



МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССОВ
ПЕРЕРАБОТКИ

СТРАТЕГИИ
РАЗРАБОТКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

VR-ТЕХНОЛОГИИ
В НЕФТЕГАЗОВОМ
КОМПЛЕКСЕ

Нефтегаз.RU

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

ИНТЕРЕСНО О СЕРЬЕЗНОМ

ISSN 2410-3837

6 [150] 2024

ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ НЕФТЕГАЗА



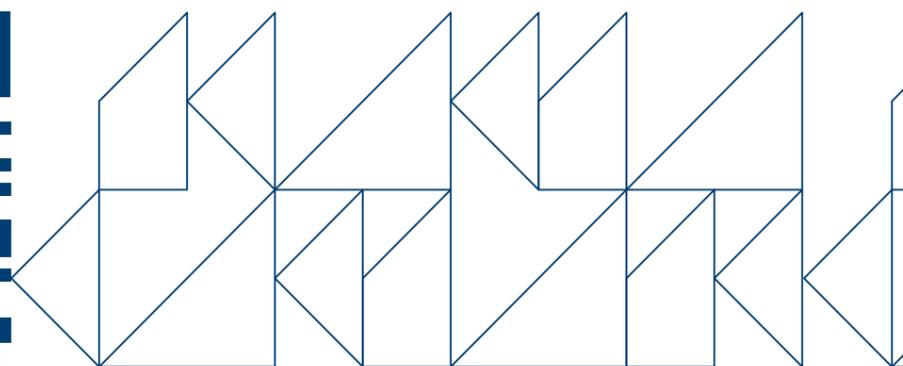
Входит в перечень ВАК (К1)

«ФРАКДЖЕТ-ВОЛГА» КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К НЕФТЕСЕРВИСУ

«ФракДжет-Волга» – это одна идея, 14 лет инноваций и десятки технологий для лидеров нефтегаза. В преддверии 15-летнего юбилея читайте новую главу нашего спецпроекта о роли команды в успехе компании, человекоцентричности и качественно новом подходе к кадровой политике, экосистеме обучения, развитию сотрудников и работе с молодежью.



РЕКЛАМА



НОВЫЕ ПОДХОДЫ К БЕЗОПАСНОСТИ ТЭК



БПЛА: УГРОЗА И ЗАЩИТА ↗



СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ
СООРУЖЕНИЙ ↗



ЗАЩИТА ДАННЫХ ↗

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ ↗



НОВОСТИ ↗



КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ ↗



ИСКУССТВЕННЫЙ
ИНТЕЛЛЕКТ ↗



ПОЛИТИКА
БЕЗОПАСНОСТИ ↗



СИЗ ↗



ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР ↗



РОБОТЫ И
БЕЗОПАСНОСТЬ ↗



ЗАЩИТА ПРОМЫШЛЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ↗



ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА ↗



Цифровой формат нефтегаза



8

Научно-инженерное моделирование процессов переработки нефти и газа



16

Расчет неустановившихся течений в газопроводах при нештатных ситуациях



28

Формирование стратегий разработки группы газовых месторождений: моделирование и оптимизация



36

Эпохи НГК 4

РОССИЯ *Главное*

Цифровой формат нефтегаза 8

Правительство проверит парк вагонов-цистерн 10

События 10

Первой строчкой 12

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Научно-инженерное моделирование процессов переработки нефти и газа 16

Расчет неустановившихся течений в газопроводах при нештатных ситуациях 28

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Формирование стратегий разработки группы газовых месторождений: моделирование и оптимизация 36

Алгоритмы оперативного управления заводнением с применением физико-информированных нейронных сетей 42

Влияние VR-технологий на эффективность производства в нефтегазовом комплексе 52

Календарь событий 55

ПРОМБЕЗОПАСНОСТЬ

Функциональное значение тепловизионных камер 56

БУРЕНИЕ

Обзор роторно-управляемых и наддолотных систем 58

Мобильные установки производства жидкого азота при бурении скважин и эксплуатации месторождений



62

Применение буровых растворов при разработке Майкопских отложений Индоло-Кубанского прогиба



66

Институциональные факторы и условия функционирования НГК



76

Специальный налоговый режим при разработке месторождений углеводородов



86

ДОБЫЧА
Мобильные установки производства жидкого азота при бурении скважин и эксплуатации месторождений 62

ПРОМЫСЛОВАЯ ХИМИЯ
Применение буровых растворов при разработке Майкопских отложений Индоло-Кубанского прогиба 66

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ
Энергетическая независимость нефтегазового комплекса. Новый энергетический стандарт 74

ГОСРЕГУЛИРОВАНИЕ
Институциональные факторы и условия функционирования НГК 76

Хронограф 85

ЭКОНОМИКА
Специальный налоговый режим при разработке месторождений углеводородов 86

Россия в заголовках 93

Исследование финансовых аспектов и особенностей развития ВИНК 94

MODUS VIVENDI
Westin Maldives Miriandhoo Resort: великолепие Мальдив 100
Бутик-отель «Родники» 102

Новости науки 104

Нефтегаз Life 106

Классификатор 108

Цитаты 112

СОДЕРЖАНИЕ

163 года назад

В 1861 году на Нью-Йоркской товарной бирже начались первые торги нефтью, в то время ее цена составляла \$15.

159 лет назад

В 1865 году в США был сооружен первый в мире нефтепровод, его протяженность составила 6 км. В России первый нефтепровод проложили в 1878 году.

146 лет назад

В 1878 году по заказу «Товарищества братьев Нобель» на Линдхольменской верфи в Гётеборге построен первый в мире самоходный металлический нефтеналивной паровой танкер грузоподъемностью 15 тысяч пудов, который использовался для доставки керосина из Баку в Царицын и Астрахань.

145 лет назад

В 1879 году на Литейном мосту в Санкт-Петербурге зажгли 12 электрических фонарей инженера П. Яблочкова.

143 года назад

В 1881 году в Москве по проекту В.Н. Чиколева была построена городская электростанция.

141 год назад

В 1883 году введено электрическое освещение на Обуховском артиллерийском заводе.

137 лет назад

В 1887 году Царское Село стало первым полностью освещенным электричеством населенным пунктом России.

107 лет назад

В 1917 году в США был получен первый СПГ.

75 лет назад

В 1949 году в США был осуществлен первый коммерчески успешный гидроразрыв пласта.

70 лет назад

В 1954 году в промышленную эксплуатацию введена Обнинская АЭС – первая в мире подключенная к электросети атомная электростанция.

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Аналитики
Анатолий Чижевский
Дарья Беляева

Журналисты
Анна Игнатьева
Елена Алифирова
Анастасия Гончаренко
Анастасия Хасанова
Анна Шевченко
Полина Паршинова

Дизайн и верстка
Елена Валетова

Корректор
Виктор Блохин

РЕДКОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Издательство:
ООО Информационное агентство
Neftegaz.RU

Директор
Ольга Бахтина

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

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

Служба технической поддержки
Сергей Прибыткин

Выставки, конференции, распространение
Мария Короткова

Отдел по работе с клиентами
Екатерина Данильчук

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

Адрес редакции:
123001, г. Москва, Благовещенский пер., д. 3, с.1
Тел.: +7 (495) 778-41-01
www.neftgaz.ru
e-mail: info@neftgaz.ru
Подписной индекс Урал Пресс 013265

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

Отпечатано в типографии «МЕДИАКОЛОР»

Заявленный тираж
8000 экземпляров



БАДАЕВСКИЙ

CG CAPITAL GROUP

БЕЗ ТЕНИ СОМНЕНИЯ



+7 495 156 49 63
BADAEVSKIY.COM

К 2035 году доля ТРИЗ
увеличится
до **80** млн т

В 2024 году объем глобального
рынка искусственного интеллекта
составит
3,5 млрд долл.

36,9 %
составляет доля США на рынке
блокчейн-стартапов

На **8-12** %
повышается эффективность НПЗ
после комплексной цифровизации

ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ НЕФТЕГАЗА

Анна Павлихина

В начале июня в Санкт-Петербурге прошел международный энергетический форум, одной из основных тем которого стало развитие цифровых технологий.

Конкурентоспособность нефтегазового комплекса, являющегося основой экономики страны, в значительной степени зависит от внедрения цифровых инноваций на всех этапах технологической цепочки: от геологоразведки до переработки, включая предприятия сопредельных отраслей. Поэтому не будет преувеличением утверждать, что степень цифровизации нефтяных компаний определяет эффективность всего промышленного комплекса. Все используемые в нефтегазе достижения Индустрии 4.0 направлены главным образом на достижение трех основных целей: минимизация внеплановых ремонтов, обеспечение безопасности и – главное – повышение эффективности производства, т.е. увеличение объемов добычи нефти и газа. Достигаются эти цели посредством нескольких задач, на решение которых направлены все цифровые инструменты. Прежде всего, это детальный мониторинг состояния оборудования, минимизация человеческого фактора, автоматизация обработки больших массивов информации, а также дистанционный доступ к показаниям КИП и работа с промышленными объектами в виртуальной реальности.

Необходимость всесторонней интеграции нефтегазового комплекса в Индустрию 4.0 обусловлена главным образом переходом большей части запасов в категорию трудноизвлекаемых. По данным Минэнерго, к 2035 году доля ТРИЗ в общей структуре запасов страны увеличится до 80 млн тонн. Их извлечение сопряжено не только с большими инвестициями, но требует применения специальных технологий, способных в короткие сроки производить сложные расчеты, обеспечивать доступ к информации на расстоянии в сотни километров, контролировать промысловые работы на больших глубинах. Все это невозможно без цифровых продуктов.



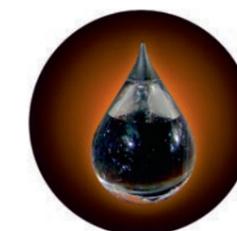
Наша страна и прежде не могла похвастаться особыми успехами внедрения IT решений, не говоря уже о собственных разработках. С 2016 по 2020 годы уровень цифровизации крупнейших российских ВИНКов был ниже минимальных значений. Согласно оценкам ученых Института экономики УрО РАН, средний уровень их цифровизации не дотягивает до минимального значения, характеризующего положительность динамики и установленного на уровне 5 %. В качестве показателя инновационной деятельности выступает патентная активность. Здесь лидерами являются Китай – PetroChina и Саудовская Аравия – Saudi Arabian, а также компании Exxon Mobil Corp, Shell PLC, Total Energies SE, Chevron Corp. Сегодня, когда с российского рынка ушли иностранные вендоры и отрасль со всех сторон блокирована санкциями, передовые технологии в сфере цифровизации, которые появятся в ближайшее время, будут недоступны. Вряд ли в обозримом будущем можно говорить о революционных прорывах, скорее всего получат качественное развитие уже существующие решения, но российской нефтегазовой отрасли придется обходиться тем, что используется сегодня, и лишь расширять перечень предприятий, на которых эти решения будут вводиться. О каких технологиях идет речь?

С 2010 года компании топливно-энергетического комплекса активно начали развивать беспроводные сети и внедрять облачные вычисления, что стало базой для создания инструментов на основе Интернета вещей. С 2019 по 2024 годы глобальный рынок IoT увеличился на 22 %. Промышленные объекты все чаще помещают в условия экстремальных температур, глубоко под землю и на дно шельфа. Функционирование такого оборудования зачастую невозможно без роботов, оснащенных искусственным интеллектом. В 2024 году объем мирового рынка продуктов на базе искусственного интеллекта, предположительно, составит 3,5 млрд долл., а через 10 лет вырастет до 13 млрд долл., рынок робототехники к 2030 году вырастет до 24,7 млрд долл. На каждом этапе производственной цепочки прогнозировать риски и справляться с нештатными ситуациями помогает визуализация. При помощи 3D создаются модели сложных коллекторов, прогнозируется производительность пласта, в условиях ограниченного доступа к импортным комплектующим аддитивные технологии широко применимы в реверс-инжиниринге. Однако на рынке 3D-технологий нефтегазовая отрасль занимает лишь 2,5 %.

В области стратегии не обойтись без анализа больших данных, а в области тактики – без MES. Согласно прогнозам, глобальный рынок систем управления производством к 2029 году расширится до 23 млрд долл. Для обучения персонала широко применяют иммерсивные технологии – AR, VR, MR, XR, которые используются также в качестве наиболее зрелищного приема демонстрации на выставках. При транспортировке и хранении углеводородов и нефтепродуктов многие компании внедряют технологии блокчейн. Первое место по количеству блокчейн-стартапов (36,9%) принадлежит США, второе – Великобритании (14,8%), третье – Эстонии, Швейцарии и Канаде (4,5%), к которым приближается Китай (4%). Россия не вошла даже в двадцатку лидеров применения блокчейн-технологии, ее доля менее 0,5%.

Согласно данным McKinsey, комплексная цифровизация НПЗ позволяет снизить эксплуатационные расходы на 12–20%, незапланированные простои оборудования – на 15–25%, повышает эффективность на 8–12%. Цифровые продукты уже перестали быть просто инструментом повышения эффективности, они – непереносимое условие выживания предприятия, его эволюционное качество. Сегодня российские компании вынуждены искать пути импортозамещения и переходить на отечественные продукты. Самыми узкими местами специалисты называют геодезирование, ГИС, мониторинг и сопровождение эксплуатационного бурения, проектирование инфраструктуры и обустройства месторождений. Программные решения в области автоматизации, управления технологическими процессами как в процессах добычи, так и в процессах переработки практически отсутствуют.

Добыча на некоторых месторождениях все еще возможна методами, применяемыми полвека назад. Но если компании нацелены на сохранение конкурентоспособности, обеспокоены сохранением здоровья кадров, безопасностью своих производств и поддержанием чистоты окружающей среды и в целом сохранением производства, придется адаптироваться к условиям шестого технологического уклада, построенного в цифровом формате. ●



ПРАВИТЕЛЬСТВО ПРОВЕРИТ ПАРК ВАГОНОВ- ЦИСТЕРН

Анастасия Хасанова

Правительство поручило Минэнерго, Минпромторгу, Минтрансу совместно с РЖД и нефтяными компаниями представить отчет о достаточности вагонов-цистерн с учетом оборачиваемости вагонов и предложить меры, способствующие решению вопросов отгрузки топлива, учитывая баланс использования цистерн в 2018–2027 гг.

А. Новак также рекомендовал Минэнерго и ФАС проанализировать логистические риски поставки нефтепродуктов, которые связаны с новыми правилами недискриминационного доступа перевозчиков к инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования. Постановление о внесении поправок в правила доступа перевозчиков к железнодорожной инфраструктуре подписанное премьер-министром вступит в силу 1 сентября 2024 г.

В конце мая нефтяные компании сообщали, что нехватка цистерн сказывается на поставках СУГ нефтехимическим предприятиям. По данным участников рынка, с начала года не удалось отгрузить десятки тысяч тонн СУГ, а закупка цистерн затруднена из-за загрузки мощностей вагоностроителей и роста цен. Так, дефицит вагонов-цистерн привел к невыполнению плана отгрузки СУГ более чем на 50 тыс. т в январе-апреле 2024 г. Это вызвало снижение переработки нефти на НПЗ и повлекло нарушение обязательств по поставке моторных топлив потребителям в России. Топ-менеджеры нефтегазовых компаний предлагали снять для цистерн запрет продления срока службы на 3–5 лет и скорректировать планы заводов по их выпуску.

Согласно данным Минпромторга, мощности российских заводов в состоянии удовлетворить потребность в вагонах-цистернах для перевозки нефтепродуктов и СУГ при обеспечении среднесрочной контрактации, но продление срока службы такого подвижного состава полностью не решит вопрос. Основная проблема эксплуатации цистерн для перевозки топлива – оборот вагонов и их длительный простой под выгрузкой и загрузкой. ●

Рейтинги Neftegaz.RU

В начале июня биржевые цены эталонной марки нефти Brent впервые за последние четыре месяца опустились ниже 78 долл за барр. Где предел падения цены на нефть и почему этот самый востребованный в мире энергоноситель так стремительно дешевеет?

Почему падает цена на нефть?

38%

Мировые цены на нефть падают из-за решения ОПЕК+ о постепенном восстановлении добычи

12%

На цену повлияли данные по запасам нефти и нефтепродуктов от Минэнерго США

26%

Достижение договоренностей между ХАМАС и Израилем, т.к. прекращение конфликта вернет танкеры в Суэцкий канал, а следовательно, снизит себестоимость доставки УВ

4%

Наращивание добычи рядом стран не входящих в ОПЕК

20%

Высокий спрос на нефть странами АТР и снижение дисциплины соблюдения квот со стороны некоторых участников ОПЕК+

Россия больше не входит в состав «арктической пятерки», четыре страны – Дания, Канада, Норвегия и США разорвали с ней отношения по декларации А5, в рамках которой обсуждались проблемы континентального шельфа

Как повлияет на развитие Арктики выход России из А5?

34%

Прекращение диалога усилит территориальные споры

46%

Без координации действий может ухудшиться экологическая обстановка в регионе

8%

На ситуации в Арктике приостановка контактов никак не скажется

2%

Ответственность за деятельность в Арктическом регионе снизится

10%

Отсутствие необходимости информировать партнеров по соглашению о своих действиях упростит работу в регионе



ВАРТЕЕС LTD

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



Высокоскоростной центробежный насос со встроенным редуктором (API 610 OH6)



Вертикальный насос (OH6)

Насосные агрегаты • Запасные части • Сервис

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

РЕКЛАМА



Цех



Испытательный стенд



Сервис на площадке Сибур

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

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

www.calt11.com

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

Второй венка ВСТО
Богуманская ТЭС запущена
Продажа квот
Цены на газ
Южный поток
Дошли руки до Арктики
Северный поток достроили

ОПЕК+ снижает добровольные ограничения

2 июня состоялись три мероприятия ОПЕК и ОПЕК+: заседание Объединенного министерского мониторингового комитета ОПЕК+, конференция ОПЕК и министерская встреча ОПЕК+. Было принято решение продлить действующие в 2024 г. целевые уровни по добыче нефти на весь 2025 г., практически на том же уровне, что и в 2024 г. Максимальный разрешенный уровень добычи установлен на уровне 39,725 млн барр в сутки, что на 300 тыс. выше по сравнению с уровнем, действующим в 2024 г. за счет увеличения квоты для ОАЭ, которые в 2025 г. смогут нарастить добычу на 300 тыс. барр в сутки, увеличение будет осуществляться поэтапно с января и до конца сентября 2025 г. Согласно установленной квоте 9 стран ОПЕК (без Ирана, Венесуэлы и Ливии) будут добывать 24,135 млн барр в сутки. В частности, Россия – 9,949 млн барр в сутки. Представители 8 стран ОПЕК+, добровольно сокращающие

добычу сверх квот, провели личную встречу, на которой приняли решение о частичном поэтапном восстановлении добычи начиная с октября 2024 г. Кроме того Россия намерена компенсировать объемы избыточной добычи нефти, превысившие план по добыче в рамках договоренностей ОПЕК+, допущенные в апреле 2024 г., когда она превысила свои добровольные обязательства по добыче на 193 тыс. барр в сутки.

Газпромнефть-Аэро – авиатопливный оператор Газпром нефти – внедрил в работу первый в стране топливозаправщик-электромобиль. Использование аэродромного тягача с электродвигателем позволяет на полном заряде производить до 6 заправок самолетов «в крыло». Блок литий-ионных аккумуляторных батарей исключает эмиссию CO₂ и более чем на 60% снижает операционные затраты на эксплуатацию техники

Muanda International Oil Company разведала залежи нефти на континентальном шельфе Демократической Республики Конго. За последние 30 лет это первые положительные результаты поиска нефти на шельфе страны

Страны ЕС одобрили закон о введении ограничений на выбросы метана при импорте нефти и газа в Европу с 2030 г. К этой дате Европейская комиссия определит допустимые пределы содержания метана. Импортерам, которые нарушат это ограничение, могут грозить финансовые санкции. Новые правила ударят по крупным поставщикам газа, таким как США, Алжир и Россия

Управление по ядерному регулированию в Великобритании впервые за 12 лет выдало лицензию для строительства атомной электростанции. Проект предусматривает запуск двух водо-водяных реакторов мощностью 1,6 ГВт каждый. Среди акционеров – британское правительство (50%) и французская компания EDF Energy (50%)

Первая в мире водородная станция

Китайская компания CHN Energy Baoshen Railway Group запустила г. Ордосе первую в мире водородную станцию по заправке локомотивов, работающих на гибридных водородно-электрических источниках питания. Станция обеспечивает гидрирование для мощных маневровых локомотивов, работающих на водороде, а также нулевых аккумуляторов типа водородный топливный элемент совместно с литиевой батареей.

Она оснащена первой беспилотной установкой, функционирующей при температуре до -25 °С.

Автоматы могут заправить локомотив за 30 минут, этого запаса топлива хватит на 800 км. Согласно планам станция снизит потребление дизельного топлива большегрузными локомотивами на 225 т. И позволит сократить выбросы углекислого газа на 800 т в год.

В Китае строят крупнейшую в стране плавучую СЭС

Китайская национальная ядерная корпорация (CNNC) приступила к строительству крупнейшей в стране морской солнечной электростанции. СЭС строится на побережье Желтого моря, в провинции Цзянсу, недалеко от Тяньваньской АЭС. Ожидается, что проект позволит экономить 680 тыс. т в год угольного эквивалента и сократить выбросы углекислого газа на 1,77 млн т. Проект разделен на две части – морскую и береговую. Морская часть состоит из более чем 3,3 млн фотоэлектрических модулей, образующих 480 массивов. Береговая часть представляет собой систему накопления (хранения) энергии мощностью 400 МВт*ч. Подключение к сети запланировано на сентябрь 2024 г., а выход на полную мощность – на 2025 г. В течение 25-летнего периода эксплуатации среднегодовая выработка электроэнергии достигнет 2,234 млрд кВт·ч. После завершения строительства СЭС, она будет объединена

В Южнокорейских водах Японского моря обнаружили крупные запасы нефти и природного газа. Месторождение в заливе Ёниль может насчитывать 14 млрд барр. нефти и природного газа. Этого объема нефти Республике Корея хватит на 4 года, а природного газа – на 29 лет

Кувейт запустил крупнейший в регионе НПЗ Al-Zour мощностью 1,415 млн барр. в сутки и нарастил объем переработки нефти до 1,8 млн барр. в сутки. НПЗ предназначен для переработки тяжелой нефти, в его составе 3 установки первичной перегонки, 3 установки гидроочистки дизельного топлива, 2 установки гидроочистки нефти, 2 установки гидроочистки керосина

Египетская Rosetta Energy Solutions подписала соглашения с Tanzania Petroleum Development Corporation и Africa50 по развитию первого в Танзании малотоннажного проекта СПГ. Совместное предприятие будет инвестировать, разрабатывать и эксплуатировать первый в Танзании виртуальный газопровод, завод по сжижению природного газа, локальные регазификационные станции, парк грузовиков с криогенными цистернами

Газпромнефть-Восток открыла новое месторождение в Томской области с геологическими запасами около 30 млн т углеводородов. Это крупнейшее открытие в регионе за последние пять лет. Новое месторождение получило название Нежданый мыс

с Тяньваньской АЭС. Ожидается, что СЭС и АЭС сформируют крупномасштабную комплексную энергетическую базу с общей установленной мощностью 10 ГВт.

Добурили до ачимовских залежей

Запущена промышленная добыча природного газа и газового конденсата на участке 3А ачимовских залежей Уренгойского

НГКМ. Ввод в эксплуатацию более глубоких залежей природного газа крайне важен не только в плане поддержания и роста объемов газа собственной добычи. Газпром ведет полномасштабную разработку Уренгойского НГКМ, работая на традиционных сеноманских и валанжинских залежах, а также вовлекая в разработку более глубокие ачимовские отложения. Геологические запасы участка 3А составляют 200,7 млрд м³ природного газа и 67,9 млн т газового конденсата. Сложность разработки связана с аномально высоким пластовым давлением, малой толщиной залежей (всего 10 м) и низкой проницаемостью пород. Участок 3А будет разрабатываться с помощью скважин с рекордной для отрасли длиной горизонтальных участков (до 1800 м) и метода многостадийного ГРП. Схема разработки актива предполагает бурение 32 высокотехнологичных горизонтальных скважин. Добыча на участке 3А Уренгойского месторождения на полке составит до 5 млрд м³ газа в год и 1,5 млн т газового конденсата в год. ●

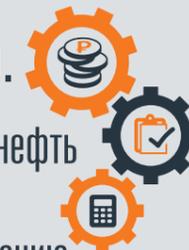
На **70 %**
заполнены
ПХГ в ЕС



Трубопроводные поставки газа в Европу через вторую нитку МГП Турецкий поток выросли на **90,68 %** по сравнению с маем 2023 г.

225
млрд руб.

вложила Роснефть в проекты по использованию ПНГ за 10 лет



На **20 %**
снизился экспорт электроэнергии из России в 1 квартале 2024 г. из-за сокращения поставок в Китай и Грузию



До **1,8** млрд т
вырастет грузопоток по СПМ с 2024 по 2035 г.



13,6 млн долл.
выделит Всемирный банк для Камбаратинской ГЭС-1



На **4 %**
выросла чистая прибыль Транснефти в 1 квартале 2024 г.



На **33 %**
упала чистая прибыль ФосАгро в 1 квартале 2024 г.



На **13,1 %**
снизила добычу газа Группа Газпром в 2023 г.

Добыча жидких углеводородов увеличена на **6,6 %**



в **1,8** раза
Казахстан намерен повысить производство продукции нефтегазохимии



До 2029 г. планируется реализовать 5 крупных проектов на **14,3 млрд долл.**

На **15 %**
по сравнению с 2023 г. увеличились инвестиции нефтегазовых компаний на норвежском шельфе



924
тыс. барр. в сутки
составил среднесуточный уровень добычи нефти в Венесуэле в мае



1,1 млрд долл.
инвестирует Equinor в новую инфраструктуру месторождения Troll



До **2 %**
Италия снизила долю российского газа в импорте, суточный объем **20** млн м³ не превышает



На **7,4 %**
ФАС РФ увеличивает тариф на транспортировку дизельного топлива по системе Юг



На **1,3 %**,
до **10,4** млрд м³,
Норвегия нарастила добычу природного газа в апреле 2024 г.



На **1,8 %**
снизилась добыча нефти в России в январе – апреле 2024 г., добыча газа выросла на **8 %**



До **4** млн барр. в сутки
Иран планирует увеличить добычу нефти



На **3,2 %**
сократилась нефтедобыча в ХМАО в 2023 году



2 новых производства
за **180** млрд руб.
построит СИБУР в Нижнекамске



в **1,5** раза
подорожал российский уголь для стран ЕС после введения эмбарго



НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ процессов переработки нефти и газа

Боев Артем Сергеевич

отделение нефтегазового дела,
доцент, к.х.н.

Ивашкина Елена Николаевна

отделение химической инженерии,
профессор, д.т.н.

Чузлов Вячеслав Алексеевич

доцент, к.т.н.

Долганов Игорь Михайлович

доцент отделения химической инженерии,
к.т.н.

Назарова Галина Юрьевна

отделение химической инженерии,
ассистент, к.т.н.

Инженерная школа природных ресурсов,
Национальный исследовательский Томский
политехнический университет

В СТАТЬЕ ПРОДЕМОНСТРИРОВАНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ РОССИЙСКОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И ГАЗА. НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССА ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ ГУДРОНА ПОКАЗАН ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ПУТЬ ПОСТРОЕНИЯ СТРОГОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ МОДЕЛИ. ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ УСТАНОВКИ СЕПАРАЦИИ ГАЗА ДЕМОНСТРИРУЮТ ВЫСОКУЮ КАЧЕСТВЕННУЮ И КОЛИЧЕСТВЕННУЮ СХОДИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ В ПК PROGRESS И КОММЕРЧЕСКОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ. СДЕЛАНЫ ВЫВОДЫ О НЕОБХОДИМОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДГОТОВКИ ХИМИКОВ-ТЕХНОЛОГОВ С ВНЕДРЕНИЕМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ МОДУЛЕЙ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ И СИСТЕМНОМУ АНАЛИЗУ ПРОЦЕССОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА КАДРОВ, СПОСОБНЫХ СОЗДАВАТЬ РОССИЙСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

THE ARTICLE DEMONSTRATES THE RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF A RUSSIAN SOFTWARE PACKAGE FOR SCIENTIFIC AND ENGINEERING SIMULATION OF OIL AND GAS REFINING PROCESSES. USING THE EXAMPLE OF THE PROCESS OF DELAYED COKING OF FLUX, A USER PATH FOR CONSTRUCTING A RIGOROUS ENGINEERING MODEL IS SHOWN. THE PRESENTED RESULTS OF SIMULATING THE OPERATION OF A GAS SEPARATION PLANT DEMONSTRATE HIGH QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CONVERGENCE OF THE CALCULATION RESULTS PERFORMED IN THE PROGRESS PC AND COMMERCIAL SOFTWARE. CONCLUSIONS ABOUT THE NEED TO ORGANIZE SYSTEMATIC CONTINUOUS TRAINING OF CHEMICAL TECHNOLOGISTS WITH THE INTRODUCTION INTO EDUCATIONAL PROGRAMS OF MODULES ON MATHEMATICAL SIMULATION AND ON SYSTEM ANALYSIS OF CHEMICAL TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE REPRODUCTION OF PERSONNEL CAPABLE OF CREATING RUSSIAN TOOLS FOR ENGINEERING SIMULATION HAVE BEEN DRAWN

Ключевые слова: программный комплекс, инженерное моделирование, технологическая схема, замедленное коксование, математическая модель.

В настоящее время происходит цифровая трансформация нефтегазоперерабатывающей отрасли, сопровождаемая оптимизацией систем управления технологическими процессами [1].

Цифровые двойники – сложнейшие математические модели технологических процессов, установок и комплексов НПЗ. Помимо информации о каждом элементе технологического объекта, включающей данные о характеристиках деталей и узлов, инженерных систем, средств автоматизации, их сроках службы, периодах обслуживания и т.д., они содержат еще и описание всех физико-химических процессов в реакторном, массообменном и прочем оборудовании, процессов потребления и выработки энергии, всех возможных параметров сырья и продуктов производства.

Такие двойники позволяют точно рассчитать и при необходимости корректировать производственный план для конкретной установки, а в случае полной цифровизации производственной цепочки – для всего нефтеперерабатывающего предприятия.

Цифровые двойники технологических процессов являются фундаментом предиктивного подхода. С их помощью можно моделировать любые отклонения, а прогноз вероятных последствий позволяет кросс-функциональной команде оперативно принимать необходимые решения.

В связи с высокой импортозависимостью нефтегазового сектора от программных продуктов и средств имитационного моделирования [2–4], а также невысокой зрелостью открытых решений [5] в настоящее время возникла острая необходимость создания российской системы, включающей в себя модели ключевых процессов и аппаратов процессов подготовки и переработки углеводородного сырья [6–9].

Разработка платформы для моделирования и ее наполнение математическими моделями

ФАКТЫ PROGRESS

– веб-приложение для моделирования химико-технологических процессов от единичных реакций до полного цикла процессов на нефтеперерабатывающих заводах

важнейших процессов нефтепереработки стали целями проекта по созданию такого продукта, а именно программного комплекса (ПК) PROGRESS для научно-инженерного моделирования процессов переработки нефти и газа, который реализуют специалисты Национального исследовательского Томского политехнического университета, имеющие значительный задел и компетенции по моделированию химико-технологических процессов.

Объекты и методы

В качестве объектов для моделирования и реализации в виде отдельных модулей были выбраны как вспомогательные процессы, встречающиеся на НПЗ любой конфигурации (нагрев, охлаждение, компримирование потоков и проч.), так и массообменные процессы, а также процессы химического реагирования.

При создании ПК PROGRESS используется комплексный подход, включающий решение следующих задач:

- Разработка функционально-технических требований к математическим моделям процессов вторичной нефтепереработки и программному комплексу.

- Сбор и анализ экспериментальных данных с промышленных объектов вторичной нефтепереработки НПЗ России. Мониторинг работы технологического оборудования на объектах переработки углеводородного сырья для получения исходных данных для моделирования.
- Проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях для уточнения недостающих данных для моделирования процессов переработки нефти и настройки параметров разрабатываемых моделей, а также формирования базы данных физико-химических параметров тяжелых углеводородов и реакций с их участием.
- Разработка модулей нефтяного и основных термодинамических пакетов. Создание базы компонентов и их свойств.
- Разработка модулей расчета вспомогательного оборудования, такого как теплообменные аппараты, насосы, компрессоры.
- Разработка универсальных программных модулей моделей химических реакций и реакторов.
- Разработка математических моделей массообменных процессов: абсорбции и ректификации углеводородных смесей.
- Разработка математических алгоритмов, описывающих каталитические превращения в процессах вторичной переработки фракций нефти, учитывающих изменение состава сырья, тип катализатора через кинетические параметры реакций, технологический режим работы аппаратов.
- Разработка и программная реализация численных алгоритмов решения обратной кинетической задачи. Тестирование разработанного алгоритма поиска кинетических параметров реакций процессов вторичной нефтепереработки. Нахождение кинетических параметров моделей химико-технологических процессов переработки нефтяного сырья.
- Разработка методики оценки качества и точности разработанных математических моделей. Верификация разработанных моделей на основе экспериментальных данных, полученных в лабораторных и промышленных условиях.
- Формирование библиотеки математических моделей реакторных процессов нефтепереработки. Создание платформы для моделирования процессов вторичной нефтепереработки.
- Тестирование прототипа программного комплекса с качественной оценкой расчетных трендов по основным показателям процессов вторичной нефтепереработки при изменении фракционного состава сырья, а также в широком интервале изменения управляющих технологических параметров работы реакторного оборудования.

Результаты и обсуждение

Программный комплекс для научно-инженерного моделирования процессов переработки нефти и газа представляет собой веб-приложение, предназначенное для моделирования химико-

ФАКТЫ

Архитектура

ПО

включает back-end часть, на которой запускаются расчетные модули и содержится вычислительное ядро и front-end часть, верстка которой функционально соответствует целевым пользовательским сценариям и поддерживает построение структурной схемы с нуля

технологических процессов от единичных реакций до полного цикла процессов на нефтеперерабатывающих заводах. Научно-инженерное моделирование подразумевает, что ПО содержит инструменты поддержки как процессов построения строгих инженерных моделей установок переработки нефти и газа, так и проведения численных исследований (научно-исследовательского моделирования). При этом ПК предназначен для стационарного моделирования, проектирования химико-технологических процессов и оптимизации.

Разработанный программный комплекс имеет единую базу данных. IT-архитектура продукта позволяет легко наращивать перечень выполняемых функций и модернизировать уже имеющиеся. Каждая функциональная задача приложения выполняется отдельным модулем.

Принятые проектные решения в части программного обеспечения удовлетворяют следующим основополагающим принципам построения систем:

- открытость: программное обеспечение разработанного ПК использует общедоступные протоколы и интерфейсы, обеспечивающие интеграцию создаваемых решений как между собой, так и с внешними информационными системами;
- модульность: система построена с использованием модульной архитектуры, подразумевающей реализацию основных функций в качестве отдельных модулей, обеспечивающих возможность их независимой модификации; сбой в работе одного из модулей не приводит к полному прекращению функционирования системы в целом;
- масштабируемость: архитектура программного обеспечения позволяет осуществлять подключение новых узлов и программных модулей; объемы хранимой и обрабатываемой системой информации могут увеличиваться без длительной модификации программного кода программного обеспечения;
- единство графического представления: в пользовательских интерфейсах

РИСУНОК 1. Страница редактирования схемы установки

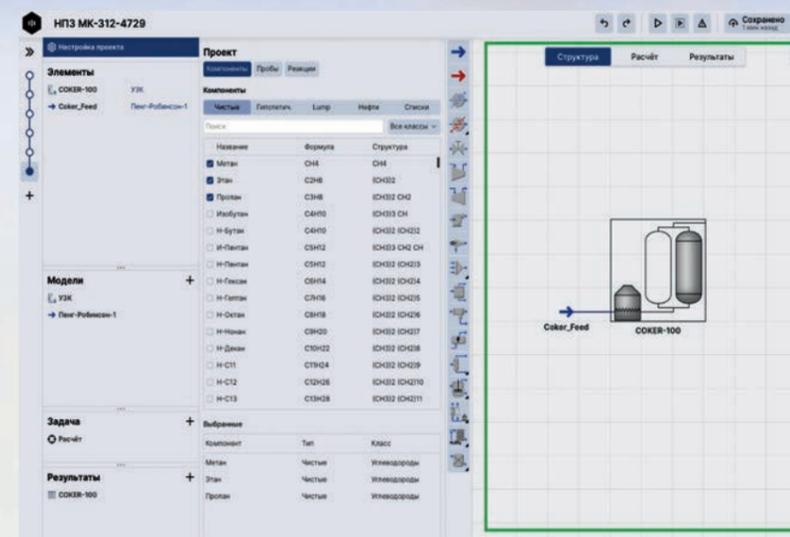


РИСУНОК 2. Список избранных химических компонентов

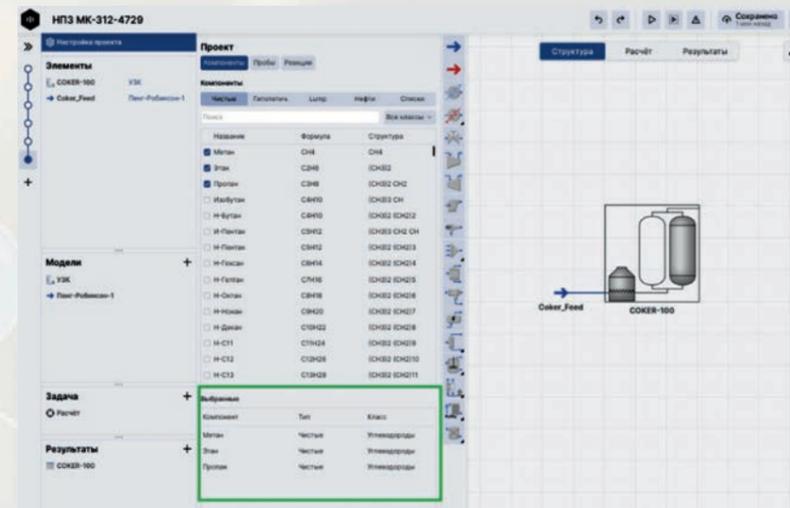


РИСУНОК 3. Расчетная схема установки



использованы общие принципы графического представления информации и организации доступа пользователей к функциональным возможностям и сервисам системы.

Архитектура программного обеспечения, разработанного ПК PROGRESS, включает: back-end часть, на которой запускаются расчетные модули и содержится вычислительное ядро; front-end часть, верстка которой функционально соответствует целевым пользовательским сценариям и поддерживает построение структурной схемы «с нуля».

Первым шагом на пути к созданию ПК PROGRESS стала подготовка программного интерфейса системы с активными элементами, позволяющими воспроизвести user journey процесса создания моделей двух установок, используя доступные в системе химические компоненты и модели потоков и аппаратов.

На примере процесса замедленного коксования гудрона ниже продемонстрирован пользовательский путь создания строгой инженерной модели установки. После этапа авторизации пользователя в web-приложении создается проект и далее формируется либо редактируется технологическая схема установки с использованием доступных элементов в палитре (рис. 1). На схему пользователем добавляется элемент «Материальный поток» ко входу блока замедленного коксования.

Далее создается список избранных химических компонентов в рамках проекта (рис. 2), при этом осуществляется выбор из библиотеки компонентов из более, чем 1500 наименований.

Также существует возможность выбора индивидуальных или lmptr-компонентов из библиотеки. В дальнейшем конфигурируется модель потока, задаются его базовые и дополнительные характеристики.

Создается модель блока замедленного коксования, где задаются технологические параметры проведения процесса, вводятся характеристики реакторного блока установки замедленного коксования.

РИСУНОК 4. Результат расчета материального баланса в середине работы реакторного блока УЗК



РИСУНОК 5. Схема с сепараторами, построенная в ПК PROGRESS

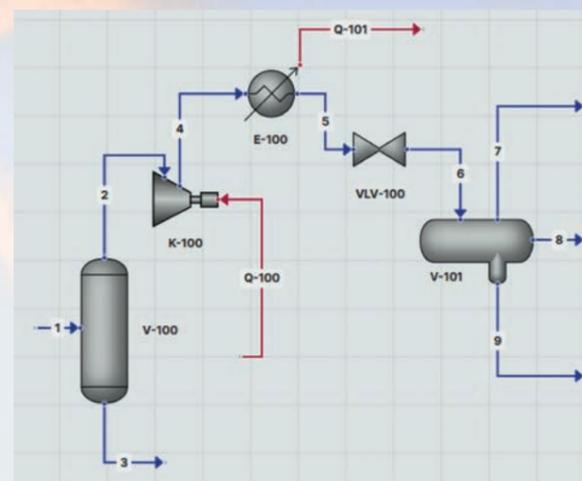


ТАБЛИЦА 1. Исходные данные для моделирования процесса сепарации газа

Объект на схеме	Параметр	Значение	
Поток 1	Давление, кПа	4000	
	Температура, °C	20	
	Массовый расход, кг/ч	10000	
	Состав, мольные доли:		
	Метан	0,9253	
	Этан	0,0436	
	Пропан	0,0153	
	изо-Бутан	0,0043	
	н-Бутан	0,0034	
	изо-Пентан	0,0017	
	н-Пентан	0,001	
	н-Гексан	0,0008	
	н-Гептан	0,0011	
н-Октан	0,0012		
Вода	0,002		
Метанол	0,0003		
Компрессор К-100	КПД, %	75	
	Метод расчета КПД	Адиабатический	
	Давление выходящего потока, кПа	8200	
Охладитель E-100	Температура выходящего потока, °C	10	
Клапан VLV-100	Перепад давления, кПа	6200	

Аналогичный путь проходит пользователь программного комплекса при построении строгой инженерной модели установки сепарации газа. Общий вид схемы с сепараторами представлен на рис. 5. Поток 1 вначале поступает в двухфазный сепаратор V-100, из которого выходит поток газа 2 и поток выделившейся жидкости 3. Поток 2 поступает далее на нагнетание в компрессор К-100, откуда выходит поток 4, который, в свою очередь, охлаждается в охладителе E-100. Охлажденный поток 5 дросселируется через клапан VLV-100, откуда поток 6 поступает в трехфазный сепаратор V-101. Из V-101 выходят следующие потоки: поток газа 7, поток углеводородного конденсата 8 и водный поток 9. Аналогичная схема также была построена в коммерческом пакете.

В качестве исходных данных использованы значения, приведенные в таблице 1. Результаты расчетов для потоков представлены в таблицах 2–10. Результаты расчетов для энергетических потоков представлены в таблице 11.

Для верификации результатов выполненных расчетов проведено варьирование некоторых параметров в исходных данных. Так, проведены расчеты при:

- снижении давления потока 1 в два раза;
- увеличении давления потока 1 в два раза;
- снижении температуры потока 1 на 10 °C;
- увеличении температуры потока 1 на 10 °C.

Пользователь конфигурирует задачу, просматривает расчетную схему (вычислительный граф), (рис. 3) запускает расчет установки.

В результате появляется возможность рассчитать среднесуточный материальный баланс установки, в том числе с оценкой его в динамике, рис. 4.

В основе математической модели процесса замедленного коксования гудрона заложены физико-химические закономерности превращений групп высококипящих углеводородов в компоненты углеводородных газов, бензиновой, среднестиллятной фракций и кокса, базирующиеся на классических законах кинетики и термодинамики химических процессов, протекающих в реакторном оборудовании [10–12].

ФАКТЫ
Цифровые инструменты
внедряются и активно используются в инженерной деятельности во всем мире

ТАБЛИЦА 2. Сравнение результатов расчета для потока 1

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли			
Доля отгона	0,9968	0,9970	0,0210
Мольный расход, моль/ч	560,71	560,71	0,0003
Объемный расход при стандартных условиях, м³/ч	13487,23	13216,85	2,0457
Молярная энтальпия, кДж/моль	-79138,03	-78344,75	1,0126
Средняя молярная масса, г/моль	17,83	17,83	0,0251
Плотность, кг/м³	32,92	32,92	0,0069
Действительный объемный расход, м³/ч	303,76	303,79	0,0091
Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	31,24	30,60	2,1069

ТАБЛИЦА 3. Сравнение результатов расчета для потока 2

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли			
Метан	0,9279	0,9278	0,0106
Этан	0,0437	0,0437	0,0085
Пропан	0,0153	0,0153	0,0026
изо-Бутан	0,0043	0,0043	0,0079
н-Бутан	0,0034	0,0034	0,0153
изо-Пентан	0,0017	0,0017	0,0480
н-Пентан	0,0010	0,0010	0,0022
н-Гексан	0,0007	0,0007	0,4880
н-Гептан	0,0008	0,0008	0,5973
н-Октан	0,0006	0,0006	0,8375
Вода	0,0005	0,0006	13,8575
Метанол	0,0002	0,0002	0,9929
Массовый расход, кг/ч	9915,85	9917,76	0,0192
Мольный расход, моль/ч	558,97	559,03	0,0116
Объемный расход при стандартных условиях, м³/ч	13 445,39	13 177,74	2,0311
Молярная энтальпия, кДж/моль	-78 645,23	-77 870,021	0,9955
Средняя молярная масса, г/моль	17,74	17,74	0,0048
Плотность, кг/м³	32,66	32,66	0,0008
Действительный объемный расход, м³/ч	303,63	303,67	0,0129
Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	30,96	30,60	2,1526

ТАБЛИЦА 4. Сравнение результатов расчета для потока 3

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли			
Метан	0,0893	0,0910	1,7299
Этан	0,0199	0,0203	1,7179
Пропан	0,0220	0,0224	1,7205
изо-Бутан	0,0140	0,0143	1,7541
н-Бутан	0,0152	0,0155	1,7422
изо-Пентан	0,0169	0,0172	1,7652
н-Пентан	0,0127	0,0131	3,3848
н-Гексан	0,0279	0,0278	0,5536
н-Гептан	0,0868	0,0883	1,7415
н-Октан	0,1802	0,1851	2,6422
Вода	0,4742	0,4634	2,3279
Метанол	0,0409	0,0418	2,2453
Массовый расход, кг/ч	84,14	82,24	2,3102
Мольный расход, моль/ч	1,74	1,68	3,7317
Молярная энтальпия, кДж/моль	-237 504,44	-236 609,81	0,3781
Средняя молярная масса, г/моль	48,37	49,05	1,3704
Плотность, кг/м³	667,72	693,72	3,7477
Действительный объемный расход, м³/ч	0,1260	0,1186	6,2937
Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	119,85	119,29	0,4655

ТАБЛИЦА 5. Сравнение результатов расчета для потока 4

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли			
Метан	0,9279	0,9278	0,0106
Этан	0,0437	0,0437	0,0085
Пропан	0,0153	0,0153	0,0026
изо-Бутан	0,0043	0,0043	0,0079
н-Бутан	0,0034	0,0034	0,0153
изо-Пентан	0,0017	0,0017	0,0480
н-Пентан	0,0010	0,0010	0,0022
н-Гексан	0,0007	0,0007	0,4880
н-Гептан	0,0008	0,0008	0,5973
н-Октан	0,0006	0,0006	0,8375
Вода	0,0005	0,0006	13,8575
Метанол	0,0002	0,0002	0,9929
Массовый расход, кг/ч	9915,85	9917,76	0,0192
Температура, °С	77,00	77,00	0
Давление, кПа	8200	8200	0
Доля отгона	1	1	0
Мольный расход, моль/ч	558,97	559,03	0,0112
Объемный расход при стандартных условиях, м³/ч	13 445,39	13 177,74	2,0311
Молярная энтальпия, кДж/моль	-76 432,36	-76 014,88	0,5492
Средняя молярная масса, г/моль	17,74	17,74	0,0080
Плотность, кг/м³	55,57	55,57	0,0081
Действительный объемный расход, м³/ч	178,44	178,46	0,0110
Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	33,70	33,50	0,5903

ТАБЛИЦА 7. Сравнение результатов расчета для потока 6

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1	Относительное расхождение, %	Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли				Состав, моль. доли			
Метан	0,9279	0,9278	0,0106	Доля отгона	0,9955	0,9955	0,0058
Этан	0,0437	0,0437	0,0085	Мольный расход, моль/ч	558,97	559,05	0,01366
Пропан	0,0153	0,0153	0,0026	Объемный расход при стандартных условиях, м³/ч	13 445,39	13 178,06	2,0286
изо-Бутан	0,0043	0,0043	0,0079	Молярная энтальпия, кДж/моль	-79 921,91	-79 029,57	1,1291
н-Бутан	0,0034	0,0034	0,0153	Средняя молярная масса, г/моль	17,74	17,74	0,0080
изо-Пентан	0,0017	0,0017	0,0480	Плотность, кг/м³	18,28	18,28	0,01418
н-Пентан	0,0010	0,0010	0,0022	Действительный объемный расход, м³/ч	542,49	542,53	0,0074
н-Гексан	0,0007	0,0007	0,4880	Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	29,52	28,72	2,78
н-Гептан	0,0008	0,0008	0,5973				
н-Октан	0,0006	0,0006	0,8375				
Вода	0,0005	0,0006	13,8575				
Метанол	0,0002	0,0002	0,9929				
Массовый расход, кг/ч	9915,85	9917,76	0,0192				
Температура, °С	-17,06	-17,06	0				
Давление, кПа	2000	2000	0				

ТАБЛИЦА 6. Сравнение результатов расчета для потока 5

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли			
Метан	0,9279	0,9278	0,0106
Этан	0,0437	0,0437	0,0085
Пропан	0,0153	0,0153	0,0026
изо-Бутан	0,0043	0,0043	0,0079
н-Бутан	0,0034	0,0034	0,0153
изо-Пентан	0,0017	0,0017	0,0480
н-Пентан	0,0010	0,0010	0,0022
н-Гексан	0,0007	0,0007	0,4880
н-Гептан	0,0008	0,0008	0,5973
н-Октан	0,0006	0,0006	0,8375
Вода	0,0005	0,0006	13,8575
Метанол	0,0002	0,0002	0,9929
Массовый расход, кг/ч	9915,85	9917,76	0,0192
Температура, °С	10	10	0
Давление, кПа	8200	8200	0
Доля отгона	0,9996	0,9995	0,0062
Мольный расход, моль/ч	558,97	559,03	0,0116
Объемный расход при стандартных условиях, м³/ч	13445,39	13177,74	2,0311
Молярная энтальпия, кДж/моль	-79 921,91	-79 393,31	0,6658
Средняя молярная масса, г/моль	17,74	17,74	0,0079
Плотность, кг/м³	80,18	80,20	0,0145
Действительный объемный расход, м³/ч	123,66	123,69	0,0046
Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	31,12	30,67	1,4887

ТАБЛИЦА 8. Сравнение результатов расчета для потока 7

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1	Относительное расхождение, %	Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли				Состав, моль. доли			
Метан	0,9315	0,9315	0,0043	Доля отгона	1	1	0
Этан	0,0437	0,0437	0,0017	Мольный расход, моль/ч	556,48	556,52	0,0074
Пропан	0,0150	0,0150	0,0223	Объемный расход при стандартных условиях, м³/ч	13 385,40	13 119,34	2,0280
изо-Бутан	0,0040	0,0040	0,0606	Молярная энтальпия, кДж/моль	-79 409,50	-78 495,84	1,1640
н-Бутан	0,0031	0,0031	0,0983	Средняя молярная масса, г/моль	17,53	17,53	0,0083
изо-Пентан	0,0013	0,0013	0,2473	Плотность, кг/м³	17,99	17,99	0,0081
н-Пентан	0,0007	0,0007	0,3841	Действительный объемный расход, м³/ч	542,25	542,29	0,0077
н-Гексан	0,0003	0,0003	3,4364	Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	29,08	28,23	3,0013
н-Гептан	0,0001	0,0001	2,4285				
н-Октан	$2,94 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	1,2798				
Вода	$5,39 \cdot 10^{-5}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	18,3543				
Метанол	$4,51 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	8,0390				
Массовый расход, кг/ч	9753,34	9754,88	0,0158				
Температура, °С	-17,06	-17,06	0				
Давление, кПа	2000	2000	0				

ТАБЛИЦА 9. Сравнение результатов расчета для потока 8

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли			
Метан	0,1315	0,1317	0,0922
Этан	0,0487	0,0484	0,5592
Пропан	0,0765	0,0760	0,5973
изо-Бутан	0,0605	0,0602	0,4395
н-Бутан	0,0709	0,0705	0,4960
изо-Пентан	0,0871	0,0868	0,3516
н-Пентан	0,0665	0,0674	1,3986
н-Гексан	0,1120	0,1108	1,1514
н-Гептан	0,1827	0,1838	0,6237
н-Октан	0,1583	0,1601	1,1702
Вода	$2,42 \cdot 10^{-5}$	$3,33 \cdot 10^{-5}$	27,1754
Метанол	0,0053	0,0041	28,4900
Массовый расход, кг/ч	155,78	155,60	0,1140
Температура, °С	-17,06	-17,05602333	0
Давление, кПа	2000	2000	0
Доля отгона	0	0	0
Мольный расход, моль/ч	2,17	2,16	0,3449
Молярная энтальпия, кДж/моль	-180 882,60	-181 589,51	0,3893
Средняя молярная масса, г/моль	71,88	72,04	0,2300
Плотность, кг/м³	657,85	664,98	1,071645018
Действительный объемный расход, м³/ч	0,2368	0,2340	1,1985
Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	132,9892	137,5076	3,2859

ТАБЛИЦА 10. Сравнение результатов расчета для потока 9

Параметр потока	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1	Относительное расхождение, %
Состав, моль. доли			
Вода	0,8200	0,8326	2,1029
Метанол	0,1800	0,1674	10,4625
Массовый расход, кг/ч	6,74	7,52	10,4134
Температура, °С	-17,06	-17,06	0
Давление, кПа	2000	2000	0
Доля отгона	0	0	0
Мольный расход, моль/ч	0,33	0,369398384	11,4811
Молярная энтальпия, кДж/моль	-282 701,30	-283 479,93	0,2746
Средняя молярная масса, г/моль	20,61	20,36	1,2061
Плотность, кг/м³	806,62	975,46	17,3092
Действительный объемный расход, м³/ч	0,0084	0,0077	8,3392
Изохорная теплоемкость, кДж/(моль · К)	95,56	76,16	25,4664

ТАБЛИЦА 11. Сравнение результатов расчета для потока 9

Энергетический поток	Значение в ПК PROGRESS, кДж/ч	Значение в коммерческом пакете 1, кДж/ч	Относительное расхождение, %
Q-100	1 240 130,24	1 267 208,52	2,1368
Q-101	1 950 563,11	1 888 662,80	3,2774

ТАБЛИЦА 12. Изменение параметров при снижении давления потока 1 в два раза

Поток	Параметр	Тенденция
Поток 1	Доля отгона	Увеличение
	Молярная энтальпия	Увеличение
	Плотность	Снижение
	Изохорная теплоемкость	Снижение
Поток 2	Массовый расход	Увеличение
	Молярная энтальпия	Увеличение
	Плотность	Снижение
	Изохорная теплоемкость	Снижение
Поток 3	Массовый расход	Снижение
	Молярная энтальпия	Снижение
	Плотность	Увеличение
	Изохорная теплоемкость	Увеличение

ТАБЛИЦА 14. Изменение параметров при снижении температуры потока 1 на 10 °С

Поток	Параметр	Тенденция
Поток 1	Доля отгона	Снижение
	Молярная энтальпия	Снижение
	Плотность	Увеличение
	Изохорная теплоемкость	Снижение
Поток 2	Массовый расход	Снижение
	Молярная энтальпия	Снижение
	Плотность	Увеличение
	Изохорная теплоемкость	Снижение
Поток 3	Массовый расход	Увеличение
	Молярная энтальпия	Увеличение
	Плотность	Снижение
	Изохорная теплоемкость	Увеличение

ТАБЛИЦА 16. Сравнение значений доли отгона в потоке 1

Давление, кПа	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1
2000	0,9981	0,9983
4000	0,9969	0,9970
8000	0,9981	0,9982

Качественные изменения зависимых параметров приведены в таблицах 12–16.

Тенденции доли отгона потока 1, а также энтальпии потока 3 при изменении давления входного потока 1 (таблицы 12, 13) совпадают с таковыми в коммерческом пакете, как показано в таблицах 16 и 17 соответственно.

По представленным выше результатам расчетов можно сделать вывод о том, что заложенные

ТАБЛИЦА 13. Изменение параметров при увеличении давления потока 1 в два раза

Поток	Параметр	Тенденция
Поток 1	Доля отгона	Увеличение
	Молярная энтальпия	Снижение
	Плотность	Увеличение
	Изохорная теплоемкость	Увеличение
Поток 2	Массовый расход	Увеличение
	Молярная энтальпия	Снижение
	Плотность	Увеличение
	Изохорная теплоемкость	Увеличение
Поток 3	Массовый расход	Снижение
	Молярная энтальпия	Снижение
	Плотность	Увеличение
	Изохорная теплоемкость	Снижение

ТАБЛИЦА 15. Изменение параметров при увеличении температуры потока 1 на 10 °С

Поток	Параметр	Тенденция
Поток 1	Доля отгона	Увеличение
	Молярная энтальпия	Увеличение
	Плотность	Снижение
	Изохорная теплоемкость	Увеличение
Поток 2	Массовый расход	Увеличение
	Молярная энтальпия	Увеличение
	Плотность	Снижение
	Изохорная теплоемкость	Увеличение
Поток 3	Массовый расход	Снижение
	Молярная энтальпия	Снижение
	Плотность	Увеличение
	Изохорная теплоемкость	Снижение

ТАБЛИЦА 17. Сравнение значений энтальпии в потоке 3

Давление, кПа	ПК PROGRESS	Коммерческий пакет 1
2000	-253 115,33	-250 358,12
4000	-237 504,44	-236 609,81
8000	-284 714,03	-283 902,17

в ПК PROGRESS алгоритмы расчета процесса сепарации газа в большинстве случаев дают малое относительное расхождение с результатами расчетов в коммерческом ПО. Случаи, где относительное расхождение высоко, связаны с малыми абсолютными значениями величин или с несовершенством

применяемых методик расчета. При этом, безусловно, требуется доработка методик расчета, что в конечном итоге приведет к повышению точности расчетов с использованием представленного программного продукта.

Вместе с тем разработанный программный продукт адекватно описывает тенденции по изменению свойств и состава потоков при варьировании термобарических условий, что соответствует теоретическим закономерностям заложенных в основу моделей физико-химических процессов и подтверждается представленными результатами.

Заключение

Внедрение и активное использование новых цифровых инструментов в практику инженерной деятельности является основной тенденцией развития промышленных предприятий как в России, так и за рубежом. Нефтеперерабатывающая отрасль не является исключением, т.к. использование строгих инженерных моделей и цифровых двойников процессов получения моторных топлив на НПЗ позволяет существенно повысить эффективность операционной деятельности предприятий. Это позволяет проводить оценку качества и выхода продукции на НПЗ, рассчитывать сценарии работы установок, оптимизировать параметры технологического режима объектов. С помощью инженерных моделей установок формируются данные для планирования производства.

В ТПУ разрабатываются и внедряются в промышленность новые математические модели массообменных процессов и процессов химического реагирования, в том числе каталитических технологий. Уникальность моделей заключается в том, что они основаны на фундаментальных физико-химических закономерностях. Сегодня специалистами ТПУ осваиваются новые направления применения разработанных моделей: от отдельных модулей для прогнозирования работы промышленных установок до тренажерных комплексов. Усилия коллектива направлены на решение задач импортозамещения в области программного обеспечения для проектирования, моделирования и оптимизации процессов переработки углеводородного сырья в полезные нефтепродукты.

Реализация таких проектов стала возможной благодаря сформированной методологической основе подготовки специалистов, которые, с одной стороны, имеют прочные знания в области химической технологии нефти и газа (процессы и аппараты, принципы функционирования оборудования и пр.), компетентны в области промышленного катализа, а также владеют навыками разработки математического описания процессов и реализации математических алгоритмов в виде программных кодов.

Кросс-функциональной командой разработчиков созданы функционально-технические требования к математическим моделям и программному комплексу для научно-инженерного моделирования

ФАКТЫ

Математическая модель

процесса замедленного коксования гудрона основана на физико-химических закономерностях превращений групп высококипящих углеводородов в компоненты углеводородных газов, бензиновой, среднестиллятной фракции и кокса, базирующихся на законах кинетики и термодинамики химических процессов, протекающих в реакторном оборудовании

процессов переработки нефти и газа. Разработаны модули нефтяного пакета и основных термодинамических пакетов, выполнена их программная реализация. Созданы модули расчета вспомогательного оборудования: пропускной способности клапана для различных потоков; теплообменных аппаратов, компрессора, насосного оборудования. На примере процесса сепарации газа и замедленного коксования гудрона реализован первый прототип ПК PROGRESS.

Созданные и разрабатываемые модули процессов построены на строгих физических и химических принципах и закономерностях процессов подготовки и переработки углеводородного сырья. Это позволяет применять модели в широком диапазоне параметров работы установок и в целях имитационного моделирования отклоняться от технологических параметров текущей работы действующих объектов.

Это принципиально отличает модели, применяемые в ПК PROGRESS, от появляющихся на рынке продуктов, созданных на базе обработки больших массивов данных с промышленных установок с помощью нейронных сетей и относительно хорошо работающих в узком диапазоне условий проведения процессов в рамках только тех объектов, работу которых они описывают. При этом заложенные в такого рода ПО алгоритмы моделирования, по сути, представляют собой «черный ящик», что накладывает серьезные ограничения на перспективное применение подобных моделей для интеграции с АСУТП с целью безлюдного управления производственными объектами. Модели, основанные на использовании нейронных сетей, применимы для создания тренажеров конкретных установок или реакторных блоков установок заводов.

Разработанные модели программного комплекса PROGRESS уже сейчас используются для решения наукоемких задач научного инжиниринга сложных химических процессов. Это задачи по инжинирингу химических

реакторов и вспомогательного оборудования, прогнозированию межремонтных пробегов промышленных установок, расчету материальных и тепловых балансов аппаратов.

Такой инструмент будет востребован как в центрах инженерного моделирования на предприятиях нефтегазовой сферы, так и проектных организациях, научных центрах. При этом это позволит сформировать новые подходы к подготовке кадров в сфере нефтепереработки, основанные на системной инженерии; изучение технологии будет происходить через призму метода математического моделирования и системного анализа – от уровня компонентного состава нефти до процессов, протекающих в химических реакторах, и в целом до уровня целого завода.

Стоит отметить, что, несмотря на высокую потребность в такого рода специалистах, существует значительная неопределенность в аспекте подготовки технологов-модельеров ввиду ограниченного числа образовательных учреждений, занимающихся данным направлением на приемлемом уровне. Ситуация усугубляется тем, что в 90-е и двухтысячные годы многие отечественные вузы совершили полный переход на импортное ПО для подготовки специалистов химиков-технологов, что впоследствии привело к утрате компетенций по созданию математических моделей процессов и аппаратов химической технологии «своими руками».

Как следствие, специалисты по инженерному моделированию на предприятиях более чем за тридцатилетний период привыкли к комфортной работе с вендорами, что привело к «менеджеризации» технологических кадров. Это не позволяет образовательным организациям во многих случаях опереться на них, как на источник передового знания.

В настоящее время зарубежные продукты оказались недоступными к эксплуатации. При этом существуют определенные отечественные разработки для моделирования массообменных процессов, которые подходят для образовательного трека.

Для подготовки кадров, способных не только эффективно использовать цифровые инструменты, но и создавать собственные математические модели и программные коды, требуется поддержка научных и образовательных школ по математическому моделированию и организация системной непрерывной подготовки химиков-технологов с внедрением в образовательные программы модулей по математическому моделированию и системному анализу химико-технологических процессов. При этом изучение новых цифровых технологий в таких программах должно происходить через решение задач химической технологии.

Отечественному моделированию в области нефтегазопереработки предстоит пройти трудный путь становления в части создания конкурентоспособных продуктов, как для российского, так и зарубежного рынка. Это возможно сделать только при формировании

ФАКТЫ

Алгоритмы расчета

процесса сепарации газа в ПК PROGRESS в большинстве случаев дают малое относительное расхождение с результатами расчетов в коммерческом ПО

кадров со сложным профилем компетенций на стыке информационных и химических технологий и только лишь при тесном интенсивном взаимодействии с индустрией. Данный путь сейчас проходит команда разработчиков ПК PROGRESS, создавая продукт для индустрии и научно-образовательного сообщества. ●

Исследование выполнено в рамках проекта Национального исследовательского Томского политехнического университета «Передовые инженерные школы», соглашение Минобрнауки России № 075-15-2022-1146 от 07.07.2022 (ПИШ-НИР-2024-002).

Литература

1. «Газпром нефть» представила проект трансформации/Integration24.ru <https://integration24.ru/2019/07/08/gazprom-neft-predstavil-proekt-transformacii/?ysclid=le52z885em587418367>.
2. Lara P., Sanchez M., Villalobos J. Enterprise modeling and operational technologies (OT) application in the oil and gas industry // Journal of Industrial Information Integration. – 2020. – V. 19. – № 100160. – P. 1–15.
3. A framework for assessing capability in organisations using enterprise models / M. Romero, W. Guedria, H. Panetto, B. Barafort // Journal of Industrial Information Integration. – 2022. – V. 27. – № 100297. – P. 1–20.
4. Vernadat F. Enterprise modelling: research review and outlook // Computers in Industry. – 2020. – V. 122. – № 103265. – P. 1–22.
5. DWSIM – Open Source Chemical Process Simulator User Guide Version 8.6.5 October 2023 – URL: <https://dwsim.org/> (дата обращения: 08.05.2024)
6. Чузлов В.А., Кольчева У.Н. Моделирование процесса изомеризации гептановой фракции // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2022. № 10 (130). С. 46–50.
7. Ивашкина Е.Н., Иванчина Э.Д., Назарова Г.Ю. Математическое моделирование процесса каталитического крекинга // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2019. № 9 (93). С. 114–120.
8. Чузлов В.А., Долганов И.М., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Кривцова Н.И., Коткова Е.П. Интеллектуальная гидроочистка // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2020. № 9 (105). С. 38–44.
9. Воробьев А., Ивашкина Е.Н., Иванчина Э.Д., Чузлов В.А., Назарова Г.Ю., Антонов А.В. Разработка гидродинамической модели лифт-реактора процесса каталитического крекинга // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2021. № 10 (118). С. 40–46.
10. Methods for Modeling and Optimizing the Delayed Coking Process in a Fuzzy Environment / Batyr Orazbayev, Elmira Dyussembina, Gulzhan Uskenbayeva // Processes 2023, 11, 450.
11. Predicting coke morphology in Delayed Coking from feed characteristics / Cesar Ovalles, Estrella Rogel, Paul Hajdu // Fuel 2019.
12. Kinetic Modeling of the Thermal Cracking of a Brazilian Vacuum Residue / Bruno M. Souza, Leonardo Travalloni, Monica A. P. da Silva // Energy Fuels 2015, 29, 3024–303.

KEYWORDS: software package, engineering modeling, technological scheme, delayed coking, mathematical model.



8–11 октября

РЕКЛАМА 18+

ПРИГЛАШАЕМ НА ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГАЗОВЫЙ ФОРУМ – 2024!



ВЫСТАВОЧНАЯ ПРОГРАММА

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

ОФИЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ЭКСКУРСИИ



ОТКРЫТЫЕ ТВ-СТУДИИ

МОЛОДЕЖНЫЙ ДЕНЬ

КУЛЬТУРНАЯ ПРОГРАММА

СПОРТИВНАЯ ПРОГРАММА

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



ПАРТНЕРЫ



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР



10 ЛЕТ НА СОБЫТИЙНОЙ ВЫСОТЕ!



GAS-FORUM.RU

САМАЯ АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПМГФ В TELEGRAM-КАНАЛЕ @GASFORUMSPB



Полная версия журнала
доступна по подписке