплав с интерметаллидным упрочнением RU №2693417
аустенит-6	жаропрочный сплав RU №2700346
аустенит-7	жаропрочный сплав RU №2700347

РИС. 1. Карта распределения фаз в аустените-5



1 – основная аустенитная матрица;
2 – интерметаллидная фаза, обогащенная хромом; 3 – интерметаллидная фаза, обогащенная ниобием

РИС. 3. Микроструктура металла, полученная с помощью детектирования обратно-рассеянных электронов детектором AsB



Их наличие подтверждено микрорентгеноструктурным анализом образца сплава с помощью растрового электронного микроскопа Sigma фирмы Karl Zeiss, оснащенного аналитической системой фирмы EDAX (США) с детектором Apollo и детектором обратно-рассеянных электронов AsB.

Из приведенных формул следует, что первый интерметаллид обогащен хромом, а второй – ниобием. Регулируя содержание отдельных элементов в сплаве можно уменьшить или увеличить содержание упрочняющих фаз, а также изменить их состав.

В настоящее время в ООО «Реакционные трубы», г. Тольятти разработан и внедрен широкий ассортимент жаропрочных сплавов аустенитной структуры с улучшенным комплексом свойств.

Как и в случае аустенита-1, повышенные значения механических показателей и длительной прочности других аустенитов до температуры 1100 °С обусловлены влиянием вторичных карбидов и формированием сетчатых структур интерметаллидных фаз внутри аустенитной матрицы.

Применительно к аустениту-5 их распределение показано на рис. 2 и 3.

Согласно полученным экспериментальным данным, содержание интер-металлидов **$Cr_{40}Fe_4Ni$** и **$Nb_{30}Cr_3FeNiTi$** составляет 7 и 1,5 мас. % соответственно.

Улучшенные механические показатели рассматриваемого и других сплавов позволили организовать на площадке ООО «Реакционные трубы», г. Тольятти промышленный выпуск реакционных труб с пониженной толщиной стенок [15–18].

Их внедрение на агрегатах аммиака типа АМ-76 и Кемико на площадке ПАО «Тольяттиазот» позволило повысить производительность печей риформинга более чем на 30 % и существенно снизить расходные нормы по природному газу. Одновременно с этим увеличился гарантируемый ресурс работы реакционных труб до 125 000 часов при температуре их эксплуатации 800–900 °С и давлении около 4 МПа. ●

Литература

1. *Бабаш С.Е., Мухина Т.Н. Возможные направления развития технологии и конструктивного оформления процесса пиролиза углеводородного сырья // Химическая промышленность. 1998. № 11. С. 665–668.*
2. *Анненков Д.Н. Требования к конструкционным материалам для радиантных змеевиков печей производства этилена установки ЭП-300 и элементов подвески радиантных змеевиков // Химическая техника. 2005. № 5. С. 10–12.*
3. *Орыщенко А.С. Конструкционные материалы для радиантных змеевиков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2007. № 5. С. 44–47.*
4. *Bree J. Elastic-plastic behaviour of thin tubes subjected to internal pressure and intermittent high-heat fluxes with application to fast –nuclear reactor fuel elements // Journal of Strain Analysis. 1967, № 3, pp. 226–238.*
5. *Кулешов О.Ю., Седелкин В.М. Расчетный анализ теплонапряженности экранных труб в реакционных трубчатых печах // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2012. № 5. С. 15–18.*
6. *Попова И.П. Исследование сопротивления разрушению сплава базовой композиции 45Х25Н35С2Б и разработка методов оценки работоспособности реакционных змеевиков высокотемпературных установок пиролиза. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. С.-Пб, ЦНИИ КМ «Прометей». 2014.*
7. *Патент на полезную модель RU №85844. Установка центробежного литья жаропрочных труб / 2009.*
8. *Afanasiev S.V., Ismaylov O.Z., Pyrkin A.V. et.al. Structural heterogeneity of reaction pipes from austenitic hightemperature alloys // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 022049. IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/537/2/022049.*
9. *Афанасьев С.В., Сергеев С.П. Новые инновационные разработки в области реакционных труб для печей риформинга // Химическая техника. Межотраслевой журнал для главных специалистов предприятий. 2015. № 8. С. 8–9.*
10. *Афанасьев С.В., Сергеев С.П., Пыркин А.В., Афанасьев А.С. Реакционные трубы для нефтехимических производств с повышенным ресурсом работы. // Нефть. Газ. Экспозиция. 2016. № 1 (47). С. 56–58.*
11. *Орыщенко А.С., Уткин Ю.А. Структура и механические свойства жаростойкого сплава 45Х26Н33С2Б2 и металла его сварных соединений при высоких температурах // Тяжелое машиностроение. № 6. 2004. С. 19–25.*
12. *Kirchheiner R., Woelpert P. Niobium in centrifugally cast tubes for petrochemical applications // Proceedings of the International Symposium Niobium. 2001. Orlando, USA, pp. 1041–1054.*
13. *Орыщенко А.С., Уткин Ю.А. Влияние микроструктуры при температурах 800–1100 °С на характеристики жаропрочности сплава 45Х26Н33С2Б2 // Вопросы материаловедения. 2009. № 3 (59). С. 17–25.*
14. *Афанасьев С.В., Рощенко О.С., Шевакин А.Ф. Структура и физические свойства жаропрочного сплава для центробежнолитых труб // Материалы VI Всеросс. молодежной науч. конф. «Микромеханизмы пла-стичности, разрушения и сопутствующих явлений» и V Международной школы «Физическое материаловедение». (Тольятти, 26 сентября – 1 октября 2011 г.). С. 246–249.*
15. *Afanasiev S.V., Ismaylov O.Z., Pyrkin A.V. et.al. // Materials science in the field of heat-resistant austenitic alloys IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 022045.*
16. *Сергеев С.П., Афанасьев С.В., Рощенко О.С. Технология получения синтез-газа паровой конверсией углеводородов // Химическая техника. Межотраслевой журнал для главных специалистов предприятий. 2016. № 6. С. 30–32.*
17. *Промышленный катализ в газохимии. Монография. Под ред. д.т.н. С.В. Афанасьева / Самара. Изд. Сам. научн. центра РАН. 2018. – 160 с.*
18. *Патент на изобретение RU № 2535826. Способ получения синтез-газа паровой конверсией углеводородов / 2014.*

KEYWORDS: *pyrolysis, reforming furnaces, alloys, heat-resistant pipes, coils, creep, carburization, intermetallides.*

Двухдневная программа конференции 2020 года включает в себя аналитические обзоры глобальных нефтехимических рынков, оценку влияния государственных инициатив на сырьевое обеспечение отрасли, обзор перспективных проектов России и Центральной Азии и практические кейс-стади по цифровизации нефтехимических производств.

СИБУР

В ГЕНЕРАЛЬНОМ ПАРТНЕРСТВЕ С "СИБУР ХОЛДИНГ" В ТЕЧЕНИЕ 5 ЛЕТ

САМАЯ МАСШТАБНАЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ В РЕГИОНЕ

38% АУДИТОРИИ - ПРЕДСТАВИТЕЛИ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

www.globuc.com/ru/cispetrochemicals

Ярослав Синько
j.sinko@globuc.com

+44 845 868 8234

РЕКЛАМА

ПЛАСТПЕРЕРАБОТКА:
состояние и перспективы

УДК 665.6

ГЛОБАЛЬНЫМ НАПРАВЛЕНИЕМ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОВОГО СЫРЬЯ ЯВЛЯЕТСЯ ПРОИЗВОДСТВО ПЛАСТМАСС И ДАЛЕЕ – ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ. ПОДОТРАСЛЬ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ВЫСОКОЙ ДОБАВОЧНОЙ СТОИМОСТЬЮ И ВО ВСЕМ МИРЕ РАЗВИВАЕТСЯ ПО ВОСХОДЯЩЕМУ ТРЕНДУ ПО ПРИЧИНЕ ШИРОКОЙ ВОСТРЕБОВАННОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ СО СТОРОНЫ РАЗЛИЧНЫХ СФЕР ЭКОНОМИКИ. ДО НАСТОЯЩЕГО ВРЕМЕНИ В РОССИИ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПЛАСТМАСС ЯВЛЯЮТСЯ ВЕДУЩЕЙ СТАТЬЕЙ ИМПОРТА ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ: В 2019 ГОДУ – ПОЧТИ 1/4 ИМПОРТА ПРОДУКЦИИ НОМЕНКЛАТУРЫ ХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА, А ЭТО ПОРЯДКА 5,4 МЛРД ДОЛЛ. В ДАННОЙ СТАТЬЕ ПОКАЗАН ПРОЦЕСС УКРЕПЛЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА В НАШЕЙ СТРАНЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС И РАССМОТРЕНЫ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО РЫНКА ДАННОЙ ПРОДУКЦИИ

THE GLOBAL DIRECTION OF OIL AND GAS PROCESSING IS THE PRODUCTION OF PLASTICS AND FURTHER PRODUCTS BASED ON THEM. THE SUB-SECTOR FOR THE PRODUCTION OF PLASTIC PRODUCTS IS CHARACTERIZED BY HIGH ADDED VALUE AND IS DEVELOPING WORLDWIDE IN AN UPWARD TREND DUE TO THE WIDE DEMAND FOR POLYMER PRODUCTS FROM VARIOUS SECTORS OF THE ECONOMY. UNTIL NOW, PLASTIC PRODUCTS ARE THE LEADING IMPORT ITEM FOR CHEMICAL AND PETROCHEMICAL PRODUCTS IN RUSSIA: IT TOOK ALMOST 1/4 OF THE IMPORTS OF CHEMICAL COMPLEX PRODUCT RANGE IN 2019, WHICH AMOUNTS TO 6 BILLION US DOLLARS. THIS ARTICLE SHOWS THE PROCESS OF STRENGTHENING THE RAW MATERIAL BASE FOR THE PRODUCTION OF PLASTIC PRODUCTS IN OUR COUNTRY AND DISCUSSES THE DEVELOPMENT TRENDS OF THE GLOBAL MARKET FOR THESE PRODUCTS

Ключевые слова: *пластпереработка, химический комплекс, упаковка, пленка, трубы.*

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

Сырьевая база для производства изделий из пластмасс многообразна и является определяющим фактором стоимости и качественных показателей производимой полимерной продукции. На рисунке 1 представлена «пирамида» пластмасс, отражающая видовой состав пластмасс по их температуре плавления.

РИС. 1. Пирамида пластмасс по температуре их плавления

Полимеры аморфной структуры:
ПВХ – поливинилхлорид,
ПС – полистирол, ПУ – полиуретан,
ПММА – полиметилметакрилат,
СС - сополимеры стирола,
АБС – акрилобутадиенстирол,
ПФО – полифениленоксид, ПК – поликарбонат,
ПСФ – полисульфон, ПЭС – полиэфирсульфон,
ПЭИ - полиэфирэмид

Полимеры кристаллической структуры:
ПЭ – полиэтилен, ПП – полипропилен,
ПФЛ – полиформальдегид, ПА – полиамид,
ПБТ – полибутилентерефталат,
ПЭТ – полиэтилентерефталат,
ПТФЭ- политетрафторэтилен,
ПФС – полифениленсульфид,
ПЭК – полиэфиркетон,
ПАР – полиакрилен

ТАБЛИЦА 1. Объемы выпуска в России основных видов пластмасс в 2018–2019 гг.

Вид полимера	Объем выпуска в 2019 году, тыс.т	Объем выпуска в 2018 году, тыс.т	2019/ 2018, %
Полимеры этилена в первичных формах	2 357,3	2 199,2	107,2
в том числе полимеры этилена	1 581,6	1 565,5	101,04
Полимеры пропилена в первичных формах	1438,2	1410,1	102,0
Поливинилхлорид в первичных формах	1 046,3	1 019,7	102,6
Полистирол	550,4	549,7	100,13
Полиацетали, прочие полимеры простых эфиров и эпоксидные смолы в первичных формах, поликарбонаты, алкидные смолы, полимеры сложных эфиров аллилового спирта и прочие полимеры сложных эфиров в первичных формах	654,96	684,86	95,5

Источник: *Росстат-2019*

В последние годы Россия в значительной степени расширила свой производственный потенциал по выпуску пластмасс: в 2019 году производство достигло 8,76 млн т, то есть за 5 лет прирост составил 64,2%. В таблице 1 приведены объемы выпуска основных видов пластмасс в 2019 году относительно предыдущего года.

Процесс расширения производственной базы по выпуску пластмасс продолжается и основную лепту вносят крупнейшие компании химического и нефтехимического комплекса – ПАО «СИБУР-холдинг» и ПАО «НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ» (НКНХ). СИБУР осенью 2019 года в тестовом режиме запустил новый нефтехимический комплекс «Запсибнефтехим» в г. Тобольск и в ходе пусконаладки уже выпускается тестовая продукция (полиэтилен). После выхода на проектную мощность в 1,5 млн т полиэтилена и 500 тыс. т полипропилена это будет крупнейшее производство полимеров в России и Европе.

Другим крупным проектом является проект НКНХ о строительстве комплекса ЭП-1200 по выпуску этилена с производством полимеров суммарной мощностью более 700 тыс. тонн в год. Ввести объект в эксплуатацию предполагается в 2023 году.

Таким образом, создаются предпосылки для более ускоренного развития процесса переработки пластмасс и приближения показателя потребления полимерных изделий на душу населения в России к показателю в ведущих странах мира (рисунок 2).

Синтез полимеров – это уникальное достижение химиков, но как химическое образование пластмассы представляют практическую значимость только с позиций их дальнейшей переработки в изделия.

Формирование в России мощной производственной базы по выпуску пластмасс будет стимулировать производство полимерных изделий. Но возникает вопрос: *Какие изделия из пластмасс наиболее востребованы?*

Посмотрим на основные тенденции развития мирового рынка изделий из пластмасс, которые следует учитывать при разработке собственной стратегии развития данного сектора экономики.

Упаковка

Основной сферой применения полимерных изделий во всех странах мира является сектор упаковки (в ЕС – примерно 40% произведенных изделий, рисунок 3).

Объем мирового рынка упаковки в 2018 г. составил примерно 200 млрд долл. Активно развиваются секторы упаковки пищевых продуктов, безалкогольных напитков, средств личной гигиены, бытовых средств, электроники, автокомпонентов. Все это приведет к еще большему росту объемов рынка в ближайшем будущем.

Совершенствуются и сами материалы, и конструкции упаковки. Она становится более функциональной, экологичной и привлекательной. Наиболее

РИС. 2. Душевое потребление полимерных изделий в ведущих странах мира, кг/чел.

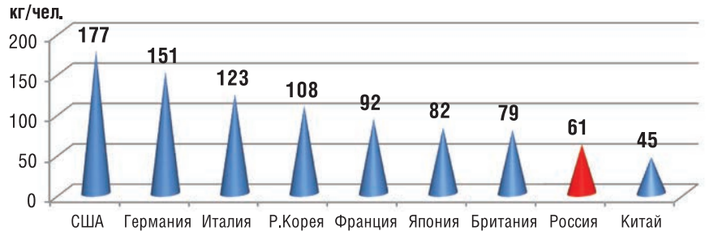
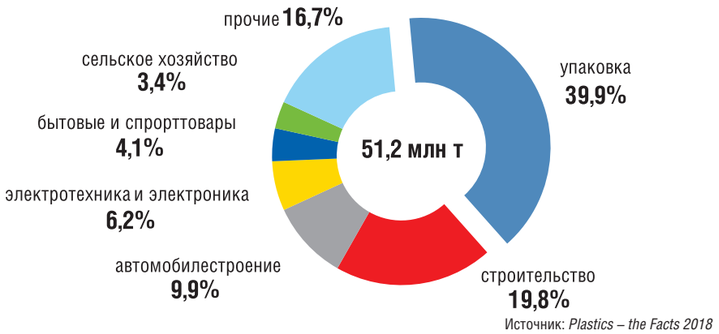
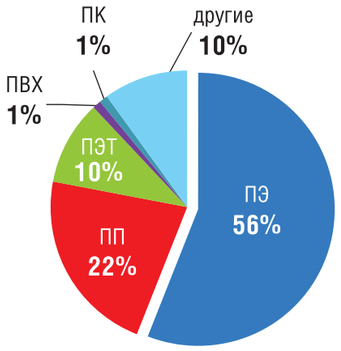


РИС. 3. Структура потребления пластмасс в Евросоюзе в 2017 г.



Источник: *Plastics – the Facts 2018*

РИС. 4. Сырьевая структура упаковочных изделий, %



используемыми полимерами в области производства упаковочных изделий и материалов, являются ПЭ, ПП и ПЭТ (рисунок 4).

Рынок полимерной упаковки принято разделять на два основных сегмента: жесткая (банки, бутылки, контейнеры и прочие емкости, не изменяющие форму) и гибкая упаковка, соответственно, изменяющая свою форму исходя их специфики содержимого.

В период 2019–2027 гг. ежегодный прирост рынка жесткой упаковки в мире ожидается на уровне 4% в год и в 2020 году оценивается в 222,5 млрд долл., причем изделия из ПЭТ сохранят свои лидирующие позиции.

Темпы развития рынка гибкой упаковки ожидаются выше – порядка 4,77% в год, при этом в регионе АСЕАН в период с 2016 до 2024 г. темпы роста прогнозируются на уровне 5,7 %.

Основным потребителем пластиковой упаковки и в перспективе будет пищевая промышленность (примерно 60%, рисунок 5).

Рынок будет развиваться под воздействием следующих процессов:

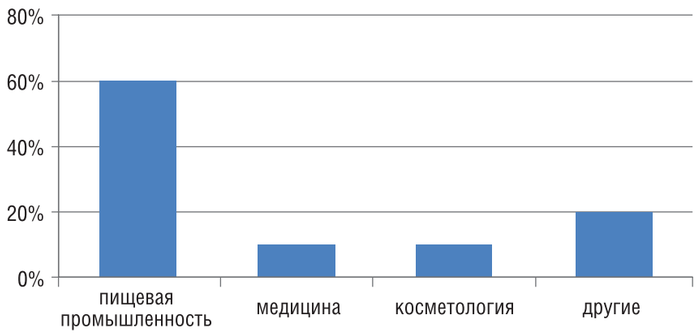
- ужесточением требований к безопасности упаковки для здоровья;
- необходимостью сокращения объема отходов упаковки;
- снижением толщины пленок при увеличении количества слоев и улучшением барьерных характеристик;
- повышением роли биопластиков;
- ростом спроса на прозрачные барьерные пленки.

Ключевым сдерживающим фактором роста спроса на полимерную упаковку является емкость рынка фасованных пищевых продуктов. Сегодня возможности для роста лежат в области внедрения инноваций в производстве упаковок и этот процесс уже получил развитие. Среди них – так называемая «умная упаковка» и «вакуумная упаковка».

В категорию «умной упаковки» входит упаковка, позволяющая создавать контролируемую среду для продукта, продлять его сроки годности, и интеллектуальная упаковка, которая демонстрирует состояние продукта, взаимодействует с потребителем или другими устройствами. По оценке аналитиков Smithers Pira (Великобритания), мировой рынок «умной» упаковки будет увеличиваться на 7,5% в год в ближайшие пять лет, а рынок интеллектуальной упаковки – на 18% в год (по сравнению с темпами расширения рынка обычной упаковки на уровне 4,9% в год).

При «вакуумной упаковке» заключенные в различные технологические оболочки поглотители кислорода вступают в химическую реакцию с кислородом и полностью поглощают его внутри упаковки с продуктом. Применение поглотителей кислорода позволяет увеличить сроки годности продукции, защитить ее от плесени, бактерий, прогоркости, испарений и влаги, сохранить питательные вещества продукта, его первоначальные вкус, цвет и запах, исключить необходимость использования химических консервантов. С поглотителями кислорода можно упаковывать все виды пищевой продукции, в том числе свежее мясо, полуфабрикаты, мясные изделия.

РИС. 5. Структура рынка гибкой полимерной упаковки, %



Широкие горизонты для внедрения имеет технология изготовления полимерных банок. Они изготавливаются из пригодного для вторичной переработки полипропилена со слоем этиленвинилового спирта и пригодны для использования в консервном секторе. Например, технология Klear американской компании ***Milacron Holdings Corp***. позволяет вытеснять металл в вопросе упаковки методом консервации.

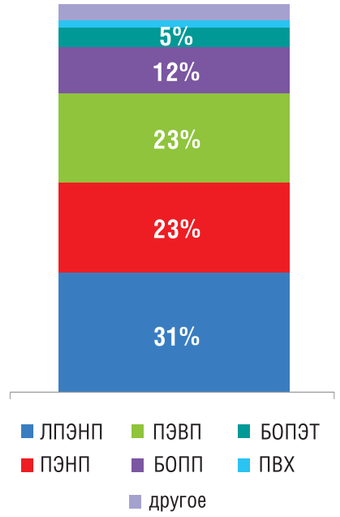
Обозначился спрос на упаковку, которую можно повторно запечатать. Такая функция упаковки позволяет продлить срок годности продуктов питания и, что немаловажно, – снизить объемы отходов.

В то же время, рост спроса на пластиковую упаковку обостряет проблему загрязнения окружающей среды, поэтому в мире обозначился тренд на введение мер, ограничивающих потребление полиэтиленовых пакетов и ПЭТ-бутылок. Предпочтение отдается более экологичной бумажной упаковке и упаковке из биополимеров, а государственные регулирующие нормы стали важным фактором, определяющим развитие рынка пластиковой упаковки.

Пленки

На пленки приходится более 25% мирового потребления пластмасс. Согласно прогнозам, в перспективе мировой рынок пленочных материалов будет расти ежегодно на 5%. В 2020 году он оценивается в объеме 68,4 млн т, что в стоимостном исчислении разные эксперты оценивают в 117,6–125 млрд долл.

РИС. 6. Сырьевая структура потребления пленочных материалов (в среднем по миру в 2017 г.), %



При этом ПЭ-пленки сохранят лидирующие позиции (рисунок 6).

Современный рынок полимерной упаковки предъявляет к полимерным пленкам все более жесткие требования. Среди ключевых – барьерные свойства и технологичность, предусматривающая удобство эксплуатации пленок и хорошее соотношение цена/качество.

Американское подразделение ***Toray Plastics*** анонсировало две высокобарьерные пленки PET с покрытием – металлизированную Lumirror MK61HB и прозрачную Lumirror PA1HB, то есть, в зависимости от требований заказчика, ее барьерный слой формируется либо металлизацией, либо поверхностной экструзией. Отдельная специализация MK61HB – барьер для влаги и кислорода, в то время как PA1HB способна преграждать путь лишь кислороду. Как заявляет разработчик, новые материалы – надежная альтернатива фольге, пленкам PET и OPP с покрытием PVdC, а также пленкам PET, покрытым окисью алюминия.

Разработчики ***Uflex*** сообщили о создании специального полимерного материала, который позиционируется в качестве замены двухосно-ориентированной полиамидной пленке (BOPA), в обиходе часто называемой нейлоном. Эта же компания разработала полимерную пленку с атласно-мягкой поверхностью, которая при этом прочна и долговечна. Она изготовлена из инновационного двуосноориентированного полиэтилентерефталата (БОПЭТ). Эта упаковка является очень прочной на растяжение, она тоньше других упаковочных пленок, благодаря чему позволяет оптимизировать затраты на логистику.

Не менее интересную пленкуразработала компания ***JindalFilms*** – полиолефиновую пленку SealTOUGH с улучшенными характеристиками термосвариваемости. Основная сфера применения изготавливаемой методом соэкструзии пленки – использование в составе ламинатов в качестве слоя, отвечающего за термическую сварку швов гибкой упаковки. В сравнении с традиционными термосвариваемыми пленками, толщина нового материала может быть уменьшена на 40% (с 30 до 18 мкм).

Важную роль в современной упаковке играют многослойные пленки. Комбинируя несколько слоев разных полимеров (ПП, ПЭ, ПА, PET и пр.), производитель может воспользоваться возможностью механических свойств одного полимера и барьерных свойств другого для создания «совершенной» упаковки. Многослойная пленка состоит из «структурных» слоев, обычно снаружи, и барьерных слоев внутри. Где необходимо, «скрепляющие» слои используются в качестве клея между слоями.

Компания Nova Chemicals разработала гибкую пленку, обеспечивающую барьер по отношению к кислороду и при этом легко перерабатываемую вторично. В компании Nova утверждают, что пленки с новой структурой можно перерабатывать вторично с другими ПЭВП пленками, такими как пленки для пакетов в розничных магазинах.

Новая структура пленки может заменить барьерные пленки на основе этилен-винилового спирта и/или ПА. Или же этилен-виниловый спирт и ПА могут использоваться в дополнение, в гораздо меньших количествах, для обеспечения защиты высшего класса. Важно, что пленку с новой структурой можно изготавливать на традиционных многослойных линиях раздувной пленки, а затем перерабатывать в пакеты и другие виды гибкой упаковки.

Трубы

Быстрыми темпами развивается рынок жестких изделий из пластмасс и, прежде всего, – труб, среднегодовой прирост которого составляет примерно 7%. Рынок пластиковых труб сегментируется по типам труб и по типам пластика.

Основными драйверами роста мирового рынка пластиковых труб являются: развитие инфраструктуры, увеличение объемов и рост темпов строительства, назревшая замена имеющихся труб, созданных из традиционных материалов, рост населения и уровня урбанизации.

При этом ожидается, что наиболее высокие темпы роста потребления пластиковых труб покажут: водоотведение сточных вод, сельское хозяйство и химическая промышленность.

В настоящее время наиболее используемыми в производстве труб полимерами являются: поливинилхлорид (ПВХ), полипропилен (ПП) и полиэтилен (ПЭ). При этом в перспективе по прогнозам Lucintel наиболее высокие темпы роста будут отмечаться в сегменте производства труб на базе ПЭ, что будет обусловлено ростом потребления со стороны химической промышленности и производства канализационных систем.

Бутыли

На рынке бутылей для неалкогольных напитков используются 4 основных вида, спрос на которые неоднозначен (Рисунок 7).

Основным сырьем для производства полимерных бутылей является ПЭТ. В 2017 году мировое потребление ПЭТ-бутылей составило порядка 500 млрд шт., к 2021 году спрос на ПЭТ-бутыли ожидается на уровне 583 млрд шт.

Около половины ПЭТ – бутылей перерабатывается в целях получения вторичного сырья, при этом часть вторичного ПЭТ идет на производство бутылей по схеме «bottle-to-bottle», то есть пригодного для вторичного производства бутыли. Вторичный ПЭТ для бутылей получил бренд RPET. В Европе на бутыли RPET поступает до 30% вторичного ПЭТ. Бутыли из RPET пригодны для бутилирования воды, кока-колы, пива и др., но

ПО ТИПАМ ТРУБ

- для циркуляции воды
- канализационные и сточные пластиковые трубы
- вентиляционные трубы
- пластиковые трубопроводы
- дренажные и ирригационные пластиковые трубы
- пластиковые трубы для нефтегазовой промышленности
- другие типы пластиковых труб

ПО ТИПУ ПЛАСТИКА

- трубы из ПВХ
- полиэтиленовые трубы
- полипропиленовые трубы
- трубы из армированного пластика
- трубы из ABS-пластика
- трубы из хлорированного поливинилхлорида
- трубы из полибутилена
- трубы из других материалов

в косметической промышленности их использование недопустимо.

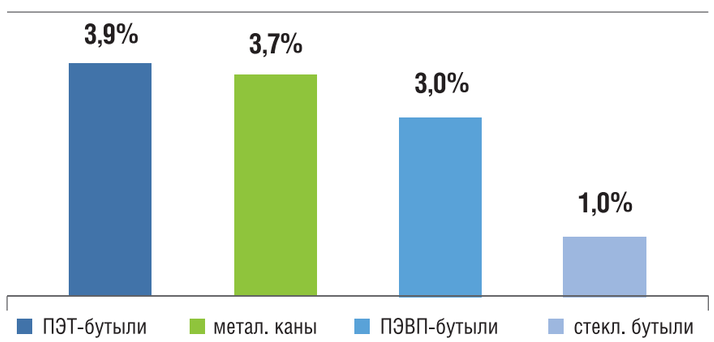
Рассмотренные выше тенденции развития мирового рынка изделий из пластмасс свидетельствую о дальнейшем расширении рынка данной продукции. Однако ситуация с загрязнением окружающей среды подняла волну негативного восприятия пластикового мусора, в первую очередь полимерных изделий одноразового пользования (пакетов, посуды и др.). Анализ ограничительных мер по использованию отдельных видов полимерных изделий, законодательно закрепленных в целом ряде стран, показывает, что это либо запрет на их использование, либо введение «денежного кнута».

Запрет использования – это самый жесткий способ решения экопроблемы, тем более, что рынок не может сразу перестроиться. Например, чем можно заменить пластмассовые ложки, вилки и ножики одноразового пользования? Пока все страны в некотором стопоре. Исключением является Китай, где активно внедряется одноразовая посуда из пульперкартона (продукт рециклинга макулатуры). Однако для придания такой посуде влагостойкости требуется введение специальных добавок, а с добавками она уже не может рассматриваться как биоразлагаемая и перерабатываемая, ибо стабилизирует то, что должно разлагаться.

По ходу решения экопроблем инициативы по ограничению потребления полимерных изделий будут носить глобальный характер и развиваться экспоненциально. Поэтому производители изделий из пластмасс во всех странах мира, в том числе российские, должны стремиться выпускать свои товары более перерабатываемыми, переходить на экономику замкнутого цикла, инкорпорировать переработку в свой производственный процесс. ●

Keywords: *plastic processing, chemical complex, packaging, film, pipes.*

РИС. 7. Прирост спроса на бутыли для неалкогольных напитков в период 2015–2020 гг.



Конференции компании EPC в России и странах СНГ в 2020 году

EPC
Euro Petroleum Consultants
SHARING KNOWLEDGE, SHAPING BUSINESS

Russia & CIS ВВТС
14-я Конференция и выставка России и стран СНГ по технологиям переработки нефтяных остатков
14-15 АПРЕЛЯ, УФА

RU-CAT
2-я конференция России и стран СНГ по технологиям катализа
16 АПРЕЛЯ, УФА

Техническая конференция:
перспективы развития активов и манифест лидерства «ЛУКОЙЛ» в области переработки 2020
18-19 МАЯ НИЖНИЙ НОВГОРОД

Форум руководителей
Форум руководителей нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли Беларуси и стран СНГ
24-25 ИЮНЯ, МИНСК

GPTC
Нефтегазохимия – технологическая конференция и выставка России и стран СНГ
22-23 СЕНТЯБРЯ, МОСКВА

RRTC
20-я Конференция и выставка по технологиям нефтепереработки России и стран СНГ
24-25 СЕНТЯБРЯ, МОСКВА

Op-Ex Russia & CIS
7-я Конференция по операционной эффективности в нефтегазохимической промышленности
14-16 ОКТЯБРЯ, СОЧИ

РЕКЛАМА

www.europetro.ru | +7 (495) 517 77 09 | moscow@europetro.com

Neftegaz.RU
номер 3/2020 г.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИРОЛИЗА

ПРОПАН-БУТАНОВОЙ ФРАКЦИИ С УЧЕТОМ НАКОПЛЕНИЯ КОКСА

Долганов Игорь Михайлович,
Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Инженерная Школа Природных Ресурсов, доцент Отделения Химической Инженерии, к.т.н.

Долганова Ирэна Олеговна,
Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Инженерная Школа Природных Ресурсов, научный сотрудник Отделения Химической Инженерии, к.т.н.

Бунаев Аюр Алексеевич,
Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Инженерная Школа Природных Ресурсов, аспирант Отделения Химической Инженерии

Чиркина Наталья Аркадьевна,
Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет, Инженерная Школа Природных Ресурсов, студент Отделения Химической Инженерии

УДК 665.6; 004

В ПРОЦЕССЕ ПИРОЛИЗА ОДНОЙ ИЗ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ ЯВЛЯЕТСЯ ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА СЫРЬЯ И ВЫХОДА ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ. ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭТОЙ ПРОБЛЕМЫ, БЫЛА РАЗРАБОТАНА МОДЕЛЬ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ КИНЕТИЧЕСКУЮ СХЕМУ, КОТОРАЯ ВКЛЮЧАЕТ КАК ПЕРВИЧНЫЕ РЕАКЦИИ РАЗЛОЖЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ, ТАК И ПОБОЧНЫЕ РЕАКЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ КОКСА, А ТАКЖЕ ОПИСАНИЕ ЕГО ОТЛОЖЕНИЯ НА СТЕНКАХ ЗМЕЕВИКА

IN THE PROCESS OF PYROLYSIS, ONE OF THE MAIN TASKS IS TO CHOOSE THE OPTIMAL OPERATING MODE DEPENDING ON THE COMPOSITION OF THE RAW MATERIALS AND THE YIELD OF THE TARGET PRODUCTS. TO SOLVE THIS PROBLEM, A MODEL WAS DEVELOPED USING A KINETIC SCHEME THAT INCLUDES BOTH PRIMARY HYDROCARBON DECOMPOSITION REACTIONS AND SIDE REACTIONS OF COKE FORMATION, AS WELL AS A DESCRIPTION OF ITS DEPOSITION ON THE COIL WALLS

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

В настоящее время почти все предметы, окружающие человека и используемые им в бытовой и профессиональной деятельности, изготавливаются из различных полимерных материалов. Из числа подобных наиболее распространенных материалов можно назвать такие как, например: полиэтилен, полипропилен, ПВХ, ПЭТ, полистирол и многие другие. При этом вещества из которых получают эти, помимо многих других полимеров, являются олефины-мономеры – этилен и пропилен, одинарная двойная связь которых обуславливает возможность их вступления в реакцию полимеризации.

Таким образом, высокий и неуменьшающийся спрос на рынке нефтепродуктов на этилен и пропилен, очевидно, предъявляет достаточно жесткие требования не только к качеству полуфабрикатов, но и, что более важно, к их количеству. Во многом это зависит от состава перерабатываемого сырья, который, в свою очередь, определяет оптимальные режимы проведения стадии пиролиза, являющегося основным способом получения необходимых мономеров, в ходе которого смесь углеводородов подвергается нагреву в условиях высоких температур и отсутствии доступа кислорода.

ФАКТЫ

Математическое моделирование

позволяет прогнозировать и оптимизировать режимы ведения процессов и схем эксплуатации промышленного оборудования

Теоретические основы процесса и его проблематика

На сегодняшний день одной из наиболее распространенных конструкций для проведения процесса пиролиза является трубчатая печь [1]. Аппараты данного типа включают в себя, за исключением каких-либо особенных случаев, две секций. Первая из них, расположенная в верхней части аппарата – конвекционная. В ней подающееся в аппарат сырье, подогреваемое теплом дымовых газов, испаряется и, тем самым, смешивается с водяным паром, также подаваемым в аппарат, при этом нагреваясь до температуры, при которой будут происходить в реакции разложения. Ввод водяного пара здесь необходим, поскольку это позволяет снизить скорости побочных реакций пиролиза. В результате парциальное давление углеводородов снижается и, согласно принципу Ле-Шателье, такое снижение давления в зоне реакции будет способствовать протеканию реакций, приводящих к увеличению объема, то есть, целевых первичных реакций разложения углеводородов. Вторая, нижняя, секция – радиантная. В этой секции тепло, образующееся за счет сгорания в горелках топлива, необходимо уже, по сути, только для поддержания течения реакций разложения углеводородов. Необходимо отметить, что при этом внутри печи находится от двух до восьми змеевиков, в которых протекают эти реакции.

Как уже было отмечено выше, техническая эффективность работы печи пиролиза углеводородов определяется как составом сырья, так и термодинамическими параметрами процесса [2].
Тем не менее, она неизбежно снижается в течение работы установки. Это обусловлено тем, что в ходе процесса пиролиза происходит образование отложений кокса. Данные отложения являются результатом побочных реакций пиролиза. Вследствие термодинамических условий внутри змеевиков печи пиролиза в радиантной зоне печи и химических свойств целевых непредельных углеводородов, обусловленных имеющейся у них двойной связью, имеет место происходить реакция полимеризации в самой печи пиролиза. Тем не менее, в силу повышенных температур, при которых проводится процесс, цепь побочных превращений не прекращается на этом этапе. После реакции полимеризации олефинов происходит дегидрирование полученных полимерных соединений совместно с их ароматической циклизацией. Затем образовавшиеся таким образом уже ароматические соединения вступают друг с другом в реакции поликонденсации с последующим

образованием достаточно крупных кластеров, которые, в свою очередь, и оседают на внутренних стенках змеевика. Это приводит, таким образом, к уменьшению его сечения, что, в свою очередь, приводит к увеличению перепада давления на концах трубки. Вследствие этого увеличивается время контакта, из-за чего уменьшается выход целевых продуктов процесса, этилена и пропилена, и, наоборот, увеличивается выход побочных: в частности – кокса, слой отложений которого становится еще толще. То есть, само по себе накопление кокса имеет кумулятивный эффект: поскольку, чем больше его уже имеется в змеевике, тем быстрее он начинает там накапливаться. Помимо этого, отложения кокса на стенках змеевика могут создавать участки теплового напряжения. Это может привести к его прогару, что уже является аварийной ситуацией, которая может потребовать замены всего змеевика, что, в свою очередь, несет за собой большие денежные затраты. Таким образом, в силу своих физико-химических свойств и термодинамических условий процесса кокс имеет тенденцию к образованию внутри печей пиролиза в течение всего межрегенерационного периода, пока значение толщины слоя отложений не достигнет определенного критического предела, после чего работа печи приостанавливается, и начинается выжиг кокса. Это, в свою очередь, означает простой многотоннажного нефтехимического производства стратегически важного и ценного сырья. По этой причине печи пиролиза на производстве устанавливаются зачастую попарно для того, чтобы иметь возможность останавливать их попеременно с целью удаления образовавшегося кокса. Таким образом, предприятию необходимо не только затрачивать большие объемы капитала на данную процедуру, но и, по сути, недополучать прибыль от реализации продукции, которая могла бы быть произведена, если бы, перерывы в работе печи на регенерацию.

ФАКТЫ

Пиролиз

– сложный процесс, с большим количеством задействованных компонентов, и, соответственно, его химизм и кинетика описываются несколькими сотнями реакций и уравнений, что значительно увеличивает объем работ. Для сокращения объема работ используется агрегирование

Проблематика моделирования и методы исследования

На сегодняшний день имеется широкий спектр средств моделирования технологических процессов, которые могут быть использованы для проектирования новых производств, а также для анализа работы существующих. Они в значительной степени позволяют автоматизировать почти все этапы инженерного труда и, таким образом, минимизировать затраты материальных, людских, трудовых ресурсов, а также денежных средств [3]. Помимо этого, благодаря внедрению и использованию методов математического моделирования и систем на их основе, становится возможным осуществление прогнозирования и оптимизации режимов ведения процессов и схем эксплуатации промышленного оборудования. В силу перечисленных причин, на сегодняшний день многие крупные предприятия, осуществляющие деятельность в отраслях химической, нефтяной и газовой промышленности, широко применяют различное программное обеспечение, позволяющее существенно уменьшить сроки проектирования и ввода в эксплуатацию новых промышленных мощностей, снизить эксплуатационные затраты на установки, улучшить качество продуктов и увеличить их количество, при строгом соблюдении требований безопасности производства и защиты окружающей среды.

Таким образом, работа над усовершенствованием ведения процесса высокотемпературного процесса пиролиза углеводородного сырья идет по двум основным направлениям. Во-первых, это модернизация собственно самой технологии. В рамках этого направления производится модернизация горелочных устройств, проводятся исследования инициирования процесса пиролиза, идет поиск новых, более эффективных катализаторов, а также разрабатывается ряд других технологических улучшений. Во-вторых, с помощью математического моделирования ведется поиск оптимальных режимов процесса. При этом разрабатываются и используются как детерминированные, так стохастические моделей. Однако, больший интерес представляют детерминированные математические модели процесса пиролиза, поскольку они дают возможность его всестороннего анализа, для того чтобы сформировать наиболее подходящую стратегию по его оптимизации.

В настоящее время имеется большое количество как исследований собственно самого процесса пиролиза: изучение химизма, кинетики, термодинамических и гидродинамических закономерностей, так и разработка с дальнейшим усовершенствованием его математических моделей. Тем не менее, во многих работах не рассматривается, или затрагивается частично, процесс образования кокса, его осаждение и выжигание. Из-за данного обстоятельства исследование получается не совсем полным, что, в свою очередь, осложняет прогнозирование выходных данных для процесса. Поэтому для формирования максимально адекватного описания исследуемого процесса важно использовать как можно более полную математическую модель. Однако, пиролиз является достаточно сложным процессом, в котором задействовано большое количество различных компонентов, и, соответственно, его химизм и кинетика описываются несколькими сотнями реакций и уравнений, что значительно увеличивает объем работ. В таком случае используется агрегирование, благодаря которому сокращается объем работы посредством представления нескольких похожих с точки зрения физико-химических свойств компонентов как одного псевдокомпонента. Другим методом является дискриминация реакций – то есть, отсечение реакций, вносящих наименьшие изменения в процесс. Выбор реакций и их количество зависит от поставленных задач – от того, насколько детальной предполагается будущая математическая модель.

Таким образом, можно выделить по крайней мере три основные и наиболее существенные проблемы, которые возникают при разработке математических моделей технологических процессов такого значительного объема и сложности. Во-первых, очень сильно растет объем необходимых вычислений и обрабатываемой информации, поскольку определение большого количества численных значений физико-химических параметров модели является нетривиальной задачей. Во-вторых, анализ результатов расчетов, полученных с помощью математической модели, может быть в известной степени затруднен большим количеством компонентов реакционной смеси, поскольку, как правило, в моделях не учитываются их дополнительные эффекты взаимодействия между собой. В-третьих, из-за того, что в промышленной практике зачастую устанавливается наличие в исходной сырьевой смеси далеко не всех возможных компонентов, также сильно осложняется еще и сопоставление между собой расчетных, полученных с помощью математической модели, и экспериментальных, полученных с действующего производства, данных.

ФАКТЫ

Дискриминация реакций

– это отсечение реакций, вносящих наименьшие изменения в процесс

7

экспоненциальных алгебраических уравнений для расчета констант скоростей реакций включает математическая модель кинетики пиролиза

Разработка модели пиролиза

В связи с вышеперечисленными причинами, в данной работе в качестве предмета исследования был рассмотрен процесс пиролиза пропан-бутановой фракции углеводородов в условиях ее изменяющегося состава и термодинамических условий.

Таким образом, на основании кинетической модели, предложенной в работе Жорова Ю.М., Васильевой Н.И. и Панченкова Г.М., был проведен анализ пиролиза пропан-бутановой фракции [4]. Полученная кинетическая модель процесса включает в себя 8 реакций, которые приведены ниже, при этом, согласно этой схеме превращений, в них взаимодействуют 12 различных компонентов:

C_2H_6 (1) → $0.47C_2H_4$ (2) + $0.53CH_4$ (3)

C_3H_8 (4) → $0.32C_2H_4$ + $0.34C_2H_6$ + $0.16C_3H_6$ (5) + $0.18CH_4$

C_4H_{10} (6) → $0.10C_4H_6$ (7) + $0.32C_2H_4$ + $0.27C_3H_6$ + $0.15C_2H_6$ + $0.16CH_4$

C_5H_{12} (8) → $0.16C_3H_6$ + $0.37C_2H_6$ + $0.35C_2H_4$ + $0.12CH_4$

C_2H_4 → $0.15C_2H_2$ (9) + $0.85H_2$ (10)

C_2H_4 → полимеры (11)

C_3H_6 → полимеры

Полимеры → кокс (12)

Здесь нумерация компонентов необходима для дальнейшей записи математической модели.

Несмотря на некоторую упрощенность модели, вызванную, опять же, причинами, приведенными выше, данная схема процесса позволяет проводить расчеты концентраций интересующих компонентов представленной реакционной смеси при самых разных термодинамических условиях.

Из полученной, таким образом, схемы превращений, составлена уже математическая модель кинетики пиролиза. Соответственно, она включает в себя, во-первых, систему из 7 экспоненциальных алгебраических уравнений для расчета констант скоростей соответствующих реакций, общий вид которой для каждой из них, кроме последней, приведен ниже [5]:

$$K_i = K_{0i} \cdot P_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_i}{RT}\right), \quad i \in \{1, \dots, 7\}, \qquad (1)$$

где K_i – константа скорости реакции i, с$^{-1}$; K_{0i} – предэкспоненциальный множитель, с$^{-1}$; P_0 – давление процесса, атм; E_i – энергия активации реакции i, Дж/моль, T – температура процесса, °К.

Другие 11 уравнений – дифференциальные. Они описывают изменения концентраций каждого компонента смеси углеводородов в ходе процесса пиролиза [5]. Общий вид уравнения для каждого, кроме кокса, компонента приведен ниже:

$$\frac{dC_k}{d\tau} = \sum a_{i,j} \cdot K_j \cdot C_i, \qquad (2)$$

где C_i, C_k – концентрация компонента i, k, моль/л; τ – время контакта, с; $a_{i,j}$ – стехиометрический коэффициент компонента i в реакции j.

Полученная таким образом система дифференциальных и экспоненциальных уравнений решается методом Рунге-Кутта первого порядка. На рисунке 1 приведен алгоритм, по которому осуществляются расчеты модели.

Разработанный алгоритм, как можно заметить, учитывает в работе модели нестационарный характер ведения процесса. Это выражается тем, что, когда внутренний цикл, описывающего состояние реакционной смеси во время ее прохождения вдоль змеевика печи пиролиза, выраженной временем контакта, заканчивает свою работу, итератор астрономического времени увеличивает свое значение – то есть, происходит движение всей рассматриваемой системы в самом времени, как если бы оно было отдельной координатой.

Данный механизм движения по астрономическому времени необходим для того, чтобы произвести расширение математической модели и добавить к ней расчет содержания кокса в реакционной смеси по формуле приведенной ниже [6]:

$$\frac{dC_{12}}{d\tau} = K_8 C_{12} - \exp(0{,}023 \cdot C_{12} - 1) \cdot G^{0,8} \cdot \cdot G^{0,8} \cdot (D - 2 \cdot \delta)^{-1,8}, \quad (3)$$

где G – массовый расход сырья, кг/с; D – диаметр трубки, мм; δ – толщина отложений кокса, мм.

В силу того, что основной целью данной работы является оценка применимости полученной математической модели пиролиза углеводородов для регулирования режима работы печи и поиска наиболее оптимального при условии постоянно меняющегося состава подаваемого сырья, то для повышения скорости выполнения расчетов было принято допущение об изотермическом характере проводимого процесса. В этой связи необходимо отметить также, что значения тепловых эффектов реакций, имеющих место быть в процессе пиролиза смесей углеводородов любого состава, могут быть как больше нуля, так и меньше. Так, реакции разложения исходных углеводородов, то есть, целевые реакции, являются эндотермическими и поэтому для них требуется

ТАБЛИЦА 1. Входные данные о пропан-бутановой фракции для модели

Состав углеводородной смеси, % масс.							Температура, °К
Метан	Этан	Этилен	Пропан	Пропилен	Бутан	Бутадиен	
10,1	9,6	17,2	18,2	11,5	30,4	3	825

РИС. 2. Изменение концентраций компонентов в течение процесса пиролиза

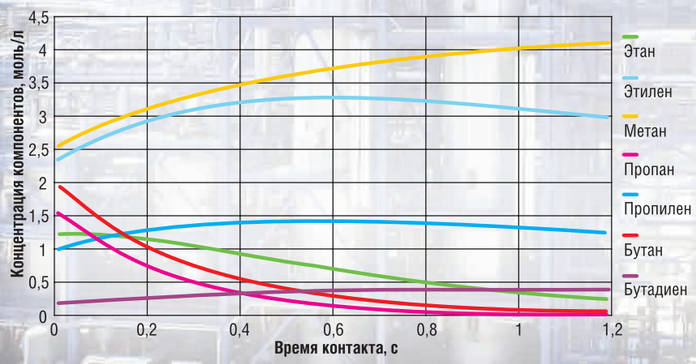


РИС. 1. Алгоритм работы математической модели пиролиза

подведение тепла в реакционной зоне [7]. Побочные же реакции: полимеризации и дегидрирования этилена, наоборот – являются экзотермическими и для их протекания необходим отвод тепла. Поэтому выход целевых продуктов и скорость накопления кокса сильно зависят от температурного режима и суммарного теплового эффекта, которые, в свою очередь, могут изменяться в каких-то пределах с течением времени [8].

Экспериментальная часть исследования

Модель пиролиза, полученная таким образом, была апробирована с помощью набора входных данных, представленных в таблице 1.

Результаты представлены на рисунке 2.

Несмотря на заложенное в модели течение астрономического времени, в динамике изменений концентраций углеводородов реакционной смеси не произойдет никаких изменений в любой момент времени. Это вызвано тем, что, по сути, единственным компонентом данной системы,

РИС. 3. Изменение толщины слоя кокса с течением времени

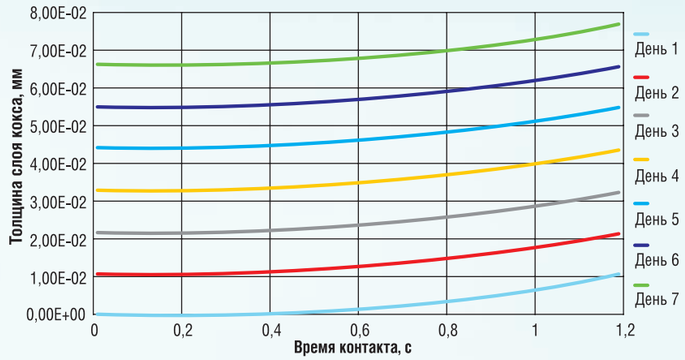


РИС. 4. Изменение концентраций компонентов при уменьшенном времени контакта

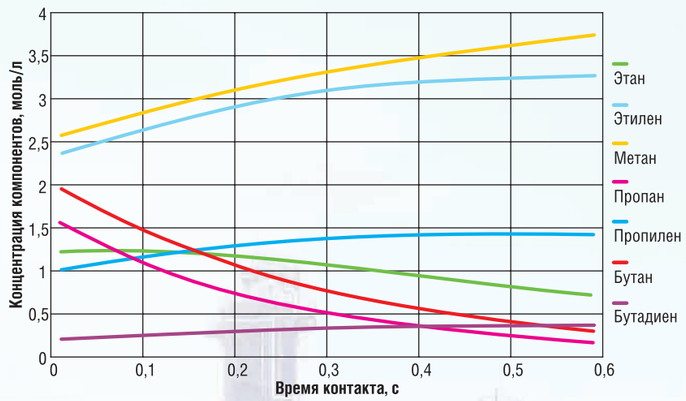
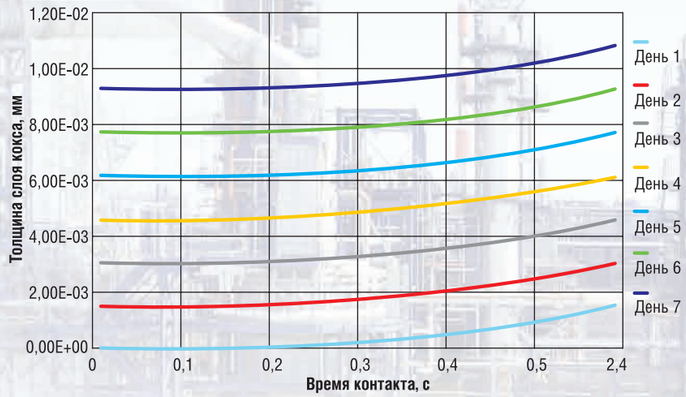


РИС. 5. Изменение толщины слоя кокса при уменьшенном времени контакта



изменяющим свое значение, является толщина слоя отложений кокса. С этой точки зрения, на данном этапе работы, возможно, корректнее было бы называть модель псевдостационарной. Тем не менее, необходимо отметить, что в дальнейшем планируется создать механизм изменения концентраций всех входящих в смесь компонентов в реальном времени, а также создать функционал для прогнозирования состояния системы, исходя из накопленных за время эксплуатации установки данных. На рисунке 3 уже приведена динамика роста слоя кокса внутри змеевика печи пиролиза в течение небольшого промежутка времени.

Таким образом, можно заметить, что вначале идет рост концентраций этилена и пропилена, поскольку преобладают целевые реакции, которые имеют большую скорость. Тем не менее, из-за поглощения ими энергии, то есть, положительного теплового эффекта этих реакций, температура системы снижается до такой степени, что начинают происходить побочные реакции. Это можно также наблюдать и на графике: по прошествии примерно 0,5 с нахождения смеси углеводородов в реакционной зоне, начинается рост отложений кокса.

Немного другая ситуация наблюдается, если уменьшить время контакта.

Как можно наблюдать из данного графика, концентрации этилена и пропилена в данном случае растут в течение всего времени процесса, достигая некоторой асимптоты, в отличии от предыдущего случая, когда обе величины достигая какого-то максимума, уменьшались к концу процесса.

Естественно ожидать, что при таких условиях абсолютное значение толщины слоя кокса будет, соответственно, меньше, но скорость его роста незначительно возрастет.

Тем не менее, распределение отложений по длине змеевика осталось прежним.

Если же увеличивать время контакта наблюдается следующая ситуация.

В данном случае пик концентраций целевых компонентов смещен к началу змеевика, в то время как выходная концентрация наименьшая из трех рассмотренных случаев.

Рост толщины слоя кокса, при этом, показывает динамику обратную предыдущему случаю. То есть, при увеличенном

РИС. 6. Изменение концентраций компонентов при увеличенном времени контакта

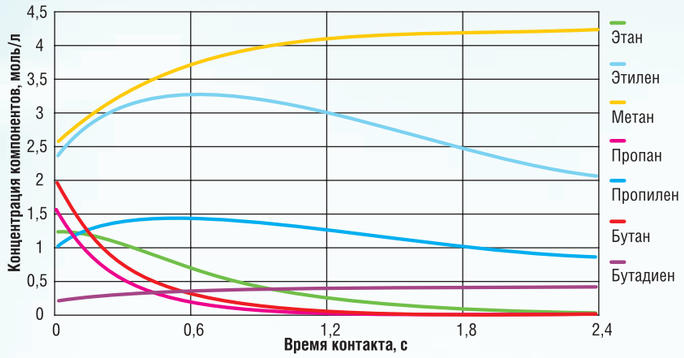


РИС. 7. Изменение толщины слоя кокса при увеличенном времени контакта

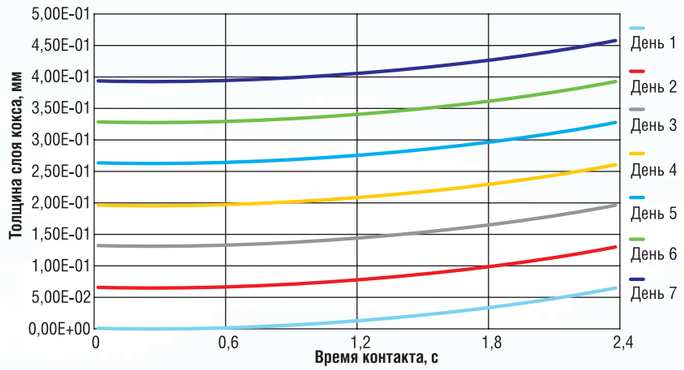
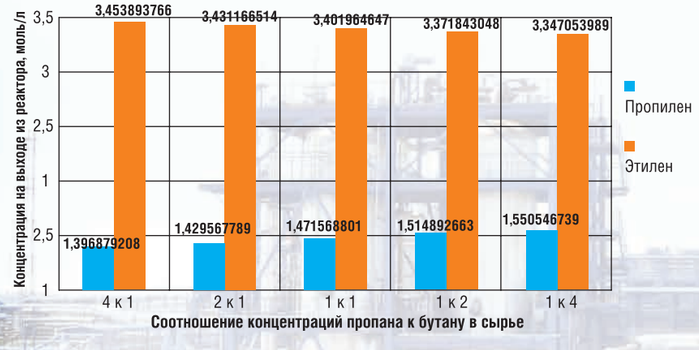


РИС. 8. Влияние соотношения пропана и бутана на выход этилена и пропилена



времени контакта абсолютное значение толщины слоя кокса будет наибольшим в сравнении с предыдущими примерами, однако скорость его роста при этом незначительно снизится.

Помимо этого, было также проведено исследование влияния соотношения количества пропана в подаваемом сырье к бутану на выход пропилена и этилена. Результаты приведены на рисунке 8.

Как можно заметить из представленного графика, при уменьшении доли пропана растет выход пропилена, в то время как выход этилена увеличивается при соответственном увеличении доли бутана. Поэтому необходимо регулировать состав подаваемого сырья для получения соответствующих продуктов в требуемых количествах.

ФАКТЫ

При уменьшении доли пропана растет выход пропилена, в то время как выход этилена увеличивается при соответственном увеличении доли бутана

Выводы

Таким образом, была разработана и получена математическая модель пиролиза углеводородного сырья, и был протестирован ее функционал. В дальнейшем работы планируется вести в направлении увеличения количества задействованных компонентов, разработать механизмы, моделирующие динамику концентраций этих компонентов в реальном времени, то есть, сделать модель полностью нестационарной, а также создать систему, прогнозирующую состояние системы, которая будет производить расчеты на основе данных, накопленных за все время производства.

Литература

1. *Хасанов Р.Г., Муртазин Ф.Р., Ахметов С.А., Жирнов Б. С. Термоконтактный пиролиз пропана и бутана // Баш. хим. ж. – 2009. – № 2. – С. 51–54.*
2. *Битюков В.К., Тихомиров С.Г., Арапов Д.В., Саввин С.С. Моделирование процесса пиролиза прямогонного бензина с использованием генетического алгоритма//Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – Воронеж, 2015. – №3. – С. 79–84.*
3. *Малецкий В.Ю., Долганов И.М., Долганова И.О. Математическое моделирование процесса компаундирования бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы Compounding // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых, 20–23 мая 2019 г., г. Томск. – Томск, 2019. – С. 380–381.*
4. *Моделирование физико-химических процессов нефтепереработки и нефтехимии / Под ред. Ю.М. Жорова – М.: Химия, 1978. – 376 с.*
5. *Самедов Ф.А., Морозов А.Ю., Самойлов Н.А., Просочкина Т.Р. Математическое моделирование нестационарного процесса пиролиза углеводородов // Нефтехимия. – Москва, 2019. – № 2. – С. 143–151.*
6. *Fernandez-Baujin J. M., Solomon S. M. New reactor design offers benefits // Oil Gas J. – 1976. – V. 74. – P. 94–95.*
7. *Салимгареев Р.Р., Рачковский С.В. Моделирование режима работы трубчатой печи пиролиза // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 12. – С.79–81*
8. *Минигалиев Т.Б., Дорожкин В.П., Коробейникова О.А., Гусев С.Н. Моделирование процесса пиролиза резин на основе нейросетей // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 11. – С. 195–200.*

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

22-23
АПРЕЛЯ
МОСКВА
РОССИЙСКИЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
САММИТ
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И
ЦИФРОВИЗАЦИЯ
САЙТ: WWW.ENERGYSUMMIT.RU
РЕКЛАМА

КАТАЛИЗАТОРЫ РИФОРМИНГА серии ПР

Разработка и освоение технологии производства

Белый Александр Сергеевич,
Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, заведующий лабораторией, д.х.н., профессор

Смоликов Михаил Дмитриевич,
Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, старший научный сотрудник, к.х.н.

Кирьянов Дмитрий Иванович,
Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, младший научный сотрудник

Белопухов Евгений Александрович,
Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, научный сотрудник, к.х.н.

Трегубенко Валентина Юрьевна,
Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, научный сотрудник, к.х.н.

Затолокина Елена Валерьевна,
Центр новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН, младший научный сотрудник

ПРЕДСТАВЛЕНЫ ДАННЫЕ ПО РАЗРАБОТКЕ И ОСВОЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КАТАЛИЗАТОРОВ РИФОРМИНГА СЕРИИ ПР. ПРИВЕДЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАТАЛИЗАТОРА ПР-81 НА УСТАНОВКАХ РИФОРМИНГА В ПАО «НК «РОСНЕФТЬ» ЗА ПОСЛЕДНИЕ ПЯТЬ ЛЕТ, А ТАКЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОБЕНЗИНА НА ИХ ОСНОВЕ

THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION TECHNOLOGY OF PR SERIES NAPHTHA-REFORMING CATALYSTS ARE PRESENTED. THE PR-81 USAGE DATA IN ROSNEFT REFORMING FACILITIES ALSO DESCRIBED. THE UPCOMING GASOLINE PRODUCTION CATALYSTS AND TECHNOLOGIES ARE PROPOSED

Ключевые слова: *каталитический риформинг, платина, катализатор, бензин, октановое число, ароматические углеводороды, импортозамещение.*

УДК 665.6

Каталитический риформинг, один из важнейших базовых процессов современной нефтеперерабатывающей промышленности, предназначен для производства высокооктанового компонента моторных топлив, ароматических углеводородов, а также водорода [1–4]. Риформат является одним из базовых высокооктановых компонентов при приготовлении автобензинов, производство которых в мире превысило 1 млрд тонн в год (20–25% на переработанную нефть) [5]. Индивидуальные ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилолы) широко применяются для производства пластических масс, синтетических волокон, красителей, моющих средств, фармакологических препаратов и других химических продуктов [6]. Ценным продуктом процесса является водородсодержащий газ (концентрация водорода 80–90% об.), который используется для осуществления гидрогенизационных процессов (гидроочистка, гидрирование, изомеризация и др.). Таким образом, уровень технологии процесса, его техническая и экономическая эффективность во многом предопределяют эффективность нефтепереработки в целом. По этим причинам понятно то внимание, которое уделяется в ведущих странах мира совершенствованию технологии процесса риформинга и разработке более эффективных катализаторов. Эволюция процесса за последние 70 лет состояла в увеличении глубины превращения сырья, селективности ароматизации парафиновых углеводородов и стабильности работы катализаторов. Так, выход ароматических углеводородов и водорода увеличился более чем в 1,5 раза, а межрегенерационный цикл работы катализаторов в 4 раза. Прогресс в технологии процесса выразился в снижении рабочего давления с 3,0 до 0,35 МПа за счет разработки новых высокостабильных катализаторов и использования разновидности технологии с непрерывной регенерацией катализатора.

Разработка и освоение технологии производства катализаторов серии ПР

Около 40 лет в Центре новых химических технологий ИК СО РАН, Институт катализа СО РАН (ЦНХТ ИК СО РАН) проводятся фундаментальные работы по изучению устройства катализаторов риформинга на основе системного подхода к конструированию катализаторов [7–8]. Результатом работ явилось создание и внедрение в промышленность серии полиметаллических катализаторов риформинга ПР. Производство катализаторов ПР-50, 51 освоено в промышленном масштабе на технологической линии ЗАО «Промышленные катализаторы» (г. Рязань) в период 1992–1999 гг. в количестве 100 тонн (4 партии) [9]. В период 2003–2006 гг. в ЗАО «Промышленные катализаторы» на модернизированной технологической линии освоено производство марки катализатора ПР-71 в количестве 170 тонн (4 партии), который превзошел предыдущие версии по активности и селективности [10].

В период 2010–2012 гг. в АО «Ангарский ЗК и ОС» была освоена новая серия катализаторов ПР-81 (марки А и D) [11]. Новый катализатор ПР-81А по химическому составу (содержание платины, рения и хлора) является аналогом ПР-51 и ПР-71, но обладает повышенной прочностью (1,8–2,2 против 1,2–1,5 кг/мм, соответственно), пониженным содержанием примесей железа и оксида натрия и более высоким насыпным весом (на 7–8%). Катализатор ПР-81D отличается от марки А только повышенным содержанием платины (0,30% мас.) и предназначен для установок с пониженным содержанием циклических углеводородов в сырье и повышенной загрузкой по сырью. Технология производства катализаторов освоена на основе порошковой технологии по двум вариантам:

а) получение порошка гидроксида алюминия из продукта переосаждения отечественного тригидрата алюминия;

б) использование готового порошка гидроксида алюминия, полученного по алкоголятной технологии фирмы Sasol.

В таблице 1 представлены основные физико-химические характеристики катализатора ПР-81 марок А и D.

За период 2010-2019 гг. произведено 13 партий нового катализатора общим количеством около 600 тонн.

Хронология производства катализатора ПР-81А:

- 2 тонны для установки ЛП-35-11/40 ООО «Пурнефтепереработка» НК «Роснефть», 2010 г.;
- 21 тонна для установки Л-35-11/600 АО «Газпромнефть – Омский НПЗ», 2012 г.;
- 32 тонны для установки ЛГ-35-8/300Б ЗАО «Рязанская НПК» НК «Роснефть», 2014 г.;
- 45 тонн для установки Л-35-11/450К ООО «Комсомольский НПЗ» НК «Роснефть», 2015 г.;
- 28 тонн для установки Л-35-11/300 ЗАО «Рязанская НПК» НК «Роснефть», 2016 г.
- 100 тонн для установки Л-35-11/1000 АО «Башнефть Новойл» НК «Роснефть», 2018 г.
- 27 тонн для установки Л-35-5/300 ЗАО «Рязанская НПК» НК «Роснефть», 2019 г.

ТАБЛИЦА 1. Основные физико-химические характеристики катализатора ПР-81 (марки А и D)

Показатель	Значение
Массовая доля, % – платины – рения – хлора – оксид алюминия	 0,25 (0,30)* 0,30 1,0 остальное
Удельная поверхность, $м^2/г$, не менее	200
Средняя механическая прочность, кг/мм, не менее:	1,5
Насыпная плотность, $кг/м^3$, не более	800
Диаметр гранул, мм	1,6±0,2

* для марки D

ТАБЛИЦА 2. Состав автобензинов в России и мире

Компонент, % мас.	Россия	Евросоюз	США	Мир
Риформат	44	50	30	37
Бензин кат. крекинга	27	30	37	35
Изомеризат	19	8	8	10
Алкилат	5	5	12	8
Оксигенаты	2	6	10	7
Другие	3	1	3	3
Итого, % мас.	**100**	**100**	**100**	**100**
Количество, млн. т. в год	**40**	**110**	**360**	**1100**

Хронология производства катализатора ПР-81D:

- 32 тонны для установки Л-35-6 АО «Сызранский НПЗ» НК «Роснефть», 2014 г.;
- 60 тонн для установки ЛЧ-35-11/600 АО «Сызранский НПЗ» НК «Роснефть», 2015 г.;
- 30 тонн для установки ЛГ-35-11/300 АО «Сызранский НПЗ» НК «Роснефть», 2015 г.;
- 100 тонн для установки Л-35-11/1000 АО «Куйбышевский НПЗ» НК «Роснефть», 2017 г.;
- 68 тонн для установки ЛЧ-35-11/600 АО «Саратовский НПЗ» НК «Роснефть», 2017 г.
- 43 тонны для установки Л-35-11/300 АО «Саратовский НПЗ» НК «Роснефть», 2019 г.

Производство современных автобензинов с применением новых катализаторов серии ПР

В таблице 2 представлен усредненный состав автобензинов, производимых на НПЗ России, Евросоюза, США и в мире в целом. Данные получены на основе оценки авторами статьи из различных источников, в том числе на основе мощностей различных вторичных процессов нефтепереработки [12].

Из таблицы следует, что базовыми компонентами для производства автобензинов в мире являются риформат и бензин процесса каталитического крекинга – 37 и 35 % мас., соответственно. Еще три значимых компонента представлены изомеризатом, алкилатом и оксигенатами (биоэтанол и эфиры типа МТБЭ и ЭТБЭ), доля которых составляет 10, 8 и 7 % мас., соответственно. Следует подчеркнуть, что в России и странах Евросоюза в сравнении с США менее развит процесс каталитического крекинга вакуумного газойля и связанный с ним по сырьевой базе процесс алкилирования изобутана олефинами. В то же время доля риформата в России и странах Евросоюза превышает среднемировую и составляет 44 и 50 % мас., соответственно.

В настоящее время суммарная мощность процесса риформинга в мире составляет около 14 млн баррелей в сутки или 600 млн тонн в год, из них 2/3 приходится на вариант технологии для производства высокооктанового компонента автобензина (бензиновый вариант) [13]. Россия занимает третье место по мощности данного процесса после США и Китая. На НПЗ России эксплуатируется 51 установка риформинга суммарной мощностью около 30 млн тонн в год, из них 45 установок по бензиновому варианту (мощность 27 млн тонн в год).

Из 45 установок по бензиновому варианту 40 эксплуатируется по технологии с неподвижным слоем и периодической регенерацией катализатора (проекты ОАО «Ленгипронефтехим»), 4 по технологии с движущимся слоем и непрерывной регенерацией катализатора (лицензия UOP, процесс CCR) и одна – по комбинированной технологии (лицензия Axens, процесс Dualforming). Относительная мощность установок по данным технологиям составляет 82, 14 и 4 %, соответственно [14].

В таблице 3 представлен ассортимент катализаторов, загруженных на 40 установках риформинга НПЗ России по бензиновому варианту по технологии с неподвижным слоем катализатора.

Из таблицы следует, что большинство катализаторов представлено четырьмя разработчиками – отечественными ЦНХТ ИК СО РАН (г. Омск) и НПФ «ОЛКАТ» (г. Санкт-Петербург),

ТАБЛИЦА 3. Ассортимент катализаторов на установках риформинга НПЗ России по бензиновому варианту по технологии с неподвижным слоем катализатора

Катализаторы	Разработчик	Количество установок	Количество катализатора, тонн	Доля, %
Российские				
ПР-81 (марки А и D)	ЦНХТ ИК СО РАН	13	650	36
РБ-33, РБ-44У(Ш), ГПС	ОЛКАТ	4	210	12
Итого		**17**	**860**	**48 (75)***
Иностранные				
R-56, R-86, R-98	UOP	15	550	31
RG-582, RG-682, PR-15	Axens	7	360	20
Итого**		**23**	**940**	**52**
ИТОГО		**40**	**1800**	**100**

* План Минэнерго РФ по импортозамещению на 2021 год
** Одна установка загружена китайским катализатором в количестве 30 тонн

ТАБЛИЦА 4. Показатели промышленной эксплуатации катализатора ПР-81 на установках ПАО «НК«Роснефть» в период 2014–2019 гг.

Показатели	ЛГ-35-8/300Б ЗАО «Рязанская НПК»	Л-35-11/450К ООО «Комсомольский НПЗ»	ЛЧ-35-11/600 ПАО «Саратовский НПЗ»
	2014–2016 гг.	2016–2018 гг.	2017–2019 гг.
Технологические условия: Давление, МПа ОСПС, $ч^{-1}$ H_2/сырье (моль)	 1,4–1,6 1,0–1,3 7–9	 1,6–1,7 1,0–1,4 6–7	 1,5–1,6 0,9–1,1 5–6
Фракционный состав сырья, °С н.к./50%/к.к.	108/124/180	104/124/177	110/135/180
Углеводородный состав сырья, П/Н/А, % мас.	55/34/11	50/38/12	60/25/15
Температура входа по реакторам, °С	482–494	476–488	473–493
Концентрация H_2 в ВСГ, % об.	82–87	82–86	80–85
Выход стабильного риформата, % мас.	87–89	87–89	86-88
Октановое число риформата, ИМ	96–97	97–98	94–95
Рабочий цикл, месяцы	22	24	22

ОСПС – объемная скорость подачи сырья; н.к./50%/к.к. – температура начала, 50 % точки и конца кипения сырья; П/Н/А – парафины, нафтены, ароматика; ВСГ – водородсодержащий газ.

а также импортными – UOP (США) и Axens (Франция). Суммарное количество установок с отечественными катализаторами составляет 17 при общей загрузке катализатора 860 тонн (48 %). Суммарное количество установок с импортными катализаторами составляет 23 при общей загрузке катализатора 940 тонн (52 %).

Следует подчеркнуть, что за последние 8 лет ЦНХТ ИК СО РАН увеличил число загруженных установок с 3 до 13, а катализатора с 90 до 650 тонн (от 5 до 36 % от общей загрузки). Это произошло благодаря внедрению нового катализатора ПР-81 (марки А и D), который за последние шесть лет был загружен на 10 установках ПАО «НК«Роснефть» в количестве 550 тонн в рамках программы импортозамещения.

В таблице 4 представлены основные показатели эксплуатации катализатора ПР-81 на установках риформинга НПЗ «НК«Роснефть» за последние 5 лет.

Из таблицы следует, что в зависимости от качества сырья и условий эксплуатации катализатор ПР-81 обеспечивает октановое число целевого продукта в пределах 95-98 ИМ, при этом его выход составил 86–89 % мас., а длительность межрегенерационного цикла – два года. Полученные результаты полностью соответствуют контрактным обязательствам и показателям лучших мировых аналогов, что является основанием для дальнейшего внедрения катализатора ПР-81 на НПЗ России и стран ближнего зарубежья.

В качестве перспективы ЦНХТ ИК СО РАН совместно с ПАО «Газпромнефть» предлагают два варианта совершенствования технологии риформинга с неподвижным слоем катализатора. Первый – использование нового катализатора с повышенной кислотностью, который обеспечивает снижение ароматических углеводородов в целевом продукте на 3–5 % мас., что важно при производстве современных автобензинов [15]. Промышленный опыт эксплуатации катализатора данного типа показал, что содержание ароматических углеводородов в риформате на кислотном катализаторе на 5 % мас. ниже, чем для известных российских и зарубежных промышленных аналогов [11].

В настоящее время планируется эксплуатация нового катализатора

ТАБЛИЦА 5. Основные показатели процесса риформинга бензиновых фракций по различным технологиям

Показатели	Периодическая регенерация катализатора		Непрерывная регенерация катализатора	Новый процесс
	ПР-81	РФ-1	R-264 (UOP, США)	
Октановое число риформата, ИМ	95-97	95-97	100-105	99-101
Выход риформата, % мас.	86-88	85-87	88-90	85-87
Выход водорода, % мас.	2,3-2,5	2,2-2,4	3,2-3,6	2,2-2,4
Ароматика в риформате, % мас.	63-65	58-62	75-85	64-66
Бензол в риформате, % мас.	1,2-1,5	1,2-1,5	0,8-1,2	менее 0,2
Длительность цикла, месяцы	12-24	12-24	не менее 24	не менее 24

с повышенной кислотностью РФ-1 на установке АО «Газпромнефть – Московский НПЗ».

В таблице 5 представлены основные показатели процесса риформинга на традиционном катализаторе ПР-81 и новом РФ-1.

Из таблицы следует, что применение нового катализатора должно обеспечить снижение содержания ароматических углеводородов в риформате на 3–5 % мас. при сохранении октанового числа риформата и минимальном снижении выхода целевых продуктов.

Второй вариант (таблица 5) – оптимизация технологии процесса риформинга, которая включает выделение из риформата низкооктановой бензолгептановой фракции и ее гидроизомеризацию с увеличением октанового числа целевого продукта на 4–5 пунктов (до 99-101 ИМ) при пониженном содержании ароматических углеводородов (64–66 % мас.) и бензола до 0,2 % мас. [16]. Новый процесс обеспечивает октановое число риформата, близкое к процессу с непрерывной регенерацией катализатора, при этом суммарное содержание ароматических углеводородов на 10 % мас. ниже, а бензола – в 5 раз ниже. Данная технология имеет потенциал для промышленной реализации, как путем модернизации существующих установок с периодической регенерацией катализатора, так и строительством новых установок, прежде всего, на НПЗ, не имеющих процесса каталитического крекинга, и где доля риформата в товарном бензине может достигать 70 % мас.

Заключение

Каталитический риформинг остается одним из базовых процессов современной нефтепереработки. Суммарная мощность процесса в мире составляет около 600 млн тонн в год или 14 % от мощности первичной переработки нефти. Доля риформата в товарных автобензинах составляет в среднем по миру 37 %, а в России – 44 %.

Современный ассортимент катализаторов риформинга на НПЗ России представлен как отечественными, так и зарубежными разработчиками, при этом доля российских катализаторов составляет 48 % от общей загрузки.

В ЦНХТ ИК СО РАН за последние 40 лет разработаны и внедрены в промышленность катализаторы риформинга серии ПР. Новый катализатор ПР-81 в настоящее время загружен на 13 установках 9 НПЗ России и обеспечивает требуемую жесткость процесса и высокий выход целевых продуктов.

Существует значительный потенциал увеличения доли загрузки отечественных катализаторов риформинга в ближайшие годы от текущих 48 до 70–75 % согласно плану мероприятий по импортозамещению, разработанному Минэнерго России. Данный результат может быть достигнут путем замещения импортных катализаторов на установках риформинга ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Газпром» и ПАО «Газпромнефть». Лидером данного процесса является ПАО «НК «Роснефть», где доля российских катализаторов составляет более 80 %, а до конца 2022 года планируется полный отказ от закупки зарубежных катализаторов [17]. ●

Работа выполнена в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект АААА-А17-117021450095-1).

Литература

1. *Маслянский Г.Н., Шапиро Р.Н. Каталитический риформинг бензинов. Л.: Химия, 1985. С. 221.*
2. *G.J. Antos, A.M. Aitani, J.M. Parera, Catalytic Naphtha Reforming: Science and Technology, Marcel Dekker inc, New York, 2004.*
3. *Rahimpour M.R., Jafari M, Iranshahi D. // Appl Energy. 2013. V. 109. P. 79–93.*
4. *Белый А.С., Смоликов М.Д., Кирьянов Д.И., Удрас И.Е. и др. // Рос. хим. ж. 2007. Т. LI. № 4. С. 60–68.*
5. *Капустин В.М. Технология производства автомобильных бензинов. М.: Химия, 2015, С. 254.*
6. *Гайле А.А, Сомов В.Е., Варшавский О.М. Ароматические углеводороды. Выделение, применение, рынок. Справочник. – СПб.: Химиздат, 2000. – 544 с.*
7. *Белый А.С., Смоликов М.Д., Кирьянов Д.И., Удрас И.Е. и др. // Рос. хим. ж. 2007. Т.LI. № 4. С. 38–47.*
8. *Смоликов М.Д., Белый А.С., Кирьянов Д.И., Удрас И.Е. и др. // Рос. хим. ж. 2007. Т.LI. № 4. С. 48–56.*
9. *Белый А.С., Кирьянов Д.И., Удрас И.Е., Затолокина Е.В. и др. // Нефтепереработка и нефтехимия. 2004. № 4. С. 34–38.*
10. *Смоликов М.Д., Кирьянов Д.И., Пашков В.В., Затолокина Е.В., Белый А.С. // Катализ в промышленности. 2009. № 1. С. 42–47.*
11. *Смоликов М.Д., Кирьянов Д.И., Колмагоров К.В., Удрас И.Е., и др. // Катализ в промышленности. 2013. № 6. С. 36–41.*
12. *OPEC World Oil Outlook, 212 (2016).*
13. *Poparad A., Ellis B., Glover B., Metro S. NPRA Annual Meeting 2011, San Antonio, Texas, USA, San Antonio, Texas, USA, P. 491–524.*
14. *Кирьянов Д.И., Смоликов М.Д., Голинский Д.В., Белопухов Е.А., и др. // Рос. хим. ж. 2018. Т. 62. № 1–2. С. 12–23.*
15. *Патент РФ 2635353.*
16. *Патент РФ 2640043.*
17. *Электронный ресурс. http://rupec.ru/news/42394/ Дата доступа: 28.02.2020.*

KEYWORDS: *catalytic reforming, platinum, catalyst, gasoline, octane number, aromatic hydrocarbons, import substitution.*

КАЛЕНДАРЬ 2020
НЕФТЕГАЗОВЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ

ЧЕРНОМОРСКИЕ НЕФТЕГАЗОВЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ
OIL & GAS BLACK SEA CONFERENCES

ЛАУРЕАТ ПРЕМИИ ЗОЛОТОЙ МЕРКУРИЙ 2017

iOilGas conference

23-28 марта г. Новороссийск
9-я Международная научно-практическая конференция
«Инновационные технологии в процессах сбора, подготовки и транспортировки нефти и газа. Проектирование, строительство, эксплуатация и автоматизация производственных объектов»

01-06 июня г. Сочи
15-я Международная научно-практическая конференция
«Современные технологии капитального ремонта скважин и повышения нефтеотдачи пластов. Перспективы развития»

21-26 сентября г. Анапа
11-я Международная научно-практическая конференция
«Строительство и ремонт скважин»

05-10 октября г. Сочи, Красная поляна
8-я Международная научно-практическая конференция
«Интеллектуальное месторождение: инновационные технологии от пласта до магистральной трубы»

В рамках конференции проходят рабочие заседания, выступления ведущих экспертов нефтегазовой отрасли, круглые столы, семинары, торжественный фуршет в честь открытия конференции, спортивные соревнования и экскурсионная программа.

При оплате регистрационного взноса за 30 дней до начала мероприятия предоставляется скидка 5%.

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА: Торгово-промышленная палата РФ; Министерство ТЭК и ЖКХ Краснодарского края; Российское Газовое Общество; Государственная дума ФС РФ; Союз нефтегазопромышленников России
ОРГАНИЗАТОР КОНФЕРЕНЦИИ: НИТПО НИТРО — ООО «НПФ «Нитпо»
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ: Газовая промышленность; Сфера; Бурение и Нефть; Геология нефти и газа; Территория Нефтегаз; Camelot Publishing; Эксплуатация нефть газ; Нефтегаз Подрядчик; Нефть России; Neftegaz.RU; ТехНадзор; Техсовет премиум

РЕКЛАМА

(861) 212-85-85 info@oilgasconference.ru www.oilgasconference.ru

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАСЛА

УДК 621.892.8

НАСТОЯЩАЯ РАБОТА ПОСВЯЩЕНА ИССЛЕДОВАНИЮ ЗАГУЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДЕСТРУКТИВНОЙ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕТАКРИЛАТА В ПАРАФИНОВО-НАФТЕНОВОМ МАСЛЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗАГУЩЕННОЙ БАЗЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МАСЕЛ. ОПИСАН ЗАГУЩАЮЩИЙ ЭФФЕКТ ПРИСАДКИ В ИЗОПАРАФИНОВОМ МАСЛЕ ГИДРОКРЕКИНГА. ОБОЗНАЧЕНЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ – 0,5% И 1%. ПОЛУЧЕНЫ ЗАГУЩЕННЫЕ ОСНОВЫ МОТОРНЫХ МАСЕЛ КЛАССА ВЯЗКОСТИ 5W-30 И 5W-40 С ВЫСОКИМИ ИНДЕКСАМИ ВЯЗКОСТИ. СТОЙКОСТЬ ОБРАЗЦОВ ЗАГУЩЕННОГО МАСЛА К ДЕСТРУКЦИИ ПОЛИМЕРНОЙ ПРИСАДКИ ОЦЕНИВАЛИ, ОБРАБАТЫВАЯ ОБРАЗЦЫ УЛЬТРАЗВУКОМ НА ПРИБОРЕ УЗДН-2Т. НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ БЫЛ СДЕЛАН ВЫВОД, ЧТО ПОЛИМЕТАКРИЛАТЫ ПОДВЕРГАЮТСЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ. БЫЛО ПРЕДЛОЖЕНО ДОБАВИТЬ СЛОЖНЫЙ ЭФИР РАЗВЕТВЛЕННОГО СТРОЕНИЯ, ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПРИСАДКИ К МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ

THIS ARTICLE IS DEVOTED TO THE STUDY OF THE THICKENING ABILITY AND DESTRUCTIVE STABILITY OF POLYMETHACRYLATE IN PARAFFIN-NAPHTHENIC OIL TO CREATE A THICKENED BASE OF ENERGY-SAVING OILS. IT DESCRIBES THE THICKENING EFFECT OF THE ADDITIVE IN ISOPARAFFIN HYDROCRACKING. IT INDICATES THE CONCENTRATIONS FOR THE PREPARATION OF POLYMER SOLUTIONS – 0.5% AND 1%. THUS, IT IS OBTAINED THICKENED BASES OF MOTOR OILS OF VISCOSITY CLASS 5W-30 AND 5W-40 WITH HIGH VISCOSITY INDICES. RESISTANCE OF THE THICKENED OIL SAMPLES TO DEGRADATION OF THE POLYMER ADDITIVE WAS EVALUATED BY TREATING THE SAMPLES WITH ULTRASOUND ON A УЗДН-2Т DEVICE. BASED ON THE ANALYSIS OF THE RESULTS OBTAINED, IT WAS CONCLUDED THAT POLYMETHACRYLATES UNDERGO MECHANICAL DEGRADATION. IT WAS PROPOSED TO ADD A BRANCHED ESTER TO INCREASE ADDITIVE RESISTANCE TO MECHANICAL DEGRADATION

Ключевые слова: *загущающие присадки, полиметакрилаты, базовое масло, загущающая способность, кинематическая вязкость, механическая деструкция.*

Тонконогов Борис Петрович,
декан факультета химической технологии и экологии, заведующий кафедрой химии и технологии смазочных материалов и химмотологии

Багдасаров Леонид Николаевич,
доцент кафедры химии и технологии смазочных материалов и химмотологии

Дауди Дауддин Ильясович,
кафедра химии и технологии смазочных материалов и химмотологии

Киреев Сергей Владимирович,
аспирант кафедры химии и технологии смазочных материалов и химмотологии

Михайлов Эдуард Русланович,
кафедра химии и технологии смазочных материалов и химмотологии

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

Обеспечение требований, предъявляемых в настоящее время к моторным маслам, невозможно без применения полимерных присадок, которые существенно улучшают вязкостно-температурные характеристики масел. При введении полимерных присадок в небольших концентрациях в маловязкие основы получают масла с хорошей прокачиваемостью при низких температурах и относительно высокой вязкостью при максимально разогретом двигателе.

В ряду полимерных присадок особое место занимают полиметакрилаты. Имея боковые алкильные цепи, оказывающие влияние на образование кристаллов парафина в масле, полиметакрилаты обеспечивают очень хорошие низкотемпературные свойства, чем превосходят другие полимерные присадки, такие как полиизобутилены, сополимеры этилена с пропиленом или винилацетатом, а также гидрированные гомо- и сополимеры.

В работе исследована загущающая способность ПМА в различной концентрации в составе парафиново-нафтенового масла VHVI-4, полученного изомеризацией остатков гидрокрекинга.

В таблице 1 представлены основные преимущества и недостатки полимеров метилакрилата.

Загущающую способность ПМА марки: «ПАРАТОН» изучали в составе товарного базового масла третьей группы VHVI-4. Приготовление растворов ПМА с концентрациями 0,5% и 1% происходило при 80 °С. Для каждого раствора были определены следующие физико-химические характеристики: кинематическая вязкость при 40 °С и при 100 °С, индекс вязкости. Образцы полиметакрилата были подвергнуты испытанию на приборе УЗДН-2Т для проверки стойкости к механической деструкции. Длительность испытания составила 40 минут.

ТАБЛИЦА 1. Преимущества и недостатки полиметакрилатов

Отличительные особенности загущающих присадок	Полиметакрилаты
Преимущества	• Высокая загущающая способность при повышенных температурах; • Загущающая инертность при низких температурах; • Отсутствие негативного воздействия на термоокислительную и химическую стабильность загущаемого масла; • Улучшенные противоизносные свойства; • Совместимость с другими присадками, применяемыми в маслах; • Быстрая скорость растворения присадки.
Недостатки	• Низкая механическая стабильность ПМА; • Низкая распространенность присадки.

ТАБЛИЦА 2. Влияние ПМА на кинематическую вязкость при 40 °С и при 100 °С масла VHVI-4 до и после испытания на механическую деструкцию на приборе УЗДН-2Т

ПМА	До УЗДН		После УЗДН	
%	40 °С	100 °С	40 °С	100 °С
0,5	27,93	5,96	26,18	5,72
	ИВ = 167		ИВ = 169	
1	39,82	8,43	37,02	7,91
	ИВ = 196		ИВ = 193	

ТАБЛИЦА 3. Изменение кинематической вязкости при 40 °С и при 100 °С при добавлении ДОТФ в различных концентрациях к парафино-нафтеновому маслу VHVI-4, содержащему 0,5% ПМА

ДОТФ + ПМА 0,5%	До УЗДН		После УЗДН	
%	40 °С	100 °С	40 °С	100 °С
3	28,41	6,02	26,43	5,64
	ИВ = 166		ИВ = 161	
5	26,14	5,63	24,77	5,39
	ИВ = 163		ИВ = 161	
10	26,56	5,69	25,59	5,46
	ИВ = 163		ИВ = 157	

ТАБЛИЦА 4. Изменение кинематической вязкости при 40 °С и при 100 °С при добавлении ДОТФ в различных концентрациях к парафино-нафтеновому маслу VHVI-4, содержащему 1% ПМА

ДОТФ + ПМА 1%	До УЗДН		После УЗДН	
%	40 °С	100 °С	40 °С	100 °С
3	37,56	8,23	35,2682	7,48
	ИВ = 203		ИВ = 187	
5	39,49	8,13	37,58	7,59
	ИВ = 186		ИВ = 175	
10	40,06	8,23	37,19	7,53
	ИВ = 186		ИВ = 175	

После проведения испытания повторно определяли вязкость при 40 °С и при 100 °С и измеряли индекс вязкости. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Из полученных данных был сделан вывод, что полиметакрилаты не выдерживают механической деструкции. Для увеличения стойкости полиметакрилатов к механической деструкции было решено добавить к загущающей присадке сложный эфир разветвленного строения – диоктилтерефталат (ДОТФ) в различных концентрациях – 3%, 5% и 10%, что благотворно сказалось на скорости растворения исследуемой загущающей присадки. После повторного изучения стойкости составов к механической деструкции, измерения вязкости при 40°С и при 100°С и определения индекса вязкости (результаты приведены в таблицах 3 и 4) нами был сделан вывод, что добавление сложного эфира оказывает негативное воздействие на стойкость присадки к механической деструкции. Вероятно, это связанно с усилением эффекта УЗДН-2Т при увеличении вязкости испытуемых образцов, после введения в состав эфира ДОТФ. ●

Литература

1. *Мещерин Е.М., Ваванов В.В. Энергосберегающие моторные масла и композиции. – Москва, 1991.*
2. *Воробьев В.А., Андрианов Р.А. Технология полимеров. – Москва, Высшая школа, 1980. – 303 с.*
3. *Багдасаров Л.Н., Тонконогов Б.П., Сидорина А.М. – Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2016 – Т. 59.*
4. *Л.Н. Багдасаров, Тонконогов Б.П., Киреев С.В., Дауди Д.И. – Влияние молекулярной массы полиизобутиленов на их загущающую способность в парафиново-нафтеновом масле. – Технологии нефти и газа. 2019. № 6. С. 22–28.*

Keywords: *thickening additives, polymethacrylates, base oil, thickening capacity, dynamic viscosity, mechanical destruction.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ, КИНЕТИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОЛИЗА АСФАЛЬТЕНОВ ТЯЖЕЛОЙ ЯРЕГСКОЙ НЕФТИ

Бойцова Александра Александровна,
Санкт-Петербургский горный университет, ведущий инженер научного центра

Феликс Байталов,
Технический университет, Фрайбергская горная академия, факультет машиностроительного, технологического и энергетического инжиниринга, профессор

Строкин Сергей Викторович,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра химических технологий и переработки энергоносителей, студент

ПОЛУЧЕНЫ КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРЕКИНГА И ВЕЛИЧИНЫ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПРОЦЕССА ТЕРМОЛИЗА АСФАЛЬТЕНОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ЯРЕГСКОЙ НЕФТИ И ОСТАТКОВ ЕЕ ДИСТИЛЛЯЦИИ. ИССЛЕДОВАНО ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ АСФАЛЬТЕНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ИХ ВЫДЕЛЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНА ЗАВИСИМОСТЬ КИНЕТИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ ТЕРМОЛИЗА ОТ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ И СТРУКТУРЫ АСФАЛЬТЕНОВ

THE KINETIC AND THERMODYNAMIC PARAMETERS WERE CALCULATED FOR THERMOLYSIS OF ASPHALTENES OBTAINED FROM YAREGA HEAVY OIL AND ITS DISTILLATION RESIDUES. THE DEPENDENCE OF ASPHALTENE STRUCTURE FROM THEIR ORIGIN WAS INVESTIGATED. THE DEPENDENCE OF KINETICS AND THERMODYNAMICS OF ASPHALTENE PYROLYSIS FROM THEIR STRUCTURE WAS STUDIED

Ключевые слова: *тяжелая нефть, асфальтены, термолиз, кинетические параметры, термодинамические параметры, кокс.*

УДК 665.6.033.28

Современное состояние мировой топливной промышленности характеризуется утяжелением сырья, вызванным истощением запасов легкой нефти и, как следствие, увеличением доли добычи тяжелой высоковязкой нефти. Тяжелые нефти содержат значительные количества асфальтеновых компонентов, представляющих собой макромолекулярные соединения, состоящие из агрегатов полициклических ароматических углеводородов, имеющих также боковые алкильные группировки и включающих в себя гетероатомы и металлы [1, 2]. В процессах нефтепереработки асфальтены становятся прекурсорами коксообразования, а также служат причиной необратимой дезактивации катализаторов. В связи с этим нефти с высоким содержанием асфальтенов считаются нежелательным сырьем нефтепереработки при получении качественных нефтепродуктов, таких как светлые дистилляты и углеродные материалы. Однако тенденция к увеличению доли добычи тяжелой нефти вызывает необходимость разработки оптимальных методов ее переработки, что, в частности, касается асфальтеновых компонентов. В связи с этим актуальной задачей для исследований стало изучение структуры, физико-химических и других свойств асфальтенов.

Множество работ было направлено на изучение структурных особенностей асфальтенов. Так, например, в работе [3] была предпринята попытка охарактеризовать асфальтены с помощью комплексного анализа с использованием эксклюзионной хроматографии, матрично-активированной лазерной ионизации, ядерного магнитного резонанса и рентгеноструктурного анализа. Также методом микрокалориметрии определялась энергия взаимодействия асфальтенов со смолистой сольватной оболочкой [4]. В работе [5] сравнивались асфальтеновые отложения, осажденные в различных условиях.

Кроме того, в последние годы значительный интерес вызывает определение кинетических параметров разложения высокомолекулярных нефтяных остатков. В частности, в различных работах определялись константы скорости реакции и энергия активации пиролитического разложения асфальтенов при разных температурах [6, 7] и их зависимость от химического состава и характеристик исходной нефти [8–10].

Тем не менее на сегодняшний день литературные источники содержат недостаточно информации о термодинамических параметрах пиролиза нефтяных асфальтенов, таких как энтропия, энтальпия и энергия Гиббса, а также о параметрах термолиза смесей высокомолекулярных компонентов тяжелой нефти – остатков атмосферной и вакуумной перегонки. Исследования термодинамических функций представляют ценность при моделировании и оптимизации высокотемпературных процессов нефтепереработки и могут быть использованы для определения различий в свойствах асфальтенов, полученных из исходной нефти и ее остатков.

Целью настоящего исследования является изучение термического разложения тяжелой нефти, остатков ее атмосферной и вакуумной дистилляции и соответствующих им асфальтенов. Для улучшения понимания расхождений в процессах крекинга различных высокомолекулярных структур нефти для реакций были получены энергии активации, предэкспоненциальные множители, энтропия, энтальпия и энергия Гиббса.

Материалы и методы

В качестве исходного сырья для получения остатков перегонки и асфальтенов использовалась тяжелая нефть Ярегского нефтяного месторождения (Республика Коми). Атмосферный остаток (АО) был получен по методу ГОСТ 2177. Вакуумный остаток (ВО) получен по методу ASTM D1160 на автоматической установке вакуумной перегонки "Herzog HDV 632" при давлении 0,13 кПа (температура начала кипения 530 °С). Свойства сырой нефти и остатков дистилляции приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Физико-химические свойства нефти и остатков

	Нефть	АО	ВО
Плотность при 20 °С, кг/м³	939,8	964,1	991,1
Содержание компонентов			
Предельные УВ, % масс.	16	15	11
Ароматические УВ, % масс	35	38	34
Смолы, % масс.	32	27	26
Асфальтены, % масс.	17	20	29
Никель (Ni), ppm	47	63	128
Ванадий (V), ppm	160	210	394

Отделение асфальтенов из нефти и остатков проводилось следующим образом: пробы были смешаны с растворителем с н-гексаном в массовом соотношении 1:40. Смеси отстаивались в течение 16 часов в темноте для наиболее полного осаждения асфальтенов с последующим фильтрованием через фильтр «синяя лента». Осадок с фильтра был помещен в аппарат Сокслета и промывался 150 мл н-гексана в течение 6 часов для удаления остаточных смол. Промытый осадок был высушен в течение часа температуре 70 °С. Плотность асфальтенов была рассчитана по уравнению (1) [11]:

$$\rho_a = \frac{\omega_a}{\frac{1}{\rho_o} - \frac{1-\omega_a}{\rho_m}}, \qquad (1)$$

где ρ_a – плотность асфальтенов, кг/м³; ω_a – массовая доля асфальтенов; ρ_o – плотность нефти, кг/м³; ρ_m – плотность деасфальтизата, кг/м³. Результаты представлены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. Расчетная плотность асфальтенов

Образец	Плотность, кг/м³
Асфальтены нефти	1009
Асфальтены АО	1015
Асфальтены ВО	1028

Для проведения ТГА использовался аппарат SDT Q-600. Для эксперимента бралась навеска образца массой около 5 мг. Нагревание образцов производилось в атмосфере азота (скорость подачи 100 мл/мин) от 50 до 1000 °С со скоростью 20 °С/мин.

Для оценки различий в структуре асфальтенов, полученных из нефти, АО и ВО были сделаны микрофотографии на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA 3 SBH.

Для образцов построены графики зависимости $ln(dx/dt)$ от обратной температуры ($1/T$) на основании следующего уравнения [8]:

С учетом того, что $x = V/V_0$:

$$\ln\left(\frac{dx}{dt}\right) = \ln[k_0(1-x)] - \frac{E_a}{R}\cdot\frac{1}{T} \qquad (2)$$

Для определения энергии активации и предэкспоненциального множителя процесса использован график зависимости $ln(dx/dt)$ от обратной температуры ($1/T$).

Энтропия ΔS, энтальпия ΔH и энергия Гиббса ΔG были рассчитаны по следующим уравнениям [12]:

$$\Delta S = 2.303R\cdot\log(k_0 h/kT) \qquad (3)$$

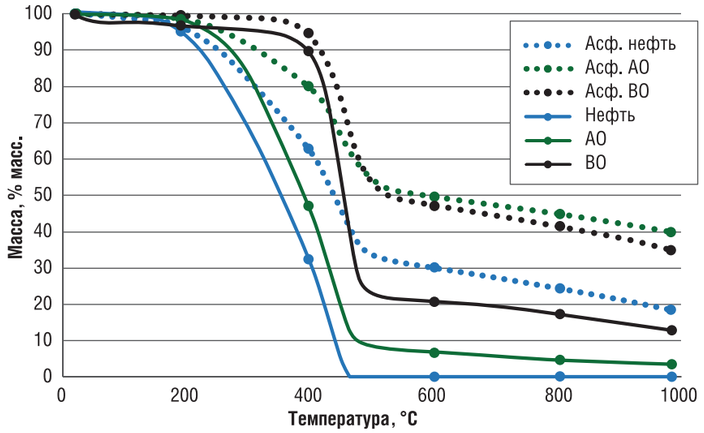
$$\Delta H = E_a - RT \qquad (4)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S, \qquad (5)$$

где k – постоянная Больцмана, $1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К, h – постоянная Планка, $6{,}63\cdot10^{-33}$ Дж·с.

Повышение температуры приводит к испарению низкомолекулярных углеводородов и переходу высокомолекулярных углеводородов из состояния индивидуальных молекул в трехмерную структуру.

РИС. 1. Кривые ТГА для образцов нефти, остатков перегонки и асфальтенов



Это приводит к изменению общей энергии системы. Термодинамический расчет позволяет определить возможность отдельных стадий реакций крекинга и уплотнения и возможную глубину протекания процесса в данных условиях. Для этого необходимо разработать соответствующие термодинамические и кинетические расчеты, которые можно эффективно применить к тяжелой нефти и ее высокомолекулярным остаткам.

Обсуждение результатов

Термогравиметрический анализ

На рис. 1 показаны кривые ТГА для всех образцов. На графике видно, что начало потери массы образцом нефти наблюдается при 156 °С и окончание пиролиза происходит при 480 °С. Процесс при этом протекает в одну стадию в области относительно низких температур. Для термического разложения остатков дистилляции и асфальтенов, напротив, можно проследить две стадии: низкотемпературного пиролиза (НТП) и высокотемпературного (ВТП), что свидетельствует о протекании различных типов реакций.

Первая стадия начинается примерно со 131–207 °С для АО и асфальтенов, полученных из исходной нефти и АО, в то время как для ВО и выделенных из ВО асфальтенов она начинается примерно с 325–355 °С. Этот период характеризуется резким снижением массы. Смена НТП на ВТП происходит примерно при 500–550 °С для всех образцов. Первоначальное снижение массы нефти, АО и, вероятно, полученных из них асфальтенов происходит главным образом за счет перегонки алканов, кипящих при температуре до 300–350 °С. Согласно источнику [13], в диапазоне 100–320 °С потеря массы происходит за счет улетучивания моно-, ди-и трициклических ароматических углеводородов, а также высших ароматических соединений. Быстрое снижение массы в температурном интервале 350–500 °С указывает на крекинг тяжелых углеводородов. От 500 °С до 1000 °С (стадия ВТП) продолжается улетучивание низкомолекулярных продуктов, однако скорость процесса замедляется, что объясняется процессами поликонденсации, приводящими к образованию более твердой и плотной структуры из высокомолекулярных компонентов (превалирование реакций уплотнения над крекингом).

Выход кокса из каждого образца показан в таблице 3. Интересно, что тяжелая нефть по достижении температуры 480 °С полностью пиролизуется, а ее асфальтены дают выход кокса 18,1 % масс. Асфальтены АО имеют примерно в 13 раз больший выход кокса, чем сам атмосферный остаток, в то время как асфальтены, полученные из ВО, образуют примерно в три раза больше углеродного материала, чем исходный ВО.

Отмечено, что температуры максимальной потери массы (T_{max}) для нефти, АО и ВО аналогичны температурам соответствующих асфальтенов, на основании чего можно предположить влияние асфальтенов на ход и температурный диапазон процесса пиролиза.

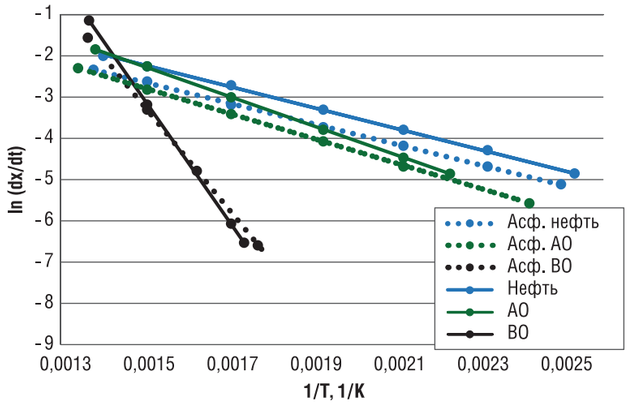
Сравнивая кривые ТГА для асфальтенов, полученных из нефти и АО, с кривыми ВО и его асфальтенов, можно отметить, что кривые для первых отличаются резким падением в диапазоне температур выше 270–320 °С. Можно предположить, что оно вызвано отгонкой от асфальтенов не полностью отделенной сольватной оболочки из смолистых веществ.

Незначительные изменения массы ВО и его асфальтенов, обнаруженные при температуре около 320 °С, могут быть спровоцированы расщеплением боковых алкильных цепей. Однако наиболее значительная потеря массы наблюдается в интервале от 420 до 530 °С, где происходит разрушение межмолекулярных ассоциатов и сульфидных мостиков [13]. На этой стадии асфальтены могут быть преобразованы в газы и масляные дистилляты. Продолжение пиролиза приводит к тому, что асфальтены подвергаются реакциям конденсации с образованием кокса от 530 до 1000 °С.

ТАБЛИЦА 3. Выход кокса и температуры потерь масс образцов

Образец	Выход кокса, % масс.	Температурный диапазон потери массы, °С	Tmax потери массы, °С
Асфальтены нефти	18,1	131–501	320
Асфальтены АО	39,9	207–510	359
Асфальтены ВО	34,7	344–528	437
Нефть	0	156–480	318
АО	3,1	183–493	338
ВО	12,6	356–519	438

РИС. 2. Графики зависимости *ln(dx/dt)* от 1/*T*



Отмечено, что по результатам ТГА набольший выход кокса наблюдается при пиролизе асфальтенов из АО (39,9 % масс.). Такой результат может быть обусловлен тем, что сольватный слой из смолистых веществ не был полностью устранен при подготовке асфальтенов после атмосферной перегонки и мог участвовать в образовании углеродных структур.

Анализ кинетических параметров

Графики зависимости *ln(dx/dt)* от 1/T (уравнение (2)) для образцов приведены на рис. 2. Видно, что эта зависимость имеет схожий характер для тяжелой сырой нефти, атмосферного остатка и их асфальтенов, а также одинаковое поведение для вакуумного остатка и его асфальтенов. Энергии активации E_a, рассчитанные по профилям кривых, приведены в табл. 4.

Начальная температура пиролиза и энергия активации возрастают с увеличением плотности и молекулярной массы образца за счет протекающих процессов поликонденсации. Энергия активации термолиза асфальтенов близка к энергии активации термолиза исходной нефтяной системы, из которой они были извлечены. Данное сродство наиболее выражено для нефти и ее асфальтенов (21,47 кДж/моль и 20,64 кДж/моль соответственно). При увеличении молекулярной массы образца увеличивается разница между энергией активации углеводородных систем и энергией активации асфальтенов. Для ВО она достигает 17,77 кДж/моль (E_a ВО = 120,30 кДж/моль, E_a ВО асф. = 102,53 кДж/моль). Следует отметить, что энергия активации термолиза асфальтенов ниже энергии активации для системы, из которой они были извлечены. Данное явление, предположительно, объясняется разрушением сольватной оболочки, предохраняющей асфальтеновые компоненты от внешних воздействий и увеличивающей энергию активации реакции крекинга.

ТАБЛИЦА 4. Энергии активации термолиза систем

Образец	Диапазон температур, (°С)	E_a, (кДж/моль)
Асфальтены нефти	124–452	20,64
Асфальтены АО	140–471	25,15
Асфальтены ВО	286–460	102,53
Нефть	119–440	21,47
АО	175–450	29,45
ВО	302–456	120,30

Находящуюся в нефти асфальтеновую структуру можно представить следующим образом (рис. 3). В исходной нефти асфальтеновая структура окружена сольватным слоем, состоящим из α-фазы, представленной нафтеновыми углеводородами, и β-фазы, состоящей в основном из полярных смол. При атмосферной дистилляции внешняя среда (нафтено-парафиновые углеводороды) вместе с относительно легкой α-фазой удаляется из нефти, в то время как смолистая оболочка, не растворимая в неполярных средах, укрупняется и продолжает защищать асфальтены. Поскольку влияние легкой α-фазы на стабильность асфальтенов невелико, энергия активации их разложения незначительно падает относительно остальной системы.

Однако вакуумная дистилляция способствует удалению из нефтяной системы смол и частичному разрушению β-фазы, препятствующей преждевременному термолизу асфальтенов. Как следствие, различие энергии активации реакций термолиза более выраженное.

Значение предэкспоненциального множителя изменяется схожим с энергией активации образом (табл. 5). Предэкспоненциальный коэффициент системы жидких углеводородов увеличивается с ростом средней молекулярной массы системы. Однако для жидких образцов нефти коэффициент выше, чем для асфальтенов.

Увеличение множителя в процессе термолиза образцов обусловлено постепенным образованием нерастворимых компонентов, таких как карбены и карбоиды, которые являются продуктом уплотнения асфальтенов.

РИС. 3. Упрощенная модель изменения структуры нефтяных асфальтенов в результате дистилляции

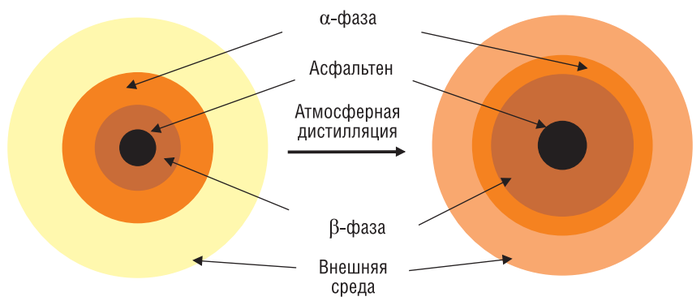


ТАБЛИЦА 5. Степень конверсии и предэкспоненциальный множитель

x	Нефть	АО	ВО	Асф. нефти	Асф. АО	Асф. ВО
0,01–0,1	5,55	22,25	$1360{,}53 \cdot 10^5$	3,08	6,12	$45{,}63 \cdot 10^5$
0,1–0,2	6,21	24,81	$1476{,}49 \cdot 10^5$	3,46	6,88	$51{,}28 \cdot 10^5$
0,2–0,3	7,06	28,22	$1685{,}36 \cdot 10^5$	3,93	7,81	$58{,}32 \cdot 10^5$
0,3–0,4	8,16	32,61	$1949{,}67 \cdot 10^5$	4,53	8,97	$67{,}47 \cdot 10^5$
0,4–0,5	9,65	38,59	$2306{,}76 \cdot 10^5$	5,34	10,46	$75{,}71 \cdot 10^5$
0,5–0,6	11,80	47,14	$2885{,}11 \cdot 10^5$	6,53	13,04	–
0,6–0,7	15,17	60,66	–	8,04	15,66	–
0,7–0,8	21,29	91,07	–	–	–	–
0,8–0,9	35,51		–	–	–	–

РИС. 4. Энергии Гиббса термолиза образцов

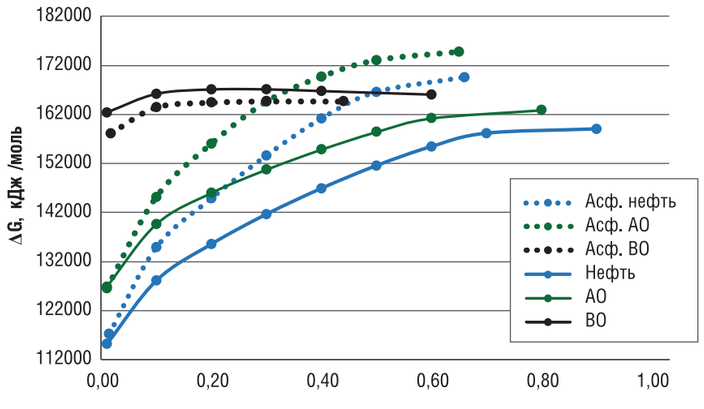
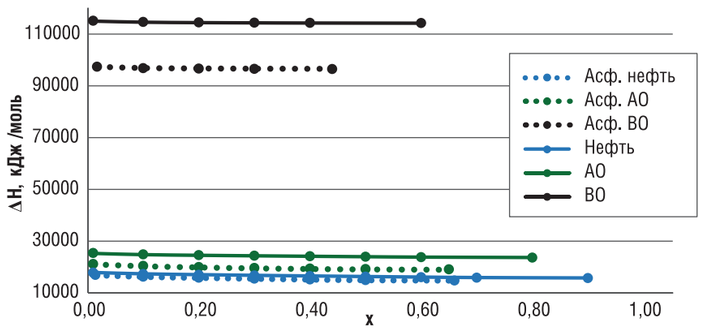


РИС. 5. Энтальпия термолиза образцов



Анализ термодинамических функций

На основе термодинамических расчетов изучены возможности протекания отдельных стадий и возможная глубина протекания процесса в этих условиях.

Для оценки структурных преобразований и межмолекулярных взаимодействий в дисперсных системах часто используют свободную энергию, энтальпию и энтропию. Однако сложное поведение супрамолекулярных систем под внешним воздействием (например, при повышении температуры), сопровождающееся разрушением и агрегатированием структурных единиц с последующей переориентацией их в пространстве, оказывает значительное воздействие на термодинамические функции.

На рис. 4 показаны значения энергии Гиббса пиролиза тяжелой нефти и ее остатков. Видно, что значения энергии значительно больше нуля.

При исследовании фактора энтальпии (рис. 5), который можно считать ответственным за прочность связей в нефтяных системах, было выявлено, что $\Delta H > 0$, что означает, что процесс является эндотермическим для всех образцов. Прочность молекулярной связи асфальтенов ниже, чем у жидких нефтяных систем ($\Delta H_{асф} < \Delta H_{ж}$). Это может быть прямой причиной того, что энергия активации термолиза асфальтенов ниже, чем для исходной нефтяной системы. Прочность связей в ВО выше, чем прочность связей в нефти и АО. Увеличение прочности обусловлена снижением содержания легких нефтяных дистиллятов (<500–530 °C), играющих роль растворителя. Также отмечается, что прочность связи частиц асфальтенов снижается следующим образом: ВО → АО → нефть. Можно утверждать, что более плотные частицы асфальтенов, получаемые при отгонке легких фракций, обладают соответственно более сильными межмолекулярными связями. При увеличении степени конверсии прочность систем практически постоянна.

Фактор энтропии, отвечающий изменению во взаимном расположении элементов системы, был применен для оценки формирования структуры НДС. Как показано на рис. 6, $\Delta S < 0$ для всех образцов, на основании чего можно предположить что все образцы имеют достаточно упорядоченную структуру. Асфальтены и продукты уплотнения имеют более высокую упорядоченность, чем системы, из которых они были получены. С увеличением молекулярной массы углеводородной системы уменьшается порядок связей. Некоторое ухудшение порядка наблюдается при увеличении степени термолиза.

Различия в структуре асфальтенов

Визуальные различия в структуре асфальтенов, полученных из нефти, АО и ВО, определялись с помощью сканирующего электронного микроскопа. Как показано на рис. 7, асфальтены,

РИС. 6. Энтропийный фактор термолиза образцов

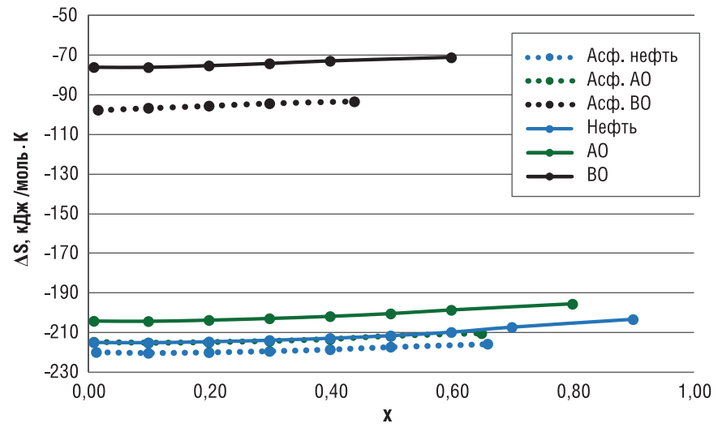
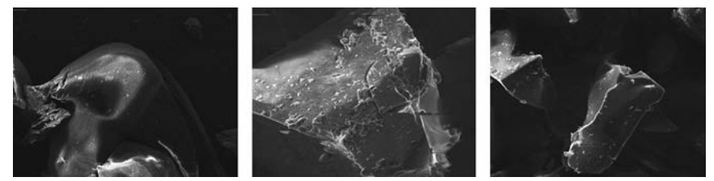


РИС. 7. Микрофотографии асфальтенов



а) б) в)

а) асфальтены нефти; б) асфальтены АО; в) асфальтены ВО

полученные из нефти, обладают ярко выраженными пластическими свойствами и волокнисто-коагуляционной структурой, вероятно, объясняющимися наличием наиболее развитой сольватной оболочки. Отмечено уменьшение размеров частиц асфальтенов в ряду нефть → АО → ВО. По характерным углам частиц и наличию мелких осколков можно утверждать, что пластические свойства в этом ряду редуцируют.

Исходя из микрофотографий, можно заметить, что в ряду нефть → АО → ВО происходит уменьшение размеров частиц. При этом увеличивается плотность асфальтенов, а также, как было рассчитано ранее, увеличивается прочность связей между структурными единицами.

Из характеристики образцов нефти и асфальтенов, а также кинетических и термодинамических параметров пиролиза можно сделать следующие выводы:

- Асфальтены, окруженные β-фазой из полярных смолистых компонентов, в результате термолиза дают более высокий выход углеродного материала вследствие герметизации сольватной оболочки и ее участия в коксообразовании. Таким образом, асфальтены остатка атмосферной дистилляции, имеющие меньшую плотность, могут иметь большую коксуемость, чем таковые для вакуумного остатка;
- Пиролиз жидких систем аналогичен пиролизу асфальтенов и характеризуются схожим температурным диапазоном. Максимальная температура, при которой все еще происходит потеря массы, повышается с увеличением молекулярной массы углеводородной системы;
- Энергия активации и предэкспоненциальный множитель реакций термолиза асфальтенов ниже, чем у соответствующих им жидких систем, за счет разгерметизации структуры при выделении α-фазы в процессе деасфальтизации и β-фазы в вакуумной перегонке;
- Асфальтены и продукты пиролиза из тяжелой нефти и атмосферного остатка имеют достаточно прочную и упорядоченную структуру, что обусловлено наличием β-фазы, асфальтены и продукты термолиза из вакуумного остатка имеют менее упорядоченную, однако значительно более прочную структуру. При этом уплотнение молекул в результате термообработки незначительно сказывается на степени упорядоченности. ●

Исследование выполнено при финансовой поддержке Германской службы академических обменов (DAAD) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научного проекта 10.13510.2019/13.2.

Литература

1. *Boytsova A., Kondrasheva N. Changes in the Properties of Heavy Oil from Yarega Oilfield under the Action of Magnetic Fields and Microwave Radiation // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2016. №. 50 (5). – P. 847–851.*
2. *Zhao Y.X., Ying Y. Kinetics of asphaltene thermal cracking and catalytic hydrocracking // Fuel Processing Technology. 2011. Vol. 92. – P. 977–982.*
3. *Trejo F., Ancheyta J., Morgan T.J., Herod A.A., Kandiyoti R. Characterization of asphaltenes from hydrotreated products by SEC, LDMS, MALDI, NMR, and XRD // Energy Fuels. 2007. Vol. 21. – P. 2121–2128*
4. *Aguiar J., Mansur C. Study of the interaction between asphaltenes and resins by microcalorimetry and ultraviolet–visible spectroscopy // Fuel. 2015. Vol. 140 – P. 462–469.*
5. *Rogel E., Miao T., Vien J., Roye M. Comparing asphaltenes: Deposit versus crude oil // Fuel. 2015. Vol. 147 – P. 155–160.*
6. *Wiehe I.E. A phase-separation kinetic model for coke formation // Industrial Engineering and Chemical Research. 1993. Vol. 32 – P. 2447–2454.*
7. *Zhao Y.X., Gray M.R. Molar kinetics and selectivity in cracking of Athabasca asphaltenes // Energy Fuels. 2001. Vol. 15 – P. 751–755.*
8. *Trejo F., Rana M.S., Ancheyta J., Thermogravimetric determination of coke from asphaltenes, resins and sediments and coking kinetics of heavy crude asphaltenes // Catalysis Today. 2010. Vol.150 – P. 272–278*
9. *Karacan O., Kok M.V. Pyrolysis analysis of crude oils and their fractions // Energy Fuels. 1997. Vol. 11(2) – P. 385–391.*
10. *Kok M.V. Characterization of medium and heavy crude oils using thermal analysis techniques // Fuel processing technology. 2011. Vol. 92(5) – P. 1026–1031.*
11. *Luo P., Gu Y. Effects of asphaltene content on the heavy oil viscosity at different temperatures // Fuel. 2007. Vol. 86 – P. 1069–1078.*
12. *Ofem M.I., Muhammed M. Thermal Properties of Chitin Whiskers Reinforced Poly (Acrylic Acid) // International journal of scientific and technology research. 2015. Vol. 4. № 9 – P. 218–288.*
13. *Alvarez E., Marroquin G., Trejo F., Centeno G., Ancheyta J., Diaz J. Pyrolysis kinetics of atmospheric residue and its SARA fractions // Fuel. 2011. Vol. 90. – P. 3602–3607.*

KEYWORDS: *heavy oil, asphaltenes, thermolysis, kinetic parameters, thermodynamic parameters, coke.*

Neftegaz.RU
номер 3/2020 г.

БИЗНЕС-АКЦЕНТ

УДК 665.6

БЕСЦЕХОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕХИМИИ

в условиях индустриализации 4.0

Фомин Александр Николаевич,
руководитель Центра внедрения бесцехового производства

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ РОССИЙСКАЯ ЭКОНОМИКА СТОИТ ПЕРЕД ИСТОРИЧЕСКИМ ВЫЗОВОМ – ВОЙТИ В ЭПОХУ ЧЕТВЕРТОЙ, ЦИФРОВОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ В ЧИСЛЕ ЛИДЕРОВ ИЛИ ПОПАСТЬ В АУТСАЙДЕРЫ С УТЕШИТЕЛЬНЫМ ПРИЗОМ В ВИДЕ СТАТУСА «РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ СТРАНЫ» С ТУМАННЫМИ ПЕРСПЕКТИВАМИ. УГРОЗА СТРАТЕГИЧЕСКОГО ОТСТАВАНИЯ ОТ ЛИДЕРОВ РЕАЛЬНА И ОДНА ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ПРИЧИН ТАКОГО ПОЛОЖЕНИЯ – В СПЕЦИФИЧЕСКОМ РОССИЙСКОМ КОНСЕРВАТИЗМЕ ПО ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА. РЕЧЬ ИДЕТ О ЦЕХОВОЙ СТРУКТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ, КОТОРАЯ СФОРМИРОВАЛАСЬ В РОССИИ В ПЕРИОД ПЕРВОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ДО СИХ ПОР МОНОПОЛЬНО ГОСПОДСТВУЕТ В НАШЕЙ ЭКОНОМИКЕ

CURRENTLY, THE RUSSIAN ECONOMY IS FACING A HISTORIC CHALLENGE – TO ENTER THE ERA OF THE FOURTH DIGITAL INDUSTRIALIZATION AMONG THE LEADERS OR TO BECOME AN OUTSIDER WITH A COMFORTING PRIZE IN THE FORM OF THE STATUS OF A "DEVELOPING COUNTRY" WITH VAGUE PROSPECTS. THE THREAT OF A STRATEGIC LAG BEHIND THE LEADERS IS REAL AND ONE OF THE MOST IMPORTANT REASONS FOR THIS SITUATION IS THE SPECIFIC RUSSIAN CONSERVATISM ON THE PRODUCTION ORGANIZATION. WE ARE TALKING ABOUT THE WORKSHOP MANAGEMENT STRUCTURE, WHICH WAS FORMED IN RUSSIA DURING THE FIRST INDUSTRIAL REVOLUTION AND STILL DOMINATES OUR ECONOMY MONOPOLY

Ключевые слова: *бесцеховое производство, индустрия 4.0, нефтехимия, управление предприятием, цеховая структура.*

За несколько столетий промышленного развития передовые индустриальные державы проводили не только обновление машинного парка, доведя его до современных «цифровых» кондиций, но и добились мощного прогресса в организации управления производством. Вот эта вторая – «немашинная» сторона индустриального развития почему-то осталась у нас практически незамеченной.

Каждая технологическая революция предполагает не только качественное изменение средств труда, т.е. машин и оборудования, которые используются для производства общественно-полезного продукта, но и персонала, участвующего в производстве. При этом речь идет не столько о качественном и неизбежном росте профессиональных навыков персонала, сколько о качественных изменениях самой схемы организации людей в процессе производства. Вот именно этот аспект трех технологических революций, прошедших в мировой экономике с конца 18 века, был незамечен в российской экономике на всех этапах ее исторической трансформации. Если наши зарубежные «партнеры» постоянно совершенствовали структуру управления производством, включая некоторые заимствования из социалистической экономики, то на российских производственных предприятиях оставалась неизменной цеховая организация производства.

Эволюция схемы расстановки персонала в производственном процессе привела наиболее технологичные предприятия индустриальных стран к бесцеховой структуре управления. Эта структура представляет собой практически найденную форму правильного управления людьми в производственном процессе. Другими словами, бесцеховая структура – наиболее естественный, рациональный и в этом смысле правильный способ соединения людей и оборудования при производстве общественно полезного продукта. Экономически значимым результатом этого правильного соединения является высокий уровень производительности труда предприятия, намного превосходящий аналогичный показатель при цеховой организации производства.

ФАКТЫ

Бесцеховая структура

наиболее естественный и рациональный способ объединения людей и оборудования при производстве общественно полезного продукта

Надо признать, что экономическая значимость способа организации людей в производстве далеко не столь очевидна, как значимость повышения производительности применяемого машинного парка. Эта «скрытность» воздействия структурного построения предприятия на его производительность и экономическую эффективность является вполне вероятной причиной недооценки этого фактора экономического роста в российской промышленности.

В конечном счете недооценка структурного фактора в обеспечении роста производительности труда российских предприятий является такой же фундаментальной причиной нашего отставания в мировой технологической гонке, как и хроническое запаздывание в современном техперевооружении производства.

Совсем недавно в информационном пространстве появился новый термин – индустриализация 4.0,

отражающий специфику современного «цифрового» языка применительно к текущему этапу технологической гонки. Но в перечне тем многочисленных конференций и форумов, где обсуждаются прорывные решения в развитии технологий и пути повышения производительности труда, нет вопросов о структурных инструментах повышения производительности производственных процессов, о том, как устроено управление предприятиями и компаниями, какова его «анатомия» и насколько оно эффективно с точки зрения лучших мировых практик. По моему мнению, это большая ошибка, потому что из интеллектуального поля выводится глубокий пласт проблем, связанный с анализом полноты реализации человеческого и технического потенциалов в производственном процессе. В то же время в специфических условиях российской экономики переход к наиболее эффективным структурам управления предприятиями – это вторая половина индустриализации 4.0 наряду с цифровизацией и внедрением в производство интеллектуальных технических систем.

Изучая конкретику организационно-структурного управления предприятиями в России и за рубежом, я выделил два практически значимых способа управления: цеховую и бесцеховую структуры. Первая фактически монопольно эксплуатируется на российских производственных предприятиях, вторая – на высокотехнологичных производствах индустриально развитых стран, лидирующих на современном этапе интеллектуально-цифровой индустриализации.

Суть дела в том, что цеховая и бесцеховая структуры управления базируются на противоположных, взаимоисключающих принципах организации производства. Эта несовместимость принципов приводит к ряду следствий. Главный вывод из сопоставления этих следствий – цеховая структура производства обрекает предприятия на поражение в конкурентной гонке на выживание за счет хронической и неизлечимой отсталости в обеспечении роста производительности труда.

Этот вывод подробно обосновывается в моей книге «Бесцеховое производство» (М.:Эдитус, 2015) и конкретизируется в книге «Бесцеховая революция» (М.:Эдитус, 2019), написанной на основе опыта внедрения бесцехового управления на российских водоканалах. Обе книги размещены на авторском сайте www.cvbp-af.ru.

В самом общем виде коренные различия цеховой и бесцеховой структур заключаются в том, что цеховая структура – это управление объектами в виде цехов, каждый из которых представляет собой отдельный участок общего технологического процесса, а бесцеховая структура – это управление горизонтальными, сквозными процессами от начальной точки до конечного продукта.

Отсюда вытекают стратегические преимущества управления процессами посредством бесцеховой структуры: работает система производственного потока, где четко и документированно разграничены функции и ответственность всех участников производственного процесса

ФАКТЫ

Индустриализация 4.0

это в том числе переход к наиболее эффективным структурам управления предприятиями

от первого руководителя до конечного исполнителя. Конкретный производственный процесс функционирует как единый и целостный организм, прозрачный для управления, анализа и контроля. Этот процесс распадается на несколько ключевых подпроцессов, также имеющих сквозной характер с точки зрения конечного продукта.

В цеховой структуре управление объектами-цехами по сути своей не является системой потока – это управление набором самостоятельных производственных элементов, расчленяющих единый технологический процесс. Характерные для цеха черты «натурального хозяйства» – все свое: персонал, машины, здания – препятствуют эффективному управлению, анализу и контролю за единым, сквозным производственным процессом. Управление потоком производства предстает как управление сбросами продукции с плотин каждого из цехов. В такой структуре уникально значение руководителя цеха и поэтому управление производственно-техническим блоком предприятия является не управлением системой, где каждый участник находится в четко определенных границах своей компетенции, а искусством поддержания оптимальных взаимоотношений руководства предприятия со своими «объектами» в лице руководителей цехов.

Важно заметить, что технология бесцехового управления в своих принципиальных моментах взята из опыта управления атомными электростанциями индустриально продвинутых стран, где мне довелось детально изучать их практическую работу и всю систему организации управления. При этом следует подчеркнуть, что принципы бесцехового управления применимы на любых промышленных предприятиях, хотя в наибольшей мере они актуальны для предприятий непрерывного цикла производства. Особую эффективность эти принципы приобретают на предприятиях повышенной опасности с большим количеством сложного оборудования, высокими требованиями к безопасности производства и уровню квалификации персонала.

Теперь остановимся подробнее на принципиальных различиях двух структур и вытекающих из этого следствиях.

Принципы цеховой структуры:

- цех – автономное хозяйство, совмещающее в себе функции управления оборудованием, обеспечения его работоспособности, планирования и координации работ, ремонта оборудования;
- цех управляет отдельным участком единого производственного процесса предприятия;
- совмещение функции управления оборудованием и функции обеспечения его работоспособности;
- децентрализованное планирование и координация работ с привязкой к цехам;
- управление цехами как автономными частями единого производственного процесса – управление объектами;
- наличие в структуре цеха ремонтного персонала;
- наличие в структуре производственно-технического блока (ПТБ) ряда сервисных подразделений;
- невосприимчивость к аутсорсингу, поскольку он противоречит принципу автономии цеха.

Важнейшими следствиями этих принципов являются:

- во-первых, функциональная перегрузка цеха, которую легко обнаружить при изучении Положений о цехах и должностных инструкций начальников цехов, что означает физическую невозможность полного и качественного выполнения руководством цеха всех вмененных ему обязанностей;
- во-вторых, неустранимые противоречия между цехами, основанные на естественном несовпадении субъективных подходов руководителей цехов к
  – управлению подчиненным персоналом;
  – обеспечению работоспособности оборудования;
  – к организации и проведению ремонтов;
  – к планированию и координации работ;
- в-третьих, автономизация, фрагментирование общего производственного потока предприятия по причине слабых и непрозрачных связей между цехами единого производственного цикла; автономия цехов закрепляет расчлененность единого производственного процесса, перекрывает поток производства плотинами отдельных «хозяйств»;
- в-четвертых, заинтересованность цеха в сокрытии производственных инцидентов и стремление решать возникшие проблемы собственными силами, не привлекая внимания руководства предприятия. Это приводит к искаженной картине реального состояния эксплуатируемого оборудования и квалификации персонала цеха;
- в-пятых, отсутствие системного планирования всех работ на предприятии и эффективной координации проводимых работ;

ФАКТЫ

Бесцеховая структура

это управление горизонтальными, сквозными процессами от начальной точки до конечного продукта

- в-шестых, замкнутость цеха на собственном «хозяйстве» (вверенная территория, здания и сооружения, комплекс оборудования, персонал) препятствует внедрению на предприятии любых форм аутсорсинга, т.е. делегированию отдельных функций другим подразделениям или организациям, способным выполнять их с лучшим экономическим эффектом для предприятия.

Принципы бесцеховой структуры:

1) упразднение цехов как автономных структурных единиц производственно-технического блока (ПТБ) и распределение четырех основных функций цехов между подразделениями бесцеховой структуры управления (БСУ);
2) управление сквозными производственными процессами предприятия (от начальной точки до конечного продукта) посредством специализированных подразделений – процессное управление;
3) разделение функций управления оборудованием и обеспечения его работоспособности;
4) централизованное планирование и координация работ на предприятии;
5) формирование классической триады подразделений производственно-технического блока предприятия:
   – оперативного управления оборудованием;
   – владельцев оборудования (обеспечения работоспособности);
   – планирования и координации работ;
6) выведение в отдельную структуру всех ремонтных подразделений предприятия;
7) освобождение производственно-технического блока предприятия от всех сервисных подразделений;
8) активное применение экономически целесообразных форм аутсорсинга.

Важнейшие следствия этих принципов:

- весь персонал, управляющий сложным и дорогостоящим оборудованием, объединяется в отдельное подразделение, внутри которого персонал структурируется по видам эксплуатируемого оборудования: например, тепломеханическое, энергетическое, КИП и АСУ ТП; химическое и др.;
- работоспособное состояние оборудования обеспечивается службой владельцев оборудования, которая ведет комплексный мониторинг состояния оборудования и формирует заявки на техническое обслуживание и ремонт для службы технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Эта служба выполняет функцию подрядчика для службы владельцев, которая контролирует качество проведенных ремонтов;
- выявляются и ликвидируются скрытые недостатки в работе с оборудованием и подготовкой персонала, т.к. система стимулирования персонала в подразделениях владельцев оборудования и оперативного управления оборудованием нацелена на неукоснительное исполнение каждым работником своей должностной инструкции, предусматривающей незамедлительную фиксацию любого производственного инцидента с последующим анализом его причин;
- реализуются потенциальные резервы оборудования за счет своевременной профилактики, технического обслуживания и ремонта оборудования в соответствии с индивидуальной историей эксплуатации каждой единицы, а также постоянного повышения мастерства операторов оборудования;
- резко сокращается количество различных нестыковок, накладок, «управленческого сора», благодаря деятельности подразделения планирования и координации всех работ на предприятии, а также сокращения уровней управления.

Бесцеховая структура предполагает максимально полное освобождение руководителя производственно-технического блока (ПТБ) – технического директора – от любых функций, непосредственно не связанных с его основной задачей – обеспечения бесперебойного, высокоэффективного процесса по производству товарной продукции.

Для этого ему предоставляются необходимые инструменты достижения требуемой эффективности – триада служб, работающих по всей горизонтали технологического процесса:

- служба оперативного управления оборудованием;
- служба владельцев оборудования;
- служба планирования и координации работ,

а также специализированное ремонтное подразделение, которое выполняет функции подрядчика для службы владельцев оборудования и структурно входит в состав ПТБ предприятия, либо привлекается для работ на договорных условиях (внешний аутсорсинг).

ФАКТЫ

«Оптимизация персонала»

в условиях БП означает разумный вывод действительно избыточных должностных позиций без ущерба для работоспособности предприятия

В завершенном, «идеальном» варианте бесцехового управления в подчинении техдиректора остаются только перечисленные выше подразделения. Остальные подразделения, входящие в состав ПТБ в цеховой структуре, переводятся в подчинение других вертикалей управления предприятием, включая прямое подчинение генеральному директору, либо выводятся на аутсорсинг.

По мере развития предприятия в условиях бесцеховой структуры реализуются объективные тенденции в эволюции подразделений ПТБ:

1) автоматизация производственных процессов ведет к неуклонному сокращению должностных позиций по оперативному управлению оборудованием. В итоге служба оперативного управления, включающая в себя всех операторов всех видов оборудования, сведется к централизованному диспетчерскому управлению единым технологическим процессом;
2) служба техобслуживания и ремонта (ТОиР) будет эволюционировать по мере развития внешнего рынка услуг из состояния внутреннего аутсорсинга в составе ПТБ (подрядчик службы владельцев оборудования) в различные формы внешнего аутсорсинга;
3) служба планирования и координации ПТБ научится точно планировать расходы, затраты, закупки, продажи, начиная с суточного горизонта, и станет реальной аналитической площадкой для решения и координации любых производственных вопросов в тесном контакте с владельцами оборудования, подрядными ремонтными подразделениями и внешними заинтересованными организациями.

Таким образом, целевая картина ПТБ эталонного цифрового предприятия нефтехимии выглядит следующим образом:

- центральная диспетчерская служба (единый пульт управления);
- служба владельцев оборудования (инженерный центр);
- служба планирования и координации.

При внедрении бесцеховой структуры управления (БСУ) происходит селекция всего персонала цехов и других подразделений ПТБ по четырем основным группам:

- операторы оборудования;
- ремонтники;
- владельцы оборудования (инженеры, обеспечивающие его работоспособность);
- специалисты по планированию и координации.

Процесс формирования штатного расписания подразделений БСУ проходит под контролем независимых экспертов, что исключает произвольные действия руководства технического блока по определению параметров и должностного наполнения штатного расписания новых подразделений.

Такой подход предполагает глубокий анализ каждой должностной позиции на предмет ее необходимости и степени загруженности в новой структуре. В результате выявляются значительные кадровые резервы, избыточные руководящие позиции, уровни управления, обнаруживаются возможности для совмещения производственных функций.

Термин «оптимизация персонала» приобретает изначальный смысл: происходит не механическое сокращение работников начальниками цехов по их собственному усмотрению на основе разнарядок «сверху», а разумный вывод действительно избыточных должностных позиций без ущерба для работоспособности предприятия.

Благодаря этому преодолевается характерная для цехов хаотичность штатного расписания, защищаемая авторитетом и производственным «весом» начальников цехов. Сведенные из цехов в две большие «армии» операторы оборудования и ремонтный состав предоставляют обширные возможности для обоснованного кадрового маневра за счет применения передовых методов организации их работы. При этом сокращается как минимум 10% штатного состава, что дает соответствующий рост производительности труда.

Однако указанный рост производительности всего лишь первый шаг в обеспечении ее неуклонного роста структурными инструментами бесцехового управления. БСУ работает на стратегическую перспективу экономического роста за счет реализации потенциала создаваемого на предприятии инженерного центра – службы владельцев оборудования (СВО).

Это принципиально новое подразделение, собранное из высококлассных инженеров и специалистов, призвано генерировать и воплощать в практику конкретные идеи и мероприятия по автоматизации производства, повышению коэффициента использования оборудования, снижению аварийности, точному прогнозированию и совершенствованию производственных процессов, снижению всех видов рисков для производства, что в конечном итоге обеспечивает постоянный и неуклонный рост производительности труда и конкурентоспособности предприятия.

ФАКТЫ

БСУ

работает на стратегическую перспективу экономического роста за счет реализации потенциала создаваемого на предприятии инженерного центра – службы владельцев оборудования

В функционале СВО решается неведомая для цехового производства задача – переход от управления людьми к управлению процессами, выполняемыми этими людьми. По сути дела, с формированием СВО происходит кардинальная трансформация образа опорного звена в руководстве ПТБ – начальника цеха, основным инструментом которого было «ручное» управление коллективом.

В бесцеховой структуре опорным звеном ПТБ становится инженер СВО, базовым инструментом которого является создание интеллектуального продукта – инструкций, технических регламентов по управлению оборудованием и контролю качества ремонтных работ, планов ТО и ремонтов, мероприятий по повышению надежности подконтрольного оборудования и техперевооружению.

Итак, движение к целевому образу цифрового предприятия нефтехимии в русле идеологии индустриализации 4.0 предполагает не столько консолидацию финансовых ресурсов предприятия для автоматизации производства, сколько выстраивание адекватной требованиям времени организационно-структурной формы управления. Этой формой и является бесцеховая структура. Ее ключевые подразделения позволяют обеспечить грамотное планирование, реализацию и контроль мероприятий по комплексной цифровизации предприятия, включая элементы AI (искусственного интеллекта) и промышленного IoT (интернета вещей).

Более конкретная информация о бесцеховой структуре управления и опыте ее внедрения на производственных предприятиях России представлена в книгах автора, размещенных на сайте www.cvbp-af.ru.

Keywords: *shopless production, industry 4.0, petrochemistry, enterprise management, shop structure.*

Компания, устанавливающая промышленные стандарты

УДК 622.24

ОТ МЕКСИКАНСКОГО ЗАЛИВА ДО СИНГАПУРА, ОТ САХАЛИНА ДО КАТАРА – БУРЕНИЕ НА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ОТ НЕМЕЦКОГО КОНЦЕРНА CONTINENTAL AG ПОЗВОЛЯЕТ ОПЕРАТОРАМ И БУРОВЫМ ПОДРЯДЧИКАМ ДОСТИЧЬ МАКСИМАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ. ГДЕ БЫ НИ ПРОИЗВОДИЛОСЬ ОСВОЕНИЕ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – БУДЬ ЭТО ПУСТЫНЯ, АРКТИКА, ЛИБО ГЛУБОКОЕ ДНО ОКЕАНА – ВЕЗДЕ БУДЕТ ИМЕТЬСЯ ПОТРЕБНОСТЬ В ГИБКИХ СОЕДИНЕНИЯХ. КАК ПОКАЗАЛА МНОГОЛЕТНЯЯ ПРАКТИКА, ГИБКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ЯВЛЯЮТСЯ НЕЗАМЕНИМОЙ И ВАЖНОЙ ЧАСТЬЮ ВСЕГО НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА. ПРИ ЭТОМ КАЧЕСТВО, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЭТОЙ ПРОДУКЦИИ ИГРАЮТ ВАЖНЕЙШУЮ РОЛЬ В БЕЗОПАСНОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЕ

FROM THE GULF OF MEXICO TO SINGAPORE, FROM SAKHALIN TO QATAR, DRILLING WITH HIGH-QUALITY EQUIPMENT FROM THE GERMAN CONCERN CONTINENTAL AG ALLOWS OPERATORS AND DRILLING CONTRACTORS ACHIEVING MAXIMUM RESULTS. WHEREVER OIL AND GAS FIELDS ARE DEVELOPED – WHETHER IT IS THE DESERT, THE ARCTIC, OR THE DEEP DEEP SEA – THERE WILL ALWAYS BE A NEED FOR FLEXIBLE HOSE LINES. AS LONG-STANDING PRACTICE HAS SHOWN, FLEXIBLE HOSE LINES ARE AN INDISPENSABLE AND IMPORTANT PART OF THE ENTIRE OIL AND GAS SECTOR. AT THE SAME TIME, THE QUALITY AND DURABILITY OF THESE PRODUCTS PLAYS A CRUCIAL ROLE IN A SAFE AND EFFICIENT OPERATION

Ключевые слова: *бурение, нефтегазовое месторождение, роторные и вибрационные шланги, маслобензостойкость, устойчивость к низким температурам.*

Чумак
Вячеслав Витальевич,
Business Development – Oil & Gas
Continental ContiTech
Industrial Fluid Solutions

Continental AG – крупнейший в мире концерн по производству резиновых изделий, занимает лидирующие место на мировом рынке по производству резиновых шлангов для применения в нефтедобывающей отрасли.

Contitech – подразделение Continental – имеет более 50 лет опыта производства профессионального бурового шланга и не раз устанавливало промышленные стандарты в нефтегазовой промышленности.

Благодаря высокому уровню качества, безопасности и долгому сроку службы буровые шланги Continental Contitech заслужили неоспоримую репутацию и используются на 80 % офшорных проектов по всему миру.

Концерн выпускает примерно 4000–5000 единиц в год роторных и вибрационных шлангов для подачи бурового раствора, что говорит о серьезном присутствии на мировом рынке.

В предыдущей статье «Ручная работа мирового стандарта» мы упоминали о процессе производства и технических особенностях буровых шлангов Contitech Tauro™ Cool.

В этот раз мы хотели бы рассказать об особенностях конструкции и испытаний роторных и вибрационных шлангов для работ при -40 °C.

Резина – насколько это важно?

Это неоспоримый факт, что важнейшим составляющим рукава является резина, поскольку в зависимости от конструкции тело рукава состоит на 40–60 процентов из нее. Именно резина придает гибкость, изоляцию и устойчивость к воздействию транспортируемой среды. Именно от ее качества и выбора подходящего состава зависит надежность и долговечность конечной продукции.

Резина – это эластичный материал, получаемый в ходе вулканизации эластомеров из натурального или синтетического каучука и вулканизирующих веществ. Говоря слово «резина», мы подразумеваем довольно общее и широкое понятие, поскольку эта черная масса имеет более 1000 всевозможных составов с различными техническими свойствами. Кто сталкивался с резиновой продукцией, наверняка наблюдал, что резина реагирует на температурные и химические воздействия. Именно поэтому над разработками и созданием надежного состава работают институты, научные центры и лаборатории. Continental имеет более 140 лет опыта работы

с эластомерами, поэтому именно в лабораториях Continental был разработан высококачественный эластомер на базе синтетического полимера бутадиен-нитрил каучука с абсолютной стойкостью к маслам и низким температурам до -40 °C. Этот синтетический полимер имеет аббревиатуру БНК (NBR) и хорошо зарекомендовал себя как маслобензостойкая резина. В конструкции бурового шланга этот полимер играет важнейшую роль, поскольку он применятся в качестве внутреннего изоляционного слоя рукава, который непосредственно контактирует с агрессивной средой бурового раствора.

Что рекомендуют эксперты?

Как любой эластомер, БНК (NBR) имеет неограниченное количество рецептуры с различными его свойствами. Для буровых рукавов на рынке Российской Федерации мы можем выделить самые важные свойства, такие как маслобензостойкость и устойчивость к низким температурам. Большинство рецептур, доступных на рынке, имеют маслобензостойкие свойства с комбинацией температурного режима до -25 °C. Найти баланс между маслобензостойкостью и устойчивостью к -40 °C – задача не из легких. Стандартный эластомер при температурах ниже заданного теряет свою эластичность и целостность. Воздействие агрессивной углеводородной среды на буровой рукав с низким уровнем маслобензостойкости приводит к так называемому «набуханию резины», что также ведет к разрушению целостности конструкции.

Большинство производителей, не имея опыта, пренебрегают этим, предлагая низкотемпературный БНК (NBR) с пониженной устойчивостью к углеводородам. Либо предлагая БНК (NBR) без научно-лабораторного исследования полимера на воздействие низкой температурой.

Задавшись целью и потратив несколько лет на разработки, в лабораториях Continental был создан и введен в эксплуатацию состав резины, которая может гарантировать 100%-ную маслобензостойкость и отличную гибкость при -40 °C.

Беспощадные условия

Перед вводом на рынок прототип бурового шланга "Tauro™ Cool" успешно прошел испытание на -40 °C по стандарту API 7K FSL2 в присутствии аудитора от API (Американский институт нефти).

Чтобы отвечать высокой планке качества и безопасности конструкции и выносливости полимеров при температуре окружающей среды -40 °C, прототип прошел ряд жестких физических испытаний.

Перед тем как охладить шланг, он был нагнетен давлением в 1,5 раза превышающим рабочие и изогнут 100 раз под давлением до минимального радиуса изгиба. В ходе испытания измерялась деформация конструкции. После чего в пустом состоянии прототип был помещен в рефрижераторную камеру и в течение 24 часов находился в ней до полного охлаждения до -40 °C. Находясь в рефрижераторе, шланг опять подвергся изгибу до минимального радиуса изгиба 100 раз. Сразу же после испытаний на холод следовало высокоимпульсное испытание давлением на 10 000 циклов (макс. 10 циклов в секунду), затем 4-часовой тест на давление и в окончании тест на разрыв. После выполнения всех физических испытаний прототип рукава был отправлен в лабораторию для исследования на целостность конструкции. Все эти испытания проводились на одном и том же прототипе.

Обжимное или встроенное, в чем разница?

Помимо эластомеров и конструкции рукава, производитель обращает внимание на тип крепления металлической арматуры концевых соединений к телу рукава. В основном, в буровой отрасли Российской Федерации используются рукава с так называемым «обжимным» типом соединения. Это довольно новая техника крепления арматуры. Как показывает опыт, обжимные шланги предназначены для бурения в районах тропического и экваториального поясов.

Соединение тела рукава и арматуры происходит механически и имеет контакт только с внутренним и наружным слоями рукава. Колебания рабочей температуры и температуры окружающей среды при сильном минусе влияют на осадочную нагрузку механического крепления метала с эластомерами. Такое соединение не может гарантировать надежность и герметичность крепления при жестких колебаниях температуры. Также большинство обжимных рукавов, предлагаемых на рынке, несовместимы с наклонно-направленным бурением, где присутствует импульсная подача бурового раствора.

Для бурения в районах умеренного и арктического поясов производитель рекомендует использовать так называемую заводскую вулканизацию встроенного концевого соединения. Данная технология имеет более 50 лет опыта. Помимо механического соединения применяется также и химическое соединение. Обеспечивая надежность работы, независимо от колебания температур либо высокочастотной пульсации давлением.

В ходе производства концевая арматура встраивается в тело рукава и скрепляется со всеми слоями конструкции рукава, после вулканизируется совместно с концевой арматурой. Изготовленный по данной технологии шланг позволяет обеспечить полное сечение внутреннего диаметра шланга, без единого сужения на всем его протяжении. ●

Keywords: *drilling, oil and gas field, rotary and vibration hoses, oil and gas resistance, low temperature resistance.*

Ямало-Ненецкий автономный округ

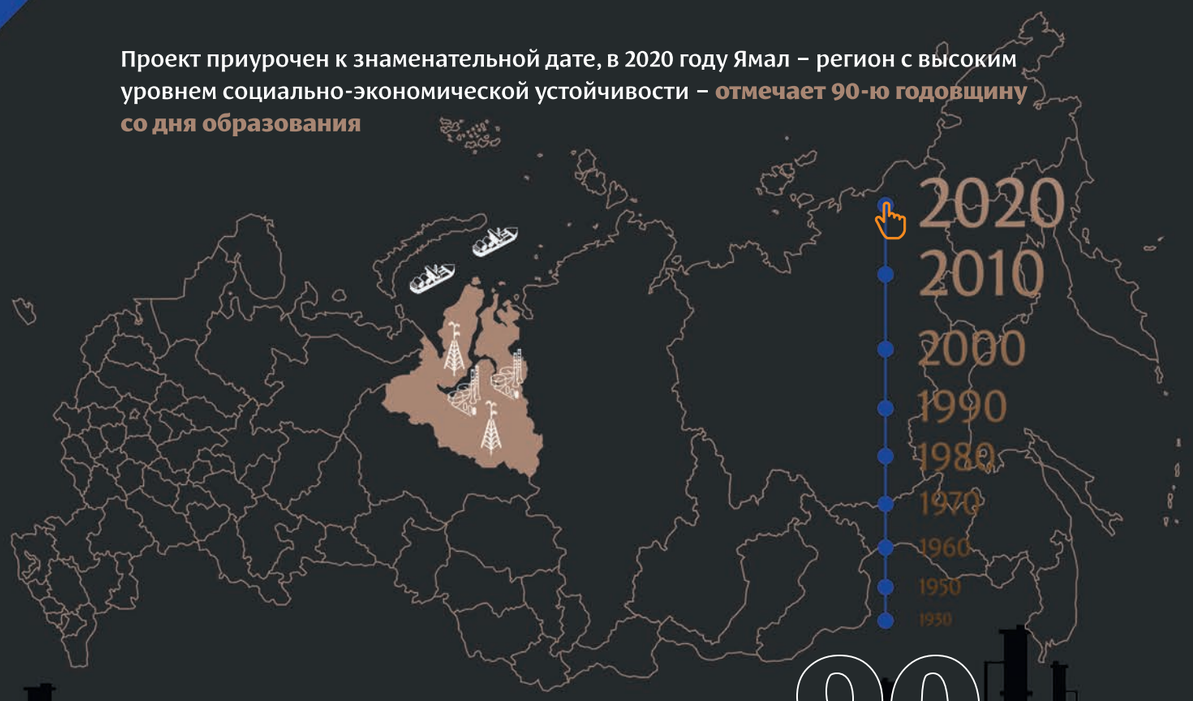
Neftegaz.RU

Neftegaz.RU

Информационное агентство Neftegaz.RU по соглашению с правительством Ямало-Ненецкого автономного округа и при поддержке Министерства энергетики РФ, приступило к реализации интерактивного федерального медиапроекта:

Ямал – сердце нефтегазовой отрасли промышленности России

Проект приурочен к знаменательной дате, в 2020 году Ямал – регион с высоким уровнем социально-экономической устойчивости – **отмечает 90-ю годовщину со дня образования**



90 лет

«Ямал – сердце нефтегазовой отрасли промышленности России» – это современная интерактивная интернет-площадка, демонстрирующая поэтапное развитие нефтегазовой промышленности в регионе

Медиапроект будет состоять из нескольких частей:

Интерактивная карта

на которой будут представлены основные нефтегазовые предприятия, энергетические структуры и предприятия смежных отраслей промышленности, работающие в регионе. В формате одного информационного окна можно будет заглянуть в прошлое, настоящее и будущее нефтегазодобычи на Ямале

Предприятия

занимающиеся разработкой месторождений в ЯНАО и оказывающие услуги по проектированию, коммуникации, бурению и т.д., представят свою работу на месторождениях и планы развития. А также все, кто вносит вклад в социально-экономическое развитие региона

Транспортировка

Предприятия, оказывающие услуги транспортировки в Арктике, в том числе по Северному морскому пути (СМП)

Экспертные комментарии

и интервью от главы администрации региона, руководителей министерств, авторитетных специалистов нефтегазовой отрасли промышленности России

Инвестиционные проекты ЯНАО

Можно будет подробнее ознакомиться с государственными программами развития добычи нефти и газа в ЯНАО

Объекты малых народов Севера

www.yanao.neftegaz.ru

ХОДОВЫЕ СИСТЕМЫ
для нефтегазовой промышленности

УДК 62

КОМПАНИЯ ЧЕТРА ИЗВЕСТНА НА РЫНКЕ СВОЕЙ РАЗНООБРАЗНОЙ ЛИНЕЙКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНИКИ ПОД ОДНОИМЕННЫМ БРЕНДОМ – ГУСЕНИЧНЫЕ БУЛЬДОЗЕРЫ, ТРУБОУКЛАДЧИКИ И КОЛЕСНЫЕ ПОГРУЗЧИКИ ВЫПУСКАЮТСЯ ЧЕБОКСАРСКИМ ЗАВОДОМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРАКТОРОВ («ПРОМТРАКТОР»). ПЕРВЫЙ ТРАКТОР СОШЕЛ С КОНВЕЙЕРА ЗАВОДА ЕЩЕ В ДАЛЕКОМ 1975 ГОДУ. СЕГОДНЯ СВЫШЕ 3 000 ЕДИНИЦ ТЕХНИКИ ПОД БРЕНДОМ ЧЕТРА ЭКСПЛУАТИРУЮТСЯ В РОССИИ И БОЛЕЕ ЧЕМ В 30 СТРАНАХ МИРА

CHETRA COMPANY IS KNOWN IN THE MARKET FOR ITS DIVERSE LINE OF INDUSTRIAL EQUIPMENT UNDER THE BRAND OF THE SAME NAME – BULLDOZERS, PIPE LAYERS AND WHEEL LOADERS ARE PRODUCED BY THE CHEBOKSARY INDUSTRIAL TRACTOR PLANT ("PROMTRACTOR"). THE FIRST TRACTOR CAME OFF THE ASSEMBLY LINE BACK IN 1975. TODAY, OVER 3,000 PIECES OF EQUIPMENT UNDER THE CHETRA BRAND ARE OPERATED IN RUSSIA AND IN MORE THAN 30 COUNTRIES OF THE WORLD

Ключевые слова: *бульдозеры, трубоукладчики, колесные погрузчики, ходовые системы, запасные части, гусеницы, Промтрактор, Чебоксарский агрегатный завод.*

Ирина Малкова,
директор по продажам запасных частей и комплектующих ООО «ЧЕТРА»

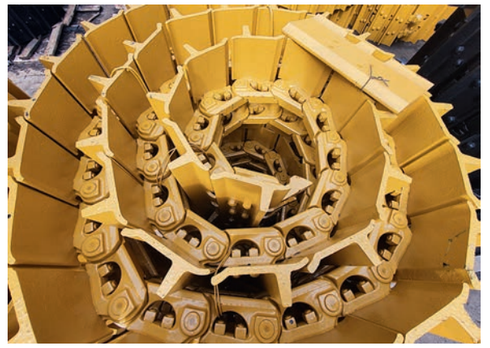
Чувашская земля знаменита еще одним предприятием, выпускающим продукцию для нужд тракторной и автомобильной техники, – это Чебоксарский агрегатный завод, основанный в 1953 году. Завод производит широкий ассортимент запасных частей и ходовых систем под торговой маркой «ЧАЗ» к российской и зарубежной технике. ЧЕТРА является эксклюзивным дистрибьютором продукции этого завода, а также единственной компанией, предлагающей рынку запасные части российского производства для бульдозеров Komatsu D375A-5, D275A-5, Caterpillar D7R/N/T, D9N/R/T, D10 N/R/T, Liebherr PR754, PR764, PR776. При этом, гусеницы и опорные катки к данной технике максимально приближены по конструкции и качеству к оригинальным. Надежность ходовых систем бренда «ЧАЗ» подтверждена опытом эксплуатации на технике при разработке золотоносных и угольных месторождений, карьеров, прокладке трубопроводов, строительстве дорог, в крупных инфраструктурных проектах.

Компания «ЧЕТРА» является эксклюзивным дистрибьютором продукции «Чебоксарского агрегатного завода», который специализируется на серийном изготовлении гусениц и деталей ходовых систем для промышленной, сельскохозяйственной, лесозаготовительной техники зарубежного (Komatsu, Caterpillar, Liebherr, Shantui, Dressta и пр.) и российского производства (ЧТЗ-Уралтрак, ДСТ-Урал и пр.)

Кроме того, компания постоянно проводит комплексные мероприятия по улучшению и обновлению производимой продукции.

Так, с 2013 года ЧЕТРА перешла на разработку и поставку серий гусениц с повышенными потребительскими свойствами – с увеличенными ресурсами по износостойкости основных деталей (звеньев гусеничной цепи, втулок, пальцев, башмаков и уплотнений). Первыми в этой серии были гусеницы А260-22-000сб к бульдозерам Komatsu D275A-5, только появившимся тогда на российском рынке. В них чебоксарский завод применил усиленные замыкающие звенья с многозубым разъемом, что повысило надежность соединения цепи.

Следующими гусеницами стали освоенные в 2016 году СВ240-22-000сб для бульдозеров Caterpillar D9R/N/T, в которых были усилены звенья цепи, в этом году они будут также выпускаться с замыканием многозубыми



На 20–25% компания планирует повысить ресурс гусениц с жидкой смазкой в 2020 году

полузвенками. С начала 2020 года начались поставки гусениц СВ260-22-000сб с повышенными требованиями к закалке их основных деталей, предназначенных для установки на бульдозеры D10N/R/T , эксплуатирующихся как в арктической зоне, так и для работы в тропиках. В этом году компания также планирует начать поставки модернизированной гусеницы КВ280-22-000сб для бульдозеров Komatsu D375A-5, способной благодаря новым импортным уплотнениям в шарнирах цепи с жидкой смазкой и усиленным замыкающим звеньям работать в тяжелых эксплуатационных условиях как на Крайнем Севере, так и в тропиках Африки и Азии. В планах компании до конца текущего года – освоение и гусениц КВ228-22-000сб с многозубым замыканием для бульдозеров Komatsu D155A-5.

Новинкой 2020 года в ассортименте компании ЧЕТРА стали гусеницы А24М-22-1сб, являющиеся модернизацией гусениц с консистентной смазкой шарниров А24-22-1сб для бульдозеров 10-го тягового класса производства ЧТЗ-Уралтрак. В модернизированной гусенице вместо металлических уплотнений применены импортные пластиковые высококачественные уплотнения, обеспечивающие увеличение ресурса работоспособности шарниров гусеницы на 20–25%. Кроме этого, ЧЕТРА для поставки в запасные части расширила ассортимент производимых гусениц, как с жидкой смазкой шарнира, так и с консистентной смазкой для всей линейки выпускаемых бульдозеров и трубоукладчиков. С прошлого года компания ЧЕТРА предлагает модернизированные гусеницы к бульдозерам ДЭТ-250М-2, ДЭТ-320 и ДЭТ-400 – 748-22-000сб с количеством звеньев цепи 55 и 56 штук (одним отрезком вместо шести) и измененным креплением башмаков, что упрощает монтаж и обслуживание гусениц.

Заводы «Промтрактор» и «Чебоксарский агрегатный завод» осуществляют полный цикл производства машин и запасных частей: от проектирования до изготовления узлов и деталей и сборки техники для предприятий нефтегазовой промышленности. Все производимые детали и узлы изготавливаются по самым передовым технологиям на современном оборудовании.

Качество сложных стальных заготовок обеспечивается современным литейным и ковочным оборудованием, применением технологий лазерной

В 3–4 раза ресурсы работы основных узлов ходовых систем «ЧАЗ» превышают свой гарантийный срок

и плазменной резки металла, высокотехнологичными процессами поперечно-клиновой прокатки и накатки заготовок. Основные детали узлов, подверженных сильному абразивному износу и высоким ударным нагрузкам, изготовлены из особых высоколегированных сталей, сопоставимых по своим свойствам известным шведским сталям марки HARDOX. Перед отправкой заказчикам все оборудование и узлы проходят полное тестирование в рабочих режимах под нагрузкой. ●

Keywords: *bulldozers, pipelayers, wheel loaders, running systems, spare parts, tracks, Promtractor, Cheboksary aggregate plant.*

УДК 004

3D-ПЕЧАТЬ
для повышения эффективности малорасходных турбомашин

Бураков Александр Васильевич,
ООО «Компрессор Газ»,
главный конструктор

Перминов Александр Сергеевич,
ООО «Компрессор Газ»,
заместитель главного конструктора

Галеркин Юрий Борисович,
лаборатория «Моделирование технологических процессов и проектирование энергетического оборудования», центр Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» ФГАОУ ВО «СПбПУ»,
главный инженер проекта,
доктор технических наук, профессор

Котлов Андрей Аркадьевич,
Научно-исследовательская лаборатория «Газовая динамика турбомашин» ФГАОУ ВО «СПбПУ»,
старший научный сотрудник,
кандидат технических наук

Левихин Артём Алексеевич,
Балтийский Государственный Технический Университет (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова),
заведующий кафедрой,
кандидат технических наук, доцент

Побелянский Антон Викторович,
Балтийский Государственный Технический Университет (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова),
начальник центра Аддитивных технологий и объемного сканирования

ОДНИМ ИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ РАЗЛИЧНОГО ВИДА ОБОРУДОВАНИЯ ЯВЛЯЕТСЯ СНИЖЕНИЕ СТОИМОСТИ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕЗ УХУДШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК. ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СТОИМОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ АКТИВНО ВНЕДРЯЮТСЯ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ. В СТАТЬЕ ПРЕДЛОЖЕНЫ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОЛЕС, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СНИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ КОЛЕСА БЕЗ СНИЖЕНИЯ ЕГО ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

ONE WAY TO REDUCE THE CAPITAL COSTS OF VARIOUS TYPES OF EQUIPMENT IS TO REDUCE THE COST OF MATERIALS AND MANUFACTURING TECHNOLOGY WITHOUT COMPROMISING PERFORMANCE. TO REDUCE THE COST OF MANUFACTURING TECHNOLOGICALLY COMPLEX PARTS, 3D PRINTING TECHNOLOGIES ARE BEING ACTIVELY INTRODUCED. THE ARTICLE PROPOSES DESIGN METHODS AND METHODS FOR THE MANUFACTURE OF CENTRIFUGAL IMPELLERS, PROVIDING A REDUCTION IN THE MATERIAL CONSUMPTION OF THE IMPELLER WITHOUT REDUCING ITS STRENGTH CHARACTERISTICS

Ключевые слова: *компрессор, центробежное колесо, технология 3D-печати, материалоемкость.*

В настоящее время в газовой, нефтехимической и холодильной промышленности эксплуатируется большое количество компрессорного оборудования для транспортирования газа, циркуляции хладагентов, значительная часть которого относится к центробежным компрессорам. Для повышения эффективности применяемого парка компрессорного оборудования необходимо тщательно исследовать и внедрять во все элементы компрессорной системы конструктивные мероприятия, обеспечивающие снижение капитальных и эксплуатационных расходов.

К способам снижения капитальных затрат помимо повышения эффективности приводов (электрического, газотурбинного, дизельного и т.п.) техники относится снижение стоимости изготовления и снижение стоимости применяемых материалов, либо минимизация используемых дорогих материалов с помощью аддитивных технологий без ухудшения эксплуатационных характеристик оборудования.

Во многих отраслях промышленности вместо деталей из металлов могут применяться детали из полимерных и композиционных материалов, которые обладают достаточными механическими свойствами, не подвержены коррозии, имеют меньшую массу и низкую себестоимость. Для снижения стоимости изготовления технологически сложных деталей и уменьшения количества сборочных единиц в различных технических областях настоящее время активно внедряется технологии 3D-печати.

Эффективное применение технологии 3D печати подразумевает использование разработанных методами цифрового проектирования непосредственно 3D моделей, минуя стадию разработки большого объема классической конструкторской и технологической документации по ЕСКД и ЕСТД, что может сократить сроки и стоимость разработки, изготовления и испытания изделий, однако при этом в ходе цифрового проектирования 3D модели каждой детали и изделия в целом необходимо на стадии выпуска 3D модели проводить многопараметрическую верификацию и топологическую оптимизацию как с точки зрения массогабаритных характеристик, соответствия техническим параметрам, прочности, долговечности, стойкости к внешним воздействиям, так и с точки зрения аддитивности технологии 3D печати.

ФАКТЫ

В 2015 г.
компания GEAviation внедрила в авиационные двигатели, созданные методом 3D-печати

С 855 ДО 12 штук
снизилось количество деталей первого в истории авиационного двигателя, который более чем на треть состоит из компонентов, напечатанных на 3D-принтере

В рамках мирового опыта применительно к турбокомпрессоростроению можно отметить внедрение и использование как отдельных частей компрессора, выполненных методом 3D-печати, так и компрессора целиком.

Например, в 2015 году компания GEAviation внедрила в авиационные двигатели, созданные методом 3D-печати такие детали, как корпус температурного датчика на входе в компрессор и топливную форсунку. При одинаковой прочности оригинала и модели, выполненной на 3D принтере, последняя на 25% оказалась легче [1]. В том же году в Австралии на 3D принтере был напечатан первый в мире действующий реактивный двигатель [2]. Немногим позже миниатюрный турбореактивный двигатель был напечатан компанией GEAviation и представляет собой модифицированную версию силового агрегата, который используется в радиоуправляемых моделях самолетов [3].

В 2017 году компания GEAviation создала первый в истории коммерческий авиационный двигатель, который более чем на треть состоит из компонентов, напечатанных на 3D-принтере. Инженерам удалось снизить количество отдельных деталей с 855 до 12 штук. Данный двигатель был разработан специально

ТАБЛИЦА 1. Газодинамические параметры центробежных гелиевых компрессоров

Параметр	ДКУ-ГЦ 0,52/3,31/3,41 (компрессор №1)	ДКУ-ГЦ 0,15/0,9/1,0 (компрессор №2)
Производительность массовая (кг/с)	0,52	0,15
Давление газа начальное, абс.(МПа)	3,31	0,9
Давление газа конечное, абс. (МПа)	3,41	1,0
Температура начальная (°С)	60	33
Рабочее тело	гелий	гелий
Политропный КПД не менее	0,79	0,79

для пассажирского одномоторного самолета бизнес-класса. Использование такого двигателя уменьшает вес самолета на 5%, что в свою очередь уменьшает расход топлива при сохранении той же скорости [4].

На отечественных предприятиях авиаракетостроения изучаются вопросы аддитивных технологий изготовления ответственных технологически сложных деталей (рабочих колес турбонасосных агрегатов, камер сгорания [5], деталей газотурбинного двигателя [6]) в качестве материалов используются как нержавеющая и жаростойкая сталь, так и титан.

Таким образом, стоит отметить широкое внедрение 3D-печати отдельных деталей и узлов в авиации и турбостроении. Подобную технологию целесообразно использовать в такой динамично развивающейся отрасли, как компрессоростроение.

Одной из актуальных областей применения машин динамического вытеснения с вращающимися рабочими органами, в частности центробежных нагнетателей, является получение сжатого газа низкого давления и перекачка различных газов в газовой, металлургической, атомной, нефтехимической и холодильной промышленности [7].

ФАКТЫ

В 2019 Г.

для атомной промышленности разработаны нестандартные дожимные компрессорные установки

ООО «Компрессор Газ» в 2019г. для атомной промышленности разработало нестандартные дожимные компрессорные установки для циркуляции гелия в охлаждающем контуре без загрязнения среды маслом ДКУ-ГЦ 0,52/3,31/3,41 и ДКУ-ГЦ 0,15/0,9/1,0. Требуемые параметры установок приведены в таблице 1.

Для решения нестандартной задачи и снижения минимального уровня утечек были предложены следующие технические решения [8]:

- погружная схема размещения компрессора с минимальным количеством стыков;
- встроенный высокооборотный электродвигатель для уменьшения размера;
- сухие газодинамические подшипники, для исключения необходимости смазки.

Принципиальная схема погружного центробежного компрессора приведена на рисунке 1.

Вариантный расчет показал, что для компрессора № 1 оптимален одноступенчатый вариант, а для компрессора №2 – двухступенчатый вариант. Оба компрессора с консольным расположением рабочих колес на валу приводного электродвигателя. Все ступени концевого типа с осерадиальными полуоткрытыми рабочими колесами и безлопаточными диффузорами. В связи с незначительным изменением плотности обе ступени

РИС. 1. Схема погружного центробежного компрессора

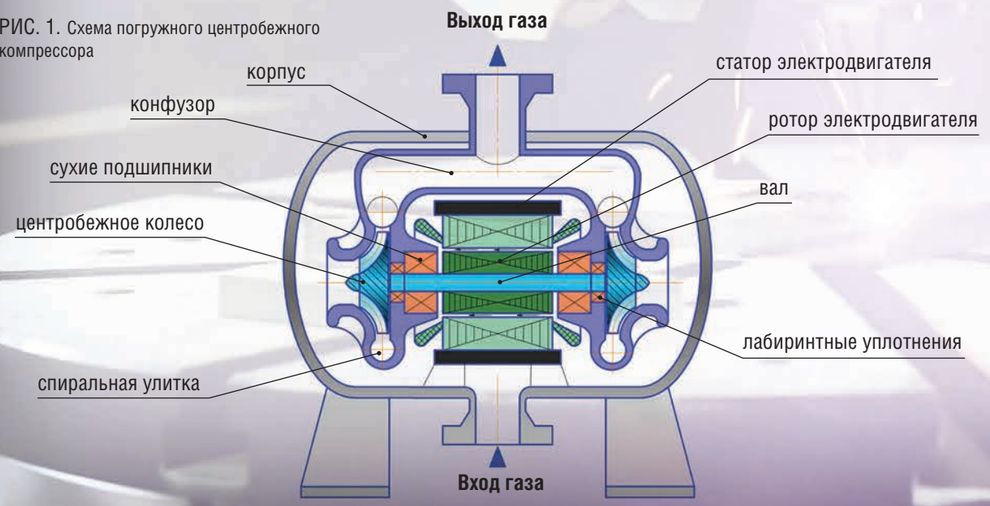


ТАБЛИЦА 2. Результаты предварительного расчета компрессоров

Компрессор	N, кВт	n, об/мин	D_2, мм	$D_{вт}$, мм	u_2, м/с	F_z, Н
№ 1	14	46 700	0,085	21	207	212
№ 2	14	68 000	0,075	18	265	0

компрессора № 2 могут быть идентичными, но с разным направлением вращения.

Исследование вариантов обоих компрессоров показало, что близким к оптимальному может быть решение на основе ступени с параметрами проектирования $\Phi_{расч} = 0{,}095$ и $\psi_{трасч} = 0{,}57$. Расчет с реалистичной оценкой КПД произведен по 6-й версии программы метода универсального моделирования [9].

Необходимо учесть, что осевая сила у компрессора № 1 может создать недопустимую нагрузку на подшипники приводного двигателя. Эта проблема отсутствует у двухступенчатого компрессора № 2 с рабочими колесами, расположенными «спина к спине». Поэтому, такое решение возможно применить и для компрессора № 1, если сделать двухступенчатый вариант или двухпоточный вариант. Результаты расчета компрессоров представлены в таблице 2.

Одним из наиболее нагруженных элементов компрессора является рабочее колесо. При производстве таких колес с использованием аддитивных технологий появляется возможность значительно уменьшить массу, соблюдая условие прочности.

ФАКТЫ

Трехмерная печать

на 3D-принтерах упрощает технологию изготовления колес центробежных компрессоров

РИС. 2. Поля давлений газа в МПа слева, поля температур в °С справа

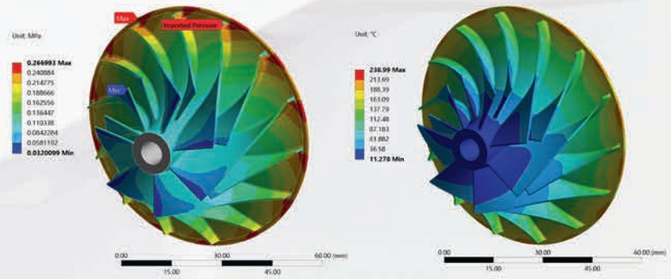
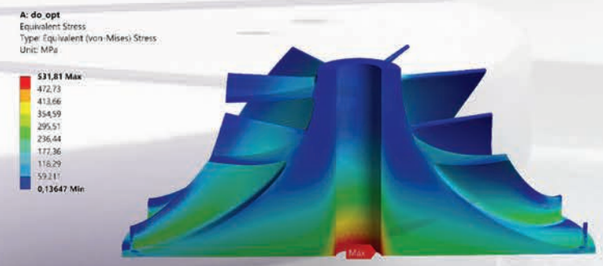


РИС. 3. Распределение напряжений в рабочем колесе до оптимизации



Для максимально полного использования возможностей аддитивных технологий необходимо применять новые подходы к проектированию деталей, один из которых основан на принципах топологической оптимизации. Топологическая оптимизация – это подход к улучшению конструкции, направленный на поиск наилучшего распределения материала в заданной области для заданных нагрузок и граничных условий. Применение топологической оптимизации на этапе проектирования помогает найти вариант дизайна конструкции с наиболее рациональным распределением материала и пустот в объеме, таким образом, заметно снизив его массу [7].

Рассмотрим создание рабочего колеса центробежного компрессора, входящего в состав роторной системы ГТД 100. Масса изделия – 120 г, рабочая частота вращения – 125 000 об/мин. Материал изделия Титан ВТ6.

На рисунке 2 представлен внешний вид колеса компрессора, полученный в результате газодинамического расчета, а также поля давлений газа в МПа и поля распределения температур в град. С, полученные в результате теплового стационарного расчета.

На первом этапе оптимизации в прикладной программе выполнен прочностной расчет исходного изделия по методу конечных элементов от воздействия одной из нагрузок, а именно инерционных сил, вызванными вращением [6]. Результаты расчета приведены на рисунке 3. Максимальное эквивалентное напряжение достигает значения 532 МПа. Перемещения лопастей – 0,14 мм.

На втором этапе, с помощью инструментов топологической оптимизации, определены области детали, которые в меньшей степени участвуют в восприятии нагрузок (см. рисунок 4). В качестве целевой функции выбрана масса детали, ограничения по сохраняемому объему – 50 %.

Из полученного результата топологической оптимизации можно сделать вывод

РИС. 4. Результаты топологической оптимизации

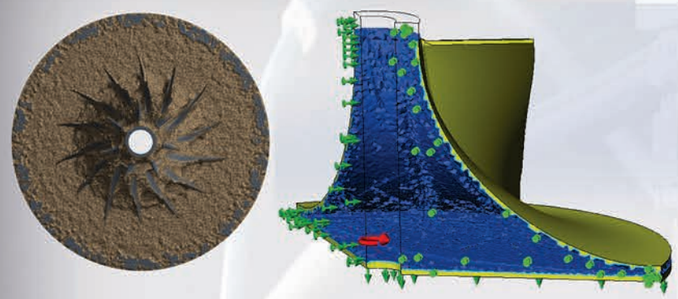
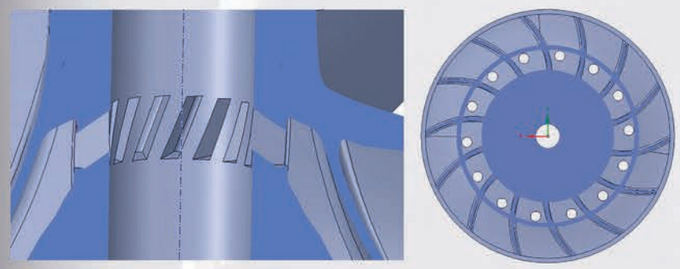


РИС. 6. Результаты топологической оптимизации



о необходимости создания ребер жесткости при удалении области материала. Для решения этой задачи ребра жесткости созданы как продление лопаток до внутренней стенки втулки. Толщина сохраняемой оболочки колеса – 0,3 мм. Необходимо заметить, что топологическая оптимизация

ТАБЛИЦА 3. Сочетание прикладываемых нагрузок

Сочетание нагрузок		
Time 1	**Time 2**	**Time 3**
Давление газа	Давление газа, поле температур	Давление газа, поле температур, угловая скорость

РИС. 7. Результаты расчета оптимизированного компрессора в МПа для сочетаний нагрузок Time 3

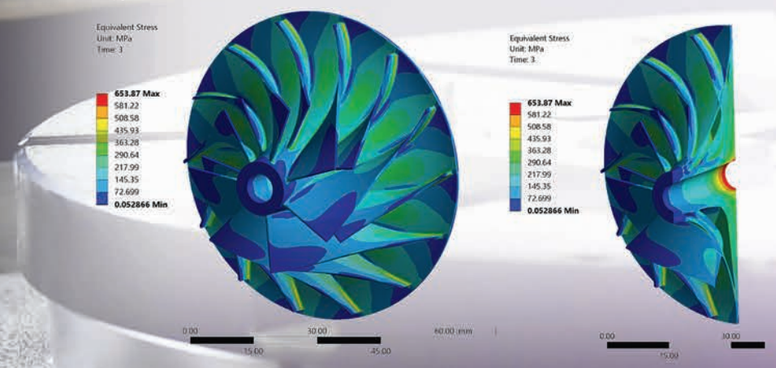


РИС. 5. Геометрия колеса после создания поддержки

является только вспомогательным инструментом при проектировании. Полученная геометрия не является итоговой и нуждается в последующей обработке.

В процессе изготовления оптимизированного колеса при помощи аддитивных технологий необходимо создать дополнительную поддержку для сохранения геометрии наружной оболочки толщиной 0,3 мм. При этом поддержка должна быть выполнена в виде кругового массива для исключения возможного разноса колеса. Структура создаваемой дополнительной геометрии представлена на рисунке 5. Максимальная толщина поддержки – 0,4 мм, длина – 2,1 мм, процент заполнения свободной области – 16%.

На следующем этапе созданы технологические отверстия для продувки металлического порошка после печати. Расположение отверстий на втулке и нижней грани колеса представлены на рисунке 6.

На последнем этапе с целью получения параметров напряженно-деформированного состояния производился расчет на прочность при сочетании всех внешних воздействиях. В процессе эксплуатации на колеса компрессора воздействуют следующие виды нагрузок (см. таблицу 3): давление газа, поле температур, инерционная нагрузка, вызванная вращением.

Максимальные напряжения возникают при полном сочетании нагрузок (сочетание Time 3) и составляют 653 МПа для рассматриваемого колес компрессора рисунок 7.

ТАБЛИЦА 4. Максимальные значения эквивалентных напряжений в МПа для рассматриваемых сочетаний нагрузок компрессора

Сочетание нагрузок		
Time 1	**Time 2**	**Time 3**
14,6	84,4	653

ТАБЛИЦА 5. Максимальные значения компонентов перемещений в мкм по абсолютной величине для рассматриваемых сочетаний нагрузок модификации компрессора

Перемещение	Сочетание нагрузок		
	Time 1	**Time 2**	**Time 3**
Радиальное	0.5	44.9	103.9
Угловое	7.5	14.7	38.9
Осевое	6.4	32.0	106.5
Суммарное	9.9	54.0	150

С учетом опасных напряжений, равных пределу текучести материала, коэффициенты запаса будут равны 1,5, тем самым условия прочности выполнены. Анализ сочетания нагрузок, представленных в таблице 4 показывает, что наибольший вклад максимальных в напряженное состояние дает инерционная нагрузка, вызванная вращением колеса компрессора.

Компоненты перемещений при сочетании нагрузок Time 1, Time 2, Time 3 представлены в таблице 5. Необходимо отметить, что наличие полостей приводит к увеличению радиальных перемещений свыше 100 мкм, однако при этом происходит существенное уменьшение осевых и угловых перемещений.

ФАКТЫ

П-66

наиболее подходящий по физическим свойствам полиамид из всех полимеров

РИС. 8. Результат изготовления рабочего колеса центробежного компрессора

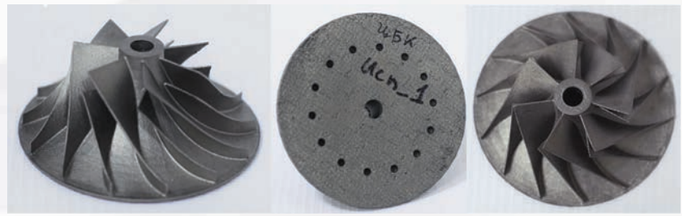
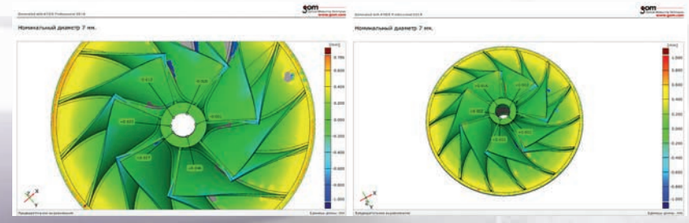


РИС. 9. Фото полей отклонения сканированного колеса компрессора вид сверху



После проектирования и оптимизации данное рабочее колесо центробежного компрессора было изготовлено для дальнейшего испытания. Результат изготовления колеса представлен на рисунке 8.

Оценку отклонения от номинальных размеров деталей в труднодоступных для контроля линейными средствами измерения местах позволило провести оптическое 3D-сканирование. Постобработка результатов сканирования в программном комплексе позволила построить поля отклонений фактических размеров по сравнению с исходными компьютерными моделями (см. рисунок 9) [10, 11, 12, 13]. Измерение параметров шероховатости поверхности производилось прибором для контроля шероховатости W10 Hommel-Etamic. Анализ результатов показал, что параметр шероховатости поверхности существенно изменяется в зависимости от точки замера. Несмотря на это, средние показатели изменения шероховатости поверхности необработанных поверхностей являются относительно стабильной величиной и составила R_a = 2,5 мкм.

Анализ уровня качества полученных 3D-печатью деталей позволил сделать следующие выводы:

- значение шероховатости поверхностей и точность образцов соответствует чистовой механической обработке, при этом может потребоваться минимальная механическая обработка высокоточных поверхностей;
- сложность конфигурации практически неограниченна [5];
- не требуется изготовление технологической оснастки и приспособлений.

Таким образом, при изготовлении конструкций средней и низкой точности полученная 3D-печатью заготовка может быть использована как готовая деталь без уточняющей механической обработки. Область применения метода 3D-печати – это изготовление заготовок для единичного и мелкосерийного производства, где его конкурентоспособность очевидна.

Рассмотренный алгоритм проектирования позволяет создавать детали и элементы конструкции компрессоров для последующего производства с использованием аддитивных технологий. Для изготовления центробежных колес учитывая небольшой размер и геометрию целесообразно использовать метод 3D печати, с применением аналогичных внутренних продольных и поперечных ребер.

Взаимопересекающиеся продольные и поперечные ребра обеспечивают прочность деталей от воздействия изгибающих нагрузок, скручивающих нагрузок, внешнего давления. Толщина ребер и внешней стенки ротора выбирается исходя из соображений технологичности и предотвращения потери устойчивости.

За счет производства колес центробежных компрессоров методом трехмерной печати на 3D-принтерах достигается упрощение технологии изготовления. Могут быть использованы следующие технологии трехмерной печати: моделирование методом наплавления; лазерная стереолитография; селективное лазерное спекание; электронно-лучевая плавка.

При выборе материала руководствуются следующим: обеспечение надежной работы; наименьшая стоимость материала; наилучшие условия обработки; физические свойства сжимаемой среды [14].

Колеса центробежных компрессоров могут быть созданы из металла, полимера, композита, или иного сплава, пригодного для трехмерной печати. Основным же материалом для изготовления служат различные марки стали. При этом даже если используемый материал печати имеет низкие механические свойства, по расчету подбираются необходимый размер, количество и конфигурация внутренних ребер. Из всех полимеров наиболее подходящим по физическим свойствам является полиамид П-66, который имеет наиболее высокую температуру плавления, что позволяет использовать его для изготовления деталей, устойчивых к высоким температурам.

Данное техническое решение позволяет обеспечить требуемые рабочие параметры нагнетателя при снижении массы колес, низкую стоимость изготовления, избавиться от подгонки, доводочных операций, обеспечить стабильность размеров и параметров колес и их полную взаимозаменяемость.

За счет использования эффективного внутреннего оребрения взаимопересекающимися продольными и поперечными ребрами обеспечивается прочность колес от воздействия изгибающих нагрузок, скручивающих нагрузок, внешнего давления. Помимо этого, масса колес может быть снижена в 4–6 раз, что уменьшит массу всего компрессора в целом.

Таким образом, предложенное эффективное применение 3D-печати для изготовления деталей может применяться не только в роторных нагнетателях низкого давления, но и при изготовлении центробежных колес холодильного компрессорного оборудования что позволяет уменьшить эксплуатационные затраты и снизить стоимость компрессоров.

Литература

1. *Apr 14, 2015 by Tomas KellnerThe FAA Cleared the First 3D Printed Part to Fly in a Commercial Jet Engine from GE [Электр. ресурс]. URL: https://www.ge.com/reports/post/116402870270/the-faa-cleared-the-first-3d-printed-part-to-fly-2/(дата обращения: 28.01.2020).*
2. *В США реактивный двигатель «напечатали» на 3D-принтере. [Электр. ресурс] URL: https://www. dialog.ua/news/55451_1431709113 (дата обращения: 22.09.2018). https://www.turbodynamics.co.uk/media/blog/3d-printed-turbocharger.*
3. *На 3D-принтере впервые напечатали реактивный двигатель. [Электр. ресурс] URL: https://lenta.ru/news/2015/02/26/jetprinted/ (дата обращения: 22.09.2018).*
4. *Мэтью Ван Дюсен. 3D-печатный самолетный двигатель GE будет запущен в этом году. [Электр. ресурс] URL: https://www.ge.com/reports/mad-props-3d-printed-airplane-engine-will-run-year/ (дата обращения: 22.09.2018).*
5. *Каминский Я.В., Левихин А.А. Разработка камеры сгорания ЖРД малой тяги с применением аддитивных технологий // В сборнике: Молодежь. Техника. Космос труды X Общероссийской молодежной научно-технической конференции. Сер. «Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ». 2018. № 49. С. 218–222.*
6. *Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications, Release 16.2, 2016*
7. *J. H. Zhu, W. H. Zhang, and L. Xia, Topology optimization in aircraft and aerospace structures design, Archives of Computational Methods in Engineering, 2015.*
8. *Патент на полезную модель №194782 СПК F04D 17/08. Центробежный компрессорный агрегат [Текст] /Кузнецов Л.Г., Кузнецов Ю.Л., Бураков А.В., Перминов А.С., опубликован 23.12.2019. Бюллетень № 36.*
9. *Galerkin Y., Soldatova K. Universal modeling method application for development of centrifugal compressor model stages. International Conference on Compressors and their Systems. London. City University. – UK. – 2013. – P. – 477–487.*
10. *Андрюшкин А.Ю., Левихин А.А., Галинская О.О., Михайлов К.Н. Точность размеров и шероховатость поверхностей полученных послойным лазерным сплавлением деталей из жаропрочных никелевых сплавов // В сборнике: Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды десятой общероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 48–53.*
11. *Бобров А.А., Побелянский А.В. Изготовление образцов, полученных методом селективного лазерного плавления на установке отечественного производства // Молодежь. Техника. Космос: труды XI Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т. 1 / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.: 2019. С. 117–122.*
12. *Киршина А.А., Киршин А.Ю., Побелянский А.В. Исследование влияния режимов печати на пористость поверхности образцов, изготовленных методом аддитивного производства // Уткинские чтения: труды общерос. науч.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2019. – С. 457–463. ISBN 978-5-907054-67-07.*
13. *Патент на изобретение №2688098 МПК B33Y 10/00. Способ лазерного послойного синтеза объемных изделий из порошков[Текст] /Андрюшкин А.Ю., Афанасьев Е.О., Селищев П.А., Бируля М.А, Богомолов П.И., Левихин А.А., Побелянский А.В., Михайлов К.Н. Заявитель и патентообладатель: БГТУ «ВОЕНМЕХ». Заявка: 2018129403 от 10.08.2018, опубликован 17.05.2019. Бюллетень № 14.*
14. *Андрюшкин А.Ю., Левихин А.А., Преображенская М.А., Галаджун А.А. Материаловедческие аспекты повышения прочностных свойств полученных послойным лазерным сплавлением деталей из жаропрочных никелевых сплавов // В сборнике: Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды десятой общероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 53–57.*

Keywords: *compressor, centrifugal impeller, 3D printing technology, material consumption.*

SIEMENS
Ingenuity for life

Realize
LIVE

РЕКЛАМА

Форум Realize LIVE Russia 2020
25-26 мая, Москва

www.siemens.com/plm/ru/realizeliverussia

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РАБОТНИК

УДК 62

СПЕЦИАЛИСТЫ РОССИЙСКОЙ КОМПАНИИ «РМ-ИННТЕХНО» РАЗРАБОТАЛИ НОВУЮ МОДЕЛЬ ВАКУУМНО-НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ УВН-5 С УНИКАЛЬНЫМ НАБОРОМ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК. КАК ЭТО ОБОРУДОВАНИЕ МОЖЕТ ЗАМЕНИТЬ СОБОЙ НЕСКОЛЬКО МАШИН И ЧЕМ МОЖЕТ ПОМОЧЬ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧС?

SPECIALISTS OF THE RUSSIAN COMPANY "RM-INNTECHNO" HAVE DEVELOPED A NEW MODEL OF VACUUM-COMPRESSION PLANT UVN-5 WITH A UNIQUE SET OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS. HOW CAN THIS EQUIPMENT REPLACE SEVERAL UNITS AND HOW CAN IT HELP AS EMERGENCY RESPONSE?

Ключевые слова: *вакуумно-нагнетательная установка, ликвидация чрезвычайных ситуаций, перекачивающая станция, гидроразмывочная машина, спецтехника.*

Райский Роман Николаевич,
директор
ООО «РМ-ИННТЕХНО»

Новая установка «РМ-ИННТЕХНО» – УВН-5 одна может заменить собой пять агрегатов различного назначения: машину для сбора жидкости, перекачивающую станцию, вакуумную, илососную и гидроразмывочную машины. При этом ее цена очень выгодна, установку просто и дешево обслуживать. Все агрегаты могут быть смонтированы на любом шасси по желанию заказчика.

Ряд технических характеристик делают эту машину уникальной. Во-первых, у нее огромный радиус действия. Она способна выкачивать жидкости с глубины до 80 м, для чего оснащена специальным погружным снарядом.

А по горизонтали она может растягивать входящие в состав стандартного оборудования УВН-5 рукавные линии на расстояние до 150 м. Отметим, что цистерна установки усилена для того, чтобы успешно действовать в сложных условиях работы.

УВН-5 объединяет функции машины для сбора жидкости, перекачивающей станции, вакуумной, илососной и гидроразмывочной машин

Во-вторых, машина способна одновременно собирать жидкость в свою цистерну и перекачивать ее в другие емкости под давлением. Большинство же конкурирующих с УВН-5 установок способны разгружаться только самотеком. В лучшем случае они оборудованы подъемным устройством, наклоняющим цистерну наподобие самосвального кузова, чтобы облегчить слив остатков иловой смеси и высоковязких продуктов.

Еще одно преимущество УВН-5 – весьма невысокие требования к степени очистки перекачиваемой субстанции. Шламовый насос, предназначенный для этой работы, может без ущерба пропускать через себя механические примеси размером до 12 мм. К тому же машина оборудована системой фильтрации механических примесей размером до 2–3 мм. Кстати, это позволяет при необходимости вести гидроразмыв препятствий непосредственно перекачиваемой смесью без дополнительных источников жидкости. А конкурирующие установки, как правило, оснащены дополнительными плунжерными насосами высокого давления, которые очень требовательны к чистоте рабочей среды. Приходится устанавливать на машины дополнительные резервуары с чистой водой, уменьшая объем основной транспортной емкости.

Вакуумный насос отечественного производства проще по конструкции, а также более прост и дешев в обслуживании

Придирчивый заказчик может обратить внимание на относительно невысокую производительность отечественного вакуумного насоса. Но это не является недостатком. Самый простой вакуумный насос может успешно создать максимальный вакуум 0,95, как и высокопроизводительный аппарат, и с лихвой перекрыть обычный рабочий диапазон вакуумных машин: от -0,6 до -0,8. Единственное преимущество высокопроизводительного вакуумного насоса заключается в том, что при разрыве струи закачиваемой жидкости разряжение в рабочей емкости резко падает, но мощность насоса позволяет быстрее восстановить рабочие параметры. Можно, конечно, удивить потенциального покупателя, засосав в цистерну песок, щебень или другой сыпучий материал. Но это лишь рекламный трюк, не имеющий практического значения, что актуально, скажем, для муковоза или цементовоза. Зато работающий в гораздо менее напряженных условиях насос реже ломается, он проще по конструкции и его легче и дешевле обслуживать.

Уникальный комплекс характеристик позволяет машине УВН-5 решать широкий круг задач. Она способна собирать, транспортировать и перекачивать различные жидкости с избыточным давлением. Причем это могут быть очень вязкие субстанции типа нефти или иловой смеси. Ей по силам даже поработать насосно-рукавной станцией на тушении пожаров, забирая воду из далеко расположенных или находящихся существенно ниже места установки машины источников даже со сложной береговой линией.

Она может быть полезна при ликвидации последствий прорыва трубопровода или паводка. Может вести гидроразмыв засоров и других препятствий перекачиваемой жидкостью без ее очистки и подготовки. Наконец, способна откачать из аварийного резервуара любую жидкость, предотвратив тем самым ее разлив.

Несложно заметить, что большинство таких задач приходится решать сотрудникам МЧС России при ликвидации последствий ЧС природного и техногенного характера. Представители ряда территориальных главков министерства уже провели испытания установки УВН-5 в условиях, приближенных к боевым, и выдали положительное заключение о ее возможностях.

Keywords: *vacuum pumping unit, emergency response, pumping station, hydraulic washing machine, special equipment.*

РМ-ИННТЕХНО
Инновации в технологиях

117393 г. Москва,
ул. Академика Пилюгина, д.12, корп. 1,
помещ. 15, комн. 3М
+7 (499) 372-12-04
www.uvnnd.ru

ЮБИЛЕЙНАЯ ВЫСТАВКА «НЕФТЕГАЗ-2020» – главное событие для специалистов отрасли

УДК 061

В 2020 ГОДУ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «НЕФТЕГАЗ» ПРОЙДЕТ С 13 ПО 16 АПРЕЛЯ В ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР» И ОТПРАЗДНУЕТ 20-ЛЕТНИЙ ЮБИЛЕЙ. СОВМЕСТНО С ВЫСТАВКОЙ СОСТОИТСЯ НАЦИОНАЛЬНЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ ФОРУМ – С 14 ПО 16 АПРЕЛЯ

IN 2020, THE INTERNATIONAL EXHIBITION "NEFTEGAZ" WILL BE HELD FROM APRIL 13 TO APRIL 16 AT THE CEC "EXPOCENTRE" AND WILL CELEBRATE ITS 20TH ANNIVERSARY. TOGETHER WITH THE EXHIBITION, THE NATIONAL OIL AND GAS FORUM WILL BE HELD FROM APRIL 14 TO APRIL 16, RESPECTIVELY

Ключевые слова: *выставка, Нефтегаз-2020, Форум, топливно-энергетический комплекс, Экспоцентр.*

Организаторами выставки выступают АО «Экспоцентр» и компания «Мессе Дюссельдорф ГмбХ» (Германия) при поддержке Министерства энергетики РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Российского союза промышленников и предпринимателей, Российского газового общества, Союза нефтегазопромышленников России, Союза машиностроителей Германии (VDMA), под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ. Организатор форума – ООО «Национальный нефтегазовый форум».

Среди наших участников вас будут ждать: «Альбатрос», «АРТ-Оснастка», «Борхиммаш», «Буринтех», «Вэлан», ПАО «Газпром»,«КуйбышевТелеком-Метрология», «Нефтесервисприбор», «НКМЗ Групп», «НПО МИР», «НПП Сенсор», «НТА-Пром», «НПФ ПАКЕР», «Объединенная металлургическая компания», «Орелкомпрессормаш», «ПИ ЭМ АЙ Системс», «Татнефть», «ТОТАЛ ВОСТОК», «Транснефть», «Трубная металлургическая компания-ТМК», «Феникс Контакт Рус», «ЧЭАЗ», ARTVIK, Inc, JUMO GmbH & Co. KG, Roxtec International AB, Siemens, VEGA Grieshaber KG, Weidmüller Interface GmbH & Co. KG, Yantai Jereh Petroleum Equipment& Technologies Co., Ltd., и другие. С полным предварительным списком участников вы можете ознакомиться на сайте выставки (www.neftegaz-expo.ru).

Спонсорами выставки выступают такие компании, как:

ООО «НТА-Пром», ООО «Феникс Контакт РУС», ООО «НПО-МИР», ООО «Прософт-Системы», ООО «СИМЕНС», АО «ЭНЕРГОМАШ», АО «ТЕККНОУ», ООО «Чебоксарская Электротехника и Автоматика», ООО «Синтек», ООО «Акрос», АО «Чебоксарский Электроаппартный завод», PMI-Systems, АО «АРТ-оснастка», АО «ТРЭМ-Инжиниринг», ОАО «САСТА», УК ООО «ТМС групп».

Выставка «Нефтегаз» каждый год подтверждает свою эффективность среди участников и посетителей. Согласно результатам независимого опроса исследовательского центра «Ромир»*:

- 75% экспонентов достигли на выставке поставленных целей по установлению новых деловых контактов и продвижению своих решений,
- 69% – выполнили или перевыполнили планы по расширению клиентской базы, увеличению объемов продаж,
- 93% посетителей высоко оценили результативность посещения выставки,
- 86% – нашли на выставке новых поставщиков, а 30% – намерены осуществить закупки по итогам выставки,
- 87% экспонентов и 95% посетителей готовы рекомендовать выставку своим деловым партнерам и коллегам,
- 38% посетителей впервые пришли на выставку «Нефтегаз» в 2019 году,
- 10% посетителей бывают только на выставке «Нефтегаз» – вы не встретите их на других выставках.

Выставку «Нефтегаз» ежегодно посещают 7100 руководителей и топ-менеджеров нефтегазодобывающих и перерабатывающих компаний, поставщиков нефтепродуктов, нефтехимических предприятий, организаций, занятых в ТЭК и смежных отраслях.

Национальный нефтегазовый форум нацелен на освещение широкого спектра актуальных вопросов, для этого в программе предусмотрены различные форматы коммуникации между участниками: круглые столы, форсайт-сессии, практические семинары, технологические конференции и панельные дискуссии.

В рамках Форума будут затронуты такие темы, как: цифровизация ключевых производственных процессов, импортозамещение и локализация, кадровая трансформация и роль человека в эпоху роботизации, обеспечение промышленной безопасности на предприятиях ТЭК, развитие газовой отрасли и СПГ, модернизация переработки нефти, совершенствование системы нормативно-правового регулирования, поиск новых месторождений, экспортный потенциал высокотехнологичной продукции нефтегазового машиностроения, технологическое партнерство и новые возможности международного сотрудничества в условиях геополитических ограничений, а также развитие научно-технической базы. Более подробно с архитектурой деловой программы вы можете ознакомиться на официальном сайте ННФ: http://oilandgasforum.ru/.

Ежегодно мероприятия выставки «Нефтегаз» и Национального нефтегазового форума посещают свыше 20 000 специалистов и делегатов, среди которых представители отраслевых министерств и ведомств, топ-менеджеры нефтегазовых и машиностроительных компаний, лидеры экспертных мнений профильных союзов и ассоциаций, ключевые аналитики финансового сектора и консалтинговых компаний, а также корреспонденты ведущих средств массовой информации.

Получить билет на Выставку «НЕФТЕГАЗ» можно на сайте выставки www.neftegaz-expo.ru. Регистрация открыта. ●

Keywords: *exhibition, Neftegaz-2020, Forum, fuel and energy complex, Expocenter.*

* *по итогам выставки «Нефтегаз-2019».*

Отзывы участников и гостей о выставке «Нефтегаз»:

Генадий Шмаль, президент Союза нефтегазопромышленников России:

«Нефтегаз» играет колоссальную роль в экономике нашей страны. Такие выставки нужны для того, чтобы показать, что мы сделали за год, тем более сейчас. Уже пять лет мы находимся в условиях санкций, но несмотря на них нефтегазовый комплекс работает успешно, устойчиво. Каждый год – небольшой, но рост.

Каждый год на выставке появляется что-то новое. И каждый год мы можем говорить о том, что есть движение вперед. На выставке и на Национальном нефтегазовом форуме задача одна – найти наиболее правильные и эффективные пути решения существующих проблем, связанных с трудноизвлекаемыми запасами, нефтепереработкой, нефтехимией. Нужны новые технологии. Каждая выставка – это определенный шаг вперед. Благодаря «Экспоцентру» появилось много нового и интересного. Сегодня это магистральный путь нашего дальнейшего технологического и технического развития.

Алексей Ерохин, заместитель министра экономического развития Алтайского края:

Алтайский край – не только сельскохозяйственный и туристический регион, но и промышленный. Традиционно у нас развивалась химическая промышленность, металлообработка, производство композиционных материалов. У нас очень широкие компетенции в нефтегазовой сфере. Мы издали каталог Алтайского края, куда вошли все наши предприятия, начали выступать на различных нефтегазовых выставках.

Выставка «Нефтегаз-2019» нам очень понравилась. Она показала заинтересованность экспертного сообщества в новых идеях и материалах. Количество экспертов на этой выставке гораздо больше, чем на других.

Антон Макаревич, старший инженер по применению продукции ООО «ПРОСОФТ-СИСТЕМЫ»:

Наша компания участвует в выставке «Нефтегаз» с 2008 года. Эта выставка профильная для нас, мы постоянный ее участник. Она всегда проходит продуктивно.

«Нефтегаз» – крупнейшая выставка, которая раз в год проходит в Москве, поэтому хотелось бы на ней максимально рассказать о себе, пообщаться с коллегами.

Живое общение ничем не заменить. Мы делаем свой стенд для наших заказчиков, для партнеров. Здесь можно посмотреть и обсудить новинки. На стенде всегда присутствуют руководители высшего звена и технические специалисты, чтобы продуктивно провести встречи. Интересно также посмотреть перспективные разработки наших коллег и партнеров. Выставка – это очень важное и нужное событие. Будем участвовать и дальше. У нас есть ряд перспективных разработок».

ПЕССИМИСТИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ В РОССИИ ЗАМЕДЛЯЮТ ИНВЕСТИЦИИ И ЭКОНОМИКУ

The New York Times

Эндрю Крамер

Политика накопления резервов и борьба с инфляцией обеспечили российской экономике черепашьи темпы развития. В феврале правительство доложило, что ВВП в 2019 г. вырос всего на 1,3%, в то время как в предыдущем – на 2,5%. Во всем обвинили бюрократов, которые медлят с расходованием средств. Прошло шесть лет с тех пор, как в рамках санкций России был ограничен доступ к банкам Запада, а цены на нефть опустились до исторического минимума. Нынешние темпы роста указывают на то, что российская экономика движется медленно, натыкаясь на такие преграды, как низкий уровень частных инвестиций и дающая сбои государственная бюрократия, которая господствует в главных российских отраслях. Но по многим другим меркам экономика страны кажется вполне здоровой. Правительство хвастается большими валютными резервами, успехами в борьбе с инфляцией и профицитом бюджета за прошлый год. Но как это ни парадоксально, экономисты видят проблему как раз в бюджетном профиците. Нежелание государства тратить деньги на экономическое стимулирование подает сигнал частному сектору. Никто не хочет вкладывать деньги, никто не верит, что завтра экономическое положение будет лучше, чем сегодня. С тех пор как Россия в 2014 г. стала проводить более агрессивную внешнюю политику, средние показатели роста экономики составляют 0,7% в год, включая два года рецессии.

ФИННЫ ПРЕДЛАГАЮТ ВКЛЮЧИТЬ ЮГО-ВОСТОЧНУЮ ФИНЛЯНДИЮ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГ В ОСОБУЮ ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЗОНУ

Uutisvuoksi

Юхо Майяла, Яана Хяннинен

На юго-востоке Финляндии эта идея появляется не впервые. Проект предполагает создания ОЭЗ, в которой можно было бы облегчить перемещение людей, инноваций, товаров и услуг. Юго-Восточная Финляндия и Санкт-Петербург расположены между Евросоюзом и странами СНГ. В рамках программы ЕС по приграничному сотрудничеству Россия, Финляндия и Евросоюз могли бы запустить в предстоящий период пилотный проект, задачей которого стала бы

подготовка экономической зоны с необходимыми законодательными и торговыми договоренностями. Росту товарооборота сейчас многое мешает. Например, осуществлять переводы инвестиций из России в Финляндию стало очень сложно. В регионе можно было бы ввести безвизовый режим, также нужно создать такую модель финансирования, при которой система сертифицирования, в частности компаний, занятых в сфере высоких технологий, облегчала бы их выход на рынки обеих сторон.

ДЛЯ ВОДОРОДНОЙ СТРАТЕГИИ АЛЬТМАЙЕРУ НУЖНО ЕЩЕ БОЛЬШЕ ГАЗА ИЗ РОССИИ

DIE WELT

Феликс Айк

Споры вокруг газопровода «Северный поток-2» не утихают. Но, несмотря на санкции, немецкий министр экономики П. Альтмайер не намерен отказываться от российского газа. По его словам, в будущем газа понадобится даже больше, чем сейчас.

П. Альмайер намерен вопреки существующим санкциям развивать экономические связи с Россией. Как сказал министр, несмотря на неразрешенные конфликты, связанные с аннексией Крыма, «вновь возникла надежда на развитие отношений в больших политических вопросах». Он выразил сожаление, что санкции США расширились. По словам Альтмайера, сейчас ведутся переговоры с американцами с целью избежать негативных последствий для немецких компаний. Он подчеркнул также значение российского газа для энергоснабжения Европы. «Нам понадобится не меньше, а больше газа», – сказал министр, имея в виду планируемый отказ от использования угля.

Потребность в газе, по его словам, не уменьшится и при переходе на возобновляемые источники энергии.

Подписка на Деловой журнал Neftegaz.RU

Вы можете искать статьи и материалы по определенным темам и рубрикам, читать экспертные мнения, обсуждать и добавлять в закладки интересное, формируя личную библиотеку интересов

Подписной пакет	Количество номеров	Цена, ₽
Печатная + Электронная (PDF) + Online-версия журналов (доступ к интерактивным статьям)		
1 номер 2020 г.	1	1 590
I полугодие 2020 г.	8	15 990
II полугодие 2020 г.	7	13 990
Годовая подписка на 2020 г.	15	29 980
Online-версия журналов (доступ к интерактивным статьям)		
1 статья номера 2020 г.	–	190
1 номер 2020 г.	1	990
I полугодие 2020 г.	8	6 990
II полугодие 2020 г.	7	5 990
Годовая подписка на 2020 г.	15	12 980
Печатная + Электронная (PDF) версия журналов		
1 номер 2020 г.	1	1 290
I полугодие 2020 г.	8	9 990
II полугодие 2020 г.	7	8 990
Годовая подписка на 2020 г.	15	18 980
Электронная (PDF) версия журналов		
1 номер 2020 г.	1	290
I полугодие 2020 г.	8	1 990
II полугодие 2020 г.	7	1 890
Годовая подписка на 2020 г.	15	3 980

Подписаться на журнал можно:

Отдел подписки журнала Neftegaz.RU
+7 (495) 650-14-82
subs@neftegaz.ru

Быстрая подписка на издания и его форматы через личный кабинет (печатная версия | электронная версия [PDF] | онлайн-версия)

Межрегиональное агентство подписки (МАП) | подписной индекс 11407

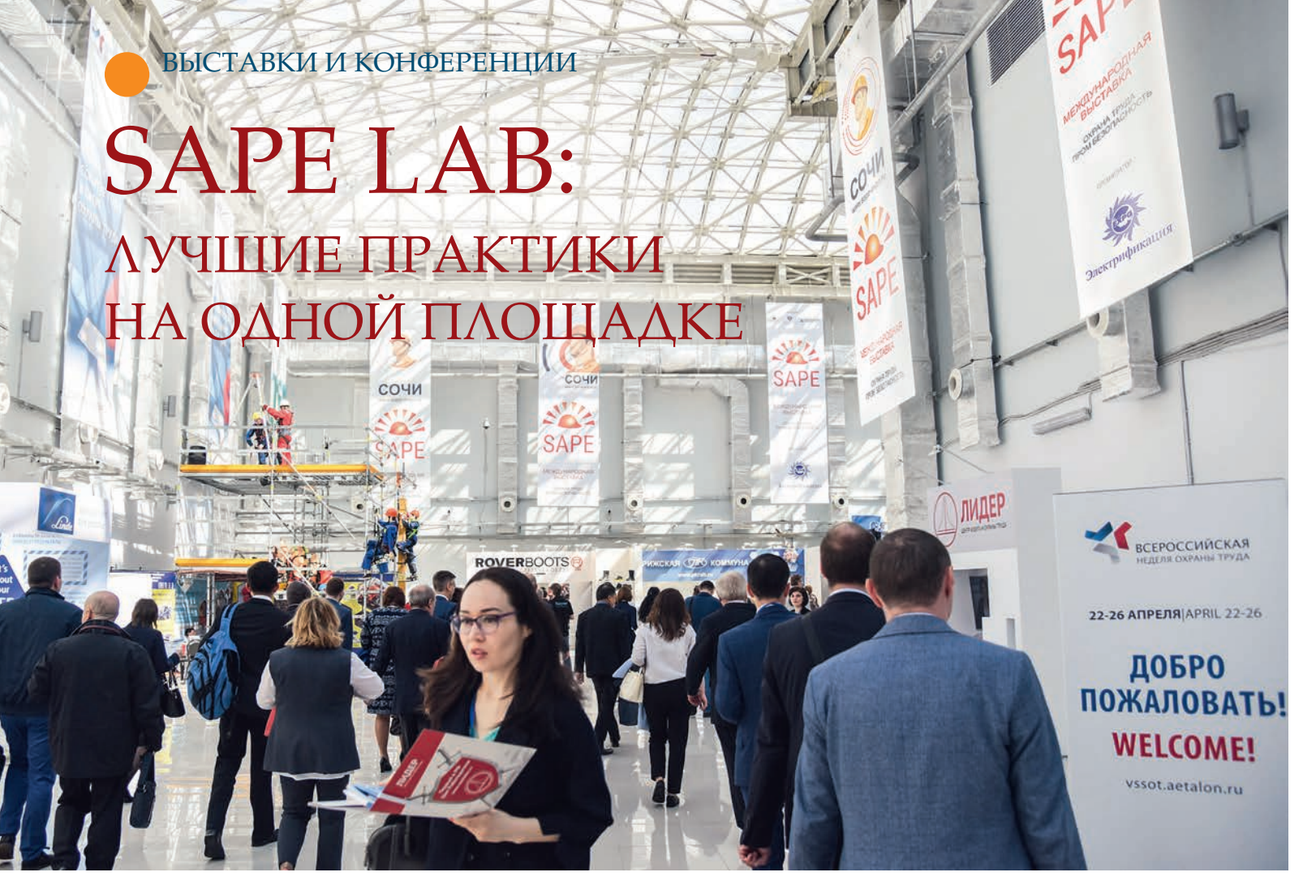
Подписное агентство (Урал-Пресс) | подписной индекс 80627

Для корпоративных клиентов — индивидуальные условия!

МЫ ДЕЛАЕМ ВСЁ ДЛЯ УДОБСТВА НАШЕЙ АУДИТОРИИ!

127006, г. Москва, ул. Тверская, д. 18, стр. 1, оф. 812

+7 (495) 650-14-82, 694-39-24 pr@neftegaz.ru



SAPE LAB:
ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ НА ОДНОЙ ПЛОЩАДКЕ

УДК 061

В ВЕК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, КОГДА РАЗРАБОТКИ ШАГНУЛИ ДАЛЕКО ВПЕРЕД, СФЕРА ОХРАНЫ ТРУДА НЕ МОГЛА ОСТАТЬСЯ В СТОРОНЕ. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫВАЮТ НОВУЮ ЭРУ РАЗВИТИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТРУДА И ОХРАНОЙ ЗДОРОВЬЯ, ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ ЗА НИМИ

IN THE AGE OF INFORMATION TECHNOLOGIES, WHEN DEVELOPMENTS HAVE STEPPED FAR FORWARD, THE FIELD OF OCCUPATIONAL SAFETY COULD NOT REMAIN ASIDE. DIGITAL TECHNOLOGIES OPEN A NEW ERA OF DEVELOPMENT IN THE FIELD OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH MANAGEMENT, OCCUPATIONAL RISKS AND IMPROVING THE QUALITY OF CONTROL OVER THEM

Ключевые слова: *цифровизация, профессиональные риски, охрана труда, промышленная безопасность, спецодежда.*

Раиса Бояхчян,
менеджер отдела по связям с общественностью АО «Электрификация»

Международная выставка по промышленной безопасности и охране труда SAPE поддерживает мировые тренды цифровизации и умных технологий. Более чем за 10-летнюю историю проведения выставка выросла из узкопрофильной экспозиции в масштабную платформу для презентации инновационных продуктов линейки спецодежды и СИЗ для специалистов различных отраслей промышленности.

Впервые в 2020 году на выставке появится интерактивная технологическая зона SAPE LAB, концентрирующая лучшие практики и новинки в области технологий сохранения жизни и здоровья работников на производстве. Уникальная площадка даст экспонентам возможность презентовать свои проекты в любом удобном для них формате, услышать мнение коллег и потенциальных заказчиков, воочию показать и протестировать все преимущества продукта. Среди основных тематик площадки: «Осознанная безопасность на производстве», «Интеллектуальное управление системами комплексной безопасности», «Видеоаналитика как надежный инструмент выявления и анализа систематических нарушений с целью достижения нулевого травматизма», «Промышленные решения на базе VR/AR-технологий» и др.

Министерством труда Российской Федерации выделено несколько сфер в отрасли, где использование цифровых технологий может быть наиболее эффективным: контроль за безопасным производством работ и условиями труда, контроль за состоянием здоровья работников, документирование процедур в сфере охраны труда и подготовка работников по охране труда.

Экспоненты SAPE, поддерживая данный вектор развития, активно внедряют собственные smart-разработки в производство. Тем самым, уверенно развивая сферу охраны труда и повышая ее значимость на государственном уровне.

Так, постоянный участник SAPE, резидент инновационного центра «Сколково», компания ВИЗИТЕК занимается разработкой программных продуктов для промышленных объектов. В этом году компания представит на выставке свое отраслевое коробочное решение «Электронный наряд-допуск» для нефтегазовой отрасли. Программа позволяет решать ключевые вопросы безопасности в электронном формате, минимизируя риски и экономя время.

Также ВИЗИТЕК представит модуль системы ИСОБР «Управление персоналом и подрядчиками», который предполагает наличие цифрового паспорта сотрудника и геопозиционирование для обеспечения безопасности и повышения общей производительности сотрудников и подрядчиков.

Решать вопросы с безопасностью на производстве помогает еще один лидер российского рынка информационных технологий – компания КРОК. Постоянный участник SAPE презентует результаты проектов, реализованных как в России,

так и за рубежом. Среди них: интеграционная платформа «Цифровой рабочий», обновленный IoT-модуль для умных касок, платформа промышленной видеоаналитики и решения на основе VR/AR.

Тематику виртуальной и дополненной реальности раскроет и новый участник выставки – компания ARPort. Экспонент продемонстрирует инновационное решение по снижению травматизма на производстве при помощи тренингов-практикумов в шлемах VR. Все практикумы основываются на уникальной методике снижения рисков человеческого фактора путем получения навыков осознанной безопасности. Это позволяет производить реальное взаимодействие с виртуальными объектами с помощью манипуляторов, которые помогают отработать правильные действия в безопасной обстановке максимально похожей на реальность. Боле того, имитируются тяжелые последствия обхода правил техники безопасности для жизни и здоровья путем испытания физиологических эмоций и ощущений.

Гости и посетители стенда ARPort смогут не только увидеть разработки из мира высоких технологий, но и пройти короткий тренинг в шлеме виртуальной реальности и испытать на себе его эффективность. Будут доступны VR практикумы работы на высоте, с электричеством, газоопасные и огневые работы, оказания первой помощи.

Все это и многое другое вы сможете увидеть на XI Международной выставке по промышленной безопасности и охране труда «SAPE 2020 – Комплексная безопасность труда» с 7 по 10 апреля 2020 года в Главном медиацентре г. Сочи. Мероприятие проходит в рамках Всероссийской недели охраны труда (ВНОТ) при поддержке Министерства труда и социальной защиты РФ, Министерства энергетики РФ, Министерства промышленности и торговли РФ. Выставка SAPE впервые состоится под управлением Фонда Росконгресс. ●

Keywords: *digitalization, occupational risks, occupational safety, industrial safety, workwear.*

ЭНЕРГАЗ:

опыт подготовки и компримирования низконапорного ПНГ

РЕКЛАМА

С КАЖДЫМ ГОДОМ ПРОБЛЕМА ИСТОЩЕНИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РФ СТАНОВИТСЯ ВСЕ ОСТРЕЕ, В СВЯЗИ С ЧЕМ МНОГОКРАТНО ВОЗРАСТАЕТ И ВАЖНОСТЬ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОНАПОРНОГО ГАЗА. СПЕЦИАЛИСТЫ ГРУППЫ КОМПАНИЙ ЭНЕРГАЗ ПРЕДЛАГАЮТ РЕШАТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЗАДАЧУ КОМПРИМИРОВАНИЯ НН ПНГ КОМПЛЕКСНО

EVERY YEAR THE PROBLEM OF LARGE MINEFIELDS DEPLETION IN THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION BECOMES MORE AND MORE CRITICAL, AND THEREFORE, THE IMPORTANCE OF EFFICIENT USE OF LOW-PRESSURE GAS INCREASES SIGNIFICANTLY. SPECIALISTS FROM ENERGAS GROUP OF COMPANIES OFFER TO SOLVE THE TECHNOLOGICAL PROBLEM OF LP APG COMPRESSION IN A COMPREHENSIVE MANNER

Ключевые слова: *низконапорный газ, истощение месторождений, газоподготовка, компрессорная станция, попутный нефтяной газ.*

Пресс-служба
Группы компаний ЭНЕРГАЗ

Низконапорный газ

Понятие «низконапорный газ» (ННГ) трактуется по-разному. Газовики рассматривают ННГ как природный газ на устье добывающей газовой скважины – с низким уровнем давления, недостаточным для подачи газа на компрессорную станцию или установку подготовки газа.

Нефтяники понимают под низконапорным газом попутный нефтяной газ (ПНГ) с концевых ступеней сепарации нефти, не обладающий уровнем давления, необходимым для его транспортировки от установки подготовки нефти (УПН) до газоперерабатывающего завода или автономного энергоцентра месторождения.

Например, у газа концевой ступени УПН Варандейского месторождения (фото 1) давление практически отсутствует, и транспортировку ПНГ здесь обеспечивает компрессорная станция низкого давления «ЭНЕРГАЗ» (фото 2).

Понятие ННГ не сводится только к уровню давления газа – как важному фактору добычи. Эксперты предлагают и иные варианты определений ННГ. Так, к низконапорным промысловым газам относят запасы газовых и газоконденсатных месторождений, промышленное использование которых при глубоком

ФОТО 1–2. Варандейское месторождение (ЛУКОЙЛ-Коми). Установка подготовки нефти и компрессорная станция низкого давления «ЭНЕРГАЗ»

компримировании и магистральном транспорте становится экономически нерентабельно.

Более емким видится определение, привязанное одновременно к экономическому и техническому аспектам. Низконапорный газ – это газ, присутствующий в технологических схемах разработки, добычи и переработки продукции месторождений, вовлечение которого в промышленный оборот достигается решением специальных технических задач и дополнительными затратами.

Проблема обозначена

Проблема добычи и использования ННГ состоит в следующем. Давление газа в пласте снижается по мере его выработки. И возникает момент, когда давления газа, поступающего из скважин, недостаточно для его подачи в газопроводы без проведения подготовительных мероприятий. Из-за весомых затрат дальнейшее использование ННГ становится нерентабельным по совокупной цене добычи, газоподготовки и доставки к конечному потребителю. При этом в категорию «низконапорного» попадает 15–20 % запасов природного газа, доступного к добыче.

По мере истощения крупных месторождений важность задачи эффективного использования ННГ значительно возрастает. По экспертным данным, объем ННГ на выработанных газовых месторождениях только в Западной Сибири исчисляется триллионами кубометров. По разрабатываемым месторождениям Ямало-Ненецкого АО объемы ННГ превышают 2 трлн м^3, а в целом по автономному округу – составляют более 5 трлн м^3.

Аналогичная ситуация возникает с попутным нефтяным газом, когда при дегазации и сепарировании нефти в эту категорию попадают значительные объемы ПНГ – ценного углеводородного сырья. К примеру, если 13 лет назад (2007 год) на Вынгапуровском месторождении остаток низконапорного попутного газа (НН ПНГ) оценивался в объеме 90 млрд м^3, то на Медвежьем (к 2021 году) прогнозируется 310 млрд м^3. Проблема станет повсеместной уже к 2025 году.

Ситуацию обостряет увеличение доли так называемого «жирного» газа в общем объеме добычи. За метановым «сухим» газом пока сохраняется преимущество, так как для его использования не требуются специальные системы по выделению этан-, пропан-, бутановых и более тяжелых фракций. По этой причине вопрос дальнейшего использования тяжелых компонентов ПНГ остро не стоит. Но уже к 2030 году около половины добываемого газа будет «жирным». Переориентация на добычу «жирного» газа выдвигает новый приоритет – переоснащение промыслов для подготовки к транспортировке и переработке газового конденсата – важного сырья для газохимии.

Но эта проблема требует отдельного рассмотрения. Мы же вернемся к теме НН ПНГ.

Использовать максимально

Процесс разгазирования нефти может начинаться уже в насосно-компрессорных трубах нефтяных скважин. При движении продукции из скважин по нефтегазопроводам также происходит выделение ПНГ. В итоге поток пластовой нефти переходит из однофазного состояния в двухфазное – разгазированная нефть и попутный нефтяной газ. Это происходит по причине падения давления и изменения температуры пластовой жидкости.

Однако совместное хранение или транспортировка нефти и ПНГ экономически нецелесообразны. Объём выделяемого газа в несколько раз превышает объём жидкости. Совместная обработка нефти и ПНГ потребовала бы использования емкостного оборудования и трубопроводов значительно больших размеров. Поэтому на объектах добычи и подготовки нефтегазовый поток разделяют на два – нефтяной и газовый. Разделение потока происходит в специальных аппаратах – сепараторах, где создаются условия для максимально эффективного выделения ПНГ из нефти.

Выделяемый газ нуждается в подготовке на специальном технологическом оборудовании. Подготовка ПНГ – это комплекс мероприятий: осушка, удаление механических примесей, сероочистка, отбензинивание (извлечение жидких углеводородов $C_{3+выше}$), удаление негорючих

ФОТО 3. ГТЭС Ватьеганского месторождения (ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь) работает на попутном газе

компонентов газа (азот, двуокись углерода), охлаждение, компримирование.

Предварительно подготовленный ПНГ обычно распределяется следующим образом. Часть идёт на нужды промысла – подается на подогреватели нефти, применяется в качестве топлива для газопоршневых или газотурбинных электростанций (фото 3), котельных. Часть транспортируется потребителям, к примеру на газоперерабатывающий завод для получения продуктов газохимии (если ГПЗ находится в районе добычи нефти). Используется ПНГ и для обратной закачки в пласт для повышения нефтеотдачи (система «газлифт»).

Еще недавно эта схема сводилась к использованию ПНГ 1-й ступени сепарации. ПНГ 2-й и последующих ступеней, как правило, сжигался на факелах, так как газ с последних ступеней более сложен в подготовке.

Такой ПНГ по плотности и содержанию компонентов $C_{3+выше}$ значительно «тяжелее» газа 1-й ступени. Например, плотность газа 2-й ступени может превышать 1700 г/м^3, а содержание $C_{3+выше}$ – 1000 г/м^3. Соответственно, количество выпадающего конденсата в газопроводах ПНГ 2-й и последующих ступеней гораздо больше, чем те же показатели в газопроводах ПНГ 1-й ступени сепарации. Газ концевых ступеней отличается высоким содержанием механических примесей и капельной влаги. И, ко всему прочему, его надо компримировать.

Таким образом, рациональное использование ПНГ последних ступеней сепарации требует дополнительной инфраструктуры для сбора и подготовки, что повышает себестоимость газа и снижает рентабельность. Поэтому некоторые компании не шли на эти затраты и вынужденно самоустранялись от утилизации НН ПНГ.

Ситуация изменилась после января 2009 года, когда правительство ввело жесткий норматив, согласно которому утилизации должно подвергаться 95% всего ПНГ. Вопрос о том, сжигать или не сжигать попутный газ на факелах, решен в России окончательно и бесповоротно. Сжигать ПНГ стало накладно. И срабатывают не только экономические санкции (таблица 1). Ценится и экологическая репутация нефтяных компаний.

При снижении добычи нефти результативное использование ПНГ приобретает особый вес. Учитывая, что НН ПНГ занимает значительную долю в потерях попутного газа, нефтегазодобывающие компании внедряют современные технологии его утилизации. Многие уже убедились в верности своего стратегического выбора.

Эффективность обеспечит ЭНЕРГАЗ

Итак, ПНГ со 2-й и последующих ступеней сепарации нефти является низконапорным. Его собственное давление не превышает 0,4–0,5 МПа (изб.) и не позволяет транспортировать ПНГ между объектами нефтегазодобывающего комплекса или подавать его в трубопровод до головной компрессорной станции, направляющей газ стороннему потребителю.

В этой ситуации технологическая задача компримирования НН ПНГ решается комплексно. Месторождения оснащаются так называемыми «малыми» компрессорными станциями (КС) или компрессорными станциями низких ступеней сепарации (СКНС), основу которых составляют компрессорные установки (КУ) низкого давления. Когда же давление газа близко к вакууму (от -0,05 до 0,01 МПа изб.), на КС и СКНС применяются вакуумные компрессорные установки (фото 4).

Надежная работа КУ обеспечивается специальными инженерными решениями с учетом состава и качества газа, условий эксплуатации и индивидуальных проектных требований. Начиная с 2007 года такой опыт накоплен в Группе ЭНЕРГАЗ, специализирующейся на технологических проектах комплексной газоподготовки. Инженеры ЭНЕРГАЗа тщательно учитывают все особенности компримирования НН ПНГ, используя, как правило, установки на базе винтовых маслозаполненных компрессоров.

Инженерные решения

Назовем основные факторы, осложняющие процесс компримирования низконапорного ПНГ, и рассмотрим решения этих проблем.

ТАБЛИЦА 1. Повышающие коэффициенты к плате за сверхнормативное сжигание ПНГ

Год	2012	2013	2014	2020
Повышающий коэффициент	4,5	12	25	100

ФОТО 4. Вакуумная компрессорная установка «ЭНЕРГАЗ» на ДНС-1 Вынгапуровского месторождения (Газпромнефть-ННГ)

Необходимость доочистки. Несмотря на то, что в компрессорную установку поступает уже подготовленный газ, содержание в нем механических примесей и капельной влаги не соответствует условиям нормальной эксплуатации высокоэффективных агрегатов и не позволяет достигнуть на выходе установленных проектных параметров по чистоте. Поэтому возможности основных элементов системы фильтрации КУ (газомасляного сепаратора 1-й ступени очистки и коалесцирующих фильтров 2-й ступени) расширяются за счет дополнительной комплектации:

- на входе газа устанавливается двухступенчатый фильтр-скруббер (фото 5, рисунок), оснащенный системой автоматического дренажа конденсата;
- на выходе из КУ ставят дополнительные фильтры тонкой очистки газа. Они, как и скруббер, встраиваются в существующий блок-модуль, что обеспечивает компактное размещение оборудования;
- в технологическую схему установки может включаться узел осушки газа;
- в особых случаях вместе с КУ могут также поставляться компактные адсорбционные, абсорбционные или рефрижераторные осушители газа в отдельном укрытии (фото 6).

Риск образования конденсата. Работа компрессорных установок на тяжелом (жирном) газе в процессе компримирования всегда сопровождается риском конденсатообразования внутри системы. Возникает две проблемы: 1) растворение в масле большого количества углеводородов, ведущее к повышенному насыщению масла газоконденсатом, снижению кинематической вязкости масла и увеличению уровня масла в маслобаке; 2) образование конденсата в рабочих ячейках компрессора, которое приводит к увеличению потребления мощности на внешнее сжатие и мощности на сжатие одного килограмма газа. Задача решается следующим способом:

- проводится детальный анализ компонентного состава газа и расчеты в специализированном программном обеспечении, создающем теоретическую модель поведения газа при определенных условиях

ФОТО 5. Фильтр-скруббер

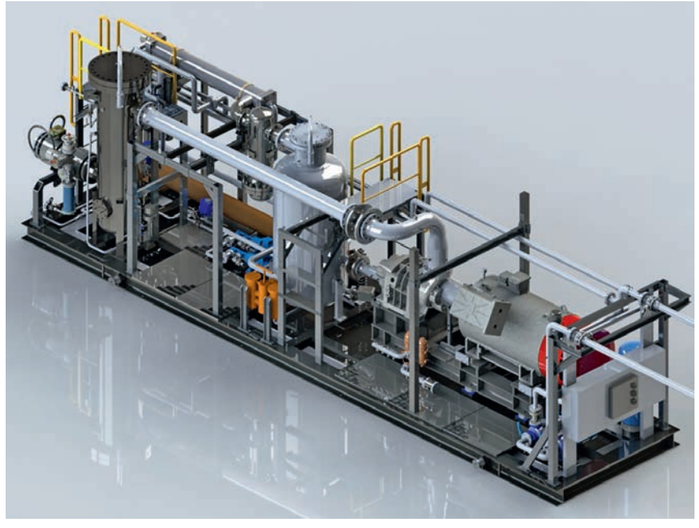


РИСУНОК. Макет компоновки КУ с входным фильтром-скруббером

ФОТО 6. Адсорбционный осушитель газа на ЦПС Западно-Могутлорского месторождения (РуссНефть)

(температуре и давлении). Это дает возможность определить оптимальные параметры рабочих температур масла и газа, которые позволяют вести рабочие процессы в газовом контуре КУ вне зоны кондесатообразования;

- в маслосистеме КУ используется специальное более вязкое масло, имеющее повышенную устойчивость к насыщению тяжелыми углеводородами.

Негативное влияние крайне низкого давления, близкого к вакууму. Компримирование газа с давлением, близким к вакууму (от -0,05 МПа изб.), влечёт следующие проблемы: 1) возникает большая разница в давлении на входе и на выходе КУ, вследствие чего давление газа, имеющееся в установке, сбрасывается не только через сбросовую свечу, но и через входной трубопровод. При этом происходит «унос» масла из маслосистемы во входной фильтр-скруббер; 2) под действием вакуума в компрессорную установку может поступать воздух, что увеличивает взрывоопасность технологического процесса. Применяемые решения:

- оснащение системы входных клапанов КУ модернизированными быстродействующими клапанами с электромеханическими приводами и пружинными отсекателями, что позволяет отсекать входной трубопровод от основной магистрали;
- комплектация КУ системой обнаружения кислорода с датчиком, определяющим его содержание в компримируемом газе.

Изменение характеристик исходного газа. По своему составу ПНГ нестабилен. А по условиям некоторых проектов компрессорные установки вообще компримируют смешанный попутный газ, поступающий с разных объектов добывающего комплекса. Соответственно, основные его параметры (состав, плотность, давление, температура точки росы, теплотворная способность) могут меняться. Также изменяются параметры исходного газа, поступающего с одного объекта, – в силу климатических изменений, истощения запасов углеводородов, обводненности скважин и т.д. Чтобы контролировать этот процесс (и затем при необходимости варьировать эксплуатационные характеристики КУ), компрессорные установки могут оснащаться следующим дополнительным оборудованием:

- потоковый хроматограф с устройством отбора проб для определения состава и теплотворной способности газа;
- потоковый измеритель температуры точки росы газа по воде и углеводородам (с устройством отбора проб);
- замерное устройство расхода компримируемого газа.

Тяжелые условия эксплуатации. Нередко компримирование низконапорного ПНГ проходит в тяжелых условиях: 1) климатические условия, когда минимальная температура воздуха достигает минус 60 °С, а средняя температура наиболее холодной пятидневки – минус 50 °С; 2) особенности состава газа – например высокое содержание сероводорода; 3) удаленность (труднодоступность) объектов, что осложняет техническое обслуживание и контроль за ходом эксплуатации оборудования. Поэтому на практике применяются следующие решения:

ФОТО 7. Компрессорная станция ангарного типа для ГТЭС Восточно-Мессояхского месторождения (Мессояханефтегаз)

ТАБЛИЦА 2. Компрессорные установки от компании ЭНЕРГАЗ, перекачивающие низконапорный ПНГ с давлением до 0,4 МПа (изб.)

Регион	Месторождение	Объект	Кол-во КУ	Назначение установок	Давление ПНГ на входе, МПа (изб.)
Ханты-Мансийский АО	Северо-Лабатьюганское	ДНС-3	2	транспортировка газа	-0,02
Республика Саха (Якутия)	Талаканское	ЦПС	1	транспортировка газа	-0,02
Республика Саха (Якутия)	Талаканское	ДНС-2	1	транспортировка газа	-0,02
Ханты-Мансийский АО	Федоровское	ЦППН	2	транспортировка газа	0
Ханты-Мансийский АО	Западно-Сургутское	ЦКПН	2	транспортировка газа	0
Ханты-Мансийский АО	Лянторское	ЦППН	2	транспортировка газа	0
Ненецкий АО	Варандейское	УПН	3	транспортировка газа	0
Ханты-Мансийский АО	Алехинское	ЦПС	4	транспортировка газа	0
Ханты-Мансийский АО	Западно-Сургутское	ПСП	1	транспортировка газа	0
Ямало-Ненецкий АО	Вынгапуровское	ЦПС (ДНС-3)	2	транспортировка газа	0,001
Ямало-Ненецкий АО	Вынгапуровское	ДНС-1	1	транспортировка газа	0,001
Ямало-Ненецкий АО	Вынгапуровское	УПСВ (ДНС-2)	1	транспортировка газа	0,001
Ханты-Мансийский АО	Советское	УПСВ-3	1	транспортировка газа	0,001
Ханты-Мансийский АО	Советское	УПСВ-9	1	транспортировка газа	0,001
Ямало-Ненецкий АО	Еты-Пуровское	ДНС-2	1	транспортировка газа	0,001
Ханты-Мансийский АО	Вахское	УПСВ-4	1	транспортировка газа	0,001
Ханты-Мансийский АО	Вахское	УПСВ-5	1	транспортировка газа	0,001
Ямало-Ненецкий АО	Вынгаяхинское	ЦППН	1	транспортировка газа	0,001
Ханты-Мансийский АО	Рогожниковское	УКПГ (ЦПС)	1	транспортировка газа	0,02
Ханты-Мансийский АО	Конитлорское	ДНС-1	2	транспортировка газа	0,09
Ханты-Мансийский АО	Конитлорское	ДНС-2	3	транспортировка газа	0,09
Ханты-Мансийский АО	Федоровское	ЦППН	2	транспортировка газа	0,09
Республика Беларусь	Речицкое	КС	2	транспортировка газа	0,1
Ямало-Ненецкий АО	м/р Большехетской впадины	ТСЖУ	1	транспортировка газа	0,1
Ханты-Мансийский АО	Быстринское	УПСВ-2	2	транспортировка газа	0,15
Ханты-Мансийский АО	Ватьёганское	ЭСН (ГТЭС-72)	4	газоснабжение турбин	0,15
Томская область	Игольско-Таловое	ЭСН (ГТЭС-12)	2	газоснабжение турбин	0,17
Ханты-Мансийский АО	Северо-Лабатьюганское	ЭСН (ГТЭС-36)	6	газоснабжение турбин	0,2
Ханты-Мансийский АО	Рогожниковское	ЭСН (ГТЭС №1)	1	газоснабжение турбин	0,2
Ямало-Ненецкий АО	Восточно-Мессояхское	ЭСН (ГТЭС-84)	4	газоснабжение турбин	0,2
Ханты-Мансийский АО	Ай-Пимское	ДНС	4	транспортировка газа	0,2
Ханты-Мансийский АО	Южно-Ватлорское	ДНС	2	транспортировка газа	0,2
Тюменская область	Южно-Нюрымское	ЭСН (ГТЭС-8)	2	газоснабжение турбин	0,2
Ханты-Мансийский АО	Ульяновское	КС	2	транспортировка газа	0,25
Ханты-Мансийский АО	Западно-Могутлорское	ЦПС	1	транспортировка газа	0,25
Ханты-Мансийский АО	Западно-Чигоринское	ЭСН (ГТЭС-12)	3	газоснабжение турбин	0,3
Ханты-Мансийский АО	Восточно-Перевальное	ЭСН (ГТЭС-28)	1	газоснабжение турбин	0,3
Ямало-Ненецкий АО	Верхне-Надымское	ЭСН (ГТЭС-24)	3	газоснабжение турбин	0,3
Ханты-Мансийский АО	Рогожниковское	ЭСН (ГТЭС №2)	3	газоснабжение турбин	0,3
Ханты-Мансийский АО	Биттемское	КС	3	транспортировка газа	0,3
Ханты-Мансийский АО	Верхнеколик-Еганское	ЭСН (ГТЭС-24)	4	газоснабжение турбин	0,3
Ханты-Мансийский АО	Мурьянское	КС	3	транспортировка газа	0,3
Ненецкий АО	Южно-Хыльчуюское	ЭСН (ГТЭС-125)	4	газоснабжение турбин	0,35
Ханты-Мансийский АО	Тевлинско-Русскинское	ЭСН (ГТЭС-48)	3	газоснабжение турбин	0,35
Ямало-Ненецкий АО	Пякяхинское	УПН и КСУ	1	транспортировка газа	0,39
Ханты-Мансийский АО	Конитлорское	ЭСН (ГТЭС-24)	3	газоснабжение турбин	0,4
Ханты-Мансийский АО	Западно-Камынское	ЭСН (ГТЭС-24)	3	газоснабжение турбин	0,4
Ханты-Мансийский АО	Мурьяунское	ЭСН (ГТЭС-24)	3	газоснабжение турбин	0,4
Республика Саха (Якутия)	Талаканское	ЭСН (ГТЭС-144)	6	газоснабжение турбин	0,4
Ханты-Мансийский АО	Юкъяунское	ЭСН (ГТЭС-36)	3	газоснабжение турбин	0,4
Ханты-Мансийский АО	Северо-Лабатьюганское	ЭСН (ГТЭС-24)	3	газоснабжение турбин	0,4
Новосибирская область	Верх-Тарское	ЭСН (ГТЭС-10,4)	2	газоснабжение турбин	0,4
Ханты-Мансийский АО	Тромъеганское	ЭСН (ГТЭС-12)	3	газоснабжение турбин	0,4
Ханты-Мансийский АО	Рогожниковское	ЭСН (ГТЭС №1)	3	газоснабжение турбин	0,4

- выбор варианта исполнения КУ: внутрицеховое (фото 7), контейнерное, арктическое (фото 8);
- модернизация маслосистемы и применение масел нового поколения;
- использование специальных сплавов и антикоррозийных материалов при производстве компрессорных установок;
- оснащение КУ устройством плавного пуска двигателя;
- резервирование некоторых элементов и узлов оборудования (например, сдвоенные фильтры маслосистемы или насосы систем смазки и охлаждения), особенно, когда компрессорные станции эксплуатируются без резервной установки.

ФОТО 8. КУ в арктическом исполнении компримируют НН ПНГ в составе СКНС на ДНС-3 Северо-Лабатьюганского м/р (Сургутнефтегаз)

Реализованные проекты

Начиная с 2007 года ЭНЕРГАЗ поставил и ввел в эксплуатацию 295 технологических установок подготовки и компримирования газа. В электроэнергетике они обеспечивают топливом 187 энергоагрегатов суммарной мощностью 6 489 МВт, в нефтегазовой отрасли – подготавливают попутный нефтяной и природный газ на 46 месторождениях.

Компрессорные установки «ЭНЕРГАЗ» функционируют на следующих объектах добывающего комплекса: энергоцентры собственных нужд (ЭСН) на базе ГТЭС, ГТУ-ТЭЦ и ГПЭС; установки подготовки нефти (УПН), цеха подготовки и перекачки нефти (ЦППН), цеха контрольной проверки нефти (ЦКПН), дожимные насосные станции (ДНС), центральные перекачивающие станции, установки предварительного сброса воды (УПСВ), центральные пункты сбора нефти (ЦПС), нефтегазосборные пункты (НГСП), концевые сепарационные установки (КСУ), установки деэтанизации конденсата (УДК), установки стабилизации конденсата (УСК), приемо-сдаточные пункты (ПСП), транспортные системы жидких углеводородов (ТСЖУ), установки комплексной подготовки газа и конденсата (УКПГ, УКПГиК).

В Группе ЭНЕРГАЗ постоянно наращивается уникальный опыт реализации проектов по компримированию низконапорного ПНГ. Их география – от Республики Беларусь (фото 9) до Крайнего Севера и Республики Саха. На сегодня в таких специализированных проектах задействовано 126 компрессорных установок (таблица 2), перекачивающих НН ПНГ с диапазоном входного давления -0,02…0,4 МПа (изб.). Из них 57 КУ функционируют на объектах по сбору и транспортировке газа, а 69 подготавливают газ в качестве топлива для автономных энергоцентров месторождений.

Производственная практика убеждает нас: для рационального применения ПНГ в максимально возможных объемах требуются не только целенаправленные усилия государства, общества и бизнеса, но и слаженная работа профессионального сообщества – нефтяников, проектировщиков, производителей оборудования.

ФОТО 9. Оснащение Речицкого месторождения в Беларуси компрессорными установками низкого давления позволило завершить Республиканскую программу по утилизации ПНГ

Keywords: *low-pressure gas, depletion of fields, gas treatment, compressor station, associated petroleum gas.*

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@energas.ru
www.energas.ru

КАЛЕНДАРЬ СОБЫТИЙ

6–9 апреля
9-я международная геолого-геофизическая конференция
Санкт-Петербург 2020
Санкт-Петербург

7–8 апреля
6-я ежегодная конференция
Монетизация газа России и СНГ
Москва, ОТЕЛЬ FOUR SEASONS

9–10 апреля
8-я ежегодная конференция
Нефтехимия России и СНГ
Москва, ОТЕЛЬ FOUR SEASONS

13–16 апреля
20-я юбилейная международная выставка
НЕФТЕГАЗ-2020
Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

14–16 апреля
Национальный нефтегазовый форум
Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

14–17 апреля
Международная выставка
SAPE 2020
Сочи

21–23 апреля
24-я Международная выставка машин и оборудования
Mining World Russia
Москва, МВЦ «Крокус Экспо»

21–23 апреля
24-я Международная выставка машин и оборудования
Композит-Экспо
Москва, ЦВК «Экспоцентр»

21–24 апреля
32-я международная выставка информационных и коммуникационных технологий
Связь 2020
Москва, ЦВК «Экспоцентр»

22–23 апреля
III Российский Энергетический Саммит
Москва

24 апреля
IV Российский саммит
Интеллектуальное месторождение
Москва

27–29 апреля
Российский международный энергетический форум
РМЭФ 2020
Санкт-Петербург, «ЭКСПОФОРУМ»

АПРЕЛЬ

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

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

для оптимизации производительности трубопроводной системы

УДК 004

РАССМОТРЕНЫ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МАЛЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА. ДЛЯ ЭТОГО АВТОРАМИ ПРЕДЛОЖЕНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ МЕТОД МАЛЫХ ОТКЛОНЕНИЙ, КОТОРЫЙ ПОЗВОЛИЛ ОЦЕНИТЬ КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УЧАСТКА МГ НА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ. ПРОВЕДЕН АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОЕКТНОЙ СТЕПЕНИ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МГ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕГО РЕЖИМА РАБОТЫ

THIS ARTICLE CONSIDERS THE ISSUES OF APPLYING THE SMALL DEVIATION METHOD TO OPTIMIZE THE PARAMETERS DETERMINING THE THROUGHPUT CAPACITY OF THE MAIN GAS PIPELINE SECTION. FOR THIS PURPOSE, THE AUTHORS PROPOSED TO USE THE SMALL DEVIATION METHOD, WHICH MADE IT POSSIBLE TO ESTIMATE THE INFLUENCE RATIOS OF THE MG SECTION PARAMETERS ON ITS PERFORMANCE. IT IS ANALYZED THE INFLUENCE OF THE DESIGN DEGREE OF PRESSURE INCREASE ON THE MG PERFORMANCE WHEN CHANGING ITS OPERATING MODE

Ключевые слова: *магистральный газопровод, метод малых отклонений, коэффициенты влияния.*

Гулина Светлана Анатольевна,
кандидат технических наук, доцент,
Самарский государственный технический университет,
доцент кафедры «Трубопроводный транспорт»

Шелудько Леонид Павлович,
кандидат технических наук, доцент,
Самарский государственный технический университет

Горюнова Ирина Юрьевна,
кандидат технических наук, доцент,
Уральский федеральный государственный технический университет,
доцент кафедры «Турбины и двигатели»

Верещагина Ирина Вячеславовна,
Самарский государственный технический университет,
старший преподаватель кафедры «Трубопроводный транспорт»

Гулина Анастасия Сергеевна,
магистрант института двигателей летательных аппаратов,
Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Одной из задач газотранспортной системы при сезонной и суточной неравномерности потребления природного газа является согласование объемов потребления газа с пропускной способностью газопровода при обеспечении оптимальной загрузки газоперекачивающего оборудования. Пропускная способность магистрального газопровода нелинейно зависит от большого числа параметров, таких как степень повышения давления в газоперекачивающих агрегатах (ГПА), давление и температура транспортируемого газа и его теплофизические свойства, протяженность и диаметр трубопровода и др. Для решения эксплуатационных задач, связанных с изменением режима работы МГ, необходимо знать, как влияют изменения параметров МГ и характеристик ГПА на условиях их совместной работы, на пропускную способность МГ, потребляемую мощность и КПД газоперекачивающих агрегатов. Для этого авторами предложено использовать метод малых отклонений [1], который позволит подойти к решению системы линейных алгебраических уравнений и достаточно просто получить требуемые результаты в общем и численном виде, удобном для анализа и практического использования.

Влияние параметров газотранспортной системы на ее производительность установим, используя уравнение для определения коммерческой производительности на участке МГ [2]:

$$Q = c\sqrt{\frac{\left(P_H^2 - P_K^2\right)D^5}{\lambda z T L_{КЦ}\Delta}} = c\sqrt{\frac{P_H^2\left(1-\frac{1}{\varepsilon_{КЦ}^2}\right)D^5}{\lambda z T L_{КЦ}\Delta}}, \qquad (1)$$

где: D – диаметр газопровода; $L_{КЦ}$ – длина линейного участка газопровода между компрессорными цехами; T – осредненная температура на участке газопровода; P_H, P_K – давление в начале и в конце участка газопровода соответственно; c – коэффициент в системе СИ, равный: $c = \frac{\pi}{4}\frac{293}{101,3}\sqrt{R_{возд}} = 0,0384$,

Δ – относительная плотность газа по воздуху;
λ – коэффициент гидравлического сопротивления;

$\varepsilon_{КЦ} = \frac{P_H}{P_K}$ – степень повышения давления в компрессорном цехе.

Зависимость коммерческой производительности Q линеаризуется при условии, что все параметры, включенные в уравнение (1), являются взаимно независимыми переменными. Для этого прологарифмируем и продифференцируем уравнение (1), имея ввиду, что

$$dlnx = \frac{dx}{x}$$

и при допущении неизменности теплофизических свойств природного газа получим:

$$lnQ = lnP_H + 0,5ln\left(1-\frac{1}{\varepsilon_{КЦ}^2}\right) + 2,5lnD - 0,5ln\lambda - 0,5lnT - 0,5lnL_{КЦ},$$

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dP_H}{P_H} + 0,5\frac{d\left(1-\frac{1}{\varepsilon_{КЦ}^2}\right)}{\left(1-\frac{1}{\varepsilon_{КЦ}^2}\right)} + 2,5\frac{dD}{D} - 0,5\frac{d\lambda}{\lambda} - 0,5\frac{dT}{T} - 0,5\frac{dL_{КЦ}}{L_{КЦ}}$$

Преобразуем дифференциал:

$$0,5\frac{d\left(1-\frac{1}{\varepsilon_{КЦ}^2}\right)}{\left(1-\frac{1}{\varepsilon_{КЦ}^2}\right)} = \frac{1}{\left(\varepsilon_{КЦ}^2-1\right)}\frac{d\varepsilon_{КЦ}}{\varepsilon_{КЦ}},$$

и обозначим

$$k_1 = \frac{1}{\left(\varepsilon_{КЦ}^2-1\right)}.$$

Затем все дифференциалы dx заменим приращением Δx, а относительное приращение $\frac{\Delta x}{x}$ обозначим δx. Уравнение (1) преобразуется к линеаризованному виду:

$$\delta Q = \delta P_H + k_1\delta\varepsilon_{КЦ} + 2,5\delta D - 0,5\delta\lambda - 0,5\delta T - 0,5\delta L_{КЦ}.$$

Для расчета коэффициента гидравлического сопротивления отраслевыми нормами проектирования [3] рекомендуется зависимость:

$$\lambda = 1,05\frac{\lambda_{тр}}{E^2} = \frac{0,070}{E^2}\left(\frac{158}{\mathrm{Re}} + \frac{2K_Э}{D}\right)^{0,2},$$

где: Re – число Рейнольдса; $K_Э$ – относительная шероховатость; E – коэффициент эксплуатационной эффективности трубопровода; $\lambda_{тр}$ – гидравлические потери на трение.

В магистральных газопроводах наиболее распространено течение газа в квадратичной зоне турбулентного режима при

$$\frac{158}{\mathrm{Re}} \boxtimes \frac{2K_Э}{D},$$

получаем частный случай для коэффициента гидравлических потерь МГ:

$$\lambda = \frac{0,080}{E^2}\left(\frac{K_Э}{D}\right)^{0,2}.$$

Линеаризуем данное уравнение в соответствии с указаниями [1]:

$$\delta\lambda = 0,2\delta K_Э - 0,2\delta D - 2\delta E.$$

Относительное изменение коэффициента гидравлических потерь подставляем в уравнение относительного изменения коммерческой производительности и получаем его окончательный вид:

$$\delta Q = \delta P_H + k_1\delta\varepsilon_{КЦ} + 2,6\delta D - 0,1\delta K_Э + \delta E - 0,5\delta T - 0,5\delta L_{КЦ}.$$

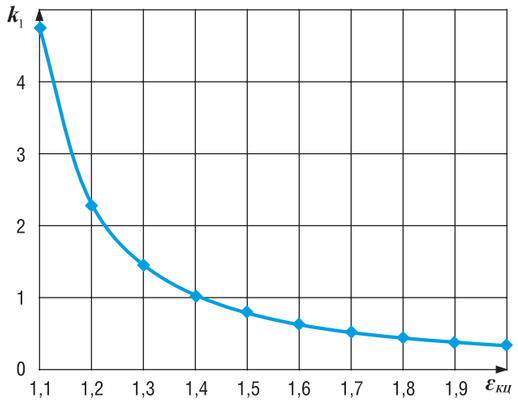
Данное уравнение устанавливает линейную зависимость δQ от относительного изменения давления в начале участка МГ δP_H, диаметра трубопровода δD, изменения коэффициентов относительной шероховатости $\delta K_Э$, гидравлических потерь $\delta\lambda$, эксплуатационной эффективности δE, температуры δT, длины участка $\delta L_{КЦ}$ и степени повышения давления на КЦ $\delta\varepsilon_{КЦ}$. Из полученного уравнения можно сделать следующее заключение: коэффициенты, стоящие перед $\delta K_Э$, $\delta L_{КЦ}$, δD, и δT, величины постоянные, не зависящие от начальных значений параметров трубопроводной системы.

Знак плюс перед коэффициентами устанавливает прямо пропорциональное влияние относительного изменения параметра на итоговую величину, минус соответственно обратно пропорциональное влияние, то есть при увеличении температуры газа на 1 % производительность участка МГ снизится на 0,5 %. В данном уравнении только величина коэффициента k_1 однозначно определяется исходным (проектным) значением степени повышения давления $\varepsilon_{КЦ}$ в компрессорном цеху. Проанализируем характер влияния относительного изменения степени повышения давления $\varepsilon_{КЦ}$ на пропускную способность участка газопровода. Линеаризованное уравнение производительности участка МГ при условии, что входящие в него величины, кроме $\delta\varepsilon_{КЦ}$, неизменны, принимает вид:

$$\delta Q = k_1 \delta\varepsilon_{КЦ}.$$

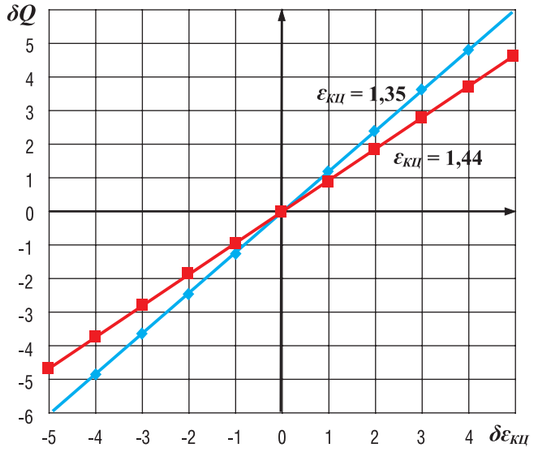
Для различных значений начальной степени повышения давления $\varepsilon_{КЦ}$ представлена графическая зависимость изменения коэффициента влияния k_1.

РИС. 1. Зависимость коэффициента k_1 от проектной величины $\varepsilon_{КЦ}$



Из графической зависимости видно: чем больше проектное значение $\varepsilon_{КЦ}$, тем меньше значение коэффициента влияния k_1. Для двух значений степени

РИС. 2. Графическая зависимость $\delta Q = f(\delta\varepsilon_{КЦ})$



повышения давления $\varepsilon_{КЦ}$ =1,35 и $\varepsilon_{КЦ}$ =1,44 построена на рис. 2 графическая зависимость $\delta Q = f(\delta\varepsilon_{КЦ})$ с шагом относительного изменение $\delta\varepsilon_{КЦ}$ = 5 %.

При степени повышения давления $\varepsilon_{КЦ}$ = 1,44 снижение ее на 1 % приведет к снижению производительности участка МГ на 0,93 %, а при степени $\varepsilon_{КЦ}$ = 1,35 снижение производительности составит 1,22 %. Следовательно, при небольших значениях проектной $\varepsilon_{КЦ}$ для согласования объемов потребления газа с производительностью центробежного нагнетателя (ЦН) необходимо незначительное изменение режимов работы ЦН и приводного газотурбинного двигателя. При отклонениях от номинального режима работы ГПА, соответствующего наибольшему КПД, снижение мощности приводит к увеличению расхода топливного газа и снижению политропического КПД нагнетателя, а увеличение мощности дополнительно приводит к быстрому износу оборудования. Для успешного использования данного метода необходимо ясно представлять его возможности и пределы применимости. Метод дает хорошую точность только при относительном изменении параметра в пределах ±5 %, а при больших отклонениях может привести к большим погрешностям. Достоинство метода заключается в его простоте, хотя он и связан с большим числом вычислений. Метод малых отклонений можно применить и к анализу производительности магистрального газопровода с *n*-числом компрессорных цехов при проектной разработке газотранспортной системы, с учетом технических возможностей оборудования и протяженности участков.

Литература

1. *Черкез А.Я. Инженерные расчеты газотурбинных двигателей методом малых отклонений / Издательство: М.: Машиностроение: 1975 / 3-изд. пер. и доп. С. 380.*
2. *Теория трубопроводного транспорта газа: учебное пособие / С.А. Гулина, А.С. Гулина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2019. – 140 с.*
3. *ГОСТ 30319.2-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств.*

KEYWORDS: *main gas pipeline, method of small deviations, influence coefficients.*

О ЧЕМ ПИСАЛ Neftegaz.RU 10 ЛЕТ НАЗАД…

Расходы на поиски недр увеличатся

Общий объем финансирования в геологоразведочные работы в 2009 г. составляет 20,1 млрд руб. Впервые с 2004 г. произошло снижение объемов внебюджетного финансирования геологоразведочных работ в среднем на 24 %. Уменьшилось соотношение расходов федерального бюджета и средств недропользователей на геологическое изучение недр до 1 к 8. При этом сокращение объемов бюджетного финансирования не повлекло за собой ухудшения основных показателей деятельности Роснедр.

• Комментарий
Neftegaz.RU

Согласно данным Министерства природных ресурсов и экологии, ежегодный объем финансирования геологоразведочных работ на нефть, газ и твердые полезные ископаемые в 2020–2021 гг. составит 17,38 млрд руб. Генеральный директор «Росгеологии», полагает, что в 2020 г. геологоразведочные компании могут столкнуться с финансовыми проблемами из-за неудовлетворительного состояния фондов. Для решения проблем ГРР в России, Сергей Горьков попросил выделить из Фонда национального благосостояния – 65 млрд руб.

Мексиканская компания нашла гигантскую нефть

Мексиканская национальная нефтяная компания Pemex в марте 2010 г. объявила об обнаружении гигантского месторождения нефти в водах Мексиканского залива.

Всего подтвержденные, возможные и потенциальные резервы нефти Мексики оцениваются в 43,6 млрд барр. Однако производство нефти в стране упало за последние годы с 3,4 млн барр/день в 2004 г. до 2,6 млн барр/день в минувшем году.

• Комментарий
Neftegaz.RU

В 2020 г. Мексика, несмотря на прошлые успехи, воспринимается больше как импортер нефти.

Поддержка нефтегазовой отрасли, и в частности государственной компании Pemex – один из приоритетов в финансовой политике действующего правительства Мексики. Бюджет страны на 2020 г. включает 4,3 млрд долл. США на докапитализацию Pemex, снижение налоговой нагрузки в 2020–2021 гг. составит 6,7 млрд долл. США. Задолженность Pemex перед международными кредиторами – около 100 млрд долл. США, убыток по итогам 9 месяцев 2019 г. превысил 9 млрд долл. США.

ТНК-ВР по-прежнему предлагает долю Ковыкта «Газпрому»

ТНК-ВР по-прежнему желает продать свою долю в Ковыкте «Газпрому». В марте 2010 г. Финансовый директор ТНК-ВР Джонатан Мьюир пояснил: «Инвестиции в Ковыкту на балансе составляют 664 млн долл. США, но большой активности нет. Это актив, который у нас готов к продаже, и мы ждем шагов от другой стороны. Мы готовы со своей стороны выполнить условия соглашения с «Газпромом».

• Комментарий
Neftegaz.RU

В 2011 г. «Газпром» купил компанию «РУСИА Петролеум» и получил лицензию на разработку Ковыктинского месторождения. По состоянию на 2020 г. месторождение находится в стадии опытно-промышленной эксплуатации. Ведутся геологоразведочные работы, проводятся испытания мембранной технологии извлечения гелия в промысловых условиях, а также исследования добычных возможностей имеющегося фонда эксплуатационных скважин. Первые поставки газа с месторождения планируется в 2023 г.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕДУЦИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ

ПРЕДЛАГАЕТСЯ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕДУЦИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПУТЕМ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ БЕЗОГНЕВОГО ПОДОГРЕВА И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГОРАЗДЕЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ. ВЫПОЛНЕН АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ЭНЕРГОРАЗДЕЛЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕН НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫЙ И ПОДХОДЯЩИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ СПОСОБ, ОСНОВАННЫЙ НА РЕЗОНАНСНОМ ЭФФЕКТЕ ГАРТМАНА – ШПРЕНГЕРА. ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАННОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЗДЕЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА РЕЗОНАНСНОГО ТИПА

THE WORK IS DEVOTED TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF REDUCING NATURAL GAS BY HEATLESS COMBUSTION AND PREVENTION OF HYDRATE FORMATION USING ENERGY-SEPARATION DEVICES. THE ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF ENERGY SEPARATION. THE MOST EFFECTIVE AND SUITABLE METHOD FOR THE OPERATING CONDITIONS OF A GAS DISTRIBUTION STATION HAS BEEN DETERMINED; IT IS BASED ON THE HARTMANN-SPRENGER RESONANCE EFFECT. THE RESULTS OF NUMERICAL MODELING OF THIS EFFECT ARE PRESENTED TO JUSTIFY THE EFFICIENCY OF THE ENERGY-SEPARATING DEVICE OF THE RESONANT TYPE

Ключевые слова: *природный газ, газопровод, энергосбережение, энергоразделение, эффект Гартмана – Шпренгера, редуцирование, газораспределительная станция.*

Щипачев Андрей Михайлович,
профессор, заведующий кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургский горный университет, д.т.н.

Белоусов Артем Евгеньевич,
ассистент кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургский горный университет, к.т.н.

Дмитриева Алена Сергеевна,
аспирант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургский горный университет

УДК 621.6

Энергоэффективное управление магистральным транспортом и распределением природного газа является одним из приоритетных направлений устойчивого развития и оптимизации затрат в газовой промышленности [1, 2]. В настоящее время на газотранспортных предприятиях ОАО «Газпром» уделяют серьезное внимание проблемам рационального использования природного газа на собственные технологические нужды при соблюдении условий обеспечения промышленной безопасности и оптимального управления газотранспортной системой, повышения энергетической эффективности производственных процессов.

В статье затронута актуальная проблема ресурсо- и энергосбережения в системе транспорта и распределения природного газа и предложен способ ее решения, основанный на внедрении энергоразделяющего устройства (ЭУ) в узел редуцирования газораспределительной станции (ГРС).

При редуцировании давления газа на ГРС, за счет эффекта Джоуля – Томпсона, происходит существенное падение температуры газа. Это в свою очередь приводит к образованию конденсата в виде газогидратов, обмерзанию регулирующих клапанов, запорной арматуры, приборов и трубопроводов.

Основными факторами, определяющими условия образования гидратов в газопроводах, являются состав транспортируемого газа, его давление, температура, полное насыщение газа парами воды.

Чаще всего закупорка газопровода может происходить в зимний период в связи со значительным охлаждением движущегося в трубопроводе газового потока. Образование гидратов может иметь место на всех газопроводах, за исключением транспортирующих газ с точкой росы паров воды ниже минимальной рабочей температуры [3].

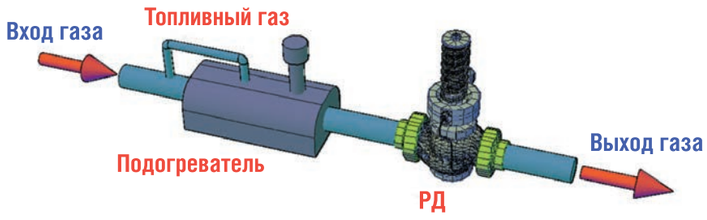
Отлагаясь на внутренних стенках труб и оборудовании, гидраты резко уменьшают их пропускную способность и могут привести к аварийной остановке эксплуатации газопровода. Затраты нефтегазовых компаний на предупреждение и борьбу с газогидратными пробками составляют значительную часть стоимости транспорта и распределения газа.

Объектом исследования является система, в которой происходит снижение давления природного газа с обязательным подогревом для предотвращения гидратообразования.

К традиционным методам борьбы с гидратообразованием на ГРС относят: общий или частичный подогрев газа, локальный подогрев корпуса регуляторов давления (РД), ввод метанола в газопровод (рис. 1). Все они требуют либо значительных капиталовложений, либо затрат ресурсов: газа на сжигание, электроэнергии для местного обогрева, метанола.

Согласно нормативной документации компании «Газпром», узел подогрева газа должен обеспечивать температуру газа на выходе из ГРС не ниже минус 10 °С (на пучнистых грунтах не ниже 0 °С). Для этого на ГРС устанавливают специальные котлы подогреватели, работа которых приводит к усложнению технологической схемы ГРС, расходу части транспортируемого газа в качестве топлива и выбросам продуктов сгорания в атмосферу.

РИС. 1. Схема общего подогрева газа на ГРС



В целях минимизации себестоимости транспорта газа, актуальной задачей является разработка новых способов осуществления подогрева газа при редуцировании, отвечающих требованиям энергосбережения.

Одним из решений является внедрение альтернативных источников, использующих энергию ветра, воды, солнца и др. Однако эффективность данных методов сильно зависит от природно-климатических условий.

Для предотвращения обмерзания газового оборудования и подогрева газа предлагается внедрение установок безмашинного энергоразделения. Под термином «энергоразделение» или «безмашинное энергоразделение» понимается перераспределение полной энтальпии (температуры торможения) в потоке газа без совершения им внешней работы и при отсутствии теплообмена с окружающей средой. Причины, вызывающие энергоразделение потока, могут быть различными. В некоторых случаях это вихревые течения, в других – пульсации давления и ударные волны [4]. Данные эффекты легли в основу устройств для энергоразделения газов.

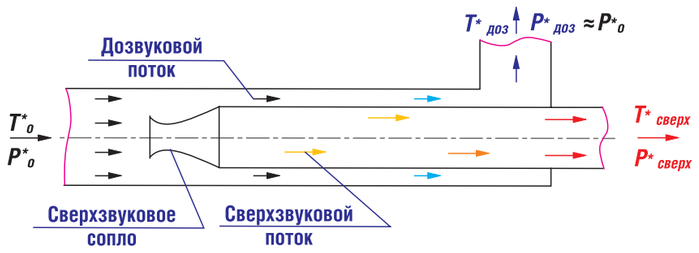
Анализ существующих способов энергоразделения

Имеется множество разновидностей энергоразделяющих устройств, основанных на различных эффектах. Среди них можно выделить: вихревые трубы Ранка – Хилша, эжекция с отрицательным коэффициентом эжекции, устройство энергоразделения с фазовым переходом, пульсационные трубы, энергоразделение в потоках газа при обтекании различных преград и в свободно истекающей струе газа.

ЭУ многофункциональны в своем применении. При различной конструкции возможно получение как сверхнизких, так и сверхвысоких температур. Отличительной особенностью данных аппаратов является их простота, отсутствие движущихся частей, низкая инерционность, малый вес и надежность конструкций [4].

Физическая сложность и малоизученность процессов энергоразделения газа и в то же время их широкое проявление в тех случаях, где встречаются высокоскоростные потоки газа, например при эксплуатации летательных аппаратов или в магистральном транспорте газа, являются причинами для исследования ЭУ на предмет их практического энергоэффективного применения.

РИС. 2. Схема температурной стратификации в сверхзвуковом потоке газа



Анализ научно-технической литературы и патентных документов позволяет предположить, что ЭУ будут являться альтернативой современным установкам нагрева и охлаждения газа.

Применительно для условий работы ГРС можно выделить следующие способы энергоразделения:

1) температурная стратификация в сверхзвуковом потоке;
2) вихревой эффект Ранка – Хилша;
3) эффект Гартмана – Шпренгера (Г-Ш).

На эффекте разности между адиабатной температурой стенки и температурой торможения основан способ температурной стратификации в сверхзвуковом потоке газа, предложенный А.И. Леонтьевым [5] (рис. 2).

Авторами [6] разработано устройство энергоразделения в магистральном трубопроводе при организации сверхзвукового потока газа во внутреннем или внешнем канале. Газовый поток с повышенным давлением разделяется на две части: один из потоков разгоняется при геометрическом воздействии в сопле Лаваля до сверхзвуковой скорости (рис. 3), а другой дозвуковой высоконапорный поток направляется с противоположной стороны от разделяющей потоки стенки.

В результате взаимодействия через теплопроводную стенку на выходе из устройства образуется подогретый сверхзвуковой поток и охлажденный дозвуковой. Температура дозвукового потока снижается, давление падает незначительно. Сверхзвуковой поток дросселируется, температура повышается малосущественно. УЭ сверхзвуковой температурной стратификации не позволяет получить нагрев на температуру выше первоначальной.

Недостатками данной технологии являются:

- необходимость поддержания сверхзвуковой скорости потока газа;
- охлаждаемый дозвуковой поток направляется обратно в МГ. Данная технология оказывает влияние на работу не только ГРС, но и магистрали в целом.

Суть вихревого эффекта заключается в разделении газа при закручивании в цилиндрической или конической камере на две фракции. На периферии образуется закрученный поток с большей температурой, а в центре – закрученный охлажденный поток, причем вращение в центре происходит в другую сторону, чем на периферии. На рис. 4 представлена одна из возможных конструкций вихревой трубы [7].

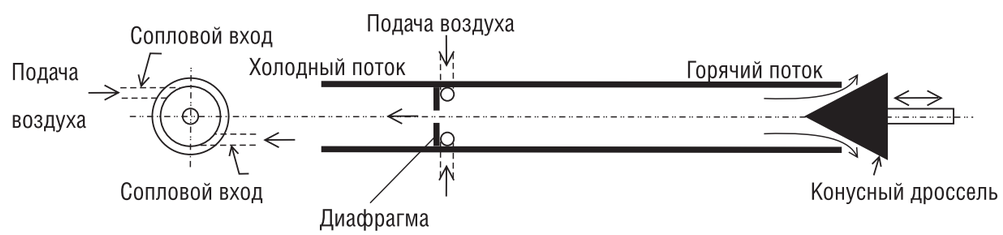
РИС. 3. Устройство энергоразделения в магистральном трубопроводе при организации сверхзвукового потока во внутреннем канале

На основе вихревого эффекта известно устройство, производимое ПАО «Завод «Старорусприбор», – регулятор давления газа РДУ-Т с теплогенератором. Энергоразделение осуществляется за счет наличия вихревой трубы Ранка – Хилша [8]. Холодная составляющая отводится и сбрасывается в задний фланец регулятора, что помогает за 6–8 минут нагреть теплогенератор до температуры +40–50 °С. Температура нагрева теплогенератора достаточна для предотвращения обмерзания запорно-регулирующего устройства.

Несмотря на такое достоинство, как возможность осуществления нескольких процессов одновременно (охлаждение, нагрев, фазоотделение), данное устройство имеет относительно низкую энергетическую эффективность [9].

Первые исследования в области резонансных акустических колебаний связаны с экспериментами датского ученого Юлия Гартмана, который в начале 20-го века открыл аэроакустический эффект. Этот эффект состоит в том, что при помещении полой трубки в сверхзвуковую струю, вытекающую в атмосферу при избыточном или недостаточном давлении, взаимодействие струйного

РИС. 4. Схема вихревой трубы Ранка – Хилша противоточной компоновки

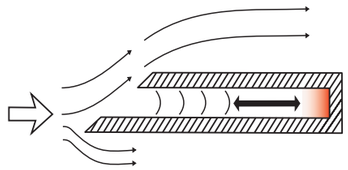


потока с преградой может происходить в нестационарном (автоколебательном) режиме и сопровождаться мощным акустическим излучением в окружающую среду [10].

Очень важным было открытие Х. Шпренгером в 1954 г. аэротермоакустического эффекта, который состоит в резком повышении температуры на дне трубки под воздействием периодической системы ударных волн, распространяющихся по резонатору. В отличие от предыдущих исследователей Шпренгер использовал трубку большей длины ($l_т/d$ = 34, тогда как у Гартмана размеры трубки составляли $l_т/d$ < 4). В его опытах температура стенки более чем в два раза превысила начальную температуру газа [10].

В основе эффекта энергоразделения Гартмана – Шпренгера положен принцип аэродинамического резонанса и термического энергоразделения при нелинейных колебаниях газа в заглушенной с одного конца трубе. Схема протекания газа внутри полости представлена на рисунке 5 [11].

РИС. 5. Течение газа внутри заглушенной полости



Эффект Гартмана – Шпренгера заключается в следующем: обрывы струи высокоскоростного потока газа на входе в заглушенную полость вызывают пульсации давления, волны которых распространяются в сторону тупика, отражаются и движутся в обратном направлении, входя с последующими волнами в резонанс с резким повышением температуры. Внутри заглушенной трубки возможно создание температур до нескольких сотен градусов. При этом поток газа теряет энергию и на выход из установки поступает охлажденным.

В случае образования колебаний из-за обрывов потока у входа в заглушенную полость без применения искусственных пульсаторов (например, поршней), частота колебаний давления будет зависеть только от длины полости ($l_т$) и от скорости звука в среде (с) и составит $f = c/2l_т$. Частота в резонансе будет вдвое меньше, так как при отражении от открытого конца волна меняет знак, и вместо отраженной ударной волны по трубе пройдет волна разрежения. Поэтому теоретическая частота колебаний в резонансе равна:

$$f_{теор} = c/4l_т. \qquad (1)$$

Наличие ударных волн в полости, помещенной в дозвуковой поток, зафиксировано в работе [12] при стробоскопических наблюдениях с использованием искрового источника света.

Эффект Г-Ш ранее не рассматривался как способ подогрева газа на ГРС. Известны следующие его применения:

- в авиастроении, как нагревательный элемент противообледенительной системы в воздухозаборнике летательного аппарата;
- газодинамический воспламенитель для безыскрового поджога горючих газов;
- устройства пульсационного воздействия на призабойную зону пласта;
- роторный волновой криогенератор для малотоннажного производства сжиженного природного газа [13].

В газотранспортной системе эффект Г-Ш встречался только в качестве негативного. В работе [14] рассмотрены случаи нагрева отдельных элементов обвязки крановых узлов при заполнении участков магистрального газопровода с сопутствующим оплавлением наружной изоляции, выделением едкого дыма и потерей герметичности запорно-регулирующей арматуры.

В некоторых случаях отмечалось, что «разогрев происходит до покраснения железа стояка отбора импульсного газа» (имеется ввиду новый крановый узел, на котором стояк отбора импульсного газа еще не был покрыт изоляционным покрытием). Автором [14] предложены способы устранения эффекта нагрева.

В работе [14] приводятся результаты экспериментальных исследований по нагреву газа при редуцировании через генератор Гартмана. При длине резонатора 100 мм максимальное изменение температуры на выходе из установки составило около 11 °С, при утилизации давления в 0,6 МПа. Автором была оценена возможная максимальная температура смеси за резонатором. При показателе адиабаты k = 1,4 и отношении давлений на входе и выходе p_0/p = 50 отношение температуры смеси и первоначальной Tc/T_0 не превысит 1,42.

Исходя из вышеописанного, можно сделать вывод, что из рассмотренных способов энергоразделения наиболее эффективным для осуществления подогрева газа на ГРС является резонансный эффект Гартмана – Шпренгера.

Численное моделирование резонансного подогрева газа в ANSYS FLUENT

Моделирование эффекта резонансного энергоразделения является сложной математической задачей, требующей больших вычислительных ресурсов и времени. Построена 2D-модель в упрощенном виде для предоставления качественного описания процессов энергоразделения в заглушенной полости.

РИС. 6. Расчетная схема для моделирования

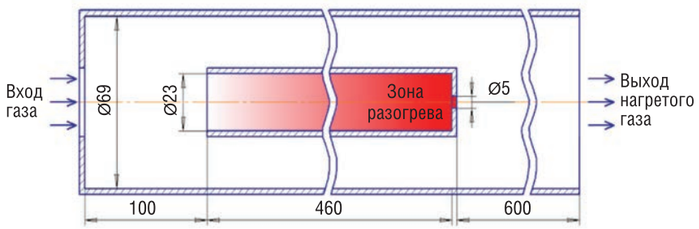
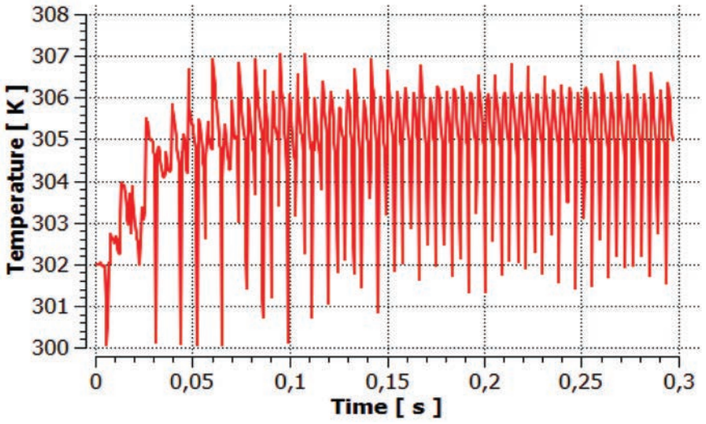


РИС. 7. Результаты моделирования

РИС. 8. Температура на выходе



Моделирование осуществляется в программном комплексе ANSYS FLUENT. Геометрия модели представлена на рисунке 6.

В качестве газовой среды принимается воздух, описываемый законом реального газа Редлих – Квонга (Redlich – Kwong) [15]. Имитируя вращение вала, на входе задается скорость по синусоидальному закону с амплитудой в 200 м/с и частотой равной

$$f_{\text{теор}} = \frac{c}{4l_{\text{т}}} = \frac{435\ \text{м/с}}{4 \cdot 0{,}460\ \text{м}} = 236{,}41\ \text{Гц},$$

температура 300 K. На входе задается давление 7,5 МПА, на выходе – избыточное давление равное 0,59 МПа. Для определения начальных условий задача решается в стационарной постановке. Для этого была выбрана модель турбулентности Ментера – переноса сдвиговых напряжений SST. Расчет выполнен на основе DES-модели турбулентности с временным шагом $5 \cdot 10^{-6}$ с. Визуализация результатов моделирования представлена на рисунке 7.

Изменение температуры на выходе представлено на рисунке 8.

Температура на выходе из устройства составила 304–305 K. Таким образом, для данных условий моделирования был получен нагрев смеси на выходе на 4–5 K.

Заключение

Анализ существующих способов энергоразделения и результаты численного моделирования позволяют говорить об эффективности работы ЭУ резонансного типа. Существующие ЭУ сверхзвуковой температурной стратификации и регуляторы давления с вихревым теплогенератором позволяют регулировать температурный режим процесса редуцирования газа, затрачивая при этом только его энергию. Но ЭУ сверхзвуковой температурной стратификации не обеспечивает нагрев до температуры выше первоначальной. Регуляторы давления с теплогенератором показали свою эффективность на нескольких ГРС в России, однако данные типы устройств обладают низким КПД, так как холодные и горячие потоки внутри вихревой трубы имеют зону контакта.

Внедрение ЭУ в узел редуцирования ГРС позволит частично или полностью исключить получение тепловой энергии на газораспределительных станциях сжиганием газа. ●

Литература

1. *Концепция энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «Газпром» на период 2011–2020 гг. (утв. приказом ОАО «Газпром» от 28.12.2010 № 364).*
2. *Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности: Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 02.07.2013). – 2013. – 52 с.*
3. *Катаев К.А. Гидратообразование в трубопроводах природного газа // Всероссийский журнал научных публикаций. 2011. № 1 (2).*
4. *Гурин С.В. Разработка технологии квазиизотермического редуцирования давления для объектов системы транспортировки и распределения природного газа: дисс. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2008.*
5. *Здитовец А.Г., Виноградов Ю.А., Стронгин М.М. Экспериментальное исследование безмашинного энергоразделения воздушных потоков в трубе Леонтьева // Тепловые процессы в технике. № 9. – 2015. – С. 397–404.*
6. *Попович С.С. Влияние ударных волн на эффект безмашинного энергоразделения: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2016.*
7. *Белоусов А.М. Вихревая труба Ранка – Хилша как перспективное устройство получения низких температур / Белоусов А.М., Исрафилов И.Х., Харчук С.И. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – № 2. – С.-Пб.: Изд-во С.-Пб. НИУ ИТМО, 2014. – С. 36–44.*
8. *Регулятор давления газа РДУ-Т – новый способ борьбы с гидратообразованием // http://www.staroruspribor.ru/articles/view/282.htm.*
9. *Хаит А.В. Исследование эффекта энергоразделения с целью улучшения характеристик вихревой трубы: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2012. 199 с.*
10. *Лепендин Л.Ф. Акустика. М.: «Высшая школа», 1978. – 448 с.*
11. *Ли Чжун Мин Исследование термоакустического нагрева газа в газоструйных генераторах Гартмана: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2004.*
12. *Елисеев Ю.Б., Черкез А.Я. Об эффекте повышения температуры торможения при обтекании газом глубоких полостей // Механика жидкости и газа. – 1971. – № 3. – С. 8–18.*
13. *Семенов В.Ю. Разработка и исследование высокоэффективных малотоннажных установок сжижения природного газа: дис. ... докт. техн. наук. – М., 2016.*
14. *Парфенов Д.В. Предупреждение нагрева элементов крановых узлов при заполнении газом участков магистральных газопроводов: дис. ... канд. техн. наук. – Ухта, 2018.*
15. *Савченков С.В., Агиней Р.В., Репин Д.Г., Наместников Г.И., Парфенов Д.В. Численное моделирование в ANSYS CFX явления нагрева тупиковых ответвлений крановых узлов // Газовая промышленность. № 10. – 2013. – С. 13–16.*

KEYWORDS: *natural gas, gas pipeline, energy saving, energy separation, Hartmann – Sprenger effect, pressure reduction, gas distribution station.*

РОССИЙСКИЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ САММИТ
ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ
22 МАЯ 2020
ЧЕЛЯБИНСК

8 (800) 707-81-49
info@ensoenergy.org
ecosummit.ru

ENSO ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИЙ

УТИЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В РОССИИ И В МИРЕ:
проблемы и решения

УДК 628.477

В РАБОТЕ ОСВЕЩЕНА ТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ. ОЦЕНЕНЫ ОБЪЕМЫ СБОРА И ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В РОССИИ И В МИРЕ, ОПИСАНЫ ПРИЕМЫ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИЕЙ ОТХОДОВ. ПОКАЗАНО, ЧТО РАЗВИТЫЕ СТРАНЫ РАССМАТРИВАЮТ ПЕРЕРАБОТКУ ОТХОДОВ КАК ИСТОЧНИК ПРИБЫЛИ. МИРОВОЙ РЫНОК ОТХОДОВ ОЦЕНИВАЮТ В $ 320 МЛРД, ИЗ КОТОРЫХ 20 % – ЭТО ИМПОРТ И ЭКСПОРТ, КОТОРЫЙ ДЛЯ БОЛЬШИНСТВА СТРАН ЯВЛЯЕТСЯ КЛЮЧЕВЫМ ЭЛЕМЕНТОМ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ ОТРАСЛИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ. ОТМЕЧАЕТСЯ ПРЯМАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ЭКОНОМИЧЕСКИМ УРОВНЕМ РАЗВИТИЯ СТРАНЫ И ОБРАЩЕНИЕМ С ОТХОДАМИ: БОЛЕЕ РАЗВИТЫЕ СТРАНЫ БОЛЬШУЮ ДОЛЮ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБАТЫВАЮТ, БОЛЕЕ ОТСТАЛЫЕ СТРАНЫ ПРАКТИКУЮТ ИХ ЗАХОРОНЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА ТАМ РАЗВИТА СЛАБО. В РОССИИ ОТМЕЧАЕТСЯ ТЕНДЕНЦИЯ К УВЕЛИЧЕНИЮ ОБЪЕМА ОБРАЗОВАННЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ, КОТОРЫЕ УТИЛИЗИРУЮТСЯ ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ПРИ ПОМОЩИ ЗАХОРОНЕНИЯ, ПЕРЕРАБАТЫВАЕТСЯ ОКОЛО 5–7 % ОТХОДОВ. ОТМЕЧЕНЫ ПРИЧИНЫ НИЗКОГО УРОВНЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ В РОССИИ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИЗМЕНЕНИЯ СИТУАЦИИ

THE WORK HIGHLIGHTS THE TOPIC OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF WASTE MANAGEMENT, WHICH IS RELEVANT IN THE MODERN WORLD AND IN RUSSIA. THE VOLUMES OF WASTE DISPOSAL AND PROCESSING IN RUSSIA AND IN THE WORLD WERE ESTIMATED, THE WASTE DISPOSAL MANAGEMENT METHODS AND TECHNIQUES COMMON IN DIFFERENT COUNTRIES OF THE WORLD AND IN RUSSIA WERE DESCRIBED. COMPARATIVE CHARACTERISTICS WERE GIVEN. IT IS SHOWN THAT THE DEVELOPED COUNTRIES TREAT WASTE AS A STRATEGIC RESOURCE FOR HEATING AND ELECTRICITY, RECYCLING METAL, PLASTIC, GLASS AND OTHER MATERIALS, AS WELL AS MAKING PROFIT. THE DEVELOPED COUNTRIES CONSIDER RECYCLING TO BE A SOURCE OF PROFIT. THE GLOBAL WASTE MARKET IS ESTIMATED AT $320 BILLION, OF WHICH 20 % ACCOUNT FOR IMPORT AND EXPORT, WHICH IS A KEY ELEMENT IN THE SMOOTH OPERATION OF THE WASTE PROCESSING INDUSTRY FOR MOST COUNTRIES. THERE IS A DIRECT CORRELATION BETWEEN THE ECONOMIC LEVEL OF THE COUNTRY'S DEVELOPMENT AND WASTE MANAGEMENT: MORE DEVELOPED COUNTRIES RECYCLE A LARGE SHARE OF WASTE, WHILE DEVELOPING COUNTRIES PRACTICE WASTE BURYING, AND RECYCLING IS POORLY DEVELOPED THERE. THERE IS A TENDENCY TOWARDS AN INCREASE IN THE VOLUME OF GENERATED INDUSTRIAL AND CONSUMPTION WASTE, WHICH IS DISPOSED MAINLY THROUGH BURYING, AND ONLY ABOUT 5-7% OF WASTE IS RECYCLED IN RUSSIA. IT IS NOTED THE REASONS FOR THE LOW LEVEL OF WASTE PROCESSING IN RUSSIA: THERE ARE ALMOST NO PLANTS THAT COULD COMPLY WITH THE ENTIRE RECYCLING CYCLE, HIGH PRICES FOR SELECTIVE WASTE DISPOSAL AND SORTING, LACK OF FINANCING FOR THE CONSTRUCTION OF INFRASTRUCTURE AND HIGH ENERGY CONSUMPTION DURING PROCESSING; HOWEVER, THESE COSTS ARE COVERED BY THE PRICE OF FINAL PRODUCT. SOME MANAGEMENT RECOMMENDATIONS IN THE FIELD OF DISPOSAL AND RECYCLING OF HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL WASTE WERE DEVELOPED AND PROPOSED FOR THE FEDERAL, REGIONAL AND MUNICIPAL AUTHORITIES IN RUSSIA

Ключевые слова: *промышленные отходы, утилизация, переработка, экологическая безопасность, рекомендации федеральным, региональным и муниципальным органам власти по управлению отходами.*

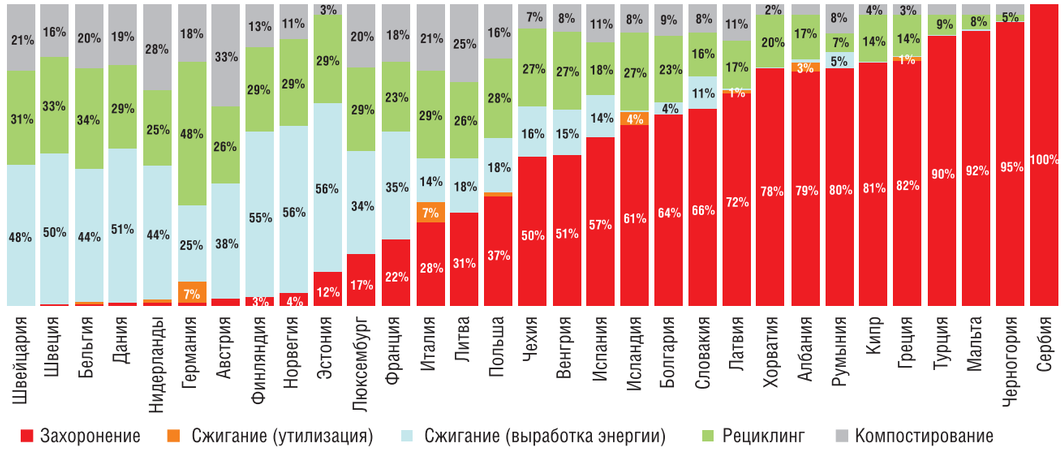
Гнетов Егор Михайлович,
факультет государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова

Митина Наталья Николаевна,
профессор факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова, д.г.н.

На сегодняшний день состояние управления отходами в России можно оценить как неудовлетворительное. Россия отстает в решении этого вопроса от западных стран. Тема экологической безопасности управления отходами является актуальной в современном мире и в России.

В статье предложен ряд рекомендаций для государственных органов по управлению отходами в РФ. При формировании рекомендаций по управлению в сфере сбора и переработки бытовых и промышленных отходов авторы оценили и обобщили мировой опыт управления утилизации отходов промышленности и потребления; изучили существующие тенденции решения проблемы управления переработки отходов в России, определили наиболее приемлемые для РФ способы переработки отходов, использование которых более целесообразно;

РИС. 1. Структура обращения с отходами в Европе в 2016 г. *(составлено авторами по данным [16])*



определили степень воздействия перерабатывающих технологий на окружающую природную среду.

Существуют различные методы решения проблемы с отходами, такие как закапывание, размещение на технически оборудованных полигонах, сжигание и переработка на вторичное сырье. Более перспективным методом считается переработка. Если сравнивать складирование и сжигание, то сжигание наносит меньший вред окружающей среде. С другой стороны, при сжигании теряется экономическая выгода от вторичной переработки. Несмотря на постоянно разрабатывающиеся и внедряющиеся новые технологии обезвреживания, утилизации и переработки отходов, их складирование на полигоне остается распространенной практикой для большинства стран.

Переработку отходов выполняют по двум направлениям: производство вторичных материалов и выработка энергии. В развитых странах к мусору относятся как к стратегическому ресурсу для получения отопления и электроэнергии, рециклинга металла, пластика, стекла и других материалов. Производство энергии из отходов широко практикуется в Европе, при этом Европейская комиссия продвигает переработку отходов и не рекомендует строительство новых мусоросжигающих заводов[1], хотя технология сжигания, котлы и фильтры постоянно модернизируются.

Отмечается прямая зависимость между экономическим уровнем развития страны и обращением с отходами. Так, в Японии доля перерабатываемых отходов стремится к 100 %. В ряде европейских стран доля переработки отходов превышает 60 %. На рисунке 1 четко прослеживается тенденция обращения с отходами в странах Западной Европы: развитые страны большую долю отходов перерабатывают, более отсталые страны Южной и Восточной Европы практикуют захоронение, переработка там развита слабо.

Государственная политика большинства стран ориентирована на минимизацию образования и накопления отходов. Более того, развитые страны рассматривают переработку отходов как источник прибыли. Мировой рынок отходов оценивают в $ 320 млрд, из которых 20 % – это импорт и экспорт[2], который для большинства стран является ключевым элементом бесперебойной работы отрасли переработки отходов. Главными игроками мирового рынка отходов считаются:

- США – Waste Management, Republic Services;
- Канада – Waste Connections;
- Франция – Veolia Environment, Derichebourg;
- Япония – Hitachi Zosen Corporation.

Так, оборот Waste Management за 2017 год составил более $ 14 млрд, Republic Services – $ 9 млрд. Ведущие компании с выручкой более 1 млрд евро в основном занимаются всем процессом: от сбора и транспортировки до утилизации и производства электроэнергии, а также складированием и захоронением[3]. При этом деятельность данных компаний международная и не ограничивается страной происхождения отходов. Прибыль крупных компаний, занимающихся управлением отходов (сбор, транспортировка, переработка, утилизация), показывает индекс SGI Global Waste Management, рассчитанный банком Societe Generale и агентством Standard & Poor's (рисунок 2).

РИС. 2. Индекс SGI Global Waste Management

[1] *Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. The role of waste-to-energy in the circular economy. Brussels. 26.01.2017.*

[2] *Вторичная переработка полимеров, 2018: Пост-релиз конференции. – 16 февраля 2018. – Москва.– URL: http://www.creonenergy.ru.*

[3] *Борисов А.Б. Большой экономический словарь.– М.: Книжный мир, 2003. – С. 895.*

ТАБЛИЦА 1. Динамика мировой торговли отходами, обрезками и скрапом *(составлено авторами по данным [44])*

	Код ТН ВЭД	Масштабы торговли					Изменение, %			
		2013	2014	2015	2016	2017	2014/ 2013	2015/ 2014	2016/ 2015	2017/ 2016
Мировой экспорт, $ млрд										
Макулатура	4707	9,50	9,26	8,75	9,12	10,26	-3%	-6%	4%	13%
Пластик	3915	6,85	7,00	5,79	5,32	4,92	2%	-17%	-8%	-8%
Резина	4004	0,22	0,25	0,21	0,19	0,22	9%	-13%	-10%	14%
Стекло	700100	0,37	0,41	0,39	0,36	0,39	10%	-5%	-6%	7%
Мировой экспорт, млн т										
Макулатура	4707	54,67	60,05	59,67	56,22	55,01	10%	-1%	-6%	-2%
Пластик	3915	15,31	15,18	15,20	13,35	15,86	-1%	0%	-12%	19%
Резина	4004	0,87	0,98	1,07	1,03	1,35	12%	10%	-4%	31%
Стекло	700100	2,84	3,37	2,94	2,92	3,01	19%	-13%	-1%	3%

За последний год индекс показывает прирост 12,4%. Доля переработки отходов составляет 42% инвестиций, на утилизацию приходится 20%, на сжигание с получением энергии – 17% и только 14% – на захоронение[16]. Убыточная стадия (сбор, транспортировка) компенсируется за счет продажи переработанного сырья и произведенной продукции. В наибольшем объеме в торговый оборот (таблица 1) идет металлолом, на втором месте – макулатура (за 2017 год на мировой рынок поставлено 55,01 млн т макулатуры общей стоимостью $10,2 млрд). Объем мирового рынка отходов пластмасс составил 15,8 млн т, что составляет $ 6,7 млрд. Объем мировой торговли боем стекла находится на уровне 3 млн т/год; отходами резины – 1 млн т/год.

Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Европейское агентство по охране окружающей среды (ЕАО), Агентство США по защите окружающей среды основным направлением борьбы с ростом отходов полагают снижение количества образующихся отходов, однако единого мнения в решении поставленной задачи нет (рисунок 3)[4].

РИС. 3. Иерархия методов обращения с отходами *(составлено авторами по данным [44, 16])*

27 европейских стран 87% собранного пластика доставляют через Гонконг в Китай. Япония и США также экспортируют свои пластиковые отходы в Китай: Америка только в 2016 году экспортировала 1,42 млн т. пластиковых отходов, что принесло Китаю около $ 500 млн прибыли.

Европейцы проанализировали масштабы экологического ущерба от захоронения отходов, посчитали стоимость потерянных ресурсов, добавили огромные площади, занятые отходами и пришли к заключению о необходимости направления политики обращения с отходами в сторону их повторного использования и переработки. Для привлечения к переработке развитые страны вводят поощрительные или ограничительные меры. Поощрение заключается в льготном налогообложении. Реализация отходов населением не облагается налогом ни в одной развитой стране мира.

Вектор инвестиционной активности в сфере управления отходами также изменился в лучшую сторону: появились технологии сбора мусора при помощи роботов, умные мусорные баки и т.п. В сфере переработки стекла внедряются новые технологии. Например, в США практикуется изготовление нового вида кирпичей из стекла и макулатуры. Они имеют высокое сопротивление огню и воде, а также по весу на 60% легче, а их стоимость составляет 2/3 от стоимости обычных кирпичей. Также в США и Канаде тестируется строительство дорог с применением отходов стекла, пластика, асфальта и камня. Решение проблемы с электронными отходами предлагает Университет ООН. Предпочтительный вариант – изъятие электронных отходов у населения при участии производителей, продавцов и местной власти. Каждая часть изъятого оборудования – драгоценные металлы, пластмасса, батареи и пр. – разделяется и перерабатывается. Например, в компании Dell пластик из электронных отходов идет на создание моноблоков, настольных компьютеров и мониторов OptiPlex[5]. Другие варианты: организации сами собирают и/или покупают электронные отходы. Главная задача в сфере управления – повышение доли извлекаемых ценных материалов из электронных отходов.

РИС. 4. Объемы промышленных и бытовых отходов, накопленных в России с 2003 по 2017 годы *(составлено авторами по данным [15])*

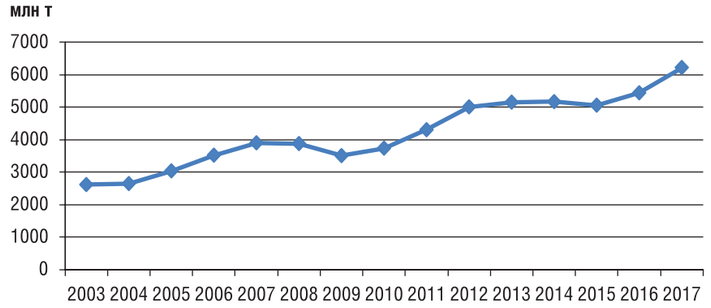


ТАБЛИЦА 2. Показатели рынка отходов в России, 2017, тыс. т *(составлено авторами по данным [16])*

Сырье	Макулатура	Стекло	Пластик	Резина
Ресурсная база	Бумажные отходы	Тара, листовое стекло	Все виды, включая упаковку	Шины, покрышки, камеры
Образование сырья	12 000	4000	3600	729
Сбор	3230	1130	450	95
Объем производства вторсырья	3230	1130	450	66
Экспорт	349	0,2	12	0,5
Импорт	34	62,7	23	10,4
Расчетное потребление на внутреннем рынке	2915	1193	461	76,2
Коэффициент извлечения, %	27	28	12	13

Состояние сбора и переработки отходов в России

По данным Росприроднадзора[6] объемы промышленных и бытовых отходов, накопленных в России за период с 2003 по 2017 гг. выросли более чем вдвое (рисунок 4).

В таблице 2 представлены ключевые показатели переработки отходов в России. Учтены главным образом отходы потребления, потому что промышленные отходы большей частью перерабатываются на собственных мощностях предприятий.

Данные таблицы 2 проиллюстрированы рисунками 5 и 6.

РИС. 5. Образование и сбор отходов в России, тыс. т, 2017 *(составлено авторами по данным [16])*

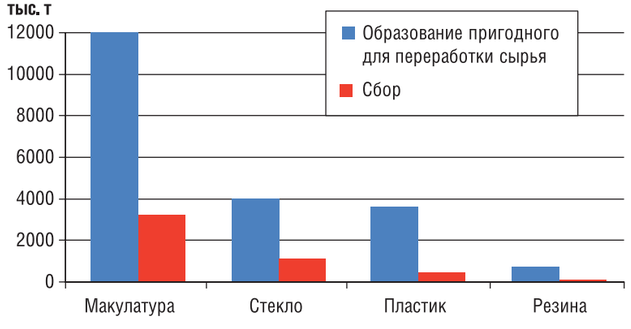
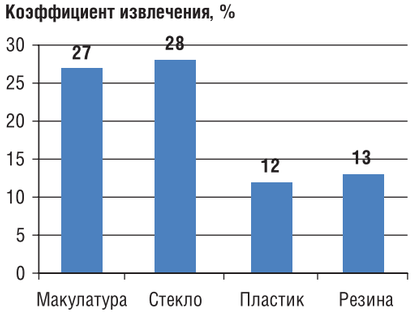


РИС. 6. Коэффициент извлечения, % *(составлено авторами по данным [16])*



[4] *Отходы в графиках и диаграммах – 3.0. ОБСЕ, Базельская конвенция. 2012. // Organization for Security and Co-operation in Europe. – URL: http://www.envsec.org/publications/vitalwaste3_rus_1.pdf.*

[5] *Мажорова О. Электронные отходы в России: подходы есть, культуры нет // CNews Аналитика, 11.05.2017. – URL: http://www.cnews.ru/articles/2017-05-12_elektronnye_othody_v_rossii_podhody_ est_ kultury_net.*

[6] *Образование, использование, обезвреживание и размещение отходов производства и потребления в Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. – URL: http://www.gks.ru.*

ТАБЛИЦА 3. Цены на отходы на российском рынке *(составлено авторами по данным [16])*

Вид	Уровень цен, руб./т с НДС	Вид	Уровень цен, руб./т с НДС
Макулатура	7000	Отходы резины	от 17000
Стекло	от 2000	Пластик	от 35000

Переработка может приводить к удорожанию поступающих отходов до 50%, иногда более, однако стоимость вторсырья при этом ниже стоимости первичного материала. Данные по уровням цен на вторсырье указаны в таблице 3, в которой показано, что более ценные для переработки отходы – пластиковые.

Макулатура. В России образуется более 15 млн т/год макулатуры[16], из них пригодны для переработки 12 млн тонн. Однако собирается, по данным Лиги переработчиков макулатуры, всего 3–3,5 млн т, или около 27% макулатуры. Переработка ведется главным образом с получением макулатурного тарного картона. Другой по объемам сегмент потребления – санитарно-гигиенические изделия (туалетная бумага, полотенца). Также есть способы производства кровельных материалов, эковаты, литьевых бумажных изделий и т.п. Нами проведен патентный поиск, показавший наличие новых изобретений, направленных на совершенствование процесса переработки макулатуры[7 8 9].

Для сравнения, в Германии сбор макулатуры составляет 22 млн т, мощность переработки – 16 млн т (до 60%), остальные 6 млн т собранной макулатуры направляются на экспорт. В России ситуация противоположная: в настоящее время существует возможность переработки более 4 млн. т/год, собрано в 2016 году – только 3,2 млн т. В Европе 70% готовых бумажных изделий изготовляют из вторичного сырья, в РФ – только 30%. Поскольку первичное сырье примерно в 5 раз дороже макулатурного, россияне переплачивают за свои покупки по сравнению с европейцами.

Стеклобой. Крупные компании, занимающиеся сбором и транспортировкой стеклобоя: ООО «Гласс Ресайклинг Раша Центр» (Санкт-Петербург), «ВторКом» (Челябинск), ООО «Экологический региональный центр» (Кемерово), «ООО «Вторстекло» (Московская обл.), ООО «Уральская Стекольная Компания» (Челябинск), ООО «Воронежвторма» и др. Особенностью российского рынка вторичного стекла является то, что на стекольный завод стеклобой поставляется как в подготовленном, так и в необработанном виде (в отличие от мировой практики, где компании, занимающиеся сбором стеклобоя, направляют его на переработку для стекловарения в готовом виде – очищенным и перемолотым).

В РФ ввозится 5% рынка отходов стеклобоя. Импорт стекла достиг в 2017 г. 62,7 тыс. т, это в 7,5 раза больше 2012 года. Около 90% ввозится из Беларуси, остальная часть идет из Украины и Казахстана. Кроме стекольного производства, данный вид отходов потребляют производители пеностекла, стекловолокна для теплоизоляции. Известны в России технологии использования стекла в дорожном строительстве.

К сожалению, сдача стеклянных бутылок для населения не представляет интереса из-за крайне низкой стоимости. Ряд крупных заводов совсем не используют вторичную тару. Крупный потребитель – завод «Балтика», на котором доля своих вторичных бутылок около 20% (до 2003 г. завод использовал только оборотную стеклотару). Принятый регламент Таможенного союза[10] в целях соблюдения гигиены запрещает повторное использование стеклянных бутылок для разлива алкогольных напитков и детского питания. Таким образом, единственный способ – переплавка бутылок, что влечет большие затраты. Однако впоследствии ограничения для алкогольной продукции были сняты[11]. Стеклобой не применяется в изготовлении сортового стекла (посуды, емкостей для вин, декоративных изделий)[12].

Пластик. По отношению к пластиковым отходам ситуация оставляет желать лучшего. Перерабатывается только около 10–15% с получением полиэтилентерефталатовой тары (ПЭТ-тары), упаковочной пленки и прочей упаковки (рисунок 7).

РИС. 7. Переработка пластиковых отходов в России[13] *(составлено авторами по данным [51])*

Все извлекаемые из ТКО пластмассы = 100 %

Упаковочная пленка	20%
Упаковка прочая	24%
ПЭТФ-бутылка	42%
Остальные пластики	14%

[7] *Способ утилизации и переработки вторсырья из целлюлозосодержащих отходов. Патент RU / Панасюк Г.П., Семенов Е.А., Козерожец И.В., Азарова Л.А., Ворошилов И.Л., Белан В.Н., Першиков А.В. // Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) (RU).*

[8] *Способ переработки бумажной макулатуры / Крыщенко К.И., Морозов Ю.И., Дзегиленок В.Н., Нейланд А.Б., Вакулюк В.В. // Патент РФ 2066720.*

[9] *Способ и установка для переработки бумаги / Кочетов О.С., Стареева М.М., Стареева М.О. // Патент RU РФ № 2481429.*

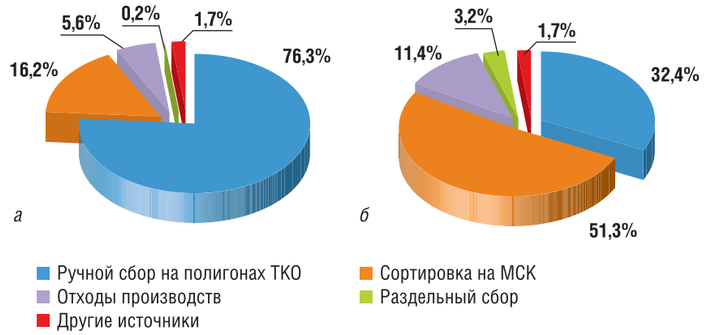
[10] *Решение Комиссии ТС № 769 от 16 августа 2011 г. «О принятии технического регламента Таможенного союза "О безопасности упаковки"».*

[11] *Решение Совета ЕЭК от 15 июня 2012 года № 35.*

[12] *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – М.: Бюро НТД, 2015. № 5. – 479 с.*

[13] *Рзаев К.В. Переработка отходов пластмасс в России. ТКО, 2017. № 1. – С. 7–9.*

РИС. 8. Способы получения вторичного пластика в 2012 г. (а) и 2016 г. (б) *(составлено авторами по данным [51])*



Способы сбора за последние несколько лет изменились в сторону более цивилизованных: если в 2012 году пластиковые отходы в основном собирались на полигонах, то в 2016 г. 50% отходов поставляли мусоросортировочные станции, 3% – системы раздельного сбора и 11,4% – производство (рисунок 8).

На рынке переработки ПЭТ около 63%[16] приходится на волокна и нетканые материалы. Около 17% подвергается полному рециклингу bottle-to-bottle с получением преформ. На третьем месте – получение стреппинг-ленты и пр. (рисунок 8). Единственное в России предприятие, которое получает вторичный ПЭТ-гранулят пищевого назначения, – завод «ПЛАРУС» (Московская обл.) мощностью 30 тыс. т/год. Среди других переработчиков пластиковых отходов: «РБ Групп» (Гусь-Хрустальный, Воронеж, Тихорецк), «ВторКом» (Челябинск), «Селена» (Усть-Джигута) и др.

Резиносодержащие отходы. С 2017 года в России действует ЭкоШинСоюз, учредители которого – международные лидеры по производству шин: Союз заключает договоры по утилизации шин. Действующая ассоциация «Шинэкология» объединяет научно-исследовательские учреждения для совершенствования процесса, поиска новых способов переработки и предприятия, которые специализируются на утилизации.

Крупнейшие компании, перерабатывающие резиносодержащие отходы: Чеховский регенератный завод (50 тыс. т/год) и Волжский шиноремонтный завод (40 тыс. т/год). Переработка резиновых отходов достаточно выгодна.

Стоимость утилизации шин составляет 1600 руб./т. Получаемый металлической корд реализуют по 2500 руб./т, текстильный кордный наполнитель – 2000 руб./т. В исследовании компании «СИБУР» (2011 г.) установлена возможность использования резиновой крошки для изготовления следующих изделий:

- новых автомобильных покрышек – добавляют до 10% крошки,
- шланги, товары народного потребления – до 40%,
- кровельные и рулонные материалы – до 40%,
- железнодорожные шпалы – до 60%,
- напольные коврики – до 100%,
- резиновая брусчатка – 100%,
- подошвы для обуви – до 100%,
- покрытия для дорог – до 14–15 т/км^2.

В мировой практике дорожное строительство – одна из основных отраслей применения резиновой крошки, в России данный рынок пока мал.

Отходы электроники. В РФ образуется 1,2–1,3 млн т/год отходов электронной техники. Однако перерабатывается незначительная часть, что связано с особенностями технологии переработки, недостатком специального оборудования и специалистов; высокими затратами труда; данные отходы разнородные по классу опасности, размеру, уровню востребованности на рынке сбыта; отсутствием постоянного спроса на утилизируемые компоненты, отсутствием инфраструктуры сбора отходов.

На данный момент в РФ действует около 80 предприятий, которые перерабатывают электронные отходы. Большая часть из них собирает, предварительно перерабатывает, занимается разборкой и продажей фракций (металлы, печатные платы, пластик). Отсутствуют предприятия, перекатывающие опасные компоненты: химические источники тока, свинецсодержащее стекло, хладоны. Существует только один завод по утилизации холодильной техники (содержащей фреон) – «УКО» (Московская обл.).

С 2019 года введен запрет на захоронение отработанных шин и покрышек[14]. Также запрет касается металлолома, термометров, ртутных ламп, алюминиевых банок, фольги алюминиевой, бумаги, шин, полиэтилена, стекла. С 2021 года запрещается захоронение компьютерной техники, аккумуляторов, электроприборов, электроинструмента. Данная норма будет стимулировать минимизацию объемов захоронения и, соответственно, увеличить переработку и утилизацию отходов промышленности и потребления.

Экономические проблемы по утилизации бытовых и промышленных отходов

Европейские компании увидели экономическую перспективу в переработке отходов и активно начали действовать. В то же время российские компании теряют шанс получения экономической выгоды. По данным «Ростехнологии», примерно 40% отходов, накопленных в нашей стране, являются ценным вторичным сырьем и могут быть переработаны[15]. В России принято захоранивать и/или складировать отходы на полигонах, потому что практически отсутствуют заводы, которые могли бы соблюдать весь цикл переработки. Именно поэтому в России перерабатывается около 5–7% отходов. Нужно отметить высокие цены на селективный сбор

[14] *Распоряжение Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589-р «Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается».*

[15] *Маркова А.А. Экономические проблемы утилизации бытовых и промышленных отходов / Маркова А.А., Иванова А.А., Пономарев С.В. // Молодой ученый, 2017. – № 21. – С. 218–220.*

ТАБЛИЦА 4. Рекомендации государственным структурам по управлению отходами

Федеральный уровень	Региональный уровень	Муниципальный уровень
• Обучить население экологической грамотности при помощи СМИ, газет, интернета. • Разработать нормативную базу, стимулирующую государственные структуры и бизнес развивать мусороперерабатывающую отрасль. • Выделить средства из бюджета на создание эффективной инфраструктуры для полного цикла переработки отходов, а также на развитие собственных технологий утилизации отходов производства и потребления. • Наложить обязательства утилизации отходов на крупные компании.	• Ужесточить контроль за несанкционированными местами сброса отходов и за мусоровозами в регионах. • Оборудовать полигоны захоронения отходов в соответствии с санитарными и экологическими нормами. • Организовать систематический сбор и вывоз отходов из сельской местности. • Поощрять местный бизнес для строительства мусоросортировочных станций, мусороперерабатывающих заводов и мини-заводов.	• Увеличение количества контейнеров для мусора во дворах, а также создание отдельных мусорных баков для пластика, стекла, бумаги с крышками закрывания (предотвращение доступа животных). • Поощрять местный бизнес для строительства мусоросортировочных станций, мусороперерабатывающих заводов и мини-заводов.

мусора и его сортировку, нужны немалые финансы, чтобы построить инфраструктуру цикла переработки, и необходимо большое потребление электроэнергии при переработке, однако эти затраты покрываются ценой конечного продукта. Есть пути решения проблемы:

- государство строит перерабатывающие заводы и стимулирует к переработке корпорации;
- корпорации сами создают и налаживают цикл переработки;
- фирмы находят организации, которые будут заниматься переработкой.

Нами разработаны рекомендации по федеральному, региональному и муниципальному уровням управления отходами (таблица 4).

Государство должно контролировать ситуацию с отходами при помощи законодательных мер. Стоит начать с ужесточения контроля в регионах над обращением с отходами. Необходимо:

- определить конкретные рамки допустимого объема отходов и превышающего лимит.
- Взимать плату за превышение лимита отходов с предприятий и поощрять те организации, которые занимаются утилизацией;
- создать лимит на захоронение твердых бытовых отходов;
- наложить обязательства утилизации на крупные компании, такие как нефтеперерабатывающие, машиностроительные, химические и т.п.;
- поощрять организации, которые занимаются утилизацией отходов в виде различных льгот;
- создать сформированную инфраструктуру всего цикла переработки отходов;
- планомерно и последовательно обучать население экологической грамотности.

Чтобы полностью создать инфраструктуру утилизации отходов, нужно внедрить в сознание людей, что мусор – это стратегический ресурс, являющийся реальной перспективой получения экономической выгоды. Улучшению ситуации с переработкой и утилизацией в России будет способствовать:

1. *Привлечение финансов за счет инвестиций для создания перерабатывающей инфраструктуры*. Государство должно выдавать кредиты, применять льготы, субсидии из бюджета. Если предприятие занимается переработкой, то со стороны государства будут применяться льготы на налог от прибыли[16]. Такая практика хорошо работает заграницей. Например, в Швеции дают субсидии организациям, которые строят заводы по переработке отходов. В виде субсидий государство выплачивает таким организациям 50% от всех затрат на строительство объекта. Похожая практика существует и в США, но выплачивается организациям только 25% от стоимости строительства. В Западной Европе государства выдают кредиты с нулевым или с очень маленьким процентом для такой деятельности. То же самое существует и в Японии[17].

2. *Корректировка ФЗ* от 24.06.1996 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Закон нуждается в уточнении и детализации, так как в нем отсутствуют конкретные нормы и правила по разделению отходов по группам, утилизации и переработки[18].

3. *Стимулирование инновационных разработок в сфере переработки мусора*. Россия сильно отстает от Европы в сфере технологий переработки отходов, хотя у нас в стране разработки осуществляются. Например, в США компания GLES сделала огромный инновационный рывок в сфере переработки. Она создала систему переработки мусора в энергию.

[16] *Девяткин В. В. Экономические условия переработки отходов по малотоннажным технологиям и рекомендации по мерам стимулирования в этой области / Девяткин В.В., Гаев Ф.Ф. // Твердые бытовые отходы, 2006. – № 6. – С. 8–9.*

[17] *Шуварикова Е.В. Использование международного опыта для решения проблем управления отходами производства и потребления в Пермском крае // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: экономика и менеджмент, 2010. – № 7 (183). – С. 41–48.*

[18] *Пономарев М.В. Тенденции и перспективы совершенствования законодательства в сфере обращения с отходами производства и потребления // Журнал российского права, 2013. – № 4. – С. 22–32.*

В России компаниям нужно больше инвестировать в инновационное развитие переработки отходов. Но, к сожалению, большинство организаций до сих пор видят перспективу лишь в отправке отходов на захоронение.

4. *Расчет эколого-экономической эффективности рециклинга*. Переработка должна положительно влиять на экосистему и иметь экономический потенциал. Профессор А.В. Абрамов смог связать экономическую выгоду и экологический эффект при рециклиге[19]. Он разработал индекс эффективности переработки:

$$I_{er} = F(E, E_c, M) \rightarrow 1{,}0,$$

где I_{er} – индекс эффективности рециклинга (высокое значение свидетельствует об эффективности);

E – показатель экономической эффективности рециклинга;

E_c – показатель экологической эффективности рециклинга;

M – показатель объемов рециклинга.

5. *Развитие перерабатывающего бизнеса*. На данный момент у перерабатывающего бизнеса конкуренция низкая, а объемы отходов постоянно растут. Классическая схема: «контейнер – свалка – рекультивация» экологически опасна. По мнению экспертов, рентабельность бизнеса по переработке достигает 80 %. Строительство универсального перерабатывающего комплекса будет стоить около $ 20 млн. Цех по переработке определенных отходов – около $ 50–300 тыс. Срок окупаемости составит от 10 мес. до полутора – двух лет[20].

6. *Повышение социальной заинтересованности в управлении твердыми бытовыми отходами*. До сих пор актуальной остается организация раздельного сбора мусора. Положительный пример показал финский концерна L&T, осуществляющий в г. Дубне постепенное улучшение ситуации с обращением твердых бытовых отходов. У населения России слабо развито чувство ответственности за состояние окружающей среды. Это препятствует селективному сбору отходов. Такая проблема не решается сразу. Может потребоваться от 10 лет, как было в свое время в Европе.

Заключение

Оценены объемы сбора и переработки твердых коммунальных отходов. В России отмечается тенденция к увеличению объема образованных отходов промышленности и потребления, которые утилизируются преимущественно при помощи захоронения, перерабатывается около 5–7% отходов и около 10% твердых коммунальных отходов, образуемых в городах.

Основные причины неблагоприятной экологической ситуации, связанной с хранением, размещением, накоплением отходов производства и потребления: не хватка мест захоронения отходов, соответствующих экологическим нормам: отсутствие нормативной базы, технологий и/или финансирования новейших способов переработки и утилизации отходов производства и потребления, отсутствие селективного сбора, недостаточное экологическое образование населения, недостаточное количество контейнеров для сбора селективного мусора, отсутствие систематического сбора и вывоза отходов из сельской местности, существование несанкционированных мест для сброса отходов, отсутствие технического контроля за полигонами и мусоровозами.

Огромные объемы отходов составляет пластик. Европейской комиссией предложено увеличить процент переработки всего потока пластиковых отходов в ЕС до 55% к 2025 г. Большая часть пластиковых отходов в мире отправляется на переработку в Китай. В России следует на уровне законодательства запретить производство и использование одноразовой посуды и пластиковых пакетов и перейти на биоразлагаемые технологии производства данных товаров, что уже законодательно закреплено в ряде государств.

К успеху в ситуации с отходами может привести синхронное принятие законодательных актов, взятие обязательств органами власти по внедрению раздельного сбора мусора, внедрение инфраструктуры по раздельному сбору отходов.

Государство должно контролировать ситуацию с отходами при помощи законодательных мер. Стоит начать с ужесточения контроля в регионах над обращением с отходами. Определить конкретные рамки допустимого объема отходов и превышающего лимит. Взимать плату за превышение лимита отходов с предприятий и поощрять те организации, которые занимаются утилизацией. Необходимо:

- Ужесточение контроля государством за сбор и переработку отходов;
- Наложить обязательства утилизации на крупные компании, такие как нефтеперерабатывающие, машиностроительные, химические и другие, создающие наиболее опасные отходы;
- Создать лимит на захоронение твердых бытовых отходов;
- Поощрять льготами организации, которые занимаются утилизацией отходов;
- Создать сформированную инфраструктуру всего цикла переработки отходов;
- Обучить население экологической грамотности;
- Принять управленческие решения по селективному сбору отходов на федеральном, региональном и муниципальном уровнях.

Необходимо осознать, что мусор – это не только конечный продукт, но стратегическое сырье, являющееся реальной перспективой получения экономической выгоды. Стоит рассматривать отходы как ценное стратегическое сырье и обратить внимание на их комплексную переработку, поскольку складируемые отходы, с одной стороны, содержат дорогостоящие компоненты и являются потенциальным источником энергии, а с другой – ведут к существенному загрязнению окружающей среды. ●

KEYWORDS: *industrial waste, recycling, recycling, environmental safety, recommendations to Federal, regional and municipal authorities on waste management.*

[19] *Абрамов А.В. Оценка эффективности рециклинга // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, 2009. – Т. 4. – С. 36–38.*

[20] *Яшалова Н.Н. Эколого-экономические проблемы переработки отходов в рамках концепции «зеленой» экономики / Яшалова Н.Н., Гриднев А.Е. // Стратегия развития экономики. – № 43(232), 2013. – С. 28–36.*

НЕФТЕГАЗ Life

Спикеры X конференции Рынок перевозок нефтеналивных и жидких нефтехимических грузов

Л. Кучерова

Участники выставки Интерлакокраска

Участники выставки Интерлакокраска

Сотрудник «Газпром Добыча Ноябрьск»

Ю. Щербанин

Г. Аверьянов, Г. Жигарева

А. Новак

Центр восстановления деталей горячего тракта Sulzer

А. Голубничий

Докладчики X конференции рынок перевозок нефтеналивных и жидких нефтехимических грузов

Алхимик на стенде компании Vasteco на выставке Интерлакокраска

Ю. Иванов

В. Макарова

Участники выставки Интерлакокраска

Участница конференции «Нефтегазовые горизонты» РГУ имени И.М. Губкина

Участники выставки Интерлакокраска

Центр восстановления деталей горячего тракта Sulzer

Д. Джапаридзе

Участники выставки Интерлакокраска

П. Бичев

М. Плешкин

КЛАССИФИКАТОР ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ ОТ Neftegaz.RU

«Отапливать нефтью – все равно что отапливать денежными ассигнациями»

Д. Менделеев

Любая работа требует системного подхода. А особенно работа в такой стратегически важной сфере, как нефтегазовая. Единого российского классификатора, который был бы вспомогательным инструментом в работе, как нефтегазовых корпораций, так и смежников пока нет. А между тем унифицированная система классификации оборудования, сервиса и технологий, сырья и материалов в НГК просто необходима для эффективной коммерческой работы.

Классификатор нужен как покупателям товаров и услуг, так и производителям в НГК, и позволяет снизить затраты при покупке и продаже товаров и услуг.

Специалисты Агентства Neftegaz.RU, взяв за основу советскую систему классификации и адаптировав ее под реалии сегодняшнего дня (отражающий действительность, а не прошлый день), переиздали удобный для использования классификатор. В основу его лег и собственный, более чем 7-летний опыт работы коммерческого подразделения Neftegaz.RU с компаниями НГК по организации поставок…

Полная версия классификатора представлена на сайте **www.neftegaz.ru**. На страницах нашего журнала редакция будет постоянно информировать читателей о новостях классификатора и печатать его фрагменты.

Классификатор – это не научная разработка, а «шпаргалка», которой удобно пользоваться, которая всегда под рукой.

Ждем ваших предложений по доработке классификатора, которые вы можете высылать на адрес, указанный на нашем сайте в разделе «Редакция».

КЛАССИФИКАТОР ТОВАРОВ И УСЛУГ ДЛЯ НГК

1. *Оборудование и инструмент в НГК*

2. *Сервис, услуги и технологии в НГК*

3. *Сырье и материалы в НГК*

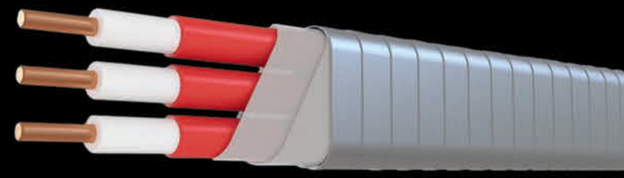
4. *Нефтепродукты, нефть и газ*

ТЕПЛОСТОЙКИЙ НЕФТЕПОГРУЖНОЙ КАБЕЛЬ КППЛБП-140

3 *Сырье и материалы в НГК*

3.5 Кабели

3.5.1 Кабели для питания погружных насосов



КПпЛБП-140 – кабель с медными жилами с двухслойной изоляцией из сополимера пропилена, с ленточным бандажом поверх изоляции каждой жилы, бронированный стальной оцинкованной лентой, плоский, с длительно допустимой температурой нагрева жил +140 °С.

КПпЛБК-140 – круглый.

КПпЛпБП-140 – кабель с медными жилами с двухслойной изоляцией из сополимера пропилена, с ленточным бандажом поверх изоляции каждой жилы, бронированный стальной оцинкованной лентой, плоский, с длительно допустимой температурой нагрева жил +140 °С.

КПпЛпБК-140 – круглый.

КПпФБП-140 – кабель с медными жилами с двухслойной изоляцией из сополимера пропилена, с защитной оболочкой из фторсополимера поверх изоляции каждой жилы, бронированный стальной оцинкованной лентой, плоский, с длительно допустимой температурой нагрева жил +140 °С.

КПпФБК-140 – круглый.

КПсПпЛБП-140 – кабель с медными жилами с двухслойной изоляцией из полиэтилена и сополимера пропилена, с ленточным бандажом поверх изоляции каждой жилы, бронированный стальной оцинкованной лентой, плоский, с длительно допустимой температурой нагрева жил +140 °С.

КПсПпЛБК-140 – круглый.

КПсПпЛпБП-140 – кабель с медными жилами с двухслойной изоляцией из полиэтилена и сополимера пропилена, с ленточным бандажом поверх изоляции каждой жилы, бронированный стальной оцинкованной лентой, плоский, с длительно допустимой температурой нагрева жил +140 °С.

КПсПпЛпБК-140 – круглый.

КПсПпФБП-140 – кабель с медными жилами с двухслойной изоляцией из полиэтилена и сополимера пропилена, с защитной оболочкой из фторсополимера поверх изоляции каждой жилы, бронированный стальной оцинкованной лентой, плоский, с длительно допустимой температурой нагрева жил +140 °С.

КПсПпФБК-140 – круглый.

Кабели предназначены для подачи электрической энергии к погружным электродвигателям установок добычи нефти, водоподъема и перекачки жидкости из шурфов, резервуаров и водоемов, рассчитаны на номинальное переменное напряжение 3,3 кВ, 4,0 кВ и 5,0 кВ частотой до 70 Гц.

Кабели всех марок могут изготавливаться с различными видами защитной брони:

- «Б» – стальная оцинкованная лента;
- «Бк» или «Бнк» – лента из нержавеющей коррозионностойкой стали;
- «Блк» – лента из стали с коррозионностойким покрытием из латуни.

ТРУБЫ ГИБКИЕ ПОЛИМЕРНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ДЛЯ ЗАКАЧКИ ПЛАСТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

3 Сырье и материалы в НГК

3.6 Трубы

3.6.8 Прочее

Полимерно-армированные трубы (ПАТ) изготовлены по технологии «Поликорд-Флекс» 100-4М-УХЛ по ТУ 2248-006-54031385-12, выпускаются диаметром трубы 50 мм, 75 мм, 100 мм на рабочее давление 4 Мпа.

Трубы ПАТ имеют испытательное давление 6 Мпа, тип соединения – фланцевый.

Полимерно-армированные трубы (ПАТ), выкидные трубопроводы предназначены для обустройства внутрипромыслового нефтесбора и использования в качестве технологических трубопроводов и трубопроводов подачи продукции от устья скважин к первичным сборным пунктам. ●

ТУ 2248-006-54031385-12			
ПАРАМЕТР	**ЗНАЧЕНИЕ**		
Внутренний (условный), диаметр, мм	**50**	**75**	**100**
Внутренний фактический, диаметр, мм	**50**	**75**	**90**
Наружный диаметр, мм не более	**85**	**110 + 5**	**135 + 6**
Рабочее давление МПа, макс	**4**	**4**	**4**
Испытательное давление МПа, макс	**6**	**6**	**6**
Длина секции (макс.), м	**350**	**220**	**150**
Радиус изгиба (не более), м	**0,6**	0,75	**1,1**
Вес 1 погонного метра, кг	**6,0**	**8,0**	**10,5**
Тип соединения	**Фланцевый**		

ТУ 2248-007-54031385-12			
ПАРАМЕТР	**ЗНАЧЕНИЕ**		
Внутренний (условный), диаметр, мм	**50**	**75**	**100**
Внутренний фактический, диаметр, мм	**50**	**75**	**90**
Наружный диаметр, мм не более	**85 + 3**	**110 + 5**	**135 + 6**
Рабочее давление МПа, макс	**20**	**15**	**10**
Испытательное давление МПа, макс	**30**	**23**	**15**
Длина секции (макс.), м	**300**	**220**	**150**
Радиус изгиба (не более), м	**0,6**	0,75	**1,1**
Вес 1 погонного метра, кг	**10,0**	**12,0**	**16,0**
Тип соединения	**Фланцевый**		

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ SQ

1 Оборудование и инструмент в НГК

1.1 Оборудование для добычи нефти и газа

1.1.1.3 Электрооборудование буровых установок

Общепромышленные приводы SQ/SQR применяются в водном хозяйстве, энергетике, а также в судостроении, целлюлозно-бумажной и пищевой отраслях промышленности, в системах кондиционирования воздуха.

Температурный диапазон применения очень широк: от -60 до +80 градусов. Предлагается также специальное исполнение от 0 до +120 градусов.

Электроприводы SQ/SQR 07.2 – SQ/SQR 14.2 могут быть оснащены блоками управления AM и AC.

- Высокая степень защиты оболочки.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Крутящий момент	**от 50 Нм до 2400 Нм**
Угол поворота	**от 75° до 105°**
Время поворота	**на 90° от 4 с до 100 с**
Отключение	**по пути и по моменту**
Совместимость с 3ф и 1ф электродвигателями переменного тока	
Ручной маховик для ручного управления	
Механический указатель положения	

- Высокая степень защиты от коррозии.
- Широкий температурный диапазон применения.
- Электрический разъем АУМА (клеммы в качестве опции).
- Крышка с резьбой под различные кабельные вводы.
- Формы присоединения выходного вала в соответствии со стандартами ISO, DIN и OCT. ●

ЭЛЕКТРОПРИВОД С ИЗМЕНЯЕМОЙ СКОРОСТЬЮ

Данный электропривод оснащен частотным преобразователем, который обеспечивает следующие функции: изменяемую скорость, плавный пуск и останов, отсутствие пусковых токов, колебаний напряжения и частоты.

Такой электропривод устойчив к неблагоприятным условиям окружающей среды (стандартный класс коррозионной стойкости C5, IP67, двойное уплотнение – уровень защиты поддерживается при вводе в эксплуатацию), уровни защиты могут быть повышены.

Электропривод предлагается в разных исполнениях: ECOTRON, PROFITRON и HiMod.

- Любые варианты подключения к РСУ (Бинарный, Profibus, Modbus, HART).
- Присоединительные формы по стандартам ISO и DIN, специальные решения в качестве опции.
- Программа COM SIPOS.
- USB-порт для подключения к ПК или USB флэш-карта.
- Bluetooth соединение (PROFITRON и HiMod). ●

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Крутящий момент	**до 2800 Нм (непрерывное регулирование)**
Изменяемая выходная скорость	**до 80 об/мин (непрерывное регулирование)**
Непрерывное регулирование	**класс D в соответствии с EN 15714-2**
Графический интерфейс с поворотно-нажимной кнопкой управления	
Опции по настройке (точности управления)	
Высочайшая точность благодаря датчику положения	
Ввод в эксплуатацию без вскрытия оболочки, защита оболочки обеспечивается и при подключении от заказчика	

«Импорту сейчас нет места в угольной отрасли Украины»

В. Зеленский

«Газификация, водоснабжение, электрификация – это блага, которыми мы должны обеспечивать граждан, независимо от их места проживания в стране»

В. Васильев

«Роль России очень велика. Раньше была холодная война, трения, которые мешали строить тесные отношения, но посмотрите, чего удалось достичь в сотрудничестве Германии с Газпромом»

У. Хайтмюллер

«На сегодняшний день газ – наиболее перспективный из традиционных источников энергии; он единственный имеет все шансы составить в будущем конкуренцию возобновляемым источникам энергии»

А. Новак

«В ближайшие годы нам потребуется не меньше, а больше природного газа»

П. Альтмайер

«По межправсоглашению с РФ Беларусь должна получить 24 млн т/год нефти. Точка»

А. Лукашенко

«Газпром выполнил решение Стокгольмского арбитража оплатить Нафтогазу 5 млрд долл. США, но это не значит, что об отношениях с Газпромом можно забыть»

Ю. Витренко

«Новые детские сады, школы, больницы и аэропорты – все это создается на Ямале благодаря успехам наших ключевых нефтегазовых предприятий»

Д. Артюхов

«Арктика имеет потенциал обеспечить России место одного из лидеров на мировом рынке СПГ, производя до 120 млн т СПГ в год»

А. Крутиков

РЕКЛАМА

ЗАО «ИСТЮНИОН»

ПЕРЕЛЁТЫ ПО ПЛАНЕТЕ ЗЕМЛЯ

АРЕНДА БИЗНЕС-ДЖЕТА

ЧАРТЕР В ЛЮБЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ В РЕЖИМЕ 24/7/365

12 ЛЕТ УСПЕШНОЙ РАБОТЫ НА РЫНКЕ · ЗАКАЗ САМОЛЕТА В ЛЮБОЙ МОМЕНТ
СЕРТИФИЦИРОВАННАЯ ДИСПЕТЧЕРСКАЯ СЛУЖБА · СОБСТВЕННАЯ СЛУЖБА НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ РЕАКТИВНЫХ БИЗНЕС-ДЖЕТОВ CESSNA CITATION В РОССИИ И СНГ

EASTUNION Business Aviation

Cessna A Textron Company

телефон +7 (495) 921 35 29 | факс +7 (495) 269 02 16 | sales@eastunion.ru | www.eastunion.ru
Елена Малова +7 985 786 29 33 | Денис Клепов +7 968 759 45 24

ПАРКОВЫЕ АЛЛЕИ

жилой комплекс

Ваше место под солнцем

КВАРТИРЫ БИЗНЕС-КЛАССА С ВЫХОДОМ В ПАРК

ДВУХУРОВНЕВЫЙ ПОДЗЕМНЫЙ ПАРКИНГ

РАЗВИТАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

СОБСТВЕННЫЙ СПОРТИВНЫЙ КОМПЛЕКС С БАССЕЙНОМ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ОАЗИС В ИСТОРИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ГОРОДА

10 МИНУТ ОТ МЕТРО

+7 (495) 132-12-08

official.parkalley.ru

г. Красногорск, ул. Парковая, д. 8

Застройщик ООО «Парк». Проектная декларация на сайте www.official.parkalley.ru.