РГАСНТИ 44.09.29

ISSN 2409-5516

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№10(164), октябрь 2021

Тема номера

НЕФТЕХИМИЯ КАК ОДИН ИЗ ОТВЕТОВ НА ВЫЗОВЫ ЭНЕРГОПЕРЕХОДА

РОСКОНГРЕСС
Пространство доверия

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ

Российская Энергетическая Неделя 2021

Международный форум

13–15 октября

Москва, ЦВЗ «Манеж»
rusenergyweek.com

Генеральный газовый партнер
ГАЗПРОМ

Генеральный атомный партнер
РОСАТОМ

Генеральный партнер
НОВАТЭК

Стратегический партнер
РОССЕТИ

Официальный партнер
ГАЗПРОМ НЕФТЬ

Официальный партнер
СБЕР

Официальный партнер
СИБУР

Реклама 6+

РОССЕТИ

«Россети» – вместе в будущее

Содержание

5 **Слово редакторов**

От первого лица

6 **А. Новак.** Нефтегаз высоких переделов

Химия

12 **Т. Хазова, А. Гатунок.** Научно-технологический рывок в нефтегазохимии

Энергопереход

26 **К. Емельянов, Н. Зотов.** Экономия на декарбонизации
38 **С. Рогинко.** Трансграничные углеродные налоги: риски для российского ТЭК

Атом

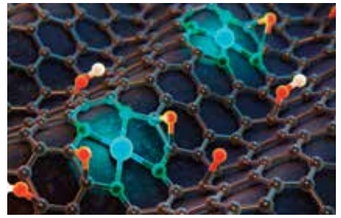
48 **В. Семенов, Т. Щепетина, С. Попов.** Развитие малых атомных станций: задачи и перспективы

Тепло

64 **В. Стенников, А. Пеньковский.** Рынок тепла: мировой опыт развития централизованного теплоснабжения
76 **Д. Хитрых.** О цифровой трансформации энергетической отрасли

Нефть

90 **О. Будзинская.** Кадровое обеспечение нефтегазовой отрасли в новых условиях



Contents

5 **Editor's Column**

In the first person

6 **A. Novak.** High value-added oil production

Petrochemistry

12 **T. Khazova, A. Gatunok.** Scientific and technological breakthrough in oil and gas chemistry

Energy Transition

26 **K. Emelyanov, N. Zotov.** Savings on decarbonization
38 **S. Roginko.** Cross-border carbon taxes: risks for the Russian fuel and energy complex

Nuclear power

48 **V. Semenov, T. Shchepetina, S. Popov.** Development of small nuclear power plants: tasks and prospects

Thermal energy

64 **V. Stennikov, A. Penkovskii.** Heating market: world experience in development of district heating
76 **D. Khitrykh.** The Digital Transformation of the Energy Industry

Oil

90 **O. Budzinskaya.** Oil and gas industry staffing in new conditions

УЧРЕДИТЕЛИ

Министерство энергетики Российской Федерации, 107996, ГСП-6, г. Москва, ул. Щепкина, д.42

ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации, 129085, г. Москва, проспект Мира, д.105, стр. 1

ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российское энергетическое агентство» Министерства энергетики Российской Федерации, 129085, г. Москва, проспект Мира, д. 105, стр. 1

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В.В. Бушуев – акад. РАЕН и РИЭ, д. т. н., председатель совета, ген.директор ИЭС
А.М. Мастепанов – акад. РАЕН, д. э. н., руководитель Центра энергетической политики ИПНГ РАН
Д.А. Соловьев – к. ф.-м. н., ответственный секретарь совета
А.Н. Дмитриевский – акад. РАН, д. г.-м. н., научный руководитель ИПНГ РАН
Н.И. Воропай – член-корр. РАН, д. т. н., научный руководитель ИСЭМ СО РАН
А.И. Кулапин – д. х. н., ген. директор РЭА Минэнерго России
В.А. Крюков – акад. РАН, д. э. н., директор ИЭОПП СО РАН
Е.А. Телегина – член-корр. РАН, д. э. н., декан факультета РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина
А.И. Громов – к. г. н., директор по энергетическому направлению ФИЭФ
С.П. Филиппов – акад. РАН, д. э. н., директор ИНЭИ РАН
А.Б. Яновский – д. э. н., к. т. н.
П.Ю. Сорокин – заместитель министра энергетики России
О.В. Жданеев – к. ф.-м. н., руководитель дирекции технологий ТЭК ФГБУ «РЭА»

Главный редактор
Анна Горшкова

Научный редактор
Виталий Бушуев

Обозреватель
Арсений Погосян

Корректор
Роман Павловский

Фотограф
Иван Федоренко

Дизайн и верстка
Роман Павловский

Адрес редакции:
129085, г. Москва, проспект Мира, д.105, стр. 1
+79104635357
anna.gorshik@yandex.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № 77–75080 от 07.03.2019

Журнал «Энергетическая политика» входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

При перепечатке ссылка на издание обязательна

Перепечатка материалов и использование их в любой форме, в том числе в электронных СМИ, возможны только с письменного разрешения редакции

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов

Редакция не имеет возможности вступать в переписку, рецензировать и возвращать не заказанные ею рукописи и иллюстрации

Тираж 1000 экземпляров

Периодичность выхода 12 раз в год

Цена свободная

Отпечатано в «ПБ «Модуль», 115162, Москва, Мытная улица, дом 48, цоколь пом. 2, ком. 1,3

Подписано в печать: 05.10.2021
Время подписания в печать по графику: 13:00
фактическое: 13:00

16+

Виталий БУШУЕВ
Научный редактор журнала
«Энергетическая политика», акад. РАЕН и РИЭ, д. т. н.

Анна ГОРШКОВА
Главный редактор журнала
«Энергетическая политика»

Добавленная стоимость вместо альтернативных энергоресурсов

Тема скорой замены традиционных нефти и газа на возобновляемые источники энергии как спасение экономики России от возможных потерь экспортных доходов сегодня обсуждается на самых разных уровнях: от кухонных разговоров, до заседаний правительства. Между тем, развитие глубокой переработки нефти и газа могут принести не меньше доходов в бюджет, чем простая продажа энергоресурсов. Задача государства – дать дополнительный стимул нефтехимии высоких переделов. Этому посвящен десятый номер нашего журнала.

Одновременно энергопереход заставляет искать новые формы производства энергии на основе уже привычных ресурсов. Так, в последнее время все активнее внедряются технологии малых атомных реакторов, принципы действия и география применения которых заметно отличаются от крупных АЭС.

Развитие альтернативной энергетики и нефтехимии требует как внедрения принципиально новых цифровых технологий, в том числе с использованием цифровых двойников, так и подготовки и постоянного обновления кадров. Эти вопросы также нашли отражение в новом номере «Энергетической политики».

Александр НОВАК
Заместитель председателя Правительства РФ

DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_6

Нефтегаз высоких переделов

Нефтегазохимическая отрасль одна из немногих демонстрирует в последние десятилетия рост опережающими темпами по сравнению с мировым ВВП. Все дело в том, что элементы нефтегазохимии активно применяются как в промышленности, так и в производстве товаров народного потребления, которыми мы пользуемся буквально каждый день. Основные продукты нефтехимии присутствуют в машиностроении, авиационной, космической и бытовой технике, строительных конструкциях, автомобилях, одежде, упаковке и многих других товарах.

По прогнозам, в ближайшие 15 лет спрос на продукты нефтехимии будет расти в среднем на 3,7–4 % в год. При этом доля нефтегазохимии в структуре потребления нефти и газа будет увеличиваться, что создает значительный потенциал для развития этого направления.

Россия, которая обладает одной из наиболее мощных ресурсных баз в мире для этой промышленности, имеет широкие возможности для реализации потенциала на быстрорастущем рынке нефтегазохимии.

Мировой рынок нефтегазохимии

На сегодняшний день суммарная мировая мощность комплексов по производству этилена, который является основным базовым полупродуктом нефтехимии с учетом производства на комплексах Coal-to-Olefins и Methanol-to-Olefins, составляет 194 млн тонн в год, что на 6,3 % выше уровня 2019 года. Самыми большими мощностями располагают США (40 млн тонн в год), Китай (32,3 млн тонн в год) и Саудовская Аравия (17,7 млн тонн в год).

В период с 2015 по 2020 год мировой уровень мощностей увеличился на 21,8 %. При этом более 80 % из них были введены в 5 странах – США, Индии, Китае, Саудовской Аравии и России.

Потребление продукции нефтехимии до 2030 года будет опережать потребление нефти. По прогнозам BP, потребление нефти к 2030 году восстановится до уровня 2019 года после текущего снижения. В то же время к этому же сроку потребление полипропилена увеличится на 4 %, полиэтилена – на 3,7 %.

Драйвером развития становится тот факт, что нефтегазохимия всегда играла лидирующую роль в инновационных преобразованиях, а сейчас является ключевой составляющей реализации концепции «Индустрия 4.0». Продукцию нефтегазохимии используют при создании электромобилей, беспилотных летательных аппаратов (дронов), смартфонов и планшетов, в интернет-технологиях и при создании высокоэффективных микросхем.

Немаловажно, что нефтегазохимия играет важную роль в реализации климатической повестки, а именно в экономике замкнутого цикла. Она предполагает эко-

В течение 8 лет реализовано 16 крупных нефтехимических проектов на 830 млрд руб. В результате производство крупнотоннажных полимеров и синтетических каучуков в РФ увеличилось в 1,5 раза

номию выбросов при помощи сокращения использования ресурсов за счет свойств полимеров, их вторичного использования, уменьшения выбросов CO_2 по сравнению с традиционными материалами из-за более низкой углеродоемкости. Например, корпус самолета Boeing-787, состоящий на 80 % из композитных материалов (в основе которых пластики), экономит 20 % топлива и выбросов. Полимерная упаковка сохраняет форму и свежесть продуктов без консервантов, продлевая сроки хранения в 2–4 раза. Полимеры имеют низкое отрицательное влияние на экологию: энергозатраты в 6 раз меньше среднего, углеродный след в 13 раз меньше среднего. Помимо высоких показателей энергоэффективности и низких выбросов, пластики обладают набором уникальных свойств: легкий вес, низкая теплопроводность, устойчивость к коррозии, универсальность, адаптивность и многие другие, которые делают их незаменимыми в современном мире.

При этом продукция нефтегазохимии отличается высокой маржинальностью. Каждая тонна сырья – нафты, СУГов, этана дает прирост добавленной стоимости в 1,5–4 раза относительного базового сырья. Это намного выше, чем 5–15 % добавленной стоимости, которые наблюдаются в нефтепереработке. Все эти аспекты делают индустрию нефегазохимии одной из наиболее привлекательных в современной экономике.

Развитие нефтегазохимической промышленности в России

За последние годы развитию нефтегазохимического сектора со стороны государства уделяется значительное внимание. В течение 8 лет было реализовано 16 крупных инвестиционных проектов в области нефтехимии на общую сумму более 830 млрд рублей. В результате производство крупнотоннажных полимеров и синтетических каучуков в Российской Федерации увеличилось более, чем в 1,5 раза по сравнению с 2012 годом. Ключевым достижением стал уход от импортной зависимости в сегменте крупнотоннажных полимеров.

Отмечу, что существенную роль продукция нефтегазохимии сыграла при борьбе с пандемией COVID-19. Продукты нефтегазохимии активно использовались и используются при производстве медицинской техники, средств индивидуальной защиты, а также пищевой упаковки, которая позволяет обезопасить потребителей.

Существенный вклад в развитие нефтехимии в России внес проект по строительству «ЗапСибНефтехима» компании «СИБУР», который вошел в десятку мировых лидеров по производству этилена, а по объему переработки СУГ является крупнейшим в мире. Помимо высочайшей значимости для экономики страны предприятие стало крупнейшим объектом привлечения инвестиций, в том числе зарубежных. Ожидается, что доходность вложений «ЗапСибНефтехим» может на 30 % превысить доходность при инвестировании в гособлигации США.

Производство пластмасс
Источник: nso.ru

«ЗапСибНефтехим», Тобольск
Источник: tobolka.ru

В июне запущена первая из шести технологических линий Амурского газоперерабатывающего завода, общая проектная мощность которого к началу 2025 года составит 42 миллиарда кубометров газа в год. Завод будет включать крупнейшее в мире производство гелия – до 60 млн кубометров в год.

При этом мы находимся только в начале пути, предстоит еще многое сделать. Для сравнения: на Россию сегодня приходится 11 % мировой добычи нефти и 18 % – газа, а доля нашей страны на рынке нефтехимии составляет всего 2,6 %. В то же время Россия имеет колоссальный неиспользованный задел в части сырья. В России производится почти 16 млн тонн СУГ и только 5,8 млн из них используются в нефтехимии. Из около 11 млн тонн этана, содержащегося в составе добываемого природного газа, выделяется для переработки всего около 700 тыс. тонн. С каждым годом содержание этана будет расти, по мере вовлечения в разработку запасов жирного газа. То сырье, которое сегодня мы не используем, означает прямую потерю ВВП и продукции с более высокой добавленной стоимостью. Например, при переработке этана стоимость выходящей корзины продуктов в 4 раза дороже, чем стоимость сырья.

Кроме того, использование продукции нефтехимии различными отраслями способствует выполнению обязательств России в международных соглашениях по климату, достижению целей национального проекта «Экология», снижению рисков влияния углеродного регулирования на экспортную продукцию нашей страны.

В этой связи на уровне Правительства РФ приняты дополнительные стимулы для активизации развития отрасли. Отмечу, что подобные меры поддержки отрасли уже зарекомендовали себя положительно на примере конкурентов России на мировой нефтехимической арене – Китая, Ирана, Саудовской Аравии. Более того, даже в США, которые традиционно декларируют принцип невмешательства государства в бизнес, существуют стимулирующие меры для нефтехимии.

Меры стимулирования и перспективы развития нефтехимической отрасли России

На сегодняшний день ключевой программный документ нефтехимической отрасли – План мероприятий по развитию нефтегазохимического комплекса в Российской Федерации на период до 2025 года, который был утвержден Правительством РФ в 2019 году. Документ включает 7 разделов и 16 мероприятий, содержащих как налоговые, так и не налоговые меры стимулирования.

В частности, введен повышающий инвестиционный коэффициент к обратному акцизу на нефтяное сырье для НПЗ, в 2020 году вступил в силу федеральный закон о введении обратного акциза на этан и сжиженные углеводородные газы. С 2022 г. вводится обратный акциз на СУГ для предприятий, которые перерабатывают его в нефтегазохимическую продукцию. Это

Каждая тонна нафты, СУГов, этана, дает прирост добавленной стоимости в 1,5–4 раза относительного базового сырья. Это намного выше, чем 5–15 % добавленной стоимости, которые наблюдаются в нефтепереработке

Морской терминал Усть-Луга

Источник: m.fotostrana.ru

позволит компенсировать разницу в стоимости реализации проектов в России относительно основных стран-конкурентов. Таким образом, доходность проектов достигнет 11–14 %, что станет привлекательным условием для инвестиций.

Эти меры будут способствовать запуску целого ряда новых производств, в частности, это такие проекты, как Амурский ГХК, нефтегазохимический и СПГ-комплекс в Усть-Луге, Иркутский завод полимеров, строительство нового олефинового комплекса на «Нижнекамскнефтехиме».

Концептуально реализация мер поддержки отрасли позволит решить целый ряд стратегических для России задач.

Россия может производить 8–16 млн т дополнительной нефтехимической продукции, обеспечит 9–18 млрд долл. в год несырьевого экспорта и 40–70 млрд долларов инвестиций за 10–15 лет

Во-первых, продукция нефтегазохимии может стать существенной составляющей роста неэнергетического экспорта, к чему сегодня стремится наша страна. Во-вторых, нефтегазохимические производства повысят доходы от использования углеводородного сырья. В-третьих, решаются задачи по импортозамещению основных продуктов нефтегазопереработки и локализации отечественных технологий и оборудования в нефтегазохимии.

В результате Россия сможет производить 8–16 млн тонн дополнительной нефтехимической продукции с высокой добавленной стоимостью, обеспечит 9–18 млрд долларов в год дополнительного несырьевого экспорта и 40–70 млрд долларов дополнительных инвестиций за 10–15 лет. При этом потребление и производство этана вырастет более, чем в 10 раз, а по производству этилена Россия переместится к 2030 году на 4-е место на мировом рынке.

Добавлю, что в условиях высокой конкуренции на мировых рынках новым этапом развития отечественной нефтехимии может стать консолидация усилий по развитию бизнеса за счет объединения ресурсов крупнейших отечественных отраслевых игроков. В этой связи знаковым событием текущего года стало создание объединенной компании «ТАИФ» и «СИБУР» на базе холдинга «СИБУР». Объединённая компания сможет войти в топ-5 крупнейших мировых нефтегазохимических компаний по производству полиолефинов и каучуков, расширить возможности развития продуктовой линейки и создать новые химические материалы, оптимизировать дистрибуцию, логистические потоки, повысить операционную эффективность централизованного управления активами.

В целом же кластерный подход полностью отвечает задачам развития нефтегазохимии, позволяя повысить конкурентоспособность производств через оптимизацию капитальных и операционных затрат. В настоящее время в России уже функционируют шесть нефтегазохимических кластеров – Волжский, Северо-Западный, Каспийский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский и Дальневосточный. Рассчитываем, что их количество будет увеличиваться, а сами кластеры – наращивать производственные мощности.

Кроме того, перспективным регионом для перерабатывающей промышленности может стать Арктическая зона, в частности, полуостров Ямал, где прорабатывается возможность строительства газоперерабатывающего и газохимического комплексов. Суммарные запасы и ресурсы всех месторождений полуострова Ямал составляют 26,5 трлн кубометров газа, 1,6 млрд тонн газового конденсата и 300 млн тонн нефти. Нефтегазохимия рассматривается как один из вариантов монетизации этих ресурсов. Реализация только Ямальского газохимического кластера может обеспечить привлечение более 2 трлн рублей инвестиций, приведет к созданию более 22 тыс. новых рабочих мест и обеспечит прирост несырьевого и неэнергетического экспорта на 125 млрд рублей в год.

Перспективным регионом для переработки может стать Арктика, в частности, полуостров Ямал, где прорабатывается возможность строительства газоперерабатывающего и газохимического комплексов

На сегодняшний день нефтегазохимия становится одним из направлений трансформации нефтегазового комплекса в сторону расширения перерабатывающего сектора промышленности. Наша задача сегодня – поддержать отрасль, чтобы завтра получить высокотехнологичную, экологичную и конкурентоспособную продукцию как для внутреннего, так и для внешних рынков.

Ен-Яхинское газоконденсатное месторождение на Ямале

Источник: urengoy-dobycha.gazprom.ru

УДК 661.1
DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_12

Научно-технологический рывок в нефтегазохимии

Scientific and technological breakthrough in oil and gas chemistry

Тамара ХАЗОВА
Эксперт Аналитического центра ТЭК РЭА Минэнерго России, к. э. н.
e-mail: Anna.gorshik@yandex.ru

Анастас ГАТУНОК
Директор департамента нефтехимии Аналитического центра ТЭК РЭА Минэнерго России
e-mail: Anna.gorshik@yandex.ru

Tamara KHAZOVA
Expert of the Analytical Center of the Fuel and Energy Complex REA of the Ministry of Energy of Russia, Ph.D.
e-mail: Anna.gorshik@yandex.ru

Anastas GATUNOK
Director of the Petrochemistry Department of the Analytical Center of the Fuel and Energy Complex REA of the Ministry of Energy of Russia
e-mail: Anna.gorshik@yandex.ru

«Русвинил», зона производства ПВХ

Источник: «СИБУР»

Аннотация. Одной из проблем российской химической промышленности является отсутствие в серийном производстве собственных передовых научно-технологических разработок. Авторы статьи проводят подробное исследование, что стало причиной этого и предлагают варианты решения данной задачи.
Ключевые слова: развитие нефтехимии, НИОКР, научно-технологические разработки, графен.

Abstract. One of the problems of the Russian chemical industry is the lack of its own advanced scientific and technological developments in serial production. The authors of the article conduct a detailed study of what caused this and offer options for solving this problem.
Keywords: development of petrochemistry, R&D, scientific and technological developments, graphene.

Затраты на одного ученого составляют: в Швейцарии – 407 тыс. долл., в США – 360 тыс. долл., в Китае – 267 тыс. долл., в РФ – 93 тыс. долл.

Ангарская нефтехимическая компания
Источник: irkutskmedia.ru

В России 2021 год объявлен годом науки и технологий. «В науке каждая страна находит свою нишу» (академик Евгений Велихов). Можно с уверенностью сказать, что и каждая отрасль промышленности, включая нефтегазохимию, также занимает свою нишу в развитии науки и модернизации технологий.

Основные направления развития химической науки и технологий в XXI веке формируются под воздействием многообразного и взаимозависимого комплекса факторов и объективных законов экономического, экологического, социального и демографического развития человечества и его жизнеобеспечения.

Как показывает мировая практика, к числу важнейших комплексных глобальных областей развития, вокруг которых группируется познавательная и практическая деятельность человечества в XXI веке, могут быть отнесены:

- изменение климатических условий, деградация экосистем, увеличение вероятности экологических катастроф;
- сохранение экосферы и обеспечение безопасности жизнедеятельности человечества;
- сохранение здоровья населения на фоне высоких пандемических ожиданий;
- энергообеспечение жизнедеятельности человечества;
- обеспечение продовольствием и другими социальными условиями жизнедеятельности людей;
- обеспечение средствами труда производственных и непроизводственных сфер деятельности человечества;
- постоянное совершенствование традиционных и создание новых материалов;
- эффективное использование природных ресурсов для обеспечения жизнедеятельности человечества;

Химический завод BASF

Источник: energybase.ru

– повышение квалификационного и общего интеллектуального уровня человечества на базе информационной индустрии, связи, цифровизации и развития искусственного интеллекта;
– развитие транспортных коммуникаций для углубленного обмена результатами трудовой деятельности человека;
– изучение возможностей освоения новых пространственных сфер обитания.

Вышеперечисленные сферы развития и объективные предпосылки, определяющие целенаправленность научной деятельности и формирование приоритетов развития науки и технологии, включая нефтегазохимию, полностью вписывается в рассматриваемые области деятельности человечества в настоящее время и в перспективе до 2050 года.

Россия входит в десятку ведущих экономик, поддерживающих науку, но она уступает по затратам на научные исследования в США в 13 раз, Китае в 11,5 раз, Японии в 4,3 раза, Германии в 3 раза

Российская наука сегодня

В современном мире значимость и величие страны характеризуется не занимаемой площадью, а в первую очередь развитой наукой и высокотехнологичной индустрией.

Устоявшаяся в России в период 1990–2010 гг. экономическая парадигма – экспорт углеводородного сырья в обмен на закупки передовых технологий и высококачественной продукции – привела к снижению эффективности научного потенциала, конкурентоспособности изобретательской деятельности и привлекательности научной деятельности в целом.

В результате за прошедшие 30 лет «эффективные менеджеры» и маркетологи, занимаясь анализом и расчетами финансовых потоков, победили ученых и инженеров, способных развивать наукоемкость и технологичность российской промышленности.

Такая политика привела к оттоку высококвалифицированных кадров: ученых и инженеров из страны, которые теперь повышают технологический уровень других стран.

В Советском Союзе разрабатывалась стратегия развития научно-технического потенциала, ставились системные цели развития науки и техники для повышения технологического уклада промышленности, обеспечивая соответствующее финансирование на реализацию поставленных целей.

В результате советские ученые и инженеры, выполняя лозунг И. В. Курчатова «Обгонять не догоняя», в разрушенной войной стране за 30 лет в период 1945–1975 гг. создали лучшие в мире атомную и космическую отрасли, обеспечив мировое лидерство.

В современной России за 30 лет в период 1991–2010 гг. научно-техническое развитие не относится к приоритетам. Несмотря на это, оставшейся научной школой созданы отдельные высокотехнологические, лучшие в мире разработки: гиперзвуковое оружие в ВПК и противовирусные вакцины «Спутник V» и ряд других.

Однако отсутствие системности и планирования научно-технического развития и финансового обеспечения не позволяет оперативно наладить промышленное производство инновационной продукции в нужном объеме, создавая возможности ее экспорта наряду с технологией.

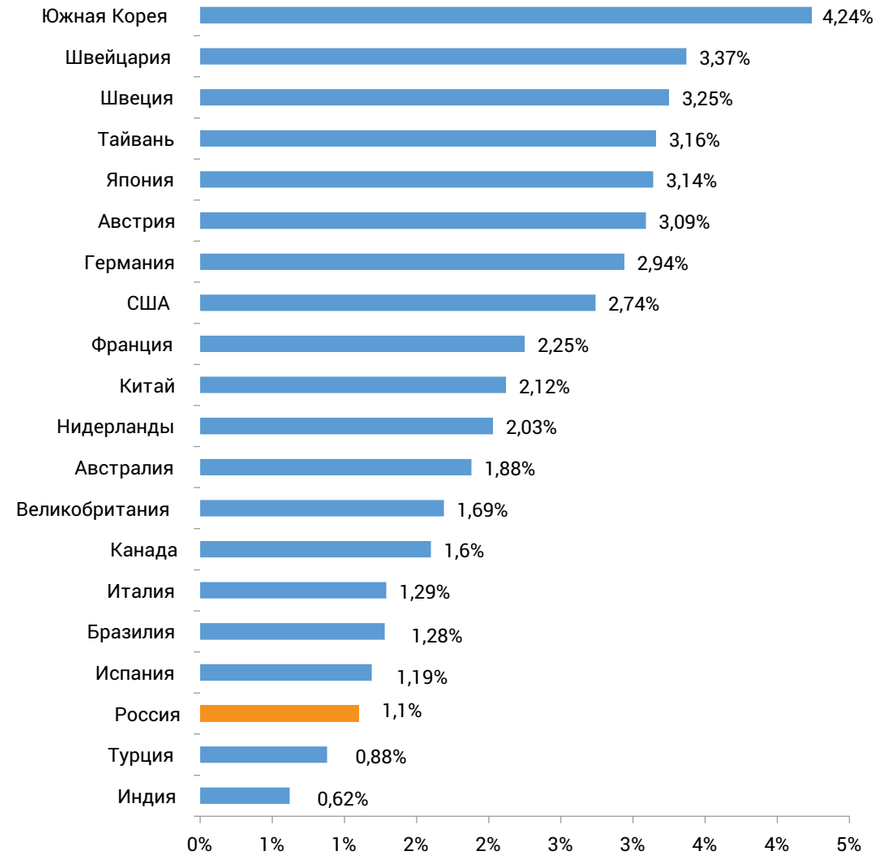
Без четко поставленных целей развития, определения приоритетов наука будет финансироваться по остаточному принципу.

В 2019 г. по расходам на НИОКР в процентах от ВВП, Россия занимала 18-е место в мире. На рис. 1 представлены сравнительные объемы затрат на науку в отдельных странах мира.

Однако по затратам на науку в натуральном выражении Россия в 2018 г. входила в десятку ведущих экономик мира.

Рис. 1. Затраты на науку, в% от ВВП

Источник: Институт статистики ООН по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО). The World Bank



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

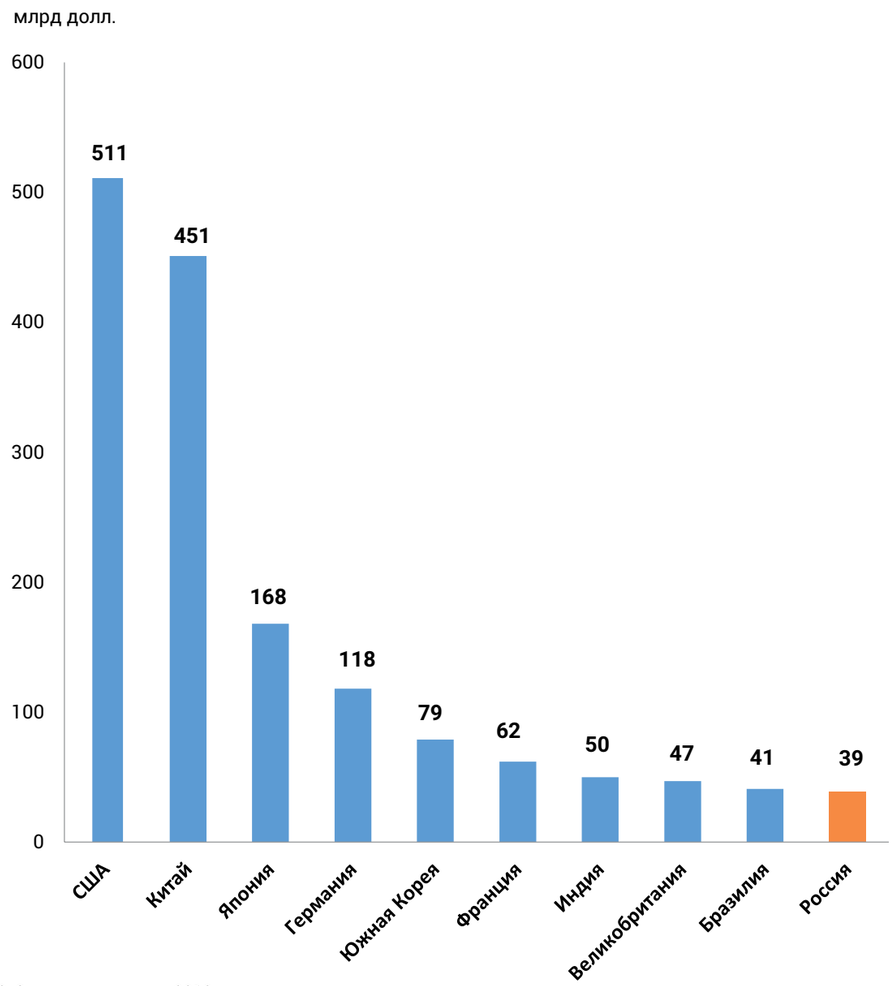


Рис. 2. Затраты на науку в 2018 г. в натуральном выражении (млрд долл.)

На рис. 2 представлены затраты на науку в натуральном выражении в 2018 г.

Несмотря на то, что Россия входит в десятку ведущих экономик мира, поддерживающих науку, она уступает по затратам на научные исследования в США в 13 раз, Китае в 11,5 раз, Японии в 4,3 раза, Германии в 3 раза, Ю. Корее в 1,6 раза, Индии в 1,3 раза.

Начиная с 2000 г., расходы на исследования и разработки в США росли в среднем на 4,3 % в год, в Китае – на 17 %, в России – от 1 до 1,2 % в год.

По оценкам НИУ ВШЭ, в 2018 г. затраты на науку в России составили 90,4 % от уровня 1991 г.

В финансировании российской науки и разработок в основном используются государственные средства – 65–67 %, в странах Западной Европы – только 30 %, в США и Китае – около 20 %.

Основные вложения в развитие науки и технологии в США, Китае, ЕС осуществляет частный бизнес. В России частный бизнес характеризуется низкой восприимчивостью к научным разработкам и инициативам для их реализации. В настоящее время в мире в области науки заняты около 8 млн человек. На рис. 3 представлена структура численности ученых в странах мира.

Несмотря на то, что Россия занимает десятое место в мире по затратам на науку, в расчете на одного исследователя наша страна занимает 47-е место в мире.

Затраты на одного исследователя составляют: в Швейцарии – 406,7 тыс. долл., в США – 359,9 тыс. долл., в Китае – 266,6 тыс. долл., в России – 93 тыс. долл.

Такой подход к вложениям в высококвалифицированный человеческий капитал, по словам российского экономиста Александра Аузана, способствует российской науке «истекать в мир мозгами».

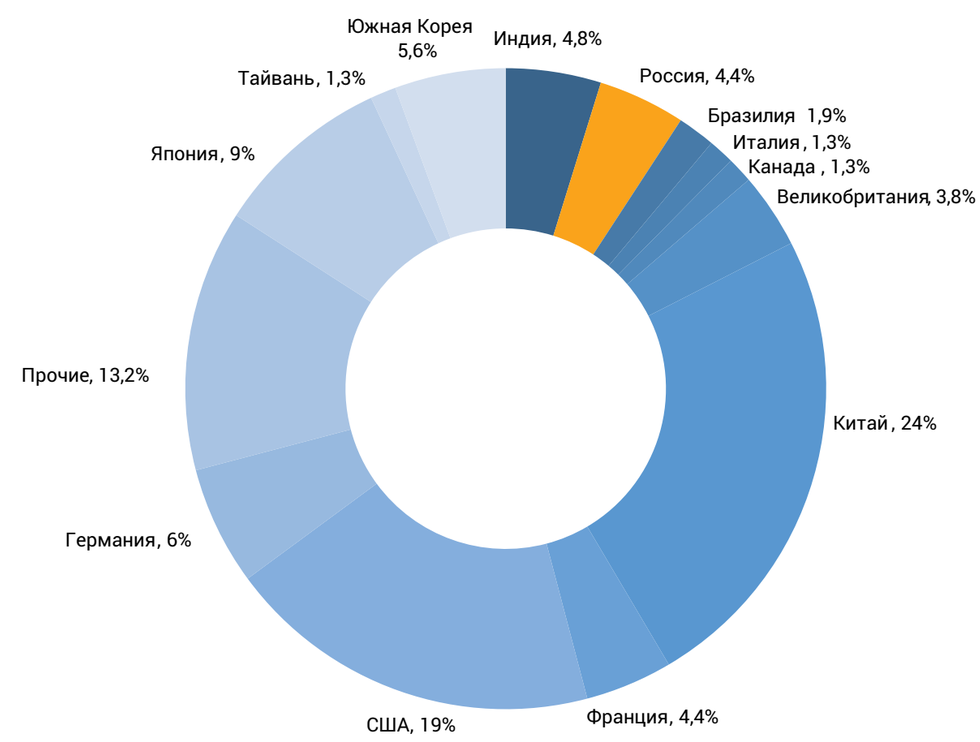
По данным Всемирной организации интеллектуальной собственности (World intellectual property organization) по количеству заявок на патенты в 2018 г. Россия занимает седьмое место. В таблице 1 представлены данные по заявкам на патенты в 2018 г.

Анализ основных показателей состояния научно-исследовательской деятель-

Страна	Количество заявок на патенты, штук			
	Всего	От резидентов	От нерезидентов	Доля заявок от резидентов,%
Китай	1 381 594	1 245 709	135 885	90,2
США	606 956	293 904	313 052	48,4
Япония	318 479	260 290	58 189	81,7
Ю. Корея	204 775	159 084	45 691	77,7
Германия	67 712	47 785	19 927	70,6
Индия	46 582	14 961	31 621	32,1
Россия	36 883	22 777	14 106	61,7
Бразилия	25 658	5 480	20 178	21,3
Великобритания	22 072	13 301	8 771	60,3
Франция	16 247	14 415	1 832	88,7

Таблица 1. Заявки на патенты по странам мира

Рис. 3. Структура численности ученых в странах мира



Ангарская нефтехимическая компания

Источник: liveangarsk.ru

ности в мире показывает, что Россия пока входит в десятку ведущих стран мира. Однако мы существенно отстаем по затратам на одного исследователя, что приводит к низкому уровню технологической оснащенности исследований, к низкому уровню оплаты труда ученых, доступности возможностей. Это снижает привлекательность отечественной науки для молодых специалистов и способствует оттоку высококомпетентных кадров за рубеж. Кроме того, следует констатировать, что в настоящее время научно-техническая деятельность не оказывает существенного влияния на состояние и развитие российской промышленности, повышение ее эффективности и наукоемкости.

А что конкретно в нефтегазохимии, какова восприимчивость бизнеса к инновациям? Как в мировых научных трендах выглядит российская нефтехимия? Является ли нефтегазохимия экономикой знаний?

В финансировании российской науки и разработок в основном используются государственные средства – 65–67 %, в странах Западной Европы – только 30 %, в США и Китае – около 20 %

Научный рывок в нефтегазохимии

Основу научного потенциала химического комплекса, включая нефтегазохимию, формируют 45 отраслевых научно-исследовательских организаций, также порядка 30 профильных институтов РАН и вузы (кафедры). Согласно ФЗ № 217, с целью коммерциализации научных идей было создано 600 малых инновационных предприятий при вузах и научных организациях.

Разработками в области химии и нефтехимии занимаются также научные подразделения крупных предприятий и вертикально-интегрированных структур, однако, лишь в своих узкокорпоративных интересах.

Для повышения технического и технологического уровня нефтегазохимии на базе повышения востребованности результатов научно-исследовательских работ требуется повышение эффективности взаимодействия и координации всех участников отрасли: государственных учреждений, научных и образовательных организаций, а также как государственных, так и частных компаний и предприятий отрасли.

Исторически так сложилось, что обновление основных фондов в нефтегазохимии осуществляется почти полностью за счет закупки технологий, т. е. трансферт технологий стал основой развития.

В таблице 2 представлен уровень трансферта зарубежных технологий в нефтегазохимии.

Сохранение таких тенденций не позволяет, с одной стороны, выйти на передовые технологические рубежи (т. к. страны-конкуренты не заинтересованы в экспорте наиболее прогрессивных технологий), а с другой стороны, зависимость от импортных технологий и оборудования приводит к снижению востребованности собственного научно-технического потенциала, росту барьеров между наукой и производителем.

Ситуация осложнена тем, что предлагаемые российским научным сектором исследования и разработки, выполненные даже на мировом уровне, не находят широкого применения в российской нефтегазохимии ввиду общей низкой восприимчивости к инновациям российского предпринимательского сектора. Прибыль и уровень рентабельности за счет системы ценообразования и налогообложения позволяет частным предпринимателям работать на устаревших технологиях и выпускать традиционную продукцию 1 и 2 поколения.

Предлагаемые российским научным сектором исследования и разработки, выполненные даже на мировом уровне, не находят широкого применения в российском нефтехимическом бизнесе

В Плане развития газо- и нефтехимии на период до 2030 года предусматривается реализация инвестиционных проектов по производству мономеров, полимеров, каучуков, продукции органической химии, предложенных ведущими нефтегазохимическими компаниями: «Газпром», «Роснефть», «СИБУР Холдинг», «ЛУКОЙЛ», «Нижнекамскнефтехим», «РусГазДобыча», «Иркутская нефтяная компания», «Саянскхимпласт», ГК «Титан» и др.

Все инвестиционные проекты, включенные в план, базируются на трансферте

Таблица 2. Технологический уровень в нефтегазохимии в РФ

Наименование продукта	Мощности по состоянию на 01.01.2020 г. тыс. т	Мощности по отечественным технологиям, тыс. т	Доля мощностей на отечественных технологиях,%
Полиэтилен	3 375	270	8
Полипропилен	1 950	0	0
Поливинилхлорид	980	100	10,2
Полистирол	459	69	15
АБС-пластик	83	23	27,7
Полиэтилентерефталат	640	0	0
Поликарбонат	65	0	0
Синтетические каучуки	1 685	1 685	100
Окись этилена	554	0	0
Моноэтиленгликоль	463	0	0
Окись пропилена	80	8	10
Этилен	4 775	140	2,9
Стирол	762	384	50,4
Бутадиен	638	388	56,3
Изопрен	564	564	100
Бензол	1 679	1 386	82,5
Ксилолы	472	120	25,4
Фенол	323	323	100
Бутиловые спирты	310	310	100

№	Основные направления развития науки и техники	Цель развития
1	Исследования, разработки и организация производства процессов С1 – химии на базе альтернативного не нефтяного сырья (метан, синтез-газ, оксид и диоксид углерода) для производства олефинов, ароматических углеводородов, мономеров, полимеров, синтетических каучуков	Диверсификация сырьевых источников, расширение сырьевой базы химической и нефтехимической промышленности. Экономия нефтяного сырья
2	Создание нового поколения катализаторов и каталитических систем с использованием цеолитов, органических и неорганических кластеров, мембранного катализа, фото- и электрокатализа, катализа фазового перекоса, ассиметричного катализа, бифункционального, полифункционального, ферментативного катализа, нанокатализа, т. е. создание катализаторов, обладающих селективностью не менее 96 %–99 %	Создание катализаторов и каталитических систем новых поколений, позволяющих повысить безотходность, экологичность и эффективность используемых технологий, осуществить выпуск оптимального ассортимента продукции, увеличить выход целевых продуктов, снизить объем материальных, энергетических и капитальных затрат в производстве продукции нефтегазохимии
3	Исследования и разработки, направленные на развитие полимерного материаловедения на базе создания полимеров с заданными свойствами. За счет модификации свойств традиционных полимеров на основе сополимеризации, химических и радиационных методов, введения различных полимерных добавок, компаундирования с минеральными наполнителями, а также создания высокоэффективных композиционных материалов, смесей и сплавов полимеров, нанокомпозитов	Создание полимерных материалов IV–V поколений формируют и усиливают тренд развития полимерного материаловедения как основы создания техники новых поколений в авиации, космосе, оборонной промышленности, машиностроении (в т. ч. автомобилестроении), приборостроении, бытовой технике, электронике и связи, строительстве и медицине, при реализации 3D-технологий
4	Экологизация нефтегазохимии на базе создания современных производств замкнутого цикла: производство – потребление – производство. Внедрение каталитических процессов, обладающих повышенной селективностью (безотходное и малоотходное производство), применение герметичного оборудования, утилизация отходов производства, их переработка и использование вторичного сырья с учетом системы ответственности согласно мировой практике и международным стандартам по оценке «углеродного следа»	Экологизация текущей деятельности нефтегазохимии способствует уменьшению материалоемкости продукции, извлечению отходов и побочной продукции, их переработка в ценные продукты
5	Развитие цифровой нефтегазохимии, базирующейся на компьютерных и информационных технологиях, технологии Big Data, позволяющих осуществлять молекулярный дизайн новых веществ и материалов без натуральных экспериментов, т. е. развитие цифрового материаловедения, и создавать виртуальные модели различных технологических процессов	Качественное изменение управленческого труда при использовании цифровых моделей как инструментов, направленных на принятие оптимальных решений, а также повышение эффективности научных исследований за счет сокращения временных и финансовых затрат, вывод их на принципиально новый уровень поиска и отбора новых нефтегазохимических материалов, т. е. развитие цифрового материаловедения

Таблица 3. Приоритетные направления развития науки и техники в области нефтегазохимии

зарубежных технологий, закупаемых на основании лицензионных соглашений.

Российский нефтегазохимический бизнес предпочитает трансферт технологий, что обусловлено с одной стороны отсутствием конкурентоспособных отечественных разработок, а с другой стороны невозможностью их аппаратурного оформления из-за неразвитости химического и нефтяного машиностроения.

Однако закупаемые у зарубежных фирм технологии по лицензионному соглашению не допускают применения российских научно-технических разработок для интенсификации процессов вплоть до истечения срока действия лицензии.

Из вышеизложенного очевидно, что уровень исследовательской инфраструктуры, инновационной деятельности и производственной базы нефтехимии на сегодняшний день не вполне отвечает современным требованиям, отстает от мирового уровня, что предопределяет решение следующих проблем:

– разработка механизма формирования и утверждения приоритетных направлений научно-технологического развития в области нефтегазохимии;
– повышение эффективности взаимодействия и координации всех участников отрасли: государственных учреждений, научных и образовательных организаций, а также компаний и предприятий отрасли;
– создание эффективных механизмов регулирования и стимулирования бизнеса для повышения востребованности результатов научно-исследовательских работ для повышения технического и технологического уровней производства;
– устранение несоответствия между объективными потребностями промышленных предприятий в современных научно-технических разработках и предложениями научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций.

На базе проводимого в рамках Плана-2030 системного комплексного анализа, экономической диагностики и экспертной оценки сформированы приоритетные направления развития научных исследований и разработок в области нефтегазохимии, которые требуют программной реализации в ближайшие 10–20 лет.

В таблице 3 представлены приоритетные направления реализации науки и техники в области нефтегазохимии, способные обеспечить инновационное развитие отрасли.

Представленные выше приоритетные направления развития науки и техники в области нефтегазохимии способствуют инновационному развитию предприятий на основе совершенствования их технического, технологического, экономического и экологического уровней.

В настоящее время перед российской нефтегазохимией стоит важнейшая задача быть отраслью, производящей научные знания и на их основе обеспечивающей функционирование своего производства, или оставаться поставщиком сырья и продукции первых переделов.

Однако российская нефтегазохимия обречена на трансферт технологий из-за неконкурентоспособности отечественных научно-технических разработок.

В то же время большие возможности в обеспечении мирового лидерства современной российской науки в нефтегазохимии является развитие современного материаловедения на базе создания новых поколений нефтехимической продукции, в частности, полимерных материалов и композитов на их основе для различных отраслей промышленности.

В качестве первоочередных мер, актуальной и своевременной задачей является разработка технологической платформы «Полимерное материаловедение» на базе отечественных научных исследований как основы создания техники новых поколений: в авиации, космосе, оборонной промышленности, автомобилестроении, строительстве, электронной технике и связи, медицине, при реализации 3D-технологий и других отраслей, т. е. химизация экономики России.

В рамках технологической платформы «Полимерное материаловедение» в первую очередь необходима ликвидация дефицита и усиление импортозамещения на рынке крупнотоннажных полимеров (полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), полистирол (ПС), полиэтилентерефталат (ПЭТФ)) и среднетоннажных полимеров (полиуретаны (ПУ), АБС-пластики, полиамиды (ПА), поликарбонат (ПК), полиметилметакрилат (ПММА), полибутилентерефталат (ПБТ), сополимер стирола с акрилонитрилом (САН), полиоксиметилен (ПОМ)), многие из которых в России не производятся (ПБТ, ПА-66, ПА-12, САН, ПОМ и др.).

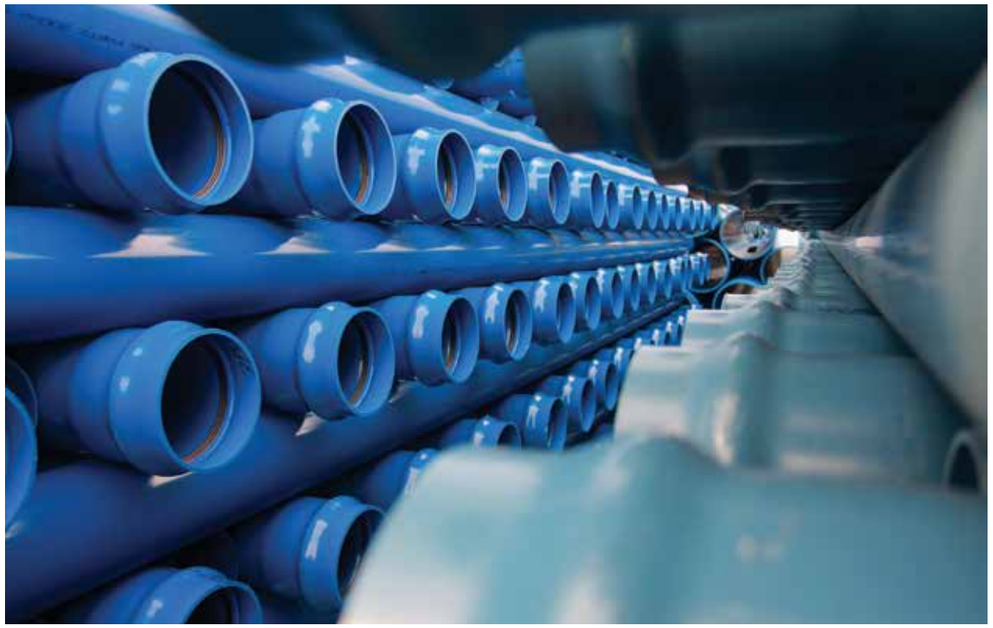
Производство полистирола
Источник: gogiyan / Depositphotos.com

Одновременно с устранением дефицита полимеров необходимо сосредоточиться на производстве полимеров с заданными свойствами на базе:

– модификации свойств традиционных полимеров путем сополимеризации мономеров, например этилена и пропилена, этилена и стирола, этилена и винилацетата, этилена с высшими олефинами;
– использования химических и радиационных методов модификации полимеров, сшитый ПЭ, хлорированный ПВХ и ПЭ (ХПВХ и ХПЭ);
– модификации за счёт введения различных добавок (пластификаторов,

антиоксидантов, вспенивающих агентов, отвердителей, модификаторов удара, смазок, свето- и термостабилизаторов и др.), что позволит создавать полимеры с улучшенными и специальными свойствами;

– компаундирования полимеров с различными минеральными наполнителями (мел, тальк, аэросил, слюда и др.) с целью повышения физико-механических свойств;



Завод пластиковых труб

Источник: pipeafrica.com

– создания высокопрочных композиционных материалов, наполненных высокопрочными волокнами (арамидными, углеродными, стекловолокном);
– получения полимер-полимерных смесей и сплавов на основе ПВХ, ПС, ПП, ПЭ, ПЭТФ, ПА, АБС-пластиков;
– создания нанокомпозитов: выбор полимерной матрицы и наполнителей (ПБТ и наноглины, полимерные матрицы и нанотрубки и т. д.);
– разработки технологий вторичной переработки полимеров и создание материалов с заданными свойствами на базе смесей с первичными полимерами.

Реализация технологической платформы «Полимерное материаловедение» обеспечит российскую промышленность высокотехнологичной полимерной продукцией и повысит возможность выхода этой продукции на мировые рынки.

Производство прогрессивных полимерных материалов новых поколений требует модернизации и интенсификации технологических процессов на базе использования катализаторов, инициаторов, каталитических и инициирующих систем с повышенной активностью и избирательностью. Катализаторы новых поколений будут способствовать повышению селективности технологических процессов, т. е. созданию процессов, обеспечивающих выход из сырья максимального количества качественных целевых продуктов и минимума побочных, что, безусловно, является основой создания малоотходных и безотходных производств. На рис. 4 представлена модель технологической платформы «Полимерное материаловедение».

В XXI веке развитие мировой экономики без развития индустрии пластмасс практически невозможно. К сожалению, российский нефтегазохимический бизнес не осознает, что мировая экономика стоит на пороге нового современного материаловедения и возможности технологических прорывов в различных отраслях промышленности, а именно: создание широкого ассортимента полимерных композитов, цифровых материалов на базе компьютерного дизайна, полимерных композитов на основе графена, нанокомпозитов.

Российская наука занимается разработкой рецептуры полимерных композитов на мировом уровне на основе ПАН-волокна, стекловолокна, углеродного волокна, графена. Так, научно-производственное предприятие «Полипластик» является ведущим производителем полимерных композитов по полному циклу – от науки до производства конкретных материалов.

В 2021 г. в индустриальном парке Тульской области создан научный центр «Композитная долина», который объединяет ученых кафедры химической технологии и новых материалов химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, научно-производственное объединение «Унихимтек», Госкорпорацию «Росатом», Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ) и еще порядка 40 технологических компаний.

Рис. 4. Модель технологической платформы «Полимерное материаловедение»

Активные исследования в мире проводятся по развитию химии одиночных молекул, что позволяет из отдельных атомов строить наномасштабные конструкции с уникальными техническими свойствами

Развитие промышленного производства полимерных композитов требует создания сырьевой базы: средне- и малотоннажных конструкционных и специальных полимеров, армирующих волокон, связующих. В настоящее время около 30 % сырья приходится импортировать.

На базе МГТУ им. Н. Э. Баумана создается центр цифрового материаловедения. В консорциум вошли ряд институтов РАН, Госкорпорация «Росатом», вузы. Основной целью работы центра станет создание нового цифрового подхода к разработке, испытанию, производству и применению

новых материалов: полимерных композитов, аддитивных материалов и технологий, новых конструкционных и функциональных материалов, «зеленых» материалов и технологии их переработки (биосовместимые, биоразлагаемые, экологически безопасные).

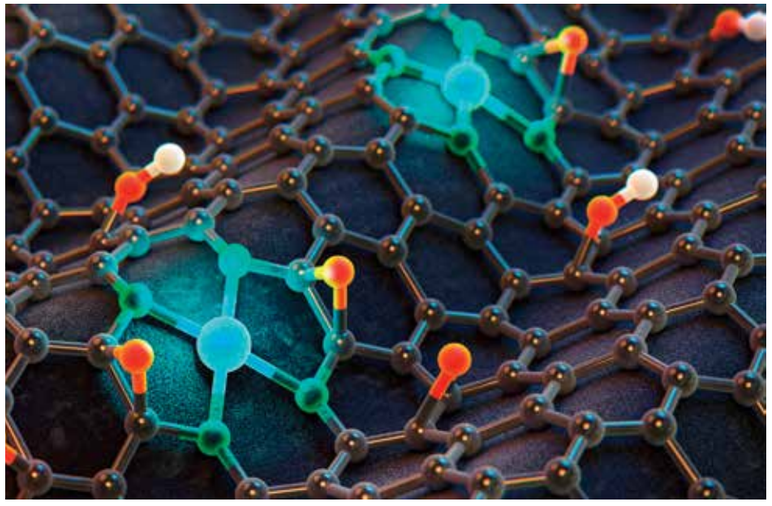
В этой связи вызывают интерес фундаментальные исследования, обладающие принципиальной новизной: спиновой химии, т. е. дизайн молекулярных магнетиков – возможность синтезировать готовое изделие сразу как целевой микрообъект из исходных молекулярных компонентов (Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН).

Развитие фемтохимии, т. е. изучение химических реакций на очень коротких временных интервалах, порядка фемтосекунды, что дает возможность управлять реакцией (Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова РАН).

Активные исследования в мире проводятся по развитию химии одиночных молекул, что позволяет из отдельных атомов строить наномасштабные конструкции с уникальными техническими свойствами в качестве элементов наноэлектроники, нанооптики, наномеханики, а также новых наноматериалов для химии, техники и медицины (Институт проблем химической физики РАН).

Теоретические и фундаментальные исследования на базе созданных программ, позволяющих предсказывать новые необычные химические соединения под высоким давлением, проводимые в Сколковском институте науки и технологии и Новосибирском институте химии твердого тела и механохимии СО РАН, позволили внести поправки к расчетам электроотрицательности (способности атома оттягивать на себя электроны). Понятие электроотрицательности впервые было введено в 1932 г. нобелевским лауреатом Лайнусом Полингом при расчете энергии химических реакций. Расчеты электроотрицательности, проведенные российскими учеными, предсказывают не только энергию химических реакций (по Полингу), но еще проводимость, свойства кристаллов, цвет при создании алгоритма новых химических соединений.

Графен – трехмерный кристалл, состоящий из атомов углерода, упакованных на плоскости в шестиугольники толщиной в 1 атом. Он позволяет создать самые разнообразные композитные материалы



Одиночные атомы кобальта на графене, легированном азотом
Источник: scitechdaily.com

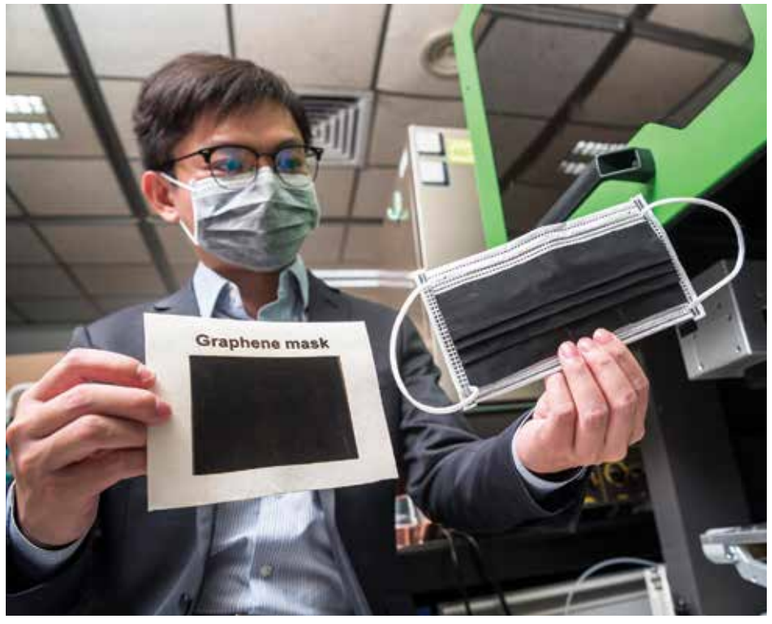
В мировой экономике активизировалась борьба за лидерство в производстве графена и материалов с его добавками. Впервые графен был получен в 2004 г. в Манчестерском университете физиками российского происхождения Андреем Геймом и Константином Новоселовым, за что в 2010 г. они получили Нобелевскую премию. Графен – трехмерный кристалл, состоящий из атомов углерода, упакованных на плоскости в шестиугольники толщиной в один атом. Он позволяет создать самые разнообразные композитные материалы, включая полимерные, с уникальными свойствами: повышенной прочностью, долговечностью, устойчивостью к внешним воздействиям. Исследованием графена в мире занимается более 300 компаний. Лидером в исследованиях графена является Китай. В Китае создана индустрия новых материалов на его основе, в Евросоюзе запущен проект Graphene Flagship с бюджетом миллиард евро.

По числу исследований этого материала Россия сегодня находится на 14-м месте в мире. В отечественных научных разработках используется низкосортный, однако достаточно дешевый китайский графен. Институт графена в Москве создал на основе собственной технологии первую в России установку полупромышленного типа для производства чистого (99,6–99,8 %) графена, по качеству выше китайского.

В России в научных лабораториях ряда исследовательских институтов и университетов, в частности, в Северо-Восточном федеральном университете им. М. К. Амосова (г. Якутск), в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения (г. Санкт-Петербург), в Институте катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (г. Новосибирск), проводятся исследования по созданию новых материалов на основе графена, включая высокоэффективные катализаторы, нанокомпозиты, композиты с высокой прочностью.

Графен повлиял на бизнес, впервые сделан крупнейший частный вклад в российскую науку. В. Потанин выделил из личных средств 500 млн руб. на создание лаборатории, разрабатывающей новые функциональные материалы с программируемыми свойствами на базе графена, под руководством Константина Новоселова.

Графеновая маска для лица
Источник: scitechdaily.com



Закупаемые у зарубежных фирм технологии по лицензионному соглашению не допускают применения российских научно-технических разработок для интенсификации процессов вплоть до истечения срока

А что же частный нефтегазовый бизнес так и будет заниматься развитием «трубопроводной» экономики, экспортируя нефтегазохимическое сырье?

Стратегия научно-технического развития, включая нефтегазохимию, предопределяет комплексное, системное выстраивание цепочки: идея – фундаментальная наука – прикладная наука – технологии – производство – потребление. Такой подход требует изменения в программах образования.

Так, реализация перспективного научно-технического развития нефтегазохимии, в частности, технологической платформы «Полимерное материаловедение» требует новой формы сотрудничества: вуз – бизнес-сообщество – предприятие.

Основным направлениями такой формы сотрудничества должны стать:

- целевой набор студентов;
- финансовая поддержка со стороны бизнеса;
- трехсторонний договор между предприятием, вузом и студентом;
- подготовка специалистов по заказу предприятий, переподготовка кадров;
- внедрение в отрасль новых специальностей и направлений подготовки целевого высшего образования, в частности по специальности «Полимерное материаловедение и смежная инженерия».

На современном этапе развития мировой экономики и в перспективе до 2050 г. нефтегазохимический бизнес должен осознать, что будущее определяется образованием, наукой и инновационным производством, а не добычей сырья.

УДК 622.276.4, 622.276.6 DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_26

Экономия на декарбонизации

Savings on decarbonization

Кирилл ЕМЕЛЬЯНОВ
Старший консультант VYGON Consulting
e-mail: emelyanov@vygon.consulting

Никита ЗОТОВ
Консультант VYGON Consulting
e-mail: nzotov@vygon.consulting

Kirill EMELYANOV
Senior consultant VYGON Consulting
e-mail: emelyanov@vygon.consulting

Nikita ZOTOV
Consultant VYGON Consulting
e-mail: nzotov@vygon.consulting

Мировая нефтехимическая промышленность является одним из главных источников выбросов CO_2. Завод Dow по производству полиэтилена во Фрипорте, Техас, США

Источник: clui.org

Аннотация. В условиях энергоперехода российской промышленности в ближайшее время необходимо решить задачу снижения углеродного следа. Одним из возможных решений может стать развитие отечественных проектов по улавливанию, утилизации и хранению углекислого газа. Такие проекты представляют особый интерес для России, поскольку одним из основных способов полезного использования CO_2 является последующее применение его в качестве агента в методах увеличения нефтеотдачи. Это позволит одновременно ускорить монетизацию запасов нефти и газа и снизить прямые затраты на декарбонизацию промышленности.
Ключевые слова: улавливание, утилизация и захоронение CO_2, методы увеличения нефтеотдачи, МУН, закачка CO_2, декарбонизация, трансграничное углеродное регулирование, ТУР.

Abstract. Russian industry has to reduce its carbon footprint due to the energy transition. The development of carbon capture, utilization and storage projects in Russia may be one of the possible ways to achieve this goal. Such projects are interesting for the Russian industry because one of the main ways to utilize CO_2 is its injection for enhanced oil recovery. It will help to monetize oil and gas reserves and, at the same time, reduce the direct costs of the industry decarbonization.
Keywords: carbon capture, utilization and storage, CCS, CCUS, enhanced oil recovery, EOR, CO_2 injection, decarbonization, Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM.

Потери российской промышленности от введения ТУР составят 0,7 млрд долл./год, а к 2030 г. могут вырасти в 5 раз, до 3,9 млрд долл./год

В условиях энергоперехода российской промышленности в ближайшее время необходимо решить задачу снижения углеродного следа. Одним из возможных решений может стать развитие отечественных проектов по улавливанию, утилизации и хранению углекислого газа. Такие проекты представляют особый интерес для России, поскольку одним из основных способов полезного использования CO_2 является последующее применение его в качестве агента в методах увеличения нефтеотдачи. Это позволит одновременно ускорить монетизацию запасов нефти и газа и снизить прямые затраты на декарбонизацию промышленности.

Неизбежная декарбонизация

Авторы шестого оценочного доклада межправительственной группы по изменению климата при ООН однозначно заявляют: глобальное потепление уже здесь и, если ничего не делать для изменения климатической ситуации, то последствия для всего мира наступят уже на горизонте 20 лет [1]. С одной стороны, повышение температуры ускоряет таяние арктических льдов и увеличивает сроки навигации на маршруте Северного морского пути (СМП), что способствует экономическому росту Российской Арктики. По сравнению с Южным маршрутом через Суэцкий канал, СМП – более короткий путь из Европы в Китай: 14 тыс. км против 23 тыс. км. С другой стороны, тает также вечная мерзлота в районах крупных промышленных (в том числе нефтегазодобывающих) объектов, что уже увеличивает риски повреждения существующей инфраструктуры и выделения более опасного по сравнению с CO_2 парникового газа – метана, связанного в многолетнемерзлых породах.

Металлургические предприятия Волго-Уральского региона являются крупнейшими эмитентами выбросов CO_2

Источник: scanrail / Depositphotos.com

Министр природных ресурсов и экологии Российской Федерации А. А. Козлов на IX Невском международном экологическом конгрессе заявил, что ущерб от таяния вечной мерзлоты в России оценивается в 5 трлн рублей до 2050 года. Ее деградация по оценке министра становится причиной 29 % потерь добычи углеводородов, а более 40 % объектов инфраструктуры в зоне многолетнемерзлых пород в Арктике деформировано [2].

Безусловно, для достоверной оценки необходимо провести количественный анализ выгод и потерь российской экономики от климатических аспектов глобального потепления. При этом для основных потребителей российского углеродоинтенсивного экспорта – стран ЕС – никакой речи о потенциальных выгодах быть не может из-за более мягкого на настоящий момент климата.

Технологии улавливания, утилизации и хранения углерода – это комплекс мероприятий, направленных на предотвращение выбросов CO_2 от промышленности и их безопасное захоронение в недрах земли

Именно по этой причине в ЕС так озабочены влиянием изменения климата на экономику Европы. С 2005 года ЕС последовательно снижает выбросы парниковых газов через ужесточение допустимых квот на выбросы промышленных предприятий. Данная политика привела к так называемой «утечке углерода» – переносу углеродоемкого производства из ЕС в страны без климатического регулирования. Для сохранения конкурентоспособности европейских производственных мощностей с 2026 года начнет действовать трансграничное углеродное регулирование (ТУР), затрагивающее часть углеродоемкого импорта в ЕС из других стран, в том числе из России. По оценке VYGON Consulting, выполненной в рамках исследования «CCUS: монетизация выбросов CO_2», суммарные потери основных отраслей российской промышленности составят 0,7 млрд долларов в год, а к 2030 году могут вырасти более чем в 5 раз до 3,9 млрд долл./ год [3]. Наиболее пострадавшими отраслями станут металлургия и нефтегазохимия. В перспективе в перечень облагаемых отраслей возможно включение нефтепереработки из-за значительных выбросов при производстве. Полная декарбонизация этих отраслей невозможна без применения технологий улавливания, утилизации и хранения углерода (CCUS) [4].

Перспективная технология

Данная технология представляет собой целый комплекс мероприятий, направленных на предотвращение выбросов CO_2 от промышленных предприятий и их безопасное захоронение в недрах земли. Упрощенно она представлена на рис. 1. Каждая из составляющих данной технологии является хорошо изученной и применяется в мире уже почти полвека: первый коммерческий проект по транспортировке и закачке диоксида углерода в нефтяные пласты стартовал в США в 1972 г. и продолжается по сей день. В этом же году запустился и первый проект по улавливанию CO_2 на газоперерабатывающем заводе Терелл в Техасе. На 2021 год в промышленной эксплуатации находится 27 проектов CCUS, все они расположены за пределами России [5]. Масштабирование технологии уже приводит к снижению капитальных затрат на улавливание углекислого газа, составляющих около 70 % всех затрат по проекту. Экспертами прогнозируется дальнейшее снижение стоимости улавливания в 1,5 раза до 2030 года, что сделает проекты CCUS коммерчески более привлекательными [6].

Масштабирование технологий уже привело к снижению затрат на улавливание CO_2, составляющих около 70 % всех затрат по проекту CCUS. До 2030 года стоимость улавливания может снизиться в 1,5 раза

Однако, для России отдельные составляющие технологии CCUS тоже не являются чем-то новым: нефтегазохимический сектор активно применяет улавливание углекислого газа при производстве карбамида из аммиака, а пилотные проекты по закачке CO_2 в недра для увеличения нефтеотдачи реализовывали еще в 80-х годах прошлого века на четырех месторождениях Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП), где получили прирост коэффициента извлечения нефти (КИН) по сравнению с традиционным заводнением 10–15 % [7].

Развитая российская нефтегазодобыча является прекрасной основой для реализа-

Рис. 1. Схематичное изображение технологии улавливания, утилизации и захоронения углекислого газа (CCUS)

Источник: VYGON Consulting

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

Емкости только открытых месторождений нефти и газа достаточно для захоронения 305 Гт CO_2. При захоронении всей ежегодной эмиссии CO_2 России (1,7 Гт) этой емкости хватит на 180 лет

ции проектов CCUS, в том числе на основе кластеров из нескольких предприятий-эмитентов и потребителей. За продолжительную историю добычи нефти в нашей стране выявлено большое количество безопасных геологических ловушек, сложилось устойчивое понимание физики пласта и насыщающих его флюидов, появились техника и технологии закачки рабочих агентов в недра.

В условиях энергоперехода российской нефтегазодобыче в кратко- и среднесрочной перспективе предстоит решить задачу максимальной монетизации имеющихся запасов нефти и газа. Одним из вариантов интенсификации производства на старых месторождениях является применение методов увеличения нефтеотдачи (МУН). К одному из таких методов относится закачка CO_2, что также является способом утилизации с параллельным захоронением. При наличии действующей инфраструктуры и безопасного геологического хранилища закачка диоксида углерода является одним из самых перспективных как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Лидеры по емкости хранилищ CO_2

Достоверная оценка суммарной теоретической емкости хранилищ углекислого газа представляется крайне непростой задачей из-за большой неопределенности потенциала водоносных горизонтов. По сравнению с месторождениями углеводородов, на водоносных горизонтах гораздо меньшее количество пробуренных скважин: в основном эксплуатационным бурением охвачены только питьевые воды, которые составляют лишь малую часть всех запасов подземных вод. В связи с этим во всем мире отмечается недостаток геологических данных о водоносных бассейнах, что ведет к большому разбросу

Уфимский НПЗ

Источник: chemcomplex.ru

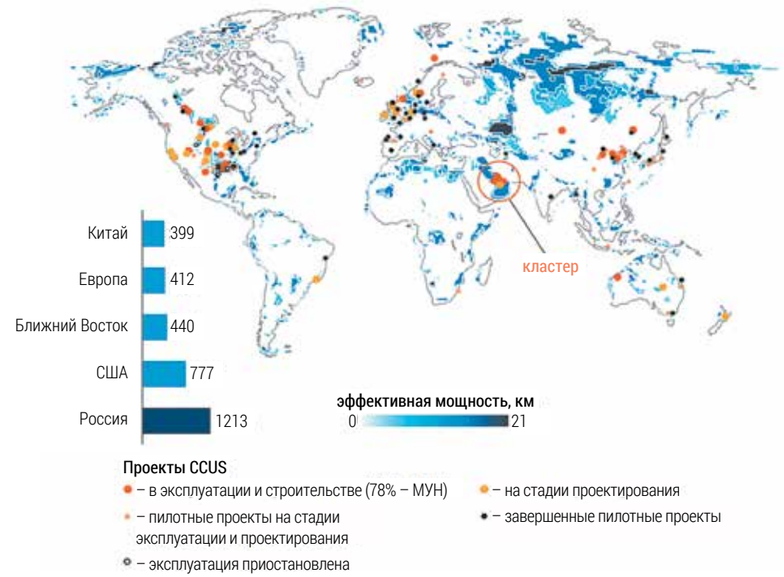


Рис. 2. Теоретический потенциал захоронения CO_2 по регионам в осадочных бассейнах (залежи нефти и газа, водоносные горизонты и др.), Гт

Источники: МЭА, MIT, Global CCS Institute, VYGON Consulting

в оценках их емкости захоронения. Исходя из этого, достоверно представляется оценить только объем для хранения CO_2 в нефтяных и газовых залежах. По оценке ряда [8, 9] источников, Россия обладает наибольшей емкостью геологических хранилищ. Сравнение с другими странами и регионами приведено на рис. 2.

По нашей оценке, емкости только открытых месторождений нефти и газа достаточно для захоронения 305 Гт CO_2. При захоронении всей ежегодной эмиссии углекислого газа России (1,7 Гт) [10] данной емкости хватит практически на 180 лет. С учетом водоносных горизонтов потенциал коллекторов для захоронения CO_2 в России составляет от 1173 до 3813 Гт. Только для целей методов увеличения нефтеотдачи в России уже сейчас реально захоронить 23 Гт диоксида углерода.

Кластеры как основа будущей отрасли

России, обладающей наибольшим потенциалом по хранению углекислого газа, необходимо использовать весь мировой накопленный опыт в сфере проектов CCUS и начать внедрять данные технологии с учетом дополнительных выгод от использования CO_2 в качестве агента МУН. Такие проекты развиваются на основе кластеров, связывающих несколько эмитентов и геологических хранилищ единой транспортной системой.

Одним из самых перспективных регионов для создания CCUS-кластера является регион Урало-Поволжья (рис. 3): суммарный объем эмиссии только металлургических и нефтегазохимических предприятий данного региона составляет порядка

Одним из самых перспективных регионов для создания CCUS-кластера является регион Урало-Поволжья: эмиссия его металлургических и нефтегазохимических предприятий составляет 56 млн т CO_2 /год

56 млн т CO_2/год, а находящаяся поблизости Волго-Уральская НГП обладает огромным количеством ловушек нефти и газа, потенциально пригодных для применения методов увеличения нефтеотдачи и/или захоронения CO_2. Данный перспективный кластер может стать основой для новой низкоуглеродной отрасли в России.

По нашей оценке, проведенной объемным методом, емкость действующих нефтяных месторождений Волго-Уральской НГП, подходящих по техническим ограничениям для утилизации углекислого газа с целью увеличения нефтеотдачи, составляет 14 Гт CO_2, что может обеспечить захоронение всех выбросов от промышленных предприятий данного региона в течение 240 лет. Учитывая мотивацию в виде ТУР, металлургическая и нефтегазохимическая отрасли должны быть наиболее заинтересованными в снижении углеродной интенсивности производимой продукции. Этого можно добиться за счет синергетического взаимодействия с нефтегазодобывающей отраслью в рамках реализации проектов CCUS.

Потенциальное применение CO_2 в качестве агента МУН на месторождениях кластера, представленных в основном разрабатываемыми залежами позволит не только снизить выбросы углекислого газа, но и повысить как текущую добычу нефти, так и конечный коэффициент ее извлечения. Оценка технологического эффекта утилизации диоксида углерода на месторождениях Волго-Уральской НГП была проведена при помощи трехмерного композиционного гидродинамического моделирования, что является лучшей практикой в прогнозировании эффекта применения CO_2-МУН.

Рис. 3. Карта разрабатываемых месторождений углеводородного сырья и основные предприятия-эмитенты CO_2

Источники: ИАЦ «Минерал», VYGON Consulting

Эффект от захоронения CO_2

Для решения поставленной задачи была построена концептуальная изотропная модель сегмента пятиточечного элемента системы разработки с заданием 7 основных компонентов: C1+, C2+, C5+, C8+, C13+, C20+, CO_2. Параметры коллектора были взяты на основе данных государственного баланса запасов полезных ископаемых по Урало-Поволжской нефтегазоносной провинции по состоянию на 01.01.2019 г. Эффективность при вытеснении углекислым газом моделировалась увеличением коэффициента вытеснения, то есть снижением остаточной нефтенасыщенности при уменьшении межфазного натяжения между вытесняющим агентом и нефтью. Кроме того, данный процесс сопровождается растворением газа в нефти и снижением ее вязкости. Однако, при CO_2-МУН по сравнению с заводнением отмечается снижение коэффициента охвата вследствие более высокой подвижности диоксида углерода относительно воды. Данный эффект был учтен в нашей работе на основании анализа международного опыта применения газовых МУН [11].

Расчеты в гидродинамической модели были выполнены для трех вариантов: базовый (закачка воды), с непрерывной закачкой углекислого газа, с попеременной закачкой углекислого газа и воды (ВГВ). В модели переход с заводнения на один из МУН, исследуемых в данной работе, происходил при достижении текущей средней степени выработки Волго-Уральской НГП. По нашим расчетам в рассматриваемом регионе максимальный прирост КИН относительно заводнения может составлять до 30 % в случае непрерывной закачки CO_2 в целевой пласт-коллектор. К концу разработки естественным образом в пласте захоранивается около 60 % всего закачанного CO_2. Часть диоксида углерода прорывается вместе с добываемой нефтью, поэтому должна быть предусмотрена его обратная закачка в пласт. В таком случае будет обеспечено 100 % захоронение всего использованного CO_2.

Для расчета эффективности применения проектов CCUS на месторождениях всей Волго-Уральской НГП использовался технологический эффект от непрерывной закачки CO_2: модельные результаты были отмасштабированы на все разрабатываемые подсчетные объекты провинции, удовлетворяющие критериям реализации смешивающегося вытеснения (около 4,5 тыс. подсчетных объектов). При масштабировании была использована зависимость прироста КИН и относительного прироста текущей добычи от закачанных поровых

Ельниковское месторождение нефти, Удмуртия

Источник: nangs.org

Прирост КИН для Волго-Уральской нефтегазовой провинции за счет утилизации CO_2 составит около 5 % и позволит дополнительно добыть 123 млн т нефти и захоронить 0,53 Гт CO_2 до 2050 года

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

При цене Urals в 48 долл./барр. и отсутствии стимула в виде платежей по ТУР компаниям невыгодно заниматься улавливанием CO_2 для МУН, себестоимость такой нефти будет равна 49 долл./барр.

объемов, полученная при композиционном гидродинамическом моделировании. Данные зависимости масштабировались с учетом текущей добычи, приемистости, порового объема и степени выработки запасов.

В качестве ограничения использовался потенциальный объем углекислого газа, выбрасываемый металлургическими и нефтегазохимическими предприятиями Волго-Уральского кластера и превышающий допустимый объем эмиссии по стандартам ЕС (бенчмарк). Предполагается, что данный объем выбросов при экспорте облагается платежом в рамках ТУР, поэтому улавливать его экономически целесообразно. Также в модели было заложено постепенное снижение допустимого уровня выбросов, так как бенчмарк ЕС ужесточается с каждым годом. Уровень выбросов углекислого газа от промышленных предприятий при этом был принят как постоянный. Расчет начинается с 2026 г., так как, по нашей оценке, данный год наиболее благоприятный с макроэкономической (ввод платежей от ТУР) и технологической (завершение строительства установок по улавливанию) точек зрения.

По нашим расчетам, прирост КИН для всей Волго-Уральской НГП за счет утилизации пойманного углекислого газа с металлургических и нефтегазохимических предприятий анализируемого региона составит около 5 % и позволит дополнительно добыть 123 млн т (898 млн барр.) нефти и захоронить 0,53 Гт CO_2 до 2050 года. Коэффициент утилизации при этом составил 0,6 т CO_2/барр. нефти.

Источник финансирования

На основе данных прогноза макроэкономических показателей Минэкономразвития от 2020 года (цена Urals – 47,5 долл./барр., курс – 73 руб./долл.), прогноза стоимости улавливания и структуры затрат по аналогичным проектам [12] был посчитан экономический эффект утилизации CO_2. Результаты представлены на рис. 4.

Для создания данного кластера необходимы инвестиции в размере 27 млрд долларов, из которых 17 млрд долларов составят капитальные затраты. Такая внушительная инвестиция не может быть осуществлена без государственной поддержки: предполагается, что налоговые поступления от дополнительно добытой нефти можно направить на субсидирование проектов по улавливанию углекислого газа на промышленных предприятиях. Данная мера позволит сократить прямые инвестиции в декарбонизацию углеродоемких производств до 15 долл./т CO_2 (31–22 = 9 долл./барр. нефти /0,6 т CO_2/барр. нефти = 15 долл./т CO_2). Как уже отмечалось ранее, созданная инфраструктура после завершения разработки с использованием CO_2-МУН может быть использована для захоронения CO_2, в том числе и в водоносных пластах.

Также из результатов расчета видно, что при прогнозной цене Urals в 48 долл./барр. и отсутствии стимула в виде платежей в рамках ТУР нефтяным компаниям невыгодно самостоятельно заниматься улавливанием CO_2 для МУН, так как без учета налогов и собственного дохода себестоимость такой нефти будет равна 49 долл./барр. (12+1+3+2+31 = 49). С учетом налоговой нагрузки минимальная цена Urals для осуществления всей цепочки проекта CCUS силами нефтедобывающих компаний должна быть выше 90 долл./барр. Исходя из этого, становится очевидной необходимость синергетического взаимодействия предприятий эмитентов, подпадающих под ТУР, и нефтедобывающих компаний с целью нахождения экономически оптимального решения задачи декарбонизации. В свою очередь, создание благоприятных условий для развития отрасли CCUS в России требует снижения влияния как общеотраслевых, так и специальных рисков.

Прогнозная цена квоты на выбросы тонны CO_2, к которой будет привязан платеж ТУР, к 2026 г. составит около 80 долл./т CO_2 и превысит среднюю стоимость улавливания тонны углекислого газа

Металлургический завод, Ижевск

Источник: steelguru.com

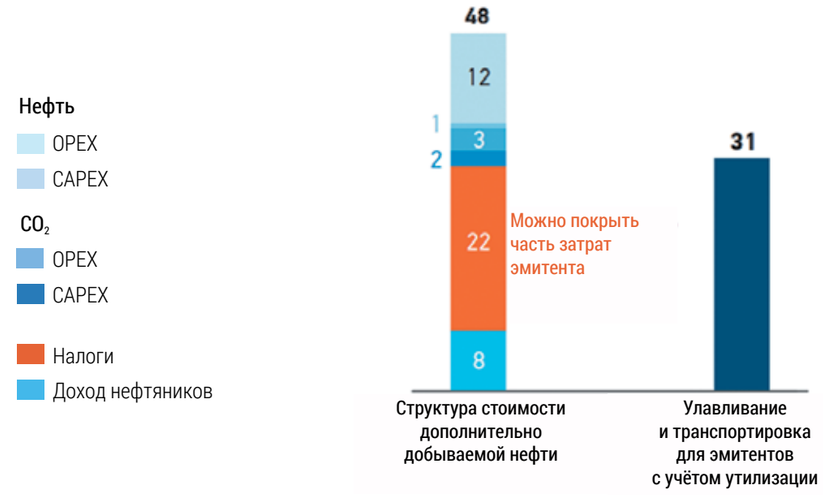


Рис. 4. Сопоставление структуры полной стоимости дополнительно добываемой нефти от CO_2-МУН и полной стоимости улавливания и транспортировки для эмитентов, долл./барр.

Источники: Министерство энергетики РФ, Shell, Zero Emissions Platform, IEAGHG, VYGON Consulting

Основные риски и дальнейшие шаги

К общеотраслевым рискам здесь можно отнести отсутствие должной экономической мотивации для коммерческого ведения деятельности по улавливанию и захоронению CO_2. Прогнозная цена квоты на выбросы тонны CO_2 в рамках EU ETS, к которой будет привязан размер платежа в рамках ТУР [13], к 2026 г. (начало выплат по ТУР) составит около 80 долл./т CO_2 [14] и превысит среднюю стоимость улавливания тонны углекислого газа. Это делает целесообразным начало промышленного внедрения технологий улавливания в металлургическом и нефтегазохимическом производствах. Первые промышленные проекты CCUS необходимо ввести уже в 2026 году, а перед этим необходимо провести научно-исследовательские и опытно-промышленные работы, требующие инвестиций. Государству, являющемуся одним из выгодоприобретателей от ведения эффективной экономической деятельности хозяйствующих в нем субъектов, стоит выступить одним из соинвесторов таких работ для сохранения конкурентоспособности отечественной продукции на зарубежных рынках и, как следствие, уровня бюджетных поступлений.

Важнейшим специальным риском является признание российских проектов CCUS в ЕС. Для этого требуется гармонизировать подходы к учету выброшенных и захороненных объемов углекислого газа, утвердить принципы выбора безопасного геологического хранилища, обеспечить верификацию таких данных независимыми аудиторами. Для нужд будущей отрасли необходимо создать полноценную нормативную базу, включая новый вид недропользования, правила захоронения и соответствующие регламенты. Нуждается в отдельной проработке с ЕС и вопрос признания захоронения при CO_2-МУН: с учетом развитой нефтедобычи и возможных выгод такой способ является экономически оптимальным среди всех проектов CCUS.

Решение вышеперечисленных задач требует совместной работы ключевых отраслевых министерств, компаний и научного сообщества, а начинать решать их необходимо уже сейчас.

Первые промышленные проекты CCUS необходимо подготовить и ввести уже в 2026 году. Государству, как основному выгодоприобретателю, стоит выступить одним из соинвесторов таких работ

Использованные источники

1. *IPCC - Masson-Delmotte, V., P. Zhai, et al., «Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», Cambridge University Press, 2021.*
2. *Козлов А.А. Круглый стол на тему «Арктика: актуальные экологические вопросы», Санкт-Петербург, 2021.*
3. *Клубков С.В., Емельянов К.В., Зотов Н.Ю. CCUS: монетизация выбросов CO_2 / VYGON Consulting, 2021. URL: https://vygon.consulting/products/issue-1911/.*
4. *IEA. Transforming Industry through CCUS, 2019.*
5. *Global CCS Institute. Global Status of CCS 2020, 2020.*
6. *METI. What is CCUS Technology?, 2020.*
7. *Афанасьев С.В., Волков В.А., Прохоров П.Э., Турапин А.Н. «Зеленые» технологии в нефтегазодобыче. Самара, 2018.*
8. *J. Kearns, G. Teletzke, J. Palmer, et al. Developing a Consistent Database for Regional Geologic CO_2 Storage Capacity Worldwide. Lausanne, Switzerland, 2017.*
9. *IEA. The world has vast capacity to store CO_2: Net zero means we'll need it, 2021.*
10. *ФГБУ «ИГКЭ», Росгидромет. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2019 гг., 2021.*
11. *Healy, Holstein, and Batycky. Status of Miscible Flooding Technology, 14th World Petroleum Congress, Stavanger, Norway, 1994.*
12. *Shell General Manager CCS&CO_2 - Wilfried Maas, Quest CCS Project Costs, IEAGHG CCS Cost Network Workshop, London, 2017.*
13. *European Commission, Regulation of the European parliament and of the council establishing a carbon border adjustment mechanism, 2021.*
14. *Bloomberg NEF, Europe CO_2 Prices May Rise More Than 50% by 2030, 2021.*

Сжигание попутного нефтяного газа, как источник выбросов метана

Источник: bashta / Depositphotos.com

УДК 339.98:620.9 DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_38

Трансграничные углеродные налоги: риски для российского ТЭК

Cross-border carbon taxes: risks for the Russian fuel and energy complex

Сергей РОГИНКО
Руководитель Центра экологии и развития Института Европы РАН, профессор, директор Института мировой экономики и международных финансов Финансового университета при Правительстве РФ, к. э. н.
e-mail: roginko@bk.ru

Sergey ROGINKO
Head of the Center for Ecology and Development of the Institute of Europe of the RAS, Professor, Director of the Institute of World Economy and International Finance of the Financial University under the Government of the Russia, Ph.D. economy sciences
e-mail: roginko@bk.ru

В современном мире нефтегазовый рынок зависит во многом от климатической ситуации

Источник: yara.com

Аннотация. Предмет анализа – инициатива ЕС по введению трансграничного углеродного механизма, разработанного в рамках принятого в 2019 году Европейского зеленого курса и его возможное воздействие на отрасли российского ТЭК. Автором даются оценки рисков, связанных с данным механизмом для российской экономики, включая отрасли ТЭК. Оценивается вероятность введения данного механизма, даются рекомендации российским топливно-энергетическим компаниям по возможным мерам хеджирования рисков. Анализируется возможность блокирования инициативы Евросоюза на международной арене, включая позиции ведущих мировых держав по данном вопросу. Предлагается тактика взаимодействия по данной проблеме с такими крупными глобальными экспортерами как Китай и другие.
Ключевые слова: трансграничное углеродное регулирование, Европейский зеленый курс, выбросы парниковых газов, углеродное налогообложение, Европейская система торговли выбросами, климатическая нейтральность, «углеродный след».

Abstract. The subject of the analysis is the EU initiative to introduce the so-called Carbon Border Adjustment Mechanism developed within the framework of the European Green Deal adopted in 2019 and its possible impact on the Russian fuel & energy companies. The author gives estimates of the scale and nature of the risks associated with this mechanism for the Russian economy, including the fuel and energy sector. The probability of introducing this mechanism is assessed, recommendations are made to Russian fuel and energy companies on possible measures to hedge risks associated with this EU initiative, including interaction with federal agencies to develop counteraction measures, as well as non-corporate measures to compensate for corporate emissions based on ecosystem emission absorption projects. The possibility of blocking the EU initiative in the international arena, including the positions of the leading world powers on this issue, is analyzed. The tactics of interaction on this issue with such large global exporters of iron & steel products as China, India, Brazil and others are proposed.
Keywords: cross-border carbon regulation, European Green Deal, greenhouse gas emissions, carbon taxation, European Emissions Trading Scheme, climate neutrality, carbon footprint.

Перемещение европейских энергоемких предприятий в развивающиеся страны завершилась 10–20 лет назад и было вызвано соображениями экономии

Современная климатическая повестка, продвигаемая западными странами, и прежде всего ЕС, формирует предельно агрессивную среду для всех отраслей экономики, связанных с традиционными видами топлива и энергии. Это представляет серьезную угрозу для российского экспорта энергоносителей, формирующего немалую часть бюджетных поступлений страны, и требует неотложных шагов по выработке мер хеджирования рисков.

Самой обсуждаемой инициативой ЕС стало введение трансграничного углеродного налога. Европейский зеленый курс, в рамках которого презентуется этот налог, рассчитан на достижение Евросоюзом к 2050 г. климатической нейтральности и преподносится как новая стратегия регенеративного роста, не требующего добычи природных ископаемых. На достижение цели климатической нейтральности только из бюджета ЕС предусматриваются расходы в размере 1 трлн евро в ближайшее десятилетие при общем планируемом размере инвестиций в 2,6 трлн евро.

Помимо резонного беспокойства в связи с появлением такой перспективы,

Завод минеральных удобрений CF Industries Holdings

Источник: seekingalpha.com

ажиотаж вокруг углеродного регулирования вызван пониманием, что Евросоюз пользуется климатической повесткой для продвижения своих экономических интересов.

Достаточно проанализировать главный аргумент ЕС в пользу ТУР: так называемую «углеродную утечку» (Carbon Leakage). Это понятие сформулировано в главном документе ЕС по Европейскому зеленому курсу – сообщении Европейской комиссии «COM(2019) 640 final» от 11 декабря 2019 г. В нём говорится, что, с увеличением цены на выбросы углерода в рамках Европейской системы торговли выбросами (EU ETS), финансовое давление на компании реального сектора принуждает их перемещать энергоёмкие производства в страны, где предприятия свободны от подобного обременения. А это приводит к увеличению выбросов вне ЕС.

На достижение цели климатической нейтральности только из бюджета ЕС предусматриваются расходы в 1 трлн евро в ближайшее десятилетие при общем планируемом размере инвестиций в 2,6 трлн евро

Однако следует помнить, что перемещение европейских энергоемких предприятий в развивающиеся страны в основном завершилась 10–20 лет назад. Эта релокация была вызвана, прежде всего, соображениями экономии на рабочей силе и на дорогостоящих природоохранных мероприятиях, к парниковым газам отношения не имеющим. В итоге экономика ЕС уже перестроилась на импорт большей части энергоемкой продукции. Этим переходом и объясняется высокая энергоэффективность экономики стран ЕС по сравнению, в частности, с российской, в структуре которой преобладают энергоемкие отрасли. С другой стороны такое разделение труда делает экономики России и ЕС взаимно дополняющими. В среднесрочной перспективе дальнейшего масштабного перемещения предприятий энергоемких отраслей не просматривается; более того, ЕС делает акцент именно на сохранении оставшихся энергоемких производств.

Кроме того, европейская налоговая инициатива в текущем виде не соответствует международному праву, и прежде всего, нормам ВТО и Парижского соглашения. Постараемся найти ответы на этот вопрос и ряд других, имеющих отношение к российским рискам, связанным с данной инициативой.

Риски введения ТУР

Характер рисков по линии трансграничного углеродного регулирования претерпел с момента презентации инициативы ряд трансформаций. Изначально в качестве весьма общих мер Еврокомиссия обозначила следующие альтернативы:

- введение НДС для всех товаров, реализуемых в ЕС (данный налог будет распространяться как на зарубежных, так и на внутренних производителей);
- введение пограничного налога на импорт отдельных углеродоемких видов продукции (его размер будет зависеть от стоимости выбросов CO_2 в рамках EU ETS);
- распространение действия EU ETS на «углеродный след» импортных товаров. В этом случае их экспортерам/производителям придется приобретать европейские разрешения на выбросы (EU Allowances (EUA).

После долгих дебатов и консультаций было принято решение переложить углеродный налог с экспортеров продукции на ее импортеров в ЕС. Им было в итоге вменено приобретение соответствующего объема EUA, цена на которые формируется на европейском рынке сокращений в рамках EU ETS. Это, безусловно, не облегчает положение экспортеров, так или иначе теряющих значительную часть экспортной выручки.

Экономика ЕС уже перестроилась на импорт большей части энергоемкой продукции. Этим переходом объясняется высокая энергоэффективность европейского производства по сравнению с российским

По способу исчисления налогооблагаемой базы существовал ряд подходов, предполагавших, в частности, обложение либо всего объема выбросов, либо использование различных бенчмарков ЕС. В качестве последних фигурировали как среднеотраслевые показатели углеродоемкости продукции, так и эти же показатели, но для 10 % самых эффективных предприятий в соответствующих отраслях промышленности ЕС. В итоге размер выбросов, подпадающих под ТУР по умолчанию, привязан к среднеотраслевой углеродоемкости в стране-экспортере, что снижает потенциальные финансовые потери российских компаний, особенно в тех отраслях, в которых удель-

Электроконтейнеровоз Yara Birkeland, построенный по заказу Yara в рамках перехода на безуглеродные суда

Источник: yara.com

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

Минэкономразвития ожидает потери российских экспортеров от введения ТУР в 1,1 млрд евро, наибольшая нагрузка придется на металлургию (€729,9 млн) и минеральные удобрения (€397,8 млн)

ная углеродоемкость продукции существенно выше, чем в странах ЕС.

Главной интригой были сроки введения этой меры. На протяжении этого периода, начало 2023 года озвучивалось в качестве базовой даты введения пограничного корректирующего углеродного механизма ЕС. Последнее подтверждение этой даты было дано в резолюции Европарламента, принятой 17 марта 2021 г. и предписывающей ввести его в действие к 2023 году [3].

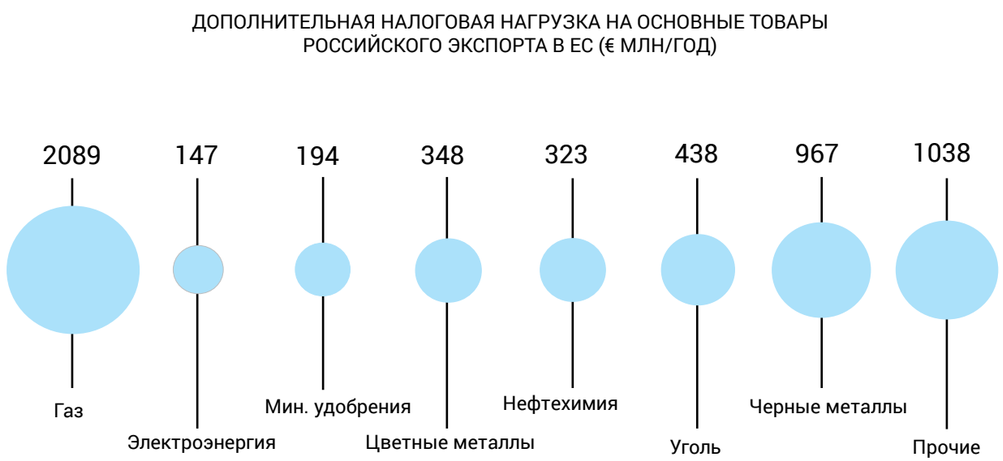
Тем не менее Еврокомиссия не стала следовать рекомендациям резолюции Европарламента. Исходные параметры механизма и сроки его введения были серьезно пересмотрены. В июле 2021 года Еврокомиссия выпустила объемный (291 страница) документ по ТУР. Документ имеет статус сообщения ЕС и детально описывает все компоненты механизма и этапы его внедрения (сообщение COM(2021) 564 final от 14.07.2021 г. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council, establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism) [3]. В этом документе введение налога отложено до 1 января 2026 года; с 2023 года предусмотрено начать сбор данных по углеродному следу, который будет формировать налоговую базу для этого механизма. Предполагается, что за 3 года будет отлажена в тестовом режиме необходимая схема отчетности и верификации углеродного следа.

Масштабы рисков

Указанный документ COM(2021) серьезно сократил степень неопределенности, не позволявшей ранее определить масштабы рисков с большей или меньшей точностью. Прежде всего, он отвечает на главный вопрос: какие отрасли предполагается охватить новым механизмом? В действующей версии списка отраслей и производств, импорт продукции которых в страны ЕС будет обложен платежами в рамках ТУР, в качестве первоочередных для внедрения намечены металлургия, цементная промышленность, производство удобрений и электроэнергия. Российская продукция нефтяной, газовой и угольной отрасли пока под действие ТУР не попадает. Но состав товарных групп для включения в углеродное регулирование будет постоянно пересматриваться.

Рис. 1. Прогноз потерь российского экспорта от введения ТУР (базовый сценарий прогноза KPMG 2020 года)

Источники: [4], базовый прогноз KPMG



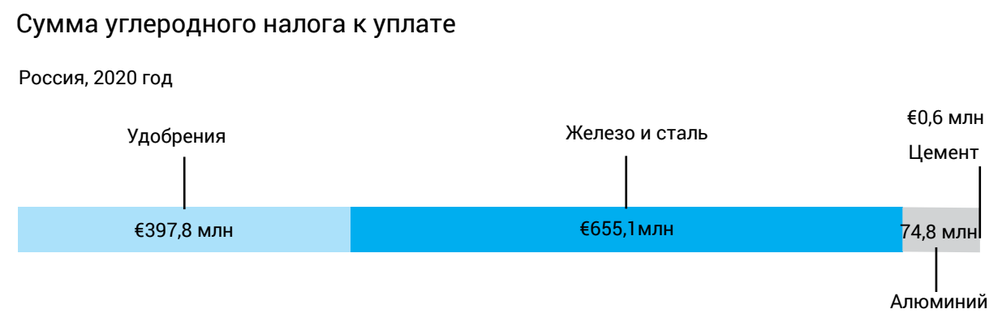


Рис. 2. Расчеты РБК по объемам финансовых потерь экспортных отраслей России от ТУР

Источники: [5], расчеты РБК, Еврокомиссия, Евростат

Для нефтяной, газовой и угольной отраслей России это, безусловно, неплохая новость, поскольку ранее аналитики оценивали потери ТЭК РФ примерно в 3 млрд евро в год [4] (рис. 1.)

Свои оценки после появления сообщения ЕС озвучило и Министерство экономического развития РФ. Базируясь на данных по объемам экспорта 2020 года, оно спрогнозировало потери российских экспортеров на уровне 1,1 млрд евро, при этом наибольшая нагрузка придется на сектор металлургии (€ 729,9 млн) и минеральных удобрений (€397,8 млн), в то время как потери энергетиков оцениваются всего в 600 тыс. евро (что вызвано небольшими объемами поставок электроэнергии) (рис. 2) [5].

В условиях относительно точных данных по объемам экспорта и показателей углеродного следа российских экспортных товаров, единственным серьезным фактором неопределенности является цена углеродных единиц. За последний год она поднялась с € 30/t до небывалого уровня в €50/t. Такой беспрецедентный рост заставляет предположить заинтересованность ЕС в росте цен на углеродные единицы, которые могут намеренно «разгоняться», используя так называемый механизм «резерва стабилизации рынка» (Market Stability Reserve), созданный специально в качестве страховки от падения цен. Этот механизм, созданный в период рыночного коллапса рынка углеродных единиц (падения цен до уровня €0,1/t)

Крупнейший европейский экспортер нефти, Норвегия покрывает собственные потребности за счет гидроэнергетики и ВИЭ

Источник: yara.com

дает ЕС право «убирать» с рынка любые объемы квот на выбросы в «резерв». Он становится идеальным средством манипулирования ценами на единицы, любое повышение которых автоматически ведет к росту доходов ЕС в рамках трансграничного налогового регулирования.

Прогнозы по уровню цен постоянно растут: например, если в 2020 г. Bloomberg исходил из показателей цен в ближайшее десятилетие на уровне € 40/t + – 25 %, то в прогноз нынешнего года заложен показатель в €108/t. Уровень в €89–90/t прогнозируют аналитические структуры ISIS и Refinitiv. Еврокомиссия закладывает в прогноз консервативный уровень в €50–85/t (рис. 3) [5].

Такая очевидная тенденция требует пересмотра долгосрочных прогнозов финансовых потерь российских экспортеров в рамках ТУР в ближайшие 10–15 лет. Попытки подобных прогнозов уже предпринимаются, в частности, опубликованный 30 августа 2021 года прогноз европейских аналитических центров Sandbag и E3G предполагает рост сборов углеродного налога по линии ТУР на российские товары, ввозимые в страны ЕС, до € 1,9 млрд в 2035 году (рис. 4) [6].

По прогнозу Sandbag и E3G, наибольший объем ущерба от углеродного налога в 2035 году придется именно на Россию. Китай понесет ущерб почти в 4 раза меньший, Украина и Турция – в 2–2,5 раза, Южная Корея – в 5 раз, а США – более чем в 20 раз. Схожие по характеру оценки содержались и в прогнозе KPMG 2020 года: по нему среди торговых партнеров ЕС именно Россия понесёт наибольшие потери от пограничного налога.

Ежегодные потери нашей страны превысят потери Китая по пессимистическому сценарию в 4,1 раза, по базовому сценарию – в 4,6 раза, а по оптимистическому сценарию – в 8,5 раза. Многократно превысят потери России по отношению к соответствующим издержкам США: по пессимистическому сценарию – в 3,5 раза, по базовому сценарию – в 4,5 раза, а по оптимистическому сценарию – в 10 раз.

Вероятность рисков и меры хеджирования

Такая перспектива для России заставляет оценить вероятность рисков и продумать меры хеджирования. Сообщение COM(2021) и резолюция Европарламента от 17 марта 2021 г. не являются документами прямого действия и не носят директивного характера (такими документами являются прежде всего директивы ЕС).

Поэтому вероятность наступления рисков по линии ТУР на сегодня можно рассматривать как весьма высокую, но не стопроцентную. Более того, из истории известно, что даже в случае доведения вопроса до уровня директивы ЕС не исключен «обратный ход» со стороны Евросоюза. Это доказывает недавний опыт введения ЕС пограничного углеродного налога на зарубежные авиакомпании, выполняющие рейсы в ЕС. В 2012 г. этот механизм был введен директивой ЕС, зарубежные авиаперевозчики были включены в Европейскую систему торговли выбросами парниковых газов (EU ETS), и им в принудительном порядке были спущены лимиты на выбросы, с понятными ставками штрафов за перевыбросы. Но Евросоюзу пришлось отступить под давлением Китая, России, США и других стран. Это стало прецедентом, дающим основания на тиражирование в качестве хеджирующей меры на государственном уровне.

Попытки задействовать эти привычные средства смягчения рисков, такие как привлечение бизнес-партнеров или участие в ассоциациях, вряд ли могут принести эф-

Наибольший объем ущерба от углеродного налога в 2035 году придется на Россию. Китай понесет ущерб почти в 4 раза меньший, Украина и Турция – в 2–2,5 раза, Южная Корея – в 5 раз, США – в 20 раз

Долгосрочные прогнозы по цене углеродной единицы в европейской системе EU ETS

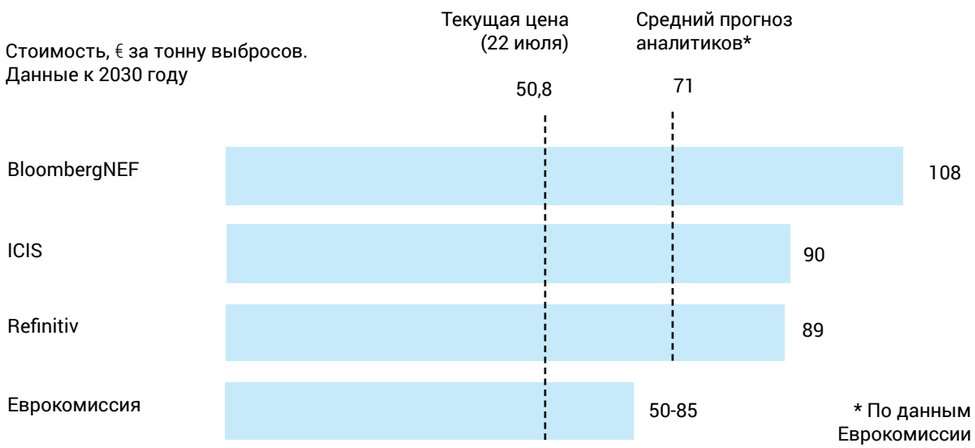
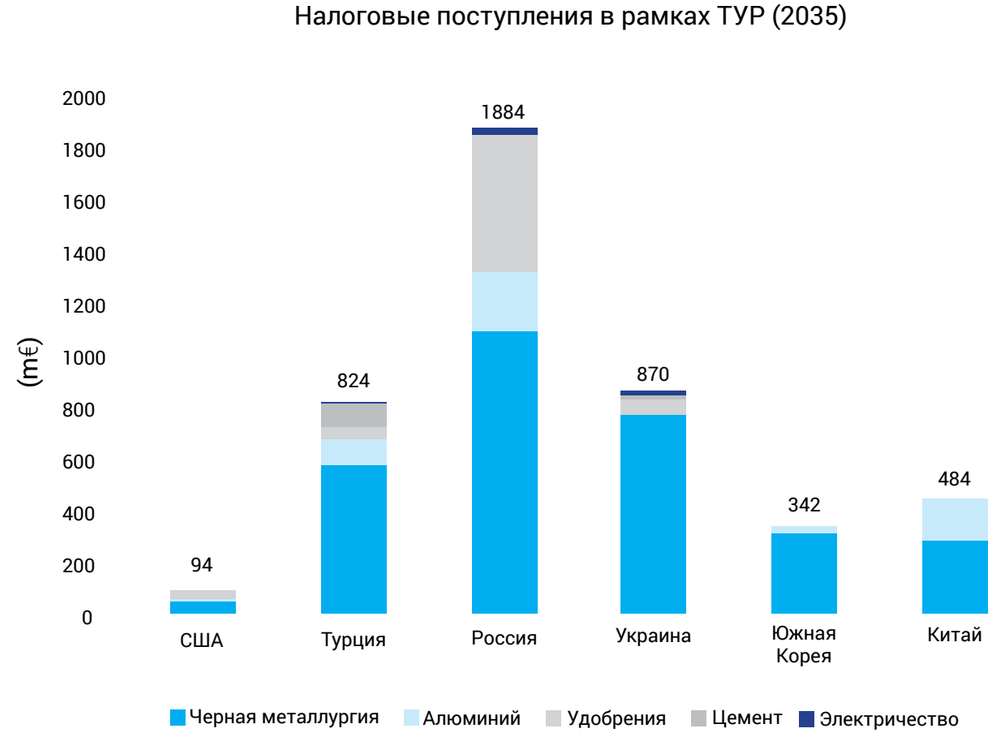


Рис. 3. Прогнозы по ценам на углеродные единицы на период до 2030 г.

Источники: [5], Refinitiv, ICIS , Bloomberg, Еврокомиссия

Рис. 4. Прогноз Sandbag и E3G по объемам сборов углеродного налога по линии ПКУМ на российские товары, ввозимые в страны ЕС в 2035 году (в млн € 1)

Источник: [6]



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

фект, поскольку ситуация с продвижением ТУР в Евросоюзе предельно политизирована. Это продвижение происходит под колоссальным давлением руководства Еврокомиссии. Кроме того, этот механизм интересен европейским промышленным группам, поскольку рекордные цены на разрешения на выбросы углекислого газа [7] повышают стоимость продукции в ЕС намного выше, чем в любом другом регионе мира.

Другим способом хеджирования становится практика greenwashing, позволяющая корпорации позиционировать свой продукт как климатически нейтральный (вариант, обладающий меньшим углеродным следом, чем конкурирующие продукты). К ним, в частности, относятся:

- тактика продвижения природного газа как «зеленого» или «промежуточного» топлива, которую использует «Газпром»;
- включение ВИЭ в корпоративный проектный портфель; такая тактика широко применяется ведущими нефтяными корпорациями (Shell, BP, Total, Engie) и генерирующими компаниями Европы (RWE, Vattenfall, Fortum, ENEL) и тиражируется некоторыми отечественными корпорациями («Росатом», «ЛУКОЙЛ», «Газпром нефть», и др.);
- компенсация «углеродного следа» экспортируемой продукции (например, «зеленый СПГ», предлагаемый покупателям ведущим мировым трейдером VITOL. Из российских аналогов известен пока только низкоуглеродный алюминий ALLOW, представляемый компанией РУСАЛ. Известно также о проработке подобной схемы компенсации выбросов рядом корпораций ТЭК на базе проектов лесовосстановления и лесопосадок).

Одним из способов хеджирования в рамках «зеленой сделки» становится практика greenwashing, позволяющая корпорациям позиционировать свой продукт на рынке как климатически нейтральный

Система ТУР так и не смогла заработать для авиакомпаний, совершающих перелеты в ЕС
Источник: pxhere.com

С точки зрения эффективности хеджирования рисков эти меры можно оценить следующим образом:

- тактика продвижения природного газа как «зеленого» или «промежуточного» топлива была достаточно эффективной в качестве имиджевой меры несколько лет назад; сейчас «Газпром» активно дополняет эту тактику внедрением водородной повестки;
- включение ВИЭ в корпоративный проектный портфель вряд ли принесет пользу экспортерам энергоносителей, за исключением производителей электроэнергии, объем экспорта которой из России в ЕС невелик. Здесь не стоит ожидать какого-то эффекта с точки зрения сбыта энергоносителей или защиты от трансграничного налога;
- компенсация «углеродного следа» экспортируемой продукции (например, за счет «лесных» проектов) может стать серьезным инструментом защиты от ТУР, снижая или полностью устраняя налогооблагаемую базу. Что касается собственно сбыта энергоносителей, то здесь возможен лишь «точечный» эффект в случае наличия заинтересованного в таком формате покупателя.

К стратегическим мерам, применимым прежде всего в отношении углеродного регулирования, можно отнести инициативу введения в России углеродной цены (налога). Она должна работать как возможный «зачет» Евросоюзом национальной цены на углерод в случае принятия той или иной страной систем и стратегий климатической политики, аналогичных действующим в ЕС. Однако нынешнее состояние отношений России с ЕС не позволяет надеяться на то, что Европа (в случае введения ТУР) откажется от доходов от этого налога в пользу России.

Для разработки практической системы хеджирования следует воспользоваться уже имеющимся у России опытом по эффективному противодействию трансграничному углеродному регулированию ЕС в гражданской авиации. В 2012 году было организовано совещание в Москве, сформировавшее блок стран, несогласных с этой мерой. Решающий вклад внес Китай, пригрозивший отказом от закупки «Аэробусов». Тогда вопрос был перенесен на площадку профильной структуры ООН – ИКАО, где он обсуждается до сих пор (что избавило Россию от «углеродных» платежей ЕС на протяжении последних 10 лет).

Чтобы повторить этот успех в рамках общей системы трансграничного регулирования, требуется:

- договоренность о совместных действиях с Китаем;
- вывод дискуссии на уровень БРИКС с проведением совещания и выработкой солидарной позиции (к которой с большой вероятностью присоединятся другие недовольные – Турция, Саудовская Аравия, Ирак, страны ЮВА, Латинской Америки и др.);
- создание широкой коалиции стран и выработка общей стратегии ответных действий.

Шансы на договоренность о совместных действиях с Китаем у России сейчас уникальны. Председатель КНР Си Цзиньпин на трехстороннем климатическом саммите Германии, Франции и Китая в апреле этого года отметил, что противодействие изменению климата не должно становиться предлогом для установления торговых барьеров [8]. Аналогичную позицию он продублировал и на организованном США Саммите лидеров по климату 22–23 апреля [9].

В пользу России играет и ситуация по линии группы BASIC: 9 апреля 2021 г. страны этой группы по итогам встречи министров экологии выпустили заявление с осуждением инициатив введения торговых барьеров под предлогом защиты климата [10]. То есть о совместном неприятии инициативы ЕС заявили четыре страны БРИКС из пяти.

Логика развития событий однозначно диктует необходимость перехода России от односторонних действий к совместным действиям, что особенно уместно в коалиции со своими традиционными партнерами.

Использованные источники

1. *European Parliament resolution of 10 March 2021 towards a WTO-compatible EU carbon border adjustment mechanism (2020/2043(INI). – URL: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0071_EN.html (accessed: 02.07.2021).*
2. *COM(2019)640 – Communication. The European Green Deal. EU Monitor. – URL: https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vl4cnhyp1ort (accessed: 02.07.2021).*
3. *COM(2021) Communication 564 final от 14.7.2021 г. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council, establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism. – URL: https://ec.europa.eu/info/files/carbon-border-adjustment-mechanism_en (accessed: 20.07.2021).*
4. *Зайнуллин Евгений. Налог по-черному. Что означают для России новые экологические инициативы ЕС // Коммерсантъ. №241 от 30.12.2020. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/4615793*
5. *Россия заплатит ЕС €1,1 млрд в год углеродного налога // РБК, 26 июля 2021 г. – URL: https://www.rbc.ru/economics/26/07/2021/60fac8469a7947d1f4871b47*
6. *Adrien assous, thomas burns, byford tsang, domien vangenechten &belinda schäpe. A storm in a teacup impacts and geopolitical risks of the european carbon border adjustment mechanism. – URL: https://www.e3g.org/wp-content/uploads/E3G-Sandbag-CBAM-Paper-Eng.pdf*
7. *Europe Carbon Market: Emissions Permits Set Price Records. Bloomberg Businessweek, Jan. 18 2021. – URL: https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-01-19/europe-carbon-market-emissions-permits-set-price-records-in-2021 (accessed: 02.07.2021).*
8. *Germany and France agree on climate cooperation with China. Deutsche Welle, 17.04.2021. – URL: https://www.dw.com/en/germany-and-france-agree-on-climate-cooperation-with-china/a-57230283 (accessed: 02.07.2021).*
9. *Remarks by Chinese President Xi Jinping at Leaders Summit on Climate. – URL: http://www.xinhuanet.com/english/2021-04/22/c_139899289.htm (accessed: 02.07.2021).*
10. *Joint Statement issued at the conclusion of the 30th BASIC Ministerial Meeting on Climate Change hosted by India on 8th April 2021. – URL: https://www.environment.gov.za/mediarelease/basic_ministerialmeeting_climatechange_india (accessed: 02.07.2021).*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

УДК 338.2:621(985+470)
DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_48

Развитие малых атомных станций: задачи и перспективы

Development of small nuclear power plants: tasks and prospects

Виктор СЕМЕНОВ
Воронежский государственный университет, преподаватель кафедры «АЭС», технический эксперт МСВАЭП
e-mail: semenov.v.p@yandex.ru

Victor SEMENOV
Voronezh State University, Department of Nuclear Power Plants, Technical expert International Union of Veterans of Nuclear Energy and Industry (IUVNEI) (1, University sq,Voronezh, Russia, 394006)
e-mail: semenov.v.p@yandex.ru

Татьяна ЩЕПЕТИНА
Начальник лаборатории «Перспективные концепции» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», к. т. н.
e-mail: schepetina_td@nrcki.ru

Tatiana SHCHEPETINA
Ph.D., Head of laboratory «Perspective Concepts», National Research Center «Kurchatov Institute» (1, sq. Kurchatova, Moscow, Russia, 123182)
e-mail: schepetina_td@nrcki.ru

Сергей ПОПОВ
Старший научный сотрудник отдела комплексных и региональных проблем энергетики Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН, к. т. н.
e-mail: popovsp@isem.irk.ru

Sergei POPOV
Ph.D, Department of Complex and Regional Problems in Energy, Melentiev Energy Systems Institute SB RAS (130, str. Lermontov, Irkutsk, Russia, 664033)
e-mail: popovsp@isem.irk.ru

Аннотация. В статье рассматривается методология построения программы создания инновационной подотрасли в рамках ядерно-энергетического и промышленного комплекса России. Описаны цели и задачи программы, показаны преимущества создаваемых на основе малых атомных реакторов энергетических комплексов в удалённых районах и акваториях Арктики. Особое внимание уделено системности решения задач обеспечения безопасности применения ядерных технологий, подготовке эксплуатационного персонала, методам обоснования экономической эффективности ядерно-энергетических комплексов и перспективных промышленных и инфраструктурных технологий на основе единой организационной структуры управления подотрасли для городов на территории децентрализованного энергоснабжения.
Ключевые слова: Арктика, энергоснабжение, программа, малые атомные реакторы, водородные технологии, безопасность, подготовка кадров, специализированные транспортные средства.

Abstract. The article discusses the methodology of design a sub-industry program for innovative nuclear power plants with small and medium capacity (SNP Programme) within the framework of Russia's nuclear energy and industrial complex. The goals and objectives of the Programme are described, and the advantages of energy complexes development based on small nuclear reactors in remote areas of the Russian Arctic are shown. Particular attention is paid to the safety of nuclear technology application solutions consistency, operating personnel training importance, and methods of the nuclear-industrial complexes economic efficiency justification. The emerging SNP industry is based on underground design of a civilian reference power unit, associated transportation and human resource infrastructure. The creation of a unified organisational structure of the sub-industry is proposed for cities on the territory of decentralized energy supply.
Keywords: Arctic, energy supply, program, sub-undustry, small nuclear reactors, hydrogen technology, safety, human resources, specialised vehicles.

В последние годы решение задач ядерной энергетики привело к быстрому развитию технологий малых реакторов и модульных электростанций

Введение

Мир вступил в технологическое переформатирование мировых энергетических сегментов в экономике. Так, развитие водородной энергетики приведёт к новому технологическому укладу в промышленности, в экономике в целом, и даже изменит качество жизни.

В последние годы решение задач ядерной энергетики привело к быстрому развитию технологий малых реакторов и модульных электростанций. Так в МАГАТЭ запущены и активно осуществляются пять проектов, связанных с этой тематикой [1], только в 2021 г. уже опубликовано несколько исследовательских отчётов по перспективам развития мирового рынка малых реакторов. [2,3] Указано, что ключевыми проблемами таких технологий являются необходимость создания систем транспортировки малых реакторов и топлива для них, исключение физических рисков, и обеспечение кибербезопасности для удаленного и полуавтономного применения. Китай уже приступил к строительству первого в мире наземного малого модульного реактора мощностью 125 МВт, предназначенного для выработки электроэнергии, городского отопления и охлаждения, промышленного производства пара и опреснения морской воды [1]. Правительство Великобритании объявило о финансировании Rolls-Royce

[1] На о. Хайнань начали строить модульный мини-реактор. Первый в мире // 14 июля 2021. – URL: https://neftegaz.ru/news/nuclear/688693-na-o-khaynan-nachali-stroit-modulnyy-mini-reaktor-pervyy-v-mire/

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

Малые реакторы принципиально отличаются от традиционных технологий АЭС. Вместо работы в общей сети и обеспечения графика нагрузки, они должны обеспечивать все потребности потребителей

для строительства малых модульных реакторов в нескольких городах[2,3,4],

Назначение малых реакторов принципиально отличается от традиционных технологий АЭС большой мощности. Вместо работы в общей сети и обеспечения базисной части графика нагрузки, реакторы небольшой мощности должны обеспечивать все (или большинство) потребностей непосредственных потребителей энергетических услуг локальных или изолированных электроэнергетических систем[5,6], Например, работать в условиях резких и глубоких изменений нагрузки, обеспечивать потребителей тепловой энергией и инновационным энергоносителем – водородом. Последний, будучи «электронным топливом» при его производстве методом электролиза воды, позволяет не только обеспечить бытовых и транспортных потребителей энергетических услуг, но и существенно повысить экономическую эффективность атомной генерации. В долгосрочной перспективе малые атомные станции смогут внести весомый вклад в декарбонизацию энергетики, придя на смену выбывающим атомным реакторам крупной единичной мощности.

В России современные тренды низкоуглеродной энергетики находят своевременное отражение в актах государственного управления – от концептуальных документов до конкретных поручений «Росатому». Госкорпорации предписано скорейшее развитие атомных станций малой/средней мощности (АС М/СМ). В силу сложившейся в последнее десятилетие практики разработки, направление малой атомной энергетики не получает системного развития, которое требуется, из-за сложности и комплексности задач создания новой подотрасли.

Важнейшей составляющей программы создания инновационной подотрасли, объединяющей атомную энергетику и промышленность России на основе отечественных технологий АСМ/СМ является формирование профессионального кадрового потенциала. Поддержание высокого профессионального и морального уровня специалистов, владеющих специфическими знаниями, обладающих необходимыми компетенциями в проектировании, строительстве и эксплуатации объектов по технологиям АСМ/СМ и способностями работать в экстремальных климатических условиях, являются обязательным условием для повышения безопасности эксплуатации таких объектов. [4, 5, 6]

В случае реализации предлагаемой программы, в первую очередь для широкого спектра применений в регионах и акватории Арктики, такие присущие этим технологиям качества, как надёжность и низкие эксплуатационные затраты за весь срок службы, диверсификация товарной продукции, рентабельность, позволят обеспечить:

- высокие показатели энергетической, физической и экологической безопасности, в том числе за счёт непрерывного поддержания надёжности человеческого фактора;
- создание условий для формирования надёжного энергоснабжения потребителей, в том числе атомно-энерготехнологических кластеров, улучшения качества жизни и занятости населения, приемлемого уровня окупаемости инвестиций;
- геостратегическое преимущество России.

В силу сложившейся в последнее десятилетие практики, направление малой атомной энергетики не получает системного развития из-за сложности и комплексности задач создания новой подотрасли

[2] Дорохова И. АСММ на подходах к воплощению // Атомный эксперт. № 1–2, 2020. – URL: https://atomicexpert.com/lcnpp_on_approaches_to_implementation

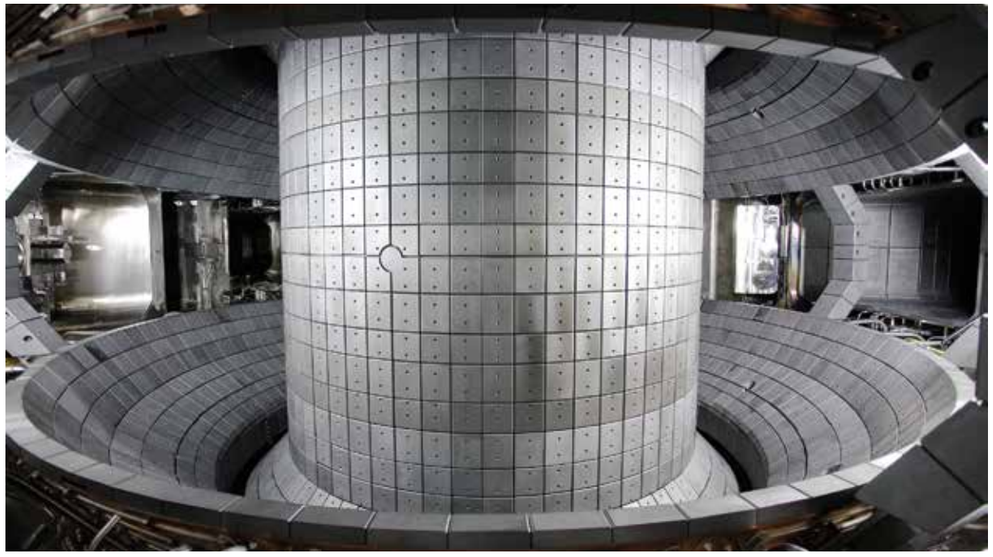
[3] Рябиковская Е. «Rolls-Royce: курс на ядерный реактор» //Атомный эксперт. № 6, 2020. – URL: https://atomicexpert.com/modular_rolls-royce

[4] Rolls-Royce on track for 2030 delivery of UK SMR, 11 February 2021. – URL: https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Rolls-Royce-on-track-for-2030-delivery-of-UK-SMR

[5] Тихонов С. Для энергоснабжения изолированных районов в России построят малые АЭС // Российская газета. 13 августа 2021 г. – URL: https://rg.ru/2021/08/13/dlia-energosnabzheniia-izolirovannyh-rajonov-v-rossii-postroiat-malye-aes.html

[6] Тихонов С. В отдаленных северных районах построят малые АЭС // Российская газета. 18 августа 2021 г. – URL: https://rg.ru/2021/08/18/v-otdalennyh-severnyh-rajonah-postroiat-malye-aes.html

Rolls-Royce Trent 1000 *Источник: ainonline.com*



Термоядерный реактор «Токамак» *Источник: scitechdaily.com*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

Атомный ледокол

Источник: strana-rosatom.ru

Области применения малых атомных станций

В 2020–2030 гг. российский бизнес заплатит более 11 трлн руб. за различные программы развития энергетики и перекрестное субсидирование[7], из которых почти половину нерыночных надбавок к стоимости электроэнергии составит плата за строительство новых мощностей (по договорам предоставления мощности). Рост цены электроэнергии приведёт к сдерживанию экономического развития и снижению качества жизни населения, а энергоёмкая промышленность будет ещё более заинтересована в собственных источниках энергоснабжения.

Генерация на значительной части территории России в настоящее время представляет собой изолированные электроэнергетические системы, которые обеспечиваются привозным топливом. Существующая структура потребления топлива и его логистика снижают эффективность развития данных территорий вследствие высоких затрат на «северный завоз» и логистические риски. Развитие Арктической зоны России (АЗР) сдерживается из-за отсутствия надёжных автономных энергетических источников средней и малой мощности. Они должны быть независимы от подвоза топлива, не связаны с длительным циклом строительства, обеспечивать энергопотребление промышленности, зданий и транспорта, избегать встраивания в стареющую сетевую инфраструктуру, и отвечать жёстким требованиям природоохранного законодательства, включая имплементацию Парижского соглашения.

Особый синергетический эффект вызовет интеграция малых атомных станций в инфраструктуру Северного морского пути, территорий Арктики от Кольского полуострова до Камчатского полуострова, ряда депрессивных территорий страны. По данным НИЦ «Курчатовский институт», выявленная на сегодня в России потенциальная потребность перспективных площадок для АС М/СМ составляет 20 ГВт [7].

До 2030-х гг. бизнес заплатит 11 трлн руб. за программы развития энергетики и перекрестное субсидирование, из них половину нерыночных надбавок составит плата за строительство новых мощностей

Так, например, для энергоснабжения Баимского ГОК (с учётом резервов мощности) потребуется от российской стороны до 350 МВт новой генерации. На основе предложенных двух схем ПАТЭС («Росатом») утвержден атомный проект, использующий 100 % российских технологий, с большим сроком эксплуатации[8]. Еще одним плюсом проекта является низкая стоимость топлива. Стоимость топливной составляющей для угольных и газовых станций в этом регионе достигает 70–80 %, в то время как для АЭС она не превышает 3 %[9].[10], Еще одним примером использования малых АЭС является замена морально устаревших объектов генерации в посёлке Усть-Куйга Усть-Янского района Республики Саха (Якутии). Это позволит в разы снизить тариф на электроэнергию для населения и горнорудной промышленности района[11].

Плюсом проекта плавучей АЭС является низкая стоимость топлива. Топливная составляющая для угольных и газовых станций на Чукотке достигает 70–80%, в то время как для АЭС она не превышает 3%

Рассматривая перспективу развития Арктической зоны с учётом факторов недропользования, охраны природной среды, развития производственных мощностей, наличия образовательных научно-производственных комплексов, предла-

[7] За энергетику бизнес заплатит 11 трлн рублей // Ведомости. 19 октября 2019 г. – URL: https://www.eprussia.ru/news/base/2019/777452.htm

[8] Чукотку вовлекают в ядерную реакцию. Вместо СПГ-станции для Баимки могут построить новую ПАТЭС // Коммерсантъ. № 224/П от 07.12.2020 г. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/4603212

[9] Баимское месторождение пришвартовалось к «Росатому». – URL: https://www.rbc.ru/newspaper/2021/04/30/608a7a1c9a79474794079e09

[10] Путин одобрил энергопроект «Росатома» для ГОКа на Чукотке за 169 млрд руб. // РИА Новости. 30.04.2021 г.

[11] В Якутии поддержали проект строительства атомной станции малой мощности. – URL: https://glava.sakha.gov.ru/news/front/view/id/3278498

ПАТЭС «Ломоносов»

Источник: energybase.ru

гается следующий порядок интеграции малых атомных станций в автономные изолированные атомные энерготехнологические кластеры (АЭТК) Российской Федерации (таблица 1).

Применение технологий АС М/СМ для расширения ресурсной базы углеводородного сырья позволит обеспечить освоение трудноизвлекаемых и недоступных ресурсов, экономить 15 % газа, используемого на собственные нужды газопроводов, и 30 % – на производство СПГ, повысить экологичность и глубину переработки углеводородного сырья.

Пилотные интегрированные проекты представляют собой технологические кластеры под одной крышей с гарантированной пожизненной занятостью населения. Они ориентированы на получение пресной воды, водорода или синтетического топлива, энергоснабжения производств строительных материалов, индустриальных агро- и мореферм в районах с неблагоприятными для сельского хозяйства климатическими условиями, комплексов длительного хранения продуктов, переработки мусора и других применений радиационных технологий.

Безопасность

Россия до сих пор сохраняет приоритет в области малогабаритных атомных энергоустановок, которые проверены практикой эксплуатации более чем 7000 реакторо-лет, с интегральной безопасностью в 1000 раз выше, чем для реакторов большой мощности[12], с модульно-агрегатной компоновкой

[12] Принцип «Хаттори» – понижение единичной мощности блока в 10 раз (с 1000 МВт до 100 МВт) приводит к улучшению интегральной безопасности в 1000 раз. [10]

Таблица 1. Интеграция АСМ/СМ в автономные изолированные атомные энерготехнологические кластеры РФ

Территория АЭТК	Энергоснабжение заводов-изготовителей	Образовательный научно-производственный комплекс (с объектом АС М/СМ)	Потребности регионов
1. Архангельская область	АО «ПО «Севмаш», АО «Центр судоремонта» «Звездочка» (г. Северодвинск), ЦКБ «Рубин» (оборудование: ОКБМ (Н. Новгород,) НИКИЭТ (Москва), НИТИ им. Александрова (Сосновый Бор), ОАО «КТЗ» (Калуга), ОАО «Электросила» (г. Санкт-Петербург) – генераторы ФГУП «НПО «Аврора» – АСУТП	АО «ПО «Севмаш» пилотный проект + УЦ АСМ/СМ + ЦИАТП + ЦОД + ЦИОБА (отработка технологии, эксплуатации на всех этапах ЖЦ объекта (строительство, физический пуск, швартовые испытания (индивидуальные, комплексные), подготовка персонала (стажировка, дублирование, допуск)	1. АЭТК – «пилотная» для опорных пунктов АЗРФ ПО «Севмаш». 2. Архангельская АТЭЦ (РУТА-70, ВК-300) –«пилотная», Ко АЭС-2 (4 блока ВБЭР-300), ПАТЭС г. Северодвинск ПО «Севмаш» (РИТМ-200). 3. Создание гибридных (ядерно-возобновляемых) энергосистем АСММ + Мезенская ПЭС 8 ГВт, производство водорода. 4. Расширение ресурсной базы УВС. 5. Геостратегическая роль. 6. Резервные мощности на случай мобилизации
2. Республика Крым. 3. Калининградская обл.	Севастопольский судостроительный завод	Севастопольский НУЯЭП, аналогично + ЦИОБЮМ, АСММ/СМ (на площадке Крымской, Балтийской АЭС)	1. Атомный опреснитель – независимый источник, электроэнергии и пресной воды. 2. Геостратегическая роль. 3. Резервные мощности на случай мобилизации
4. Хабаровский край. 5. Приморский край. 6. Чукотский АО. 7. Республика Саха (Якутия). 8. Сахалин. 9. Камчатский край	ПАО «Амурский судостроительный завод» (г. Комсомольск-на-Амуре), АО «Дальневосточный завод «Звезда» (г. Большой Камень), СРЗ г. Вилючинск (Камчатка)	ПАО «Амурский судостроительный завод» + УЦ ВМФ (филиал), аналогично + Центр перспективных исследований и обеспечения безопасности южных морей (Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН) (ЦИОБЮМ)	1. АТЭК – «пилотная» научно-технологическая база для опорных зон Дальнего Востока РФ и Азии, мост «Сахалин – материк». 2. Приморская АТЭЦ (2 бл. ВБЭР-300), Комсомольская АТЭЦ (РУТА-70), ВК-300, ПАТЭС (РУ АБВ-6М), п. Усть-Куйга, п. Юринг-Хая, п. Тикси, ПАТЭС п. Певек (Чукотка), г. Вилючинск (Камчатка) (РИТМ-200). 3. Создание гибридных (ядерно-возобновляемых) энергосистем АСММ + Пенжинская ПЭС – 21 ГВт (Магаданская обл., Камчатский край, Чукотский АО), производство водорода. 4. Расширение ресурсной базы УВС. 5. Геостратегическая роль. 6. Резервные мощности на случай мобилизации

Критерии	АЭС с РУ большой мощности	Модульные АС М/СМ (ожидаемый эффект)
1. Риски, связанные с ядерной и радиационной безопасностью	Оцениваются вероятностными методами	Детерминистически снижаются и вероятность риска и величина самого ущерба. Отсутствие последствий тяжелых аварий (принцип «Хаттори»)
2. Энергетическая безопасность, инфраструктурные риски	Огромные сетевые риски и риски систем жизнеобеспечения потребителей	Интеграция в местную энергосистему. Гибкость к наращиванию генерирующей мощности. Близость к потребителю. Оптимальная сетевая инфраструктура
3. «Мощностной риск». Мощностная мобильность	Минимальный резерв мощности в энергосистеме равен мощности блока	Минимальный резерв мощности в энергосистеме равен мощности резервного модуля и отсутствие потенциальной опасности аварий при смене физических режимов (10–100 %) для потребителя (100–300–650 МВт)
4. Энергетическая и сетевая устойчивость	Останов блока по общей причине	Отсутствие остановов по общей причине (упущенная выгода), высокий КИУМ, КПД
5. Физическая безопасность	Риски, связанные с большой инфраструктурой и территорией станции	Возможность скрытного размещения под землей, под водой, на территории военных баз по свойствам компактности, модульности и резерва мощности. Сокращает протяженность ЛЭП, теплотрасс, инфраструктуру, персонал
6. Человеческий фактор. Профессиональная надежность	Большое количество персонала на всех этапах жизненного цикла объекта, цеховая структура управления	Принятые технические решения по модульности, качеству, надежности, «связь всего со всем», минимальное количество персонала, система подготовки персонала, бесцеховая структура управления

Таблица 2. Сравнительная оценка рисков и вызовов для энергетических комплексов на основе АЭС с реакторами большой мощности и АС М/СМ (аспекты эксплуатационной безопасности)

с высоким качеством заводского исполнения.

Для отдаленных депрессивных территорий Арктики сформировалась необходимость перехода к новой модели регионального развития, основанной на локальных энергетических системах. Источниками энергии в условиях требований устойчивого развития могут выступать солнечная, ветровая или атомная генерация. В сложных природных и географических условиях производство энергии на базе ВИЭ не в состоянии удовлетворить потребности в тепле, пресной воде, моторном топливе и электрической энергии по техническим, экономическим, экологическим и сезонно-климатическим требованиям. Предполагается, что технологии АС М/СМ позволят обеспечить надежность, устойчивость и качество энергоснабжения на северных и арктических территориях [11]. Авторами выполнены оценки рисков и вызовов, связанных с различными аспектами эксплуатации объектов атомной энергетики (таблица 2). Они указывают на явные преимущества атомных станций малой мощности по сравнению с АЭС на основе реакторных установок большой мощности.

Важнейшим фактором повышения безопасности технических систем является наличие квалифицированного и подготовленного персонала, поскольку стабильность любой системы равна стабильности её слабого звена. В силу существующих ограничений таким слабым звеном являются люди, которые обуславливают влияние человеческого фактора на состояние безопасности сложной технико-экономической системы.

Переход к внедрению энергоблоков атомных станций малой мощности вместо блоков большой единичной мощности в зонах «территориальной изоляции» (Республика Крым, Калининградская область, Сахалин, Камчатка) позволит снизить удельный вес возможного неблагоприятного события вследствие человеческо-

Применение малых АЭС на нефтегазовых месторождениях позволит обеспечить освоение «трудных» ресурсов, экономить 15 % газа, используемого на нужды газопроводов, и 30 % – на производство СПГ

Критерии	АЭС с РУ большой мощности	Модульные АС М/СМ (ожидаемый эффект)
1. Альтернативный подход к перегрузке ядерного топлива	Перегрузка каждые 2 года. Наличие инфраструктуры: (ХОЯТ) и РАО. Вывоз (ОЯТ) и (РАО). Дозовые нагрузки	Кампания активной зоны 10–15 лет. Перегрузка вместе с реакторной установкой в заводских условиях. Отсутствие дозовых нагрузок
2. Риски на стадии вывода из эксплуатации	Большой объём демонтажа, высокие радиационные дозы	Крупномодульный демонтаж. Снижаются вероятность рисков производственных и человеческого факторов и величина облучения
3. Использование для технологических целей	В ближайшее время нет. Ограничено назначением предоставляемых энергетических услуг	Приближения к населённым пунктам и производствам (электроэнергия, тепло, пресная вода, системы жизнеобеспечения, синтетическое топливо, кислород, водород, промышленность, сельское хозяйство, транспорт, связь и др.)
4. Экологическая безопасность. Значительное снижение доли «северного завоза», «перевалки»	Ограничено по размещению и назначению	Трансформация локальной энергосистемы в экологическую чистую. Значительное сокращение выбросов (газообразных, твердых, жидких) и сжигания кислорода при замещении более 90 % выработавших свой ресурс углеродных мощностей в регионах. Отсутствие экологических последствий
5. Наличие площадок размещения, повторное использование	Ограничено и практически невозможно	В рамках региональной энергетики практически повсеместно, возможно повторное использование промплощадки
6. Применение безотходных технологий	Ограничено назначением	Освоение недоступных ресурсов, глубокая переработка полезных ископаемых, опреснение воды, ликвидация отходов и др. Повышение экологичности ресурсной базы углеводородного сырья
7. Приемлемость обществом	Психологические барьеры (особенно после аварий ЧАЭС и Фукусимы)	Возможность наглядной доказательности повышенной безопасности блоков АС М/СМ (практика эксплуатации подводных лодок и надводных кораблей, судов, ПАТЭС «Михаил Ломоносов»)

Таблица 3. Сравнительная оценка воздействия на окружающую среду при эксплуатации энергетических комплексов на основе АЭС с реакторами большой мощности и АСМ/СМ

го фактора на всех стадиях жизненного цикла отдельного энергоблока АЭС – при проектировании, строительстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации атомной станции и других объектов ядерно-энергетической инфраструктуры [12,13]. Все эти риски носят комплексный характер, но каждый содержит человеческий фактор (таблица 3).

Кадровый ресурс

Если уровень ответственности, компетентности и организованности персонала не будет расти в пропорциях, соответствующих новым технологиям на всех стадиях жизненного цикла технологий атомных станций малой и средней мощности и объектов АЭТК, можно быть уверенным, что никакие расходы на технику не окупятся. Поддержание высоких показателей безопасности на всех стадиях жизненного цикла объектов программы и нивелирование интегрального риска «слабого звена» – человеческого фактора энергообъекта – позволит создание центра обучения и подготовки персонала. Будучи совмещённым с центрами информационно-аналитической и технической поддержки (ЦИАТП) развития и эксплуатации стационарных и мобильных объектов программы подотрасли малых атомных станций, обеспечит надёжность человеческого фактора [13].

Набору персонала должны предшествовать: оценка кадровой потребности, анализ деятельности персонала, определение квалификационных требований, разработка профессиональных стандартов. Для решения этих задач необходимо создать центры

Переход к внедрению малых АЭС в зонах «территориальной изоляции» (Крым, Калининград, Сахалин, Камчатка) позволит снизить удельный вес возможной аварии из-за человеческого фактора

обучения и повышения квалификации персонала для всей линейки мощности АС М/СМ и персонала новых (двойных) технологий атомных энерготехнологических кластеров (АЭТК) в едином комплексе ЦИАТП эксплуатации АС М/СМ, внутренний кризисный центр с центром перспективных исследований и обеспечение безопасности Арктики и южных морей (ЦИОБА и ЮМ)[14], и центр обработки данных (ЦОД) с информационной системой управления проектом (ИСУП)[6].

Методическая база по обоснованию проектов атомных станций малой мощности

При обосновании проектов применения технологий АС М/СМ необходимо использовать признанный инструментарий. Для переговорных процессов по обеспечению баланса интересов всех участников инвестиционного процесса – государства, энергетического и связанного с ним промышленного бизнеса, инвесторов и арктических локальных рынков труда требуются обоснованные количественные значения оценок финансовой и экономической эффективности. [15]

При оценке на основе сравнительных расчётов с альтернативными технологиями генерации – ветровой и солнечной генерации, преимущества малых атомных станций, как правило, недооцениваются

Авторами предлагается выполнять комплексные исследования для подтверждения количественными показателями всех качественных оценок, которые указывают на системные экономические преимущества модульных малых атомных станций и атомных энерготехнологических кластеров на их основе (таблица 4).

Востребована комплексная, системная оценка проектов энергогенерирующих технологий на основе полного жизненного цикла объекта, вплоть до его вывода из эксплуатации. При определении оптимальной структуры энергосистемы и вы-

Корпус реактора ВВЭР-440 *Источник: minezone.ru*

боре типа генерации применяется оценка нормированной стоимости электроэнергии LCOE (levelized cost of electricity). Этот показатель указывает на такую долгосрочную стоимость генерации кВт·ч, которая обеспечивает инвестору безубыточность его инвестиций. Оценки тарифов на энергоносители по методике LCOE с учётом полного жизненного цикла должны использоваться и для инвестиционного анализа ДЭС, ВЭС, СЭС [16].

На территориях с децентрализованным энергоснабжением и дальнепривозным топливом необходимо дополнительно сравнивать технологии энергоснабжения по следующим технико-экономическим параметрам: КИУМ, расход и цена топлива, капитальные и эксплуатационные затраты, затраты на резервирование, расход энергии на собственные нужды, потери в сетях, затраты на строительство и эксплуатацию инфраструктуры транспортировки энергоносителей.

При оценке на основе сравнительных расчётов с альтернативными технологиями генерации – ДЭС, ВЭС, и СЭС, преимущества малых атомных станций, как правило, недооцениваются. На рис. 1 указан пример такого расчёта для энергоснабжения потребителей в зависимости от степени сложности природно-климатических и логистических условий.

Важное направление исследований состоит в подтверждении (на основе системных методов) выводов о повышении эффективности инвестиций и снижении суммарных капитальных затрат (при аналогичном уровне базовой мощности) вследствие влияния факторов серийности, модульности, качества модульной сборки оборудования в заводских условиях, и снижения сроков строительства энергетических объектов по технологиям АС М/СМ на площадке (рис. 2).

Модульные АЭС малой и средней мощности допустимо размещать непосредственно в центрах энергопотребления, что исключает потребность во внешних линиях электропередач и их обслуживании в сложных климатических и рельефных условиях. Существенное снижение затрат на сетевую инфраструктуру позволяет повысить эффективность и конкурентоспособность технологий малых атомных станций. При этом расширяются возможности применения «страхования мощностью», что позволяет получить дополнительные преимущества данной технологии.

При всем этом не должно осуществляться прямое лоббирование установок по технологиям атомных станций малой мощности. Без всесторонней экспертизы и сравнительных анализов, учёта требований потребителя, ограничения инновационных разработок требованиями «референтности решений», существующие институты принятия решений в атомной отрасли приведут к стагнации перспективных разработок.

Таблица 4. Качественное сравнение показателей инфраструктуры для АСМ/СМ и альтернативных ей технологий энергоснабжения

Критерии	АС большой мощности, ДЭС, ВЭС, СЭС	Модульные АС М/СМ (ожидаемый эффект)
1. Технологические компетенции и развитие инфраструктуры	Ограничены технологией энергоблока (выработка электроэнергии)	Развитие компетенций в пределах экономики территории (АЭТК). Образовательный центр, научно-технологический комплекс, перспективные исследования Арктики и южных морей (ЦИОБА и ЮМ). Прекращение оттока и «закрепление» населения (молодежи)
2. Широкий контур преобразования энергии и стабильность по тарифу	Ограничен (выработка электроэнергии)	Электроэнергия, тепло/холод, пресная вода, пар, водород и др. в виде модулей АС М/СМ для потребностей инфраструктуры регионов и надежности системы жизнеобеспечения
3. Надежное энергообеспечение	Ограничено. Возможно при развитой структуре энергосетей	Организации обеспечения эффективной навигации транзитных и кроссполярных морских и авиамаршрутов, ЗАТО, военных объектов
4. Повышение добавочной стоимости изделий, продукции, услуг	Ограничен по п. 1, 2, 3	Развитие бизнеса промышленной зоны (добывающей, перерабатывающей), систем жизнеобеспечения
5. Создание атомных энерготехнологических кластеров (АЭТК)	Ограничен по п. 1, 2, 3, 4	Развитие производственной базы (добывающая, переработка) фитодромы, морефермы, комплексы длительного хранения и др.
6. Восстановление занятости и доходов населения	Ограничен по п. 1, 2, 3, 4, 5	Создание рабочих мест, гарантированная пожизненная занятость, улучшение качества жизни, «закрепление» кадров, молодежи, улучшение демографических условий
7. Создание и обеспечение надежных гибридных энергетических систем энергетики	Обеспечение устойчивости надежности и качества энергоносителя, создание гибридных энергетических систем в локальных зонах (ветровой, солнечной, приливной), широкий диапазон изменения мощности, резерва мощности для потребителя, создание и развитие промышленной атомно-водородной энергетики и технологий	
8. Страхование	В полном объеме нет	Возможно по многим программам для объектов инфраструктуры
9. Экспортные возможности	Ограничено. Рынок относительно невелик. Конкуренция высокая	Появление новых рыночных ниш и конкурентных преимуществ в комплексе (объект российский – лизинг по предоставлению услуг (электроэнергия, тепло/холод, пресная вода, водород, системы жизнеобеспечения, промышленность, транспорт, связь, повышение качества жизни и т. д.)

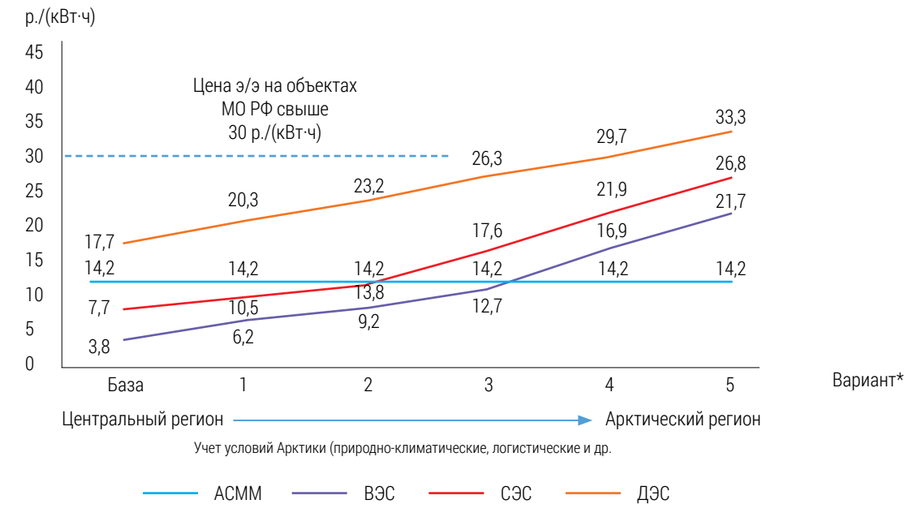
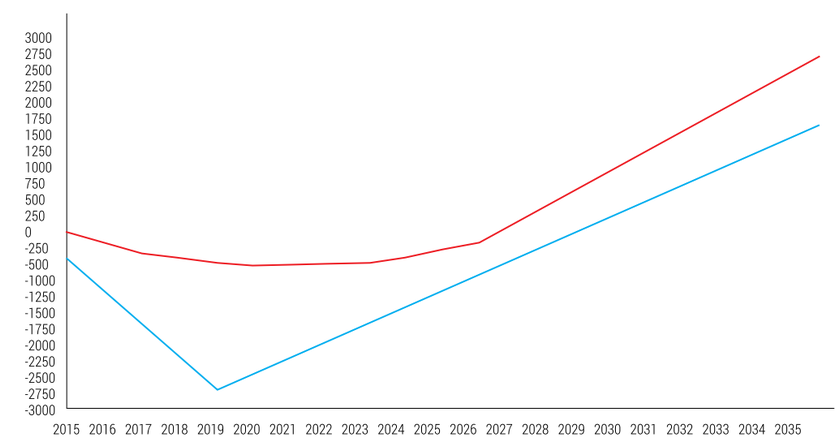


Рис. 1. Себестоимость электроэнергии АСММ, ВЭС, ДЭС, СЭС от природно-климатических и логистических условий (НИКИЭТ)

Рис. 2. Снижение капитальных затрат АС М/СМ при аналогичном уровне базовой мощности

Источник: [17,18]



Новые институты и механизмы для обеспечения выполнения программы АС М/СМ

Предлагается обеспечить методологически единый процесс создания новой подотрасли ядерной энергетики и промышленности, единого оперативного управления, на основе формирования инвестиционной, производственной, исследовательской и кадровой компонент.

Полагаем, что интегрированной частью развития программы АС М/СМ в рамках государственно-частного партнёрства должны стать частные инвестиции в точечные малые атомные генерирующие мощности и связанную с ними инфраструктуру энерготехнологических кластеров и транспорта. Такой механизм приобретает особое значение в связи с необходимостью решения задач развития в России водородных технологий и их дальнейшей коммерциализации. На территории РФ для проектов атомных станций малой мощности предлагается применение новой финансовой схемы инвестирования – договор совместной деятельности расширенного реинвестиционного лизинга. Такая финансовая схема обеспечивает техническим кредитом на строительство АС М/СМ в счет будущей поставки электроэнергии, тепла и водородного топлива на длительный период по гарантированным тарифам предприятиям промышленности и всей инфраструктуре ТОР, особой экономической зоны промышленно-производственного типа (ОЭЗ ППТ). При этом потребуется создать институт привлечения крупных операторов и управляющих компаний в энергетической, горнорудной, транспортной сферах к заказам на гибридные системы локального энергоснабжения на основе модульных АС М/СМ.

Интегрированной частью развития программы малых АЭС в рамках государственно-частного партнёрства должны стать частные инвестиции в точечные малые АЭС и связанную с ними инфраструктуру

Атомная АЭС, Нововоронеж

Источник: vesti14.ru

Арктика

Источник: erectus / Depositphotos.com

Геополитика

Арктика становится ареной мировой конкуренции за транспортные потоки и природные ресурсы глобального значения. Эти ресурсы[13] представляют весомый повод для некоторых стран поучаствовать в их «справедливом» перераспределении. Малые атомные станции позволяют иметь резервные мощности на случай мобилизации путём оперативного переключения между режимами диверсификации и мобилизации, что требует единой координирующей площадки. Разработка и реализация проектов АЭТК, в том числе в Российской Арктике, станет существенным фактором в поддержании геополитических позиций России, в том числе и для попавших под финансовые и технологические санкции российских компаний и компаний-недропользователей.

Геостратегическая роль АС М/СМ значительна: укрепление фактора ядерного сдерживания; гарантия территориальной целостности, регионального преимущества; обустройство системообразующих транспортных систем, в том числе транзитных и кроссполярных морских и авиамаршрутов; обеспечение интегральной безопасности с длительной надежностью; обеспечение живучести, качества энергоносителей и устойчивости гибридных энергетических систем (включая ВИЭ); создание нового экспортного рынка – предоставление энергетических услуг; создание собственной технологической зоны атомно-водородной энергетики[14] и гибридных энергосистем.

Генерация в Арктической зоне России на данный момент представляет собой изолированные электроэнергетические системы, которые обеспечиваются привозным топливом, что снижает их энергобезопасность

[13] АЗРФ обеспечивает 75 % добычи нефти, 93 % газа, 95 % угля, 95 % золота, 100 % алмазов и лососевой икры, основная часть производства никеля, меди, глинозема России, 70 % экспортных поступлений. Вклад Крайнего Севера в ВВП России составляет 15–16 %.

[14] Браун Д. Новая эра эко. Что Россия может предложить Японии вместо углеводородов? // Московский центр Карнеги. – URL: https://carnegie.ru/commentary/85111

Заключение

Создание единой координирующей структуры для подотрасли атомной энергетики и промышленности – атомных станций малой/средней мощности (программа АС М/СМ) – позволит решить множество технических, экономических, социальных и политических задач и обеспечить решение задачи масштабного внедрения безуглеродных технологий.

Особое внимание уделено вопросам подготовки персонала, призванного обеспечить выполнение программы, в основе которой лежат отечественные инновационные технологические решения. Предложен новый механизм финансирования для обеспечения строительства объектов программы в директивные сроки указов президента РФ, программных документов Правительства РФ и привлечения частных инвестиций в перспективные технологии.

Работа выполнена при поддержке гранта НИЦ «Курчатовский институт» (№ 2220 от 23.10.2020 г.), и в рамках Государственного задания программы фундаментальных исследований Российской Федерации на период 2021-2025 годов (Тема № FWEU-2021-0004, Регистрационный номер АААА-А21-121012090010-7).

Чукотка

Источник: Denis Burdin / Depositphotos.com

Использованные источники

1. *IAEA, Small Modular Reactor (SMR). – URL: https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors*
2. *Global Situation of Small Modular Reactor Development and Deployment, ERIA Research Project Report FY2021 No 7. – URL: https://www.eria.org/uploads/media/Research-Project-Report/2021-07-Small-Modular-Reactor-/Global-Situation-Small-Modular-Reactor-Development-Deployment.pdf*
3. *Global Market Analysis of Microreactors, June 2021. – URL: https://gain.inl.gov/MicroreactorProgramTechnicalReports/Document-INL-EXT-21-63214.pdf*
4. *Семенов В.П. Программа создания региональной энергетики на базе реакторов малой и средней мощности серии атомных теплоэлектроцентралей (АТЭЦ), плавучих атомных теплоэлектростанций (сооружений) (ПАТЭС) в регионах, не входящих в единую энергетическую систему Российской Федерации (свидетельство №00011 от 15.11.2018 г.) депонировании результата интеллектуальной деятельности от 15.07.2011 г.).*
5. *Семенов В.П. Авторское описание «Совершенствование системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров для региональной энергетики и промышленности в рамках мероприятий по реализации программы АТЭЦ, ПАТЭС в регионах, не входящих в единую энергетическую систему Российской Федерации» (свидетельство №00012 от 21.11.2018 г.) депонировании результата интеллектуальной деятельности от 31.05.2008 г.).*
6. *Семенов В.П. Программа создания информационной системы управления проектом (ИСУП) развития региональной энергетики на базе АСММ в регионах, не входящих в единую энергетическую систему РФ для АТЭЦ, ПАТЭС (свидетельство №00013/1,2 от 29.11.2018 г.) депонировании результата интеллектуальной деятельности от 11.04.2011 г.).*
7. *Щепетина Т.Д., Алексеев П.Н., Субботин С.А., Стукалов В.А. Система атомных станций малой мощности как стратегическое направление достижения состояния защищенности жизненно-важных интересов общества //Атомная энергия. Вып.5(111), ноябрь 2011. С. 250–255.*
8. *Распоряжение Правительства РФ от 22.02.2008 г. №215-р «Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 года».*
9. *Савченко Ю.И. Об уникальном проекте Трансконтинентального тоннеля // Обзорная статья 5 Российского международного конгресса по интеллектуальным транспортным системам 12-14.03.2013 г.*
10. *Hattori S. Energy source for human demand /Advanced Nuclear Systems Consuming Excess Plutonium, Kluwer, Netherlands, 1997. P. 69–77.*
11. *Дерова Т.И. Отчет о патентных исследованиях по теме «Программа создания региональной энергетики на базе реакторов малой и средней мощности серии атомных теплоэлектроцентралей (АТЭЦ), плавучих атомных теплоэлектростанций (сооружений) (ПАТЭС) в регионах, не входящих в единую энергетическую систему Российской Федерации» (свидетельство № 00011 от 15.11.2018 г.) о депонировании результата интеллектуальной деятельности Семенова В.П. от 15.07.2011 г.).*
12. *Чумак Д.Ю., Щепетина Т.Д. Классификация риска как необходимый элемент управления в проектах ядерной энергетики //Атомная энергия. Т. 116, вып. 2, 2014. С. 108–113.*
13. *Щепетина Т., Удянский Ю., Чумак Д. Исследование и классификация рисков и их источников по полному жизненному циклу проектов в ядерной энергетике // Инновационное проектирование. №8, 2014. С. 56–70.*
14. *Маслобоев А.В. Концепция центра перспективных исследований и обеспечение безопасности Арктики // Арктика: экология и экономика. №2(34), 2019. С. 129–141.*
15. *Фаузер В.В., Лыткина Т.С., Фаузер Г.Н. Локальные рынки труда Российской Арктики: классификация по видам деятельности // Арктика: экология и экономика. №2(34), 2019. С. 4–15.*
16. *Полные затраты на производство электроэнергии // Агентство по ядерной энергии организации экономического сотрудничества и развития. № 7298, 2018.*
17. *Андрианов А.А., Купцов И.С., Осипова Т.А., Андрианова О.Н. Сравнительный анализ инвестиционной привлекательности энергоблоков АЭС на базе реакторных модулей малой и средней мощности и реактора большой мощности // Известия вузов: ядерная энергетика. №4, 2018. С. 89–100.*
18. *Пименов А.О., Куликов Д.Г., Васильев А.П., Молоканов Н.А. Атомные станции малой мощности на арктических территориях: вопросы экономической целесообразности и экологической безопасности // Арктика: экология и экономика. №2(34), 2019. С. 120–128.*
19. *Конопляник А.А., Ворошилов В.В. Децентрализованная внесетевая газификация Российской Арктики: малотоннажный СПГ и грузовые дирижабли? (постановка задачи и возможные решения) // Региональная энергетика и энергосбережение. №3, 2021. С. 2–9.*
20. *МАИ «Аэростатика». Разработка транспортной системы и комплексов специального назначения на базе дирижаблей нового поколения. – URL: http://aerostatica2021.tilda.ws/technology*

УДК 621.311

DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_64

Рынок тепла: мировой опыт развития централизованного теплоснабжения

Heating market: world experience in development of district heating

Валерий СТЕННИКОВ
Директор Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, д. т. н., профессор, член-корреспондент РАН
e-mail: sva@isem.irk.ru

Valery STENNIKOV
Director of Melentiev Energy Systems Institute, SB RAS, professor, Corresponding Member of RAS
e-mail: sva@isem.irk.ru

Андрей ПЕНЬКОВСКИЙ
Старший научный сотрудник лаборатории теплоснабжающих систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, к. т. н.
e-mail: penkoffsky@isem.irk.ru

Andrey PENKOVSKII
Senior Researcher, Laboratory of Heat Supply Systems of Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, PhD
e-mail: penkoffsky@isem.irk.ru

Финляндия

Источник: anterovium / Depositphotos.com

Аннотация. В статье кратко излагается международный опыт организации рынка тепловой энергии, дается его количественная оценка. Приводятся базовые модели организации рынков тепловой энергии. Описывается эволюция различных видов конкуренции на рынке тепловой энергии с представлением эффектов, которые могут быть достигнуты при их реализации. Раскрывается архитектура монопольного рынка тепловой энергии в виде Единой теплоснабжающей организации. Анализируются тенденции формирования и управления рынками тепловой энергии на примере стран с развитой теплоэнергетической отраслью.
Ключевые слова: теплоснабжение, рынок тепловой энергии, модели управления, эффективность, конкуренция.

Abstract. The paper briefly outlines the international experience of organizing the heating market, and gives its quantitative assessment. The basic models of the organization of heating markets are presented. The evolution of various types of competition in the heating market is described, with a presentation of the effects that can be achieved during their implementation. The architecture of the monopoly heating market in the form of a Unified Heat Supply Organization is revealed. Trends in the formation and management of heating markets are analyzed on the example of countries with a developed heat and heat power industry.
Keywords: heat supply, heating market, management models, efficiency, competition.

Мировой рынок центрального теплоснабжения достигает 150 млрд долл. При этом мировое потребление тепла превысит 14 000 ПДж в год к 2026 г.

Введение

Централизованное теплоснабжение играет важную роль в обеспечении тепловой энергией потребителей во многих странах мира. Наиболее распространенной его формой является комбинированное (когенерационное) производство тепловой и электрической энергии на тепловых электроцентралях (ТЭЦ), позволяющей получать экономию до 40 % первичного топлива. В отличии от других энергетических систем (электроэнергетических, нефтеснабжающих, газоснабжающих), системы центрального теплоснабжения являются локальными рынками, действующими на ограниченной территории. По некоторым экспертным оценкам, в настоящее время в мире действуют порядка 80 000 рынков тепловой энергии [1], из которых 50 000 находятся на территории России [2], около 6000 в странах Европейского союза [3], оставшиеся 24 000 приходятся на Китай, страны СНГ (Украина, Беларусь, Казахстан и др.), США и др.

По данным Global Market Insights, мировой рынок централизованного теплоснабжения в 2019 году оценивался на уровне более чем 150 млрд долларов. Ожидается, что ежегодное мировое потребление тепловой энергии превысит 14 000 ПДж уже к 2026 г. [4].

Перспективное развитие центрального теплоснабжения наряду с эволюционированием традиционных технологий производства, передачи и потребления тепловой энергии предусматривает активное применение альтернативных и возобновляемых источников энергии, более высокий уровень их энергетической, экологической и экономической эффективности. В будущем такие системы должны быть интегрированы в единую энергетическую

метасистему с включением в нее тепло-, электро-, газо-, холодоснабжающих и других инфраструктурных систем [5].

Наряду с технологической трансформацией систем ЦТ предполагаются организационные преобразования, изменяющие бизнес-процессы и принципы взаимодействия участников рынка, переход к новым моделям ценообразования и мотивационным механизмам.

Мировой опыт развития систем централизованного теплоснабжения

Принято считать, что ни в одной стране мира нет такой, как в России. Российская теплоэнергетика обязана своим появлением огромным территориям и суровым климатическим условиям. Однако, как показывает зарубежная практика, путь, по которому идет централизованное теплоснабжение России, не представляется единственным.

Дания

Дания по праву считается мировым лидером по построению интегрированных, экологически чистых систем центрального теплоснабжения. В настоящее время в Дании действуют шесть крупных и около 400 малых и средних систем, которые производят около 1,1 ПДж тепловой энергии в год [6].

Центральное теплоснабжение обеспечивает около 64 % потребителей страны, а в крупных городах этот показатель достигает 98 % (г. Копенгаген, г. Оденсе и др.). Услугами по теплоснабжению потребителей занимаются около 400 компаний, принадлежащих потребителям тепла (кооперативам), муниципалитетам и в отдельных случаях частным компаниям.

Сейчас в мире действуют порядка 80 000 рынков тепловой энергии, из которых 50 000 находятся в России, около 6000 – в странах ЕС, оставшиеся 24 000 приходятся на Китай, страны СНГ, США и др.

ТЭЦ в Дании
Источник: commons.wikimedia.org

В системах ЦТ Дании действуют крупные ТЭЦ (на газе, угле или нескольких видах топлива), мини-ТЭЦ (на биотопливе и прочих отходах), мусоросжигательные заводы, теплонасосные установки. Они включают резервные котельные, работающие на угле, газе или дизельном топливе, а также хранилища тепловой энергии [7].

Одновременно в стране активно функционирует сектор децентрализованного теплоснабжения, часть которого представлена системами газоснабжения с индивидуальными отопительными установками, источниками на древесных и прочих биоотходах, а также теплонасосными установками и электроотоплением. Суммарный объем производства тепловой энергии децентрализованными источниками составляет около 0,07 ПДж.

Рынок тепловой энергии Дании в системах ЦТ работает по принципу бесприбыльных кооперативов. Техническая политика в области теплоснабжения направлена на экономию тепловой энергии и снижение выбросов в окружающую среду от теплоисточников. Это достигается путем органичного сочетания систем центрального теплоснабжения с комбинированным производством тепловой и электрической энергии, и мелких децентрализованных систем теплоснабжения, охватывающих максимально возможное количество территориально рассредоточенных потребителей. В перспективе (к 2050 г.) правительством Дании поставлена цель 100 % перехода систем ЦТ на возобновляемые источники энергии [8].

В соответствии с законом «О теплоснабжении» цены на тепло устанавливаются исходя из фактических расходов на основе общего экономического принципа самообеспеченности. Цена включает все необходимые затраты на производство и транспортировку тепла. Теплоснабжающая организация не может функционировать себе в убыток. Цена может включать умеренный уровень процентов на произведенные капиталовложения, а образующаяся прибыль направляется на ее снижение в следующем году. Условия функционирования рынка тепловой энергии в стране сохраняются без изменений уже на протяжении 40 лет.

Политика энергосбережения Дании в области теплоснабжения, а также принцип построения и функционирования систем ЦТ с преимущественным развитием на базе теплофикации (когенерации) и интеграция с ними альтернативных и возобновляемых источников тепловой энергии способствует повышению эффективности теплоснабжения потребителей, поддержанию высокого уровня его надежности и минимальному воздействию на окружающую среду.

Германия
Источник: artfile.ru

Дания считается мировым лидером по построению интегрированных, экологически чистых систем центрального теплоснабжения. В стране действуют шесть крупных и около 400 малых и средних систем

Германия

Рынок тепловой энергии Германии является одним из крупнейших в Европе. Суммарная установленная мощность источников тепловой энергии составляет 0,2 ПДж/ч. На территории Германии действуют около 1400 систем ЦТ, их доля равна 13,9 %. При этом доли ЦТ значительно разнятся между Западной и Восточной Германией. На западе страны централизованное теплоснабжение составляет около 9 %, а на востоке – около 30 %. Основная часть производимого тепла в системах ЦТ приходится на ТЭЦ (83 % на конец 2017 г.). К сетям систем ЦТ Германии, протяженность которых составляет 24,7 тыс. км, присоединены около 5,8 млн домохозяйств.

Современная энергетическая политика Германии направлена на внедрение возобновляемых источников энергии, высокий уровень экологической защищенности и на реализацию энергоэффективных мероприятий (по номенклатуре близких к российским). Она отличается высоким уровнем исполнения, жестким контролем и ответственностью за выполнение программных мероприятий. В 2017 г. доля возобновляемых источников энергии в системах ЦТ составила 12 %. Федеральное правительство Германии нацелено на увеличение доли возобновляемых источников энергии в системах ЦТ до 30 % к 2030 г.

В системах теплоснабжения потребителей задействовано около 340 компаний. В основном они принадлежат муниципалитетам (полностью или частично). Вместе с тем, на тепловом рынке присутствуют частные компании, которые были организованы в период либерализации энергетического рынка Германии в 1990-х годах.

Ввиду того, что рынок тепловой энергии Германии в большей степени представлен децентрализованными системами, потребитель сам решает, какой вид теплоснабжения (в зависимости от его затрат на сооружение и эксплуатацию) ему представляется предпочтительным (конкуренция предложения).

В секторе ЦТ рынок тепловой энергии является конкурентным (оптовая конкуренция), при этом тарифы на тепловую энергию, поставляемую централизованными системами, не могут превышать затраты на индивидуальное теплоснабжение, что обеспечивает конкурентоспособность ЦТ. Если интересы потребителей, присоединенных к тепловым сетям систем ЦТ нарушаются, то их защищают общественные объединения и сообщества собственников. Тариф на тепловую энергию формируется в приемлемых для потребителей рамках и предоставляют возможность планирования реальных инвестиций [9]. В Германии отсутствует государственное регулирование тарифов на тепловую энергию, они определяются конкурентными ценами, складывающимися на рынке тепла.

Финляндия

Централизованное теплоснабжение в Финляндии является основным типом теплоснабжения в городах, а массовое применение комбинированного производства тепловой и электрической энергии способствует значительному улучшению экологического состояния окружающей среды. Крупные системы центрального теплоснабжения действуют в 170 муниципалитетах страны. Доля теплофикации в системах Финляндии составляет около 45 %, а в крупных городах приближается к 95 %. Протяженность тепловых сетей достигает 15 тыс. км, при этом тепловые потери при транспортировке не превышают 9–10 %.

Финский рынок тепловой энергии является конкурентным с точки зрения предложения. Это означает, что потребители могут свободно выбирать способ теплоснабжения, который они готовы использовать. Они имеют возможности доступа к системам централизованного теплоснабжения, электрическому отоплению, применению тепловых насосов, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и других источников на ископаемых видах топлива.

Энергетические компании, занимающиеся бизнесом в сфере централизованного теплоснабжения, являются одними из ключевых операторов на рынке тепла, как и потребители тепловой энергии. Покупка тепловой энергии этими компаниями, их обязательство присоединиться к группе потребителей или к производителям тепла в тепловых сетях также не регулируются. Энергетические компании стремятся привлечь к своим системам теплоснабжения крупных, высоко платежеспособных потребителей, поэтому стараются закупать тепловую энергию, поступающую от источников тепла (оптовая конкуренция) по наиболее выгодным ценам.

Деятельность теплоснабжающих компаний в основном контролируется общим законодательством, таким как антимонопольное, по защите прав потребителей, а также соответствующими ведомствами.

Хельсинки, Финляндия
Источник: maisicon / Depositphotos.com

Конкуренция между различными решениями и операторами предоставляемых услуг на рынке тепловой энергии в Финляндии обеспечивает эффективную работу, разумные цены, высокое качество и надежность (так коэффициент готовности систем ЦТ составляет 99,98) услуг по теплоснабжению потребителей.

Китай

Рынок тепловой энергии Китая является быстро развивающимся и перспективным для инвестирования. История зарождения в стране систем центрального теплоснабжения относится к периоду 50-х годов XX века. Они проектировались и сооружались при поддержке Советского Союза. В этот период появились первые системы в двух крупных городах Китая – Пекине и Шеньяне. Далее технология ЦТ постепенно стала применяться для покрытия тепловых нагрузок в северо-западной, северо-восточной и северной частях страны («Three North»), где имеют место холодные климатические условия. Важную роль в развитии централизованного теплоснабжения и, прежде всего теплофикации, сыграл принятый Государственным советом Китая в 1986 г. закон о городском планировании на территории «Three North» [9].

Динамичное развитие экономики Китая, начиная с 2005 г., способствовало стремительному вводу жилого фонда (к 2015 г. он почти утроился), строительству социальной инфраструктуры, промышленных объектов в городах и провинциях страны, что обусловило масштабное развитие систем ЦТ. В настоящее время тепловые системы Китая считаются наиболее крупными в мире как по протяженности тепловых сетей (более 205 тыс. км, из которых 11,7 тыс. км это паровые сети), так и по масштабу охвата потребителей. Отапливаемый ими фонд составляет более 8,5 млрд м^2 площадей. Уровень централизации теплоснабжения на базе комбинированного производства тепловой и электрической энергии достигает 60 % [10].

Глобальные тенденции в области управления системами центрального теплоснабжения в Китае направлены на создание конкурентного рынка тепловой энергии, технологической основой которого должны стать традиционные источники тепла в сочетании с возобновляемыми и альтернативными источниками энергии. В перспективе предполагается его интеграция в единый энергетический рынок, объединяющий рынки электроснабжения, газоснабжения и хладоснабжения. В настоящее время сфера централизованного теплоснабжения Китая представлена локальными регулируемыми монополиями. Тарифы на тепловую энергию продолжают устанавливаться местными органами власти, вместе с тем, в отдельных случаях они могут определяться двухсторонними

Пекин, Китай
Источник: polyakova-tatiana.tourister.ru

договорами непосредственно между производителями и потребителями. Итоговая цена на тепловую энергию включает в себя непосредственно затраты на ее производство и транспортировку, налоги и прибыль, не превышающую 3 % от общей стоимости тепловой энергии, согласно методу «Затраты +».

США

В Соединенных Штатах Америки централизованное теплоснабжение получило меньшее распространение, чем в Европе из-за различий в развитии инфраструктуры и институциональных проблем. Городская инфраструктура США развивалась на основе применения индивидуального печного отопления, что в дальнейшем значительно ограничило экономическую целесообразность применения центрального те-

В Германии действуют около 1400 систем центрального теплоснабжения, их доля равна 13,9 %. При этом на западе страны центральное теплоснабжение составляет 9 %, а на востоке – 30 %

плоснабжения. Тепловые электростанции и производственные площадки в США, как правило, располагаются на значительном удалении от городских центров, что также не способствует экономически обоснованному теплоснабжению потребителей от них. В большинстве своем теплоснабжение в США представлено децентрализованными системами и ограничивается снабжением тепловой энергией университетских городков, больниц, аэропортов, территорий с плотной застройкой и др. Наряду с этим, существует около 660 крупных систем ЦТ, которые функционируют в больших городах страны, включая Нью-Йорк, Бостон, Филадельфию, Сан-Франциско, Денвер, Миннеаполис и многие другие [11]. Эти системы представлены как паровыми, так и водяными системами с хорошо развитыми закольцованными тепловыми сетями и снабжающими тепловой энергией более 0,5 млрд м^2 (или 5,5 млрд футов^2) отапливаемых площадей. Надежность теплоснабжения считается одним из конкурентных преимуществ ЦТ, перерывы в теплоснабжении не допускаются действующим регламентом, что значительно жестче, чем в наших нормативно-правовых актах.

Системы центрального теплоснабжения США функционируют в условиях конкурентного рынка, как правило, в рамках долгосрочных соглашений по обслуживанию потребителей. Существует плата потребителя за подключение к тепловым сетям, она не регулируется и определяется индивидуально. В отдельных случаях она может быть нулевой. При этом любой потребитель, подключенный к системе ЦТ, может отказаться от ее услуг и установить собственную теплогенерирующую установку. Однако бизнес энергетических компаний США учитывает это и предлагает такие условия, которые будут более выгодными, чем индивидуальное теплоснабжение. Верхняя предельная цена на тепло сдерживается только рынком и, прежде всего, желанием удержать потребителя, который, как правило, имеет возможность выбора в пользу того или иного способа теплоснабжения [12].

Российская Федерация

На долю России приходится до 45 % мирового централизованного производства тепловой энергии. В настоящее время теплоснабжение потребителей осуществляет около 21 тыс. предприятий. По данным Минэнерго РФ, за 2018 год в России функционируют 566 тепловых электростанции и 74,8 тыс. котельных. Суммарный объем производства тепловой энергии составляет около 5480 ПДж, из которых 2060 ПДж вырабатывается в теплофикационном режиме. Теплофикационная генерация, обеспечивающая порядка 46 % производства тепловой и 30,6 % электрической энергии в России. Общая протяженность тепловых сетей в системах централизованного теплоснабжения по трассе составляет около 168 тыс. км [13].

За более чем вековую историю развития теплоснабжения в Российской Федерации возник рынок тепловой энергии как сфера проявления новых экономических отношений между производителями и потребителями тепловой энергии, при этом фактически отсутствовала нормативно-правовая база, которая бы регулировала отношения, возникающие в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии. Лишь только в 2010 г. был принят федеральный закон «О теплоснабжении» (за исключением отдельных нормативных актов).

За период 2010–2020 гг. он несколько раз пересматривался с внесением в основной текст принципиальных изменений, а также дополнений в его отдельные нормативные акты.

В принятых в 2018 г. изменениях к федеральному закону «О теплоснабжении» и предложенной Правительством РФ дорожной карте «Внедрение целевой модели рынка тепловой энергии» была учреждена новая модель рынка тепла, предполагающая переход к Единой теплоснабжающей организации (ЕТО), создаваемой на базе крупных источников. Регламентированная законом система тарифообразования базируется на цене тепловой энергии, определяемой по методу «альтернативной котельной». Основная цель, которая преследовалась при реализации этих нововведений, заключалась в снижении административного давления на тепловой бизнес и создании экономических стимулов для привлечения инвестиций и улучшения текущего состояния систем центрального теплоснабжения. В рамках данной модели предлагается расширить роль ЕТО, которая должна выступать не просто единым закупщиком и поставщиком тепловой энергии в зоне своей деятельности, а станет единым центром ответственности в систе-

В США центральное теплоснабжение меньше распространено, чем в Европе. Городская инфраструктура развивалась на применении индивидуального печного отопления, что ограничило рентабельность ЦТ

ТЭЦ-15, Санкт-Петербург, Россия *Источник: 123ru.net*

Южная ТЭЦ, Санкт-Петербург, Россия *Источник: energybase.ru*

ме ЦТ перед потребителями и органами власти. Новая модель теплового рынка предполагает переход от государственного регулирования всех тарифов в сфере теплоснабжения к договорным ценам на тепловую энергию. При этом для защиты интересов потребителей тариф на ТЭ ограничивается расчетной стоимостью тепловой энергии, производимой альтернативной котельной. Под альтернативной котельной понимается новый локальный источник тепла мощностью не более 10 Гкал/ч, который потребитель может создавать для своего теплоснабжения как альтернативу ЦТ. В основе определения параметров альткотельной лежит предпосылка о применении наиболее современных и экономичных технологий, а также максимально эффективное использование установленной мощности. В процессе моделирования на основе ряда входных параметров (технологических и экономических), в соответствии с приемлемым для инвестора сроком окупаемости (не более 10 лет), рассчитывается уровень тарифа на производимую в регионе тепловую энергию, исходя из суммарных дисконтированных затрат на строительство и эксплуатацию альтернативной котельной. Если действующий тариф на тепловую энергию ниже цены альткотельной, то разрабатывается график поэтапного (в течении 5 лет) доведения действующего тарифа на тепловую энергию до цены альтернативной котельной с учетом правил индексации соответствующих цен, утвержденных правительством. Если действующий тариф выше цены альткотельной, его замораживают. Предложенная в законе модель теплоснабжения вызывает много дискуссий и критики, связанных с беспрецедентной монополизацией теплового рынка, установлением необоснованно высоких тарифов, отсутствием мотивации к снижению издержек, устранением конкуренции и др.

ТЭС «Нойрат», Восточная Германия

Источник: wiki2.org

Первые пилотные проекты по переходу теплоснабжения на принцип альтернативной котельной осуществлены в 2019 г. в п. Линево, Новосибирской области и в г. Рубцовск Алтайского края. Основная идея реализации этих проектов заключается в назначении тарифов с учетом инвестиционной составляющей и закреплении их на период окупаемости проекта. Результаты выполнения этих проектов должны показать, насколько правильным является выбранный путь по реформированию теплоснабжения в России.

Сравнительная характеристика конкурентного и регулируемого рынков тепла

Конкурентный тепловой рынок имеет достаточно широкое распространение, но наиболее успешно он развивается в Финляндии, Германии, США. Монопольный регулируемый рынок также активно применяется в разных странах, например, Швеции, Дании, Китае. Он характерен и для России. Формализованное описание рынков в виде математических моделей приведено в таблице 1. В ней отражены методические подходы решения задачи управления распределением тепловой нагрузки между теплоисточниками и определения цены на тепловую энергию для потребителей. На рисунках в таблице 1 дана графическая интерпретация работы предложенных методов. Они показывают, как последовательно путем поиска компромиссов находится решение, удовлетворяющее интересам и потребителей, и поставщиков энергии.

Заключение

Теплоснабжение представляет важнейшую сферу предоставления энергетических услуг широкому кругу потребителей. Эта отрасль определяет благосостояние общества, социальную стабильность и конкурентоспособность экономики многих стран мира. Анализ мирового опыта в секторе централизованного теплоснабжения показывает, что развитие на тепловом рынке элементов конкуренции позволяет поддерживать относительный баланс цен на тепловую энергию для потребителей и доходов энергетических компаний, конкурировать относительно индивидуального теплоснабжения и эффективно развивать технологию комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Вместе с тем, опыт ряда стран показывает, что эффективной может быть и муниципальная форма собственности в теплоснаб-

На долю РФ приходится до 45% мирового централизованного производства тепла. Теплоснабжение потребителей осуществляет 21 тыс. предприятий. В России работают 566 ТЭС и 74,8 тыс. котельных

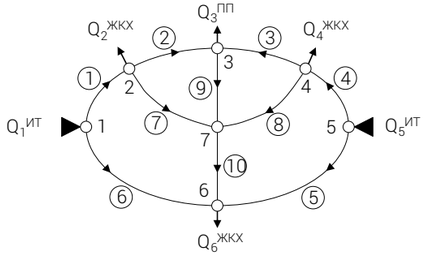
Ветропарк в Балтийском море, Дания

Источник: Voyagerix / Depositphotos.com

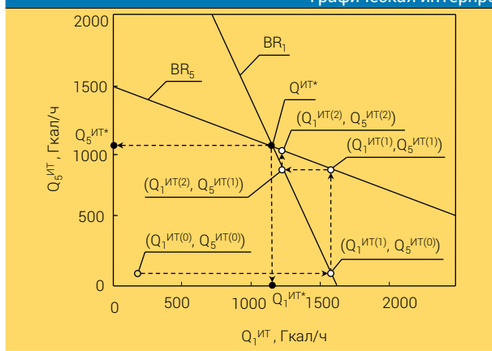
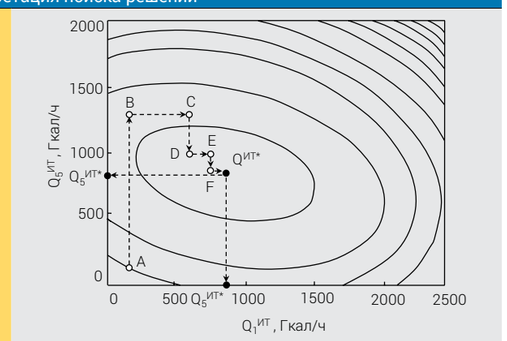
Тип рынка	
Конкурентный рынок	Монопольный регулируемый рынок
Страны, в которых используются данные модели организации рынков тепловой энергии	
Финляндия, Германия, США	Дания, Китай, Россия*
Математическая формализация моделей рынков	
$\Pi_j(Q_j^{ИТ}) \to \max,\ j \in J_{ИТ},$ (1) $\sum_{j\in J_{ИТ}} w_j^{ИТ}\cdot Q_j^{ИТ} + w^{ТС}\cdot \sum_{j\in J_{ИТ}} Q_j^{ИТ} = \sum_{j\in J_{П}} w_j^{П}\cdot Q_j^{П},$ (2) $\sum_{j\in J_{ИТ}} Q_j^{ИТ} - \sum_{j\in J_{П}} Q_j^{П} = 0,$ (3) $w^{ТС} = \frac{\min(Z^{ТС})}{\sum_{j\in J_{ИТ}} Q_j^{ИТ}} = ATC^{ТС},$ (4) $w_j^{П} = \begin{cases} w_j^{П}, если\ w_j^{АИ} > w_j^{П}, j \in J_{П} \\ 0,\ \ если\ w_j^{АИ} < w_j^{П},\ j \in J_{П} \end{cases}.$ (5)	$\sum_{j\in J_{ИТ}} Z_j^{ИТ}(Q_j^{ИТ}) + Z^{ТС} \to \min,$ (1) $w_j^{П} = \frac{\sum_{j\in J_{ИТ}} Z_j^{ИТ}(Q_j^{ИТ}) + Z^{ТС}}{\sum_{j\in J_{ИТ}} Q_j^{ИТ}},$ (2) $\sum_{j\in J_{ИТ}} Q_j^{ИТ} - \sum_{j\in J_{П}} Q_j^{П} = 0,$ (3) $w_j^{П} = \begin{cases} w_j^{П}, если\ w_j^{АИ} > w_j^{П}, j \in J_{П} \\ 0,\ \ если\ w_j^{АИ} < w_j^{П},\ j \in J_{П} \end{cases},$ (4) $w_j^{П} = \begin{cases} w_j^{АИ}, если\ w_j^{АИ} > w_j^{П}, j \in J_{П} \\ w_j^{П}, если\ w_j^{АИ} < w_j^{П},\ j \in J_{П} \end{cases}.$ (4*)

$\Pi_j(Q_j^{ИТ})$ – прибыль от производства тепловой энергии j-тым источником; $J_{ИТ}$ – множество источников тепла в системе ЦТ; $w_j^{ИТ}$ – цена производства тепловой энергии j-тым источником; $Q_j^{ИТ}$ – объем производства тепловой энергии j-тым источником; $w^{ТС}$ – цена транспортировки тепловой энергии; $J_П$ – множество потребителей тепловой энергии в системе ЦТ; $w_j^{П}$ – цена покупки тепловой энергии j-тым потребителем; $Q_j^{П}$ – объем потребления тепловой энергии j-тым потребителем; $Z^{ТС}$ – затраты в тепловые сети; $ATC^{ТС}$ – средние суммарные затраты в тепловые сети; $w_j^{АИ}$ – цена производства тепловой энергии альтернативным источником тепла у j-го потребителя; $Z_j^{ИТ}(Q_j^{ИТ})$ – затраты на производство тепловой энергии j-тым источником.

Практическая реализация на схеме теплоснабжения



1-7 – номера узлов,
1 - 10 – номера ветвей,
▶ – источник тепла,
$Q^{ПП}$ – промышленный потребитель,
$Q^{ЖКХ}$ – потребитель жилищно-коммунального комплекса.

Методы решения	
Подходы теории игр	Методы глобальной оптимизации
Результаты решения	
Рыночное равновесие по Нэшу	Глобальный минимум суммарных затрат по системе ЦТ
Графическая интерпретация поиска решений	
	

Описание работы методических подходов	
Методика поиска решения задачи (1)-(5) осуществляется комбинированным методом. Он базируется на применении игрового, последовательного, итерационного процесса (процесс нащупывания по Курно) с использованием внутри цикла метода избыточных проектных схем с последующим применением метода простой итерации. Основная идея метода заключается в сведении многомерной задачи оптимизации к задаче одномерной оптимизации отдельно взятого источника тепла при фиксированных объемах производства других источников с последующей проверкой полученных решений на условие их соответствия равновесию по Нэшу.	Основная идея разработанной методики базируется на применении метода покоординатной релаксации (метод покоординатного спуска) с последующим использованием внутри цикла методов избыточных проектных схем и простой итерации. Суть разработанной методики заключается в сведении задачи многомерной оптимизации к одномерной с пошаговой процедурой улучшения решений по объемам производства тепла всеми источниками тепла, работающими в системе ЦТ. Кривая A-B-C-D-E-F-$Q^{ИТ}$ представляет собой вычислительный процесс поиска оптимального решения.

Таблица 1. Сравнительный анализ методических подходов для моделирования рынков тепловой энергии

жении, она также обеспечивает его доступность для потребителей и перспективное развитие систем. Основой этого является правильная организация управления и оптимизация издержек.

Инвестиции в инфраструктуру централизованного теплоснабжения даже при их долгосрочной окупаемости – это реальный бизнес, который показал свою рентабельность и конкурентоспособность относительно других видов теплоснабжения.

Конкуренция в целом является важным элементом рыночной экономики ввиду того, что она способствует росту эффективности и улучшению качества продукции и оказания услуг, это благоприятно отражается на теплоснабжении потребителей. Основная задача, которая возникает при формировании конкуренции в системах ЦТ, заключается в создании обоснованных и прозрачных механизмов управления спросом и предложением в этом секторе экономики.

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№FWEU-2021-0002) программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг. и с использованием ресурсов ЦКП «Высокотемпературный контур» (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038).

Использованные источники

1. *S. Frederiksen, S. Werner. District heating and cooling, Lund Studentlitteratur, 2013.*
2. *Стенников В.А., Пеньковский А.В. Теплоснабжение потребителей в условиях рынка: современное состояние и тенденции развития // ЭКО. №3, 2019. С. 8–20.*
3. *Werner S. International Review of District Heating and Cooling// Energy.2017. № 137. P. 617–631.*
4. *District Heating Market Size By Source (CHP, Geothermal, Solar, Heat Only Boilers), By Application (Residential, Commercial {College/University, Office, Government/Military}, Industrial {Chemical, Refinery, Paper}), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Covid-19 Impact Analysis, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2020 – 2026 // [Электронный ресурс] URL: https://www.gminsights.com/industry-analysis/district-heating-market (дата обращения: 23.06.2021).*
5. *Henrik Lund, Poul Alberg Østergaard, Miguel Chang, Sven Werner, Svend Svendsen, Peter Sorknæs, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, Bent Ole Gram Mortensen, Brian Vad Mathiesen , Carsten Bojesen, Neven Duic, Xiliang Zhang, Bernd Möller. The status of 4-th generation district heating: Research and results // Energy. № 164, 2018. P. 147–159.*
6. *Nordic heating and cooling // [Электронный ресурс] URL: http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1098961/FULLTEXT01.pdf (дата обращения: 23.07.2021).*
7. *Соснова С. Датское энергетическое чудо // Энергосовет. №5(10), 2010. С. 17–19.*
8. *District heating in the Danish energy system// [Электронный ресурс] URL: https://northsearegion.eu/media/1531/the-danish-energy-system-case-dh.pdf (дата обращения: 23.07.2021).*
9. *Лауф Е. Модернизация рынка тепловой энергии и повышение энергоэффективности зданий объединенной Германии // Энергосовет. №1, 2016. С. 81–84.*
10. *China combined heat and power market outlook to 2020 // [Электронный ресурс] URL: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/china-combined-heat-and-power-market-industry (дата обращения: 23.07.2021).*
11. *U.S. District Energy Services Market Characterization // [Электронный ресурс] URL: https://www.eia.gov/analysis/studies/buildings/districtservices/pdf/districtservices.pdf (дата обращения: 23.07.2021).*
12. *Особенности национального теплоснабжения // [Электронный ресурс] URL: https://www.eprussia.ru/epr/198/14048.htm (дата обращения: 23.07.2021).*
13. *Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2014-2018 годах // [Электронный ресурс] URL: https://minenergo.gov.ru/node/17737 (дата обращения: 23.07.2021).*

УДК 330, 622.276, 004.942

DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_76

О цифровой трансформации энергетической отрасли

The Digital Transformation of the Energy Industry

Денис ХИТРЫХ
Директор Центра исследований
и разработок, директор по маркетингу,
«КАДФЕМ Си-Ай-Эс», к. т. н., MBA
e-mail: denis.khitrykh@cadfem-cis.ru

Denis KHITRYKH
PhD, MBA, Director of Research
and Development Center,
Marketing Director, CADFEM CIS
e-mail: denis.khitrykh@cadfem-cis.ru

Сотрудник центрального ремонтного производства в очках дополненной реальности

Источник: «ЗапСибНефтехим»

Аннотация. В работе рассматривается вопрос цифровизации энергетической отрасли. Рассмотрены технологии, которые окажут наибольшее влияние на цифровую трансформацию отрасли: расширенная аналитика данных, облачные вычисления, цифровые двойники, роботы и дроны. Представлены новые бизнес-модели в электроэнергетическом секторе и описаны проблемы, препятствующие активной цифровизации отрасли. Дана оценка ожидаемых экономических результатов от внедрения технологии цифровых двойников. Представлена концепция гибридного цифрового двойника ТЭЦ.
Ключевые слова: цифровизация, энергетическая отрасль, нефтепереработка, искусственный интеллект, цифровой двойник, компьютерное моделирование.

Abstract. The article is concerned with the digitalization of energy industry. Technologies that are expected to be particularly impactful to the energy industry, such as advanced data analytics, cloud computing, digital twins, robotics and drones, are considered. The new business models for the electric power sector are presented. An assessment of the expected economic consequences of the digital twin project is given as well. The concept of the hybrid digital twin of a power plant is presented.
Keywords: digitalization, energy industry, oil refining, artificial intelligence, digital twin, simulation.

Цифровизация – это преобразование информации в численный формат, после чего их можно обрабатывать, хранить и передавать в электронном виде

Введение

Цифровых технологий в современном мире становится все больше. В будущем они затронут все отрасли производства и будут способствовать появлению новых видов бизнеса. Отвечая на требования общества и общемировой тренд на декарбонизацию, трансформируется и мировая энергетика. Важными факторами, способствующими изменениям в энергетике, станут цифровые технологии и технологии обработки больших данных.

Технологии, которые окажут наибольшее влияние на трансформацию энергетической сферы, включают продвинутую аналитику данных, в том числе искусственный интеллект (ИИ), облачные и квантовые вычисления, роботизацию, носимые устройства и пр. Они затронут все сегменты отрасли, причем, как ожидается, наибольшее влияние они окажут на электроэнергетику, в которой появятся новые игроки и новые бизнес-модели.

Навыки, связанные с цифровыми технологиями, вероятно, будут одними из самых востребованных на рынке, но потребуются и другие нетехнические компетенции, такие как решение проблем в условиях неопределенности и управление рисками.

Мировая энергетика трансформируется, отвечая на запросы общества и усиление климатических требований. В 2015 году ООН приняла повестку дня в области устойчивого развития до 2030 года. Программа состоит из 17 глобальных целей (ЦУР), в том числе цели, лежащие в области энергетики. Международное энергетическое агентство (МЭА) отметило основные изменения, которые потребуется осуществить для достижения этих целей. Основной вектор развития энергетики на ближайшие 2–3 десятилетия будет направлен на сокращение выбросов углеводородов в атмосферу с целью достижения нулевых выбросов к 2070 году.

Согласно прогнозам, зафиксированным в сценарии устойчивого развития ООН, в 2040 году, несмотря на рост мировой экономики в среднем на 3,4 % в год, мы увидим существенное снижение спроса

на углеводородную энергетику: рынок нефти объемом в 65–70 миллионов баррелей в день к 2040 году вернется к уровню начала 1990-х годов. При этом произойдет значительное перераспределение инвестиций от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии: инвестиции в ископаемое топливо сократятся почти на 50 %, а расходы на возобновляемые источники энергии увеличатся на 250 %.

Одним из наиболее важных технологических сдвигов в энергетической отрасли, который приведет к значительному повышению эффективности и рентабельности, станет цифровая трансформация. Попытки осуществления цифровой трансформации

Цифровые технологии нефтегазовой отрасли
Источник: «Газпром»

предпринимались еще с середины 90-х годов, но прорыв в этой области стал возможен только с появлением и развитием таких технологий как, промышленный интернет вещей (IIoT), обработка больших данных (Big Data) и когнитивные вычисления (Cognitive Computing).

Ключевые компоненты цифровизации

В широком смысле цифровизация – это преобразование информации и результатов измерений в численный формат, после чего их можно обрабатывать, хранить и передавать в электронном виде. Цифровые технологии предполагают [8]:

1. Глубокую аналитику данных, которая включает в себя прогнозную аналитику, большие данные и интеллектуальный анализ данных на базе машинного обучения и искусственного интеллекта. Глубокий анализ данных и искусственный интеллект уже влияют на то, как энергетические компании принимают решения, и в будущем изменят status quo для всех участников цепочки поставок в энергетической отрасли. Что касается разведки новых месторождений и добычи ископаемого топлива, развитие цифровых технологий будет способствовать появлению новых методов разведки нефти и газа.
2. Дополненную, ассистирующую и виртуальную реальность (AR/VR) на базе которых можно создавать различные экспертные системы, интерактивные электронные технические руководства, выводить информацию о режимах работы оборудования (включая телеметрию) и пр. В результате внедрения AR/VR-технологий повышается производительность труда за счет сокращения времени при выполнении операций, времени на подготовку к операциям, оптимизации перемещений персонала.
3. Оцифровку бизнес-процессов, что позволит оптимально перераспределить персонал по проектам, сократить количество ошибок и аварий и обеспечить прозрачность коммерческих решений.
4. Облачные вычисления – предоставление сетевого доступа по требованию к некоторому общему фонду конфигурируемых вычислительных ресурсов (серверам, хранилищам, базам данных, программному обеспечению). Облачные вычисления позволяют более быстро внедрять инновации, обеспечивают гибкость ресурсов и экономию за счет роста масштабов. Облачные технологии станут высокоценным ресурсом и для покупателей энергоресурсов, позволяя фирмам реализовывать инициативы, направленные на привлечение потребителей, например, способствуя созданию «зеленого» образа компании.

5. Кибербезопасность – защита систем, сетей и программ от цифровых атак. Обычно «кибератаки» нацелены на получение доступа к данным, изменение или уничтожение конфиденциальной информации, нарушение бизнес-процессов. В качестве примера можно привести кибератаку на крупный энергетический объект в Норвегии в 2019 году. Жертвой атаки стала металлургическая компания Hydro. На восстановление ее работоспособности потребовалось несколько недель, а ущерб составил около 70 млн долл. США.
6. Блокчейн и распределенные реестры – совместно используемые и распределенные структуры данных или реестры, которые могут безопасно хранить информацию о цифровых транзакциях без использования центральной точки управления. Блокчейн и технология распределенного реестра могут использоваться для риск-менеджмента или торговли «зелеными» сертификатами.
7. Интернет вещей (IoT) и промышленный интернет вещей (IIoT) – это обширная сеть подключенных вещей и людей, которые собирают данные и обмениваются данными об окружающей среде, о самом устройстве и о том, как оно используется.
8. Цифровой двойник – виртуальная копия технического объекта, воспроизводящая и задающая структуру, состояние и поведение объекта в реальном времени. Цифровой двойник является ключевым базовым элементом высокотехнологичной системы управления. К числу высокотехнологичных объектов, управление которыми целесообразно организовывать на базе технологии цифровых двойников, относятся, например, современные системы распределенной энергетики, включающие разнообразные энергоприемники, локальное генерирующее оборудование и накопители электроэнергии.
9. Дроны и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – беспилотные транспортные средства, в основе работы которых лежат такие технологии, как компьютерное зрение и искусственный интеллект. Сегодня БПЛА используются, например,

Беспилотники «Газпром нефть», Ноябрьск
Источник: noyabrsk24.ru

для плановой диагностики и инспекции состояния ЛЭП, проведения аварийно-восстановительных работ, создания цифровых и кадастровых планов, сопровождения работ по строительству и реконструкции ЛЭП и мн. др.

10. Робототехнику, которая существенным образом меняет энергетическую отрасль, трансформируя такие процессы, как производство, эксплуатация и диагностика различного оборудования. Например, применение роботов, которые могут перемещаться по газораспределительной системе и с помощью датчиков измерять толщину стенок и напряжения, может значительно сократить объем земляных работ, необходимых для проверки трубопроводной системы.

Секторы энергетики, подверженные наибольшему влиянию цифровизации

В краткосрочной перспективе цифровая трансформация энергетики сможет увеличить доходы компании в отрасли на 3–4 % в год. Основной рост доходов – в генерации и распределении – будет достигнут за счет анализа всех доступных данных, автоматизации бизнес-процессов и локального внедрения цифровых решений на критических объектах инфраструктуры. Важно понимать, что цифровая трансформация энергетики – это цифровизация всех отраслей ТЭК: электроэнергетики, нефтегазового комплекса (добыча, транспорт и переработка) и угольной промышленности.

Робот для прочистки вентиляционных труб
Источник: dom-and-sad.ru

Таблица 1. Технологии и процент компаний, которые могут их внедрить к 2022 году [9]

Технологии	Доля всех компаний	Доля в нефтегазовой отрасли
Аналитика больших данных	85	87
Интернет вещей	75	83
Машинное обучение	73	70
Облачные вычисления	72	78
Дополненная и виртуальная реальность	58	65
Шифрование	54	57
Новые материалы	52	83
Носимая электроника	46	70
Распределенный реестр	45	48
3D-печать	41	57
Автономный транспорт	40	30
Стационарные роботы	37	52
Квантовые вычисления	36	43
Биотехнологии	28	39
Воздушные и подводные роботы	19	52

Разведка и добыча нефти и газа

Ожидается, что в добыче нефти и газа рост чистой прибыли будет обеспечен за счет снижения затрат, связанных с интерпретацией данных, повышением добычи благодаря использованию прогнозного технического обслуживания, и увеличением времени безотказной работы основного и вспомогательного оборудования.

Сегодня все крупные нефтяные компании реализуют проекты, которые можно отнести к категории «умного» производства: Smart Wells («умные скважины») – Schlumberger, Smart Field («умное месторождение») – Shell, Field of Future («месторождение будущего») – BP, «цифровое месторождение» – «Роснефть» совместно с «Башнефть» и др. [1].

Все эти системы похожи друг на друга по своим основным целям и задачам, которые они решают. В первую очередь, речь идет о моделировании различных сценариев развития ситуации на нефтегазовом производстве и выборе оптимальных решений при добыче, транспортировке и переработке нефти [5]. К наиболее перспективным умным нефтегазовым технологиям относятся: робототехника для бурения, обслуживания и наблюдения скважины, подводная добыча нефти, беспилотные платформы и др. [7]. Использование умных технологий в режиме реального времени позволяет цифровым нефтегазовым компаниям достичь следующих целей [2]:

- расширить сырьевую базу предприятия в 3 и более раз;
- увеличить показатели извлечения и объемы добычи нефти на 10 %;
- повысить производительность предприятий на 10 %;
- снизить удельную себестоимость добычи нефти на 15 %;
- уменьшить число аварий (включая утечки и выбросы) на 20–30 %.

Экономическая эффективность от применения «умной» нефтегазодобычи достигается в первую очередь за счет уменьшения числа простоев фондов нефтедобывающих скважин, сокращения потерь нефти и газа при сепарации, полной оптимизации процесса нефтедобычи.

В перспективе цифровая трансформация энергетики сможет увеличить доходы компании на 3–4 % в год. Рост будет достигнут за счет анализа доступных данных и автоматизации бизнес-процессов

Подводный добычный комплекс Subsea Trees
Источник: akersolutions.com

Показатели	Технологии управления месторождением		
	Активное управление	Реактивное управление	Проактивное («умное») управление
Прирост добычи нефти,%	1	4	10
Прирост запасов нефти, млрд т	5	10	15
Прирост КИН,%	1	5	10
Удельные затраты на автоматизацию, % от выручки	1	2	4
Снижение удельной себестоимости добычи нефти,%	2	5	15
Рост производительности труда,%	1	5	10

Таблица 2. Преимущества использования умных технологий

Нефтепереработка и нефтехимия

Эффективность работы нефтеперерабатывающей отрасли в целом следует за тенденцией основных макроэкономических показателей страны и зависит от изменений потребительского спроса. Поэтому последствия пандемии коронавируса в 2021 году вероятно повлекут за собой значительный спад спроса на нефтепродукты как на российском, так и на европейском рынках.

Данные из открытых источников позволяют оценить техническое состояние нефтеперерабатывающей отрасли в России. Так, согласно данным Минэнерго России (реестр НПЗ) из 38 крупных нефтеперерабатывающих заводов с объемами переработки более 1 млн тонн в год, 24 завода эксплуатируются уже более полувека. Наиболее показательными в данном контексте являются следующие НПЗ:

- Туапсинский, который эксплуатируется с 1928 года;
- Саратовский, работающий с 1934 года;
- Московский, функционирующий с 1938 года.

Средний возраст российских НПЗ – свыше 60 лет. Это говорит об изношенности нефтеперерабатывающих мощностей. Вместе с тем, крупнейшие нефтеперерабатывающие заводы России продолжили в 2019–2020 гг. реконструкцию и ввод новых технологических мощностей в рамках национальной программы модернизации. Одной из целей этой программы модернизации является рост производства высокооктановых бензинов, соответствующих стандартам Евро-5 и выше. В результате средняя глубина переработки нефти на российских НПЗ за последние 5 лет выросла на 17 % и в 2020 году составила 84,4 % [4].

В 2019–2020 гг. в России произошли ряд техногенных аварий, которые нанесли серьезный экологический и экономический ущерб. Так 9 января 2020 года в городе Ухта Республики Коми загорелась установка НПЗ ООО «ЛУКОЙЛ-Ухтанефтепереработка». Предприятию был причинен ущерб в размере около 12 млн рублей. В январе 2019 года случилась авария на Ангарском нефтехимическом комплексе. Экономический ущерб составил 347,9 млн рублей. В марте были пожары на Новокуйбышевском НПЗ и Комсомольском НПЗ. В результате аварии на Новокуйбышевском НПЗ пострадал один человек. На Комсомольском НПЗ обошлось без пострадавших, но экономический ущерб составил в 809,45 млн рублей. Всего за 2019 год было зафиксировано 19 серьезных аварий на нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях России. Поэтому экологическая повестка сейчас является актуальной.

Центр управления морской ледостойкой стационарной платформы «Приразломная»
Источник: «Газпром»

Цифровая подстанция, Омский НПЗ

Источник: digitalsubstation.com

Совокупность и учет всех этих факторов привели к тому, что сегодня большинство нефтеперерабатывающих компаний страны осознают необходимость и важность внедрения цифровых и автоматизирующих технологий, и в первую очередь – интеллектуальных средств мониторинга технического состояния наиболее критического оборудования НПЗ.

При эксплуатации оборудования НПЗ сегодня различают несколько стратегий управления его техническим обслуживанием и ремонтом: техническое обслуживание и ремонт по событию, реактивное обслуживание, превентивное обслуживание и ТОиР по фактическому состоянию. При этом использование технологии цифровых двойников является необходимым условием реализации стратегии «ТОиР по фактическому состоянию».

ТОиР по фактическому состоянию основан на непрерывном мониторинге технического состояния оборудования и методах машинного обучения, используемых для прогнозной аналитики. Этот вид технического обслуживания также часто называют предиктивным или прогнозным обслуживанием. Ключевые показатели эффективности при применении обслуживания по фактическому состоянию с учетом роста проникновения технологий цифровых двойников в нефтеперерабатывающую отрасль могут достигать следующих показателей:

- расходы на техническое обслуживание – снижаются на 25 %;
- устранение аварий – на 70 %;
- незапланированный простой (предупреждение аварий) – на 35 %;

Большинство НПЗ страны осознают необходимость внедрения цифровых и автоматизирующих технологий, и в первую очередь – интеллектуальных средств мониторинга технического состояния оборудования

Если отмасштабировать эффект от внедрения цифрового двойника на весь НПЗ, то экономический эффект будет значительный. Срок окупаемости при внедрении виброанализатора составит 1,5 месяца

– производительность оборудования – увеличивается на 20 %.

Выход из строя только насосного агрегата НПЗ может привести к снижению производственной мощности НПЗ на 0,2 % [3].

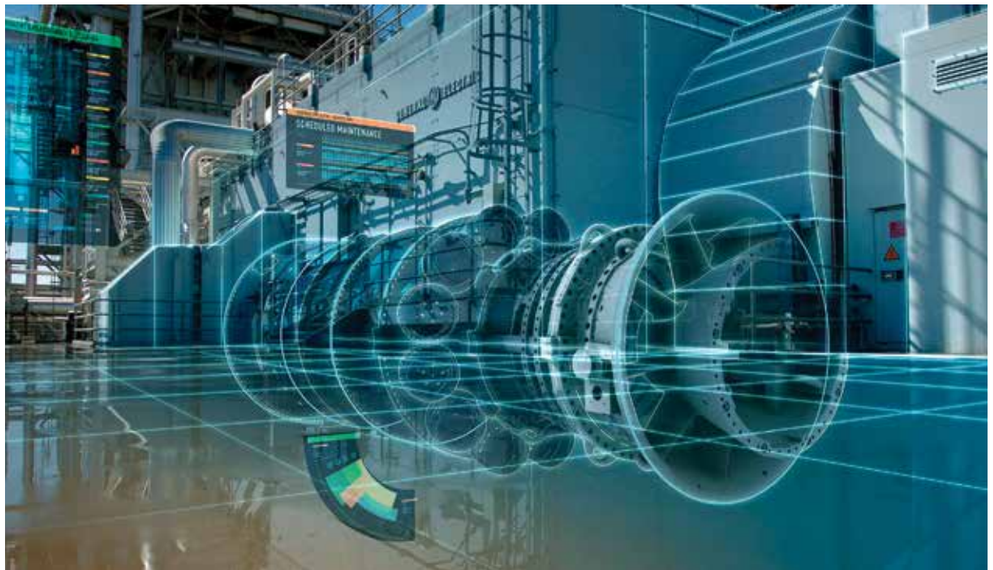
Рассмотрим эффективность применения цифрового двойника на основе вибромониторинга и машинной аналитики на примере насоса циркуляционного орошения, используемого в вакуумной ректификационной колонне. Затраты на ремонт насоса по оценкам ООО «ЛУКОЙЛ-ИНФОРМ» составляют 12000 долл. США, потеря прибыли 15000 долл./ч, общая утраченная прибыль 90000 долл., общая стоимость отказа 158000 долл. Таким образом убытки от простоя оборудования в денежном выражении при отсутствии своевременной вибродиагностики и предиктивной аналитики циркуляционного насоса составляют 11850 тыс. руб./год при двух внеплановых остановках. Если отмасштабировать эффект от внедрения цифрового двойника на все подобное оборудование НПЗ, то экономический эффект будет на несколько порядков больше. Срок окупаемости мероприятия при внедрении только виброанализатора стоимостью 1,5 млн руб. составит 0,126 года или 1,5 месяца [10].

Вследствие роста использования возобновляемых источников энергии и «зеленых» технологий все больший интерес к энергетике стали проявлять новые игроки, в том числе некоторые крупные нефтяные компании. За последние несколько лет инвестиции нефтяных компаний в технологии накопления энергии, электрификацию транспорта и возобновляемые источники энергии заметно увеличились [6]. Ожидается, что эта тенденция сохранится и в более долгосрочной перспективе, поскольку падение цен на нефть и экономические последствия, связанные с пандемией коронавируса, оказывают лишь косвенное воздействие на стабильность нефтяных компаний.

Электроэнергетика

Вероятно, из всех секторов энергетики наибольшее влияние испытает на себе электроэнергетика, именно в ней в результате цифровизации будет наблюдаться самый большой рост числа активов и рабочих мест. В результате воздействия таких факторов как, изменение цен на топливо и его доступность, распространение возобновляемых источников энергии и повышенный риск кибератак, электроэнергетика подвергнется в ближайшем будущем серьезным изменениям.

Цифровой двойник NX 1915 Siemens *Источник: irisoft.ru*

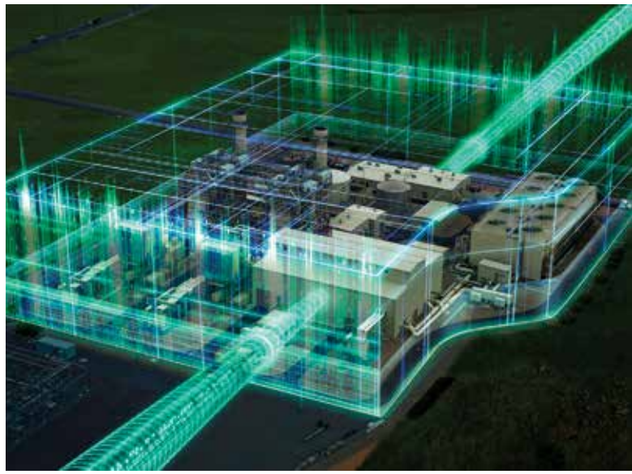


Для любой генерирующей компании цифровизация открывает возможности в следующих четырех областях:

1. Управление жизненным циклом активов: технологические решения могут обеспечивать дистанционное управление или профилактическое обслуживание в режиме реального времени, приводя таким образом к продлению жизненного цикла актива или достижению лучшей производительности генерирующих, передающих или распределительных активов и инфраструктуры.
2. Оптимизация энергосети: оптимизировать работу сетей можно за счет балансировки нагрузки в реальном времени, управления сетью, сквозного подключения, достигаемого путем подключения активов, оборудования и устройств, а также расширенных возможностей мониторинга сети.
3. Интегрированный подход к обслуживанию клиентов: объединение инновационных цифровых продуктов и услуг, относящихся к производству энергии и управлению энергопотреблением, в единую интегрированную систему обслуживания клиентов.
4. Персонализация электроэнергии – персонализированные подключаемые услуги за пределами цепочки создания стоимости электроэнергии, адаптирующиеся к потребителю.

Кроме того, цифровизация электроэнергетики приведет к появлению совершенно новых бизнес-моделей с акцентом на экологически чистую энергию («зеленую» энергию), поддержку электромобилей, а также на домохозяйства и бизнес. Появятся такие новые модели электроэнергетики, как [8]:

1. Виртуальная энергокомпания (Virtual Utility) – компания, которая собирает энергию из различных распределенных систем и действует как посредник на рынках энергетики.
2. Разработчик энергосистемы (Grid Developer) – коммунальные компании в данной модели приобретают, разрабатывают, строят, владеют и обслуживают линии электропередачи, которые соединяют децентрализованные генераторы с операторами местных распределительных систем.
3. Сетевой менеджер (Network Manager) – управляет распределительными устройствами и предоставляет доступ к своим сетям вырабатывающим электроэнергию предприятиям, компаниям, владеющим соединительными линиями и поставщикам розничного обслуживания.



Цифровая модель предприятия
Источник: controlengrussia.com

Однако только отмена государственного регулирования розничного рынка электроэнергии может стать отправной точкой для инноваций в этой сфере.

Цифровой двойник электростанции

Современные объекты генерации имеют существенный потенциал повышения энергоэффективности и надежности. Отчасти он реализуется современными системами автоматики (АСУ ТП) с развитыми функциями контроля и управления технологическими процессами, а также

Рис. 1. Концепция цифрового двойника ТЭЦ компании «КАДФЕМ Си-Ай-Эс»

современными средствами диагностики и превентивной стратегией обслуживания. Но потенциал современной электростанции намного больше, и это делает оправданным внедрение комплексного цифрового двойника. Цифровой двойник (ЦД) позволяет существенно повысить показатели станции и дополнить существующую систему АСУ ТП. Повышение эффективности электростанции достигается за счет оптимизации технологических режимов и повышения надежности благодаря переходу на ТОиР по фактическому состоянию.

Эти возможности цифровой двойник ТЭС реализует за счет того, что в нем применяются эталонные верифицированные математические модели физических процессов, работающие на данных, поступающих от штатных средств автоматики. Цифровой двойник позволяет непрерывно получать информацию о текущем состоянии объекта, для которой ранее требовалось глубокое техническое обследование.

Цифровизация электроэнергетики приведет к появлению совершенно новых бизнес-моделей с акцентом на «зеленую» энергию, поддержку электромобилей, а также на домохозяйства и бизнес

Кроме оценки фактического технического состояния оборудования, двойник может спрогнозировать его изменение во времени и оценить его влияние на эффективность работы станции.

Концепция гибридного цифрового двойника, разработанная специалистами компании «КАДФЕМ», отличается по своей структуре и функционалу как от штатных АСУ, так и от систем аналитики на базе статистических или балансовых моделей. Главное отличие состоит в том, что математические модели, основанные на Ньютоновской физике, в составе гибридного цифрового двойника дают больше данных о техническом состоянии объекта, чем штатные системы диагностики и прогноза. Контроль отклонений производится по динамическим уставкам с учетом данных последнего технического обслуживания. Это позволяет своевременно оповещать о негативных процессах, например, повышенной скорости загрязнения поверхностей нагрева. Благодаря этому персонал станции своевременно принимает меры для устранения возникающих проблем, не допуская их развития. Таким образом, когда углубленный контроль состояния происходит периодически, упускается время между возникновением проблемы и реакцией на нее. При непрерывном контроле меры по устранению принимаются мгновенно.

Гибридный цифровой двойник состоит из двух частей. Первая – это цифровой двойник, где есть модель, система калибровки, логические блоки интерпретации показаний моделей и анализатор трендов для прогнозирования. Вторая часть – это система поддержки персонала, которая имеет человеко-машинные интерфейсы (HMI) для оперативного персонала и сервисной службы, и платформа дополненной реальности (AR).

Общий алгоритм работы цифрового двойника следующий. Показания физических датчиков, установленных на оборудовании, передаются через штатную АСУ ТП в цифровой двойник, реализованный в виде сервера промышленного исполнения или промышленного контроллера. Математическая модель получает эти данные и в непрерывном режиме проводит расчет остальных не измеряемых физически параметров процесса. Эти данные она предоставляет оператору в виде виртуальных датчиков и использует для вычисления технико-экономических показателей, а также для диагностики определенных дефектов и прогнозирования.

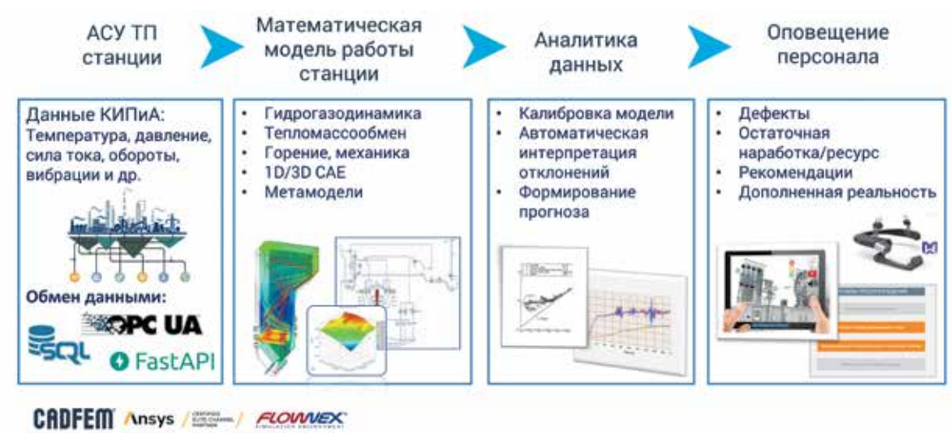
Математическая модель подвергается регулярной калибровке, чтобы соответствовать текущему состоянию оборудования. Также она позволяет определять на ранней стадии отклонения благодаря тому, что может быть использована в качестве эталона для сравнения данных физических измерений. Прогноз строится на основе экстраполяции роста отклонений в соответствии с диагностическими критериями и правилами.

При работе энергетического блока имеет место много взаимосвязанных сложных непрерывных физических процессов. Для отдельных сложных нелинейных процессов создаются трехмерные CAE-модели, преобразуемые затем в модели пониженного порядка (ROM-модели), и далее интегрируемые в единую системную модель, воспроизводящую реальную работу энергоблока.

Свои возможности цифровой двойник ТЭС реализует за счет применения эталонных верифицированных математических моделей физических процессов, работающих на данных штатных средств автоматики

Основой цифрового двойника является платформа промышленного интернета вещей (IIoT), выступающая в качестве фреймворка для создания пользовательских приложений, человеко-машинных интерфейсов, и включающая все необходимые средства интеграции датчиками, контроллерами, АСУ ТП, ПЛК и другими системами.

Рис. 2. Принцип работы цифрового двойника ТЭЦ



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №10(164) / 2021

IIoT-платформа работает полностью в контуре заказчика, по локальной сети и тем самым снижает нагрузку на инфраструктуру и обеспечивает единую базу знаний по котельному агрегату, включая эксплуатацию, обслуживание, дефекты и пр. Платформа позволяет объединить различные источники данных в ИТ-ОТ контуре станции и обеспечить сквозной мониторинг и аналитику данных.

Подсистема дополненной реальности (система поддержки персонала – СПП) обеспечивает работу оперативного и сервисного персонала, визуализируя эталонные ремонтные операции через интерактивные инструкции в дополненной реальности. При необходимости через систему можно подключить удаленного ассистента.

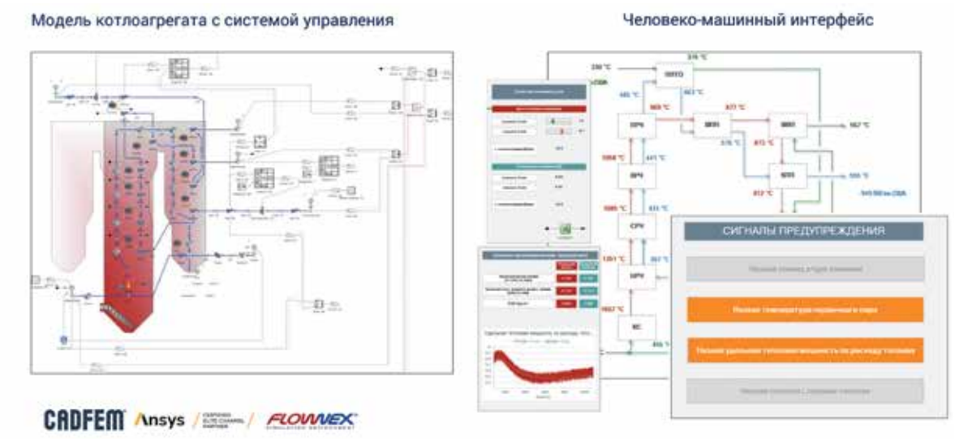


Рис. 3. Модель и человеко-машинный интерфейс котельного агрегата

Вызовы и барьеры

Несмотря на целый ряд технологических достижений, существуют препятствия, которые необходимо преодолеть, прежде чем внедрять цифровые технологии. Ниже представлен ряд вызовов для цифровизации в энергетическом секторе:

1. Регулирование – например операции с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга технических объектов регулируются целым рядом государственных постановлений.
2. Стандартизация и обмен данными: маловероятно, что нефтегазовые компании захотят делиться данными (особенно при разведке месторождений). Это создает препятствия на пути стандартизации данных в отрасли.
3. Устаревшие системы: цифровая трансформация представляет собой революционную и болезненную перестройку методов работы организации. Однако отказ от внесения изменений в устаревшие системы ради внедрения новых технологий будет по-прежнему оставаться значительным препятствием на пути к внедрению цифровых технологий.
4. Дефицит квалифицированных специалистов: без «цифровых» специалистов с необходимым набором «цифровых» навыков компании будут неспособны эффективно провести цифровую трансформацию.
5. Кибербезопасность: поскольку все больше и больше информации перемещается в облако, а организации все больше полагаются на новые технологии, они должны быть способны защитить свои данные.

Заключение

Тенденция цифровизации большого количества рыночных сегментов набирает обороты. Энергетическая отрасль, являясь ключевой отраслью для российской экономики, не осталась в стороне от этого процесса. Этапы развития процессов цифровизации в энергетической отрасли страны всегда были обусловлены научно-техническим прогрессом: появление новой техники и технологий сразу же затрагивало все аспекты функционирования предприятий данной отрасли. Так в период с 1990 по 2010 гг. шло активное распространение и внедрение процессов автоматизации (на базе 3D-сейсмических моделей) на месторождения по всей России, за счет чего происходил рост экономических показателей экономики страны. С 2010 года и по настоящее время в роли таких прорывных технологий в энергетике выступают: искусственный интеллект, продвинутая аналитика, блокчейн, цифровые двойники и др.

Цифровая трансформация является сложной и неоднозначной задачей, при которой нужно в первую очередь минимизировать риски внеплановой остановки из-за сбоев при внедрении новых технологий

Осуществление цифровой трансформации является сложной и неоднозначной задачей, при которой необходимо в первую очередь минимизировать риски внеплановой остановки предприятия из-за сбоев при внедрении новых технологий. Кроме того, цифровизации отрасли сильно препятствуют дефицит «цифровых» специалистов, отсутствие целого ряда стандартов, а также киберугрозы и нестабильность рынка в целом.

Анализ международного опыта внедрения цифровых технологий показывает, что внедрение данных технологий на этапах добычи и переработка нефти и газа позволяет повысить эффективность технического обслуживания оборудования на 20–30 %, сократить внеплановые простои оборудования на 15–20 %, увеличить показатели извлечения и объемы добычи нефти на 10 % и снизить удельную себестоимость добычи нефти на 15 %.

В России так же идут работы в этом направлении, но реальных примеров цифровизации энергетической отрасли пока не так много.

Использованные источники

1. *Бахтурин Г.И., Логунов А.Б., Миронов Н.А. Новые производственные технологии: взгляд экспертов научно-технической сферы // Инноватика и экспертиза. Выпуск 3 (18), 2016.*
2. *Гулулян А.Г. Оценка экономической эффективности использования технологий цифровых месторождений при принятии управленческих решений в нефтегазовом производстве: автореферат дисс. кандидата экономических наук: 08.00.05 / Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина. – М., 2017. – 24 с.*
3. *Мониторинг и диагностика основного оборудования: [Электронный ресурс]. URL: https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-metran-ru-ru-455140.pdf (Дата обращения 17.05.2021).*
4. *Российская нефтепереработка на современном этапе развития: [Электронный ресурс]. URL: http://www.ngv.ru/magazines/article/rossiyskaya-neftepererabotka-na-sovremennom-etape-razvitiya (Дата обращения 17.05.2021).*
5. *Тчаро Хоноре, Воробьев А.Е., Воробьев К.А. Цифровизация нефтяной промышленности: базовые подходы и обоснование «интеллектуальных» технологий // Вестник Евразийской науки. №2, 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://esj.today/PDF/88NZVN218.pdf (Дата обращения 17.05.2021).*
6. *Andoni, Merlinda & Robu, Valentin & Flynn, David & Abram, Simone & Geach, Dale & Jenkins, David & McCallum, Peter & Peacock, Andrew, 2019. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, vol. 100(C), pages 143–174.*
7. *BRU21. Better Resource Utilization in the 21st century // NTNU Strategy for Oil and Gas: [Электронный ресурс]. URL: http://www.ipt.ntnu.no/BRU21_Report.pdf (Дата обращения 17.05.2021).*
8. *Digitization of the Energy Industry: [Электронный ресурс]. URL: https://uh.edu/uh-energy/research/white-papers/white-papers-files/digitization-of-energy-industry-web.pdf (Дата обращения 17.05.2021).*
9. *The Future of Jobs Report 2018. Foro Económico Mundial: [Электронный ресурс]. URL: https://es.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2018 (Дата обращения 17.05.2021).*
10. *Khitrykh, D. (2021). Efficiency Analysis of Investment Project for the Development of a Pump Unit Digital Twin in the Petroleum Refining Industry (MBA thesis, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow State Institute of International Relations, Moscow, Russia).*

УДК 331.5

DOI 10.46920/2409-5516_2021_10164_90

Кадровое обеспечение нефтегазовой отрасли в новых условиях

Oil and gas industry staffing in new conditions

Ольга БУДЗИНСКАЯ
Доцент РГУ нефти
и газа им. И.М. Губкина, к. э. н.
e-mail: budzinskaya@bk.ru

Olga BUDZINSKAYA
Ph.D. in Economics, Associate Professor
of the Gubkin University
e-mail: budzinskaya@bk.ru

МГУ

Источник: scaliger / Depositphotos.com

Аннотация. Статья приводит аргументы в пользу методологического подхода по кадровому обеспечению проекта «Энерджинет». В качестве предмета исследования автор рассматривает систему кадрового обеспечения как образующую мегасистему совокупности различных по содержанию, но скоординированных и синхронизированных деятельностей множества субъектов. Исследование этой системы показало, что реальные возможности достижения целей по обеспечению соответствия кадрового обеспечения отраслевой экономики требованиям ее цифровой трансформации открываются с последовательным использованием методологии проектирования сложных систем. Практическим результатом исследования явился комплекс проектов дорожных карт по проектированию отдельных подсистем кадрового обеспечения ТЭК.
Ключевые слова: воспроизводство трудовых ресурсов, рынок труда, проектирование деятельности, система кадрового обеспечения, цифровая экономика.

Abstract. The purpose of the article is to present the essence and arguments in favor of the methodological approach proposed in it for the resource (personnel) support of the Energinet project. As a subject of research, the author considers the personnel support system as forming a megasystem of a set of different in content, but coordinated and synchronized activities of many subjects. The study of the structure of this megasystem has shown that real opportunities to achieve the goals of ensuring that the staffing of the industrial economy meets the requirements of its digital transformation are opened with the consistent use of the methodology of designing complex systems. The practical result of the study was a set of road map projects for the design of individual subsystems of personnel support for energy sector.
Keywords: reproduction of labor resources, labor market, activity design, personnel support system, digital economy.

> **Система образования является основным источником дифференциации кадров. Но работодатель, законодатель и наука активнее участвуют в процессе**

Введение

Еще недавно в России подготовка кадров исходила из потребностей рынка труда и выражалась в отраслевой направленности деятельности высших учебных заведений (строительный, нефтегазовый, авиационный, финансовый, педагогический институты и т. д.), прогнозировании потребности в кадрах по соответствующей номенклатуре специальностей, наличии института государственного распределения и трудоустройства выпускников вузов. Жестко регламентированная институциональная взаимосвязь между системой образования и отраслями народного хозяйства не предполагала межотраслевую трудовую мобильность, разнообразия гибридных профессий, смену рода деятельности на протяжении трудовой жизни.

В современных условиях, когда приращение знаний происходит в междисциплинарных областях, и развитие инновационного бизнеса требует специалистов с междисциплинарными компетенциями, а, главное, междисциплинарным мышлением, государственная политика регулирования образовательного процесса по нормативам ограничивает необходимое многообразие эффективных образовательных инструментов [1].

Ускорение технологического развития отраслей экономики, вызванное внедрением инструментов Индустрии 4.0, существенно меняет и наши представления о человеческом капитале, и условия его формирования и критерии оценки эффективности использования человеческих ре-

Техник настройки серверного шкафа

Источник: Wavebreakmedia / Depositphotos.com

сурсов. Все это актуализирует потребность в разработке новых методологических подходов к кадровому обеспечению отраслей экономики.

Система кадрового обеспечения как система деятельности

В рыночной экономике одним из механизмов эффективного использования трудовых ресурсов является рынок труда. Наряду с понятием трудовых ресурсов в экономической науке широко используется и термин кадровых ресурсов или рабочей силы. Соотношение этих понятий в самом общем виде можно отобразить следующей схемой (рис. 1).

Обычно считают, что кадровые ресурсы включают ту часть трудовых ресурсов, которая находится или может потенциально находиться в социально-трудовых отношениях с работодателем. И здесь рынок труда с его институтами (биржи, кадровые агентства, субъекты дополнительного профобразования и т. д.) является ключевым посредником.

Именно по отношению к кадровым ресурсам вводятся понятия профессий, специальностей, профилизации, квалификаций, компетенций и компетентности. Система образования является основным источником соответствующей дифференциации кадровых ресурсов. Но и работодатель, и законодатель, и наука в современном мире все активнее участвуют в этом процессе, обеспечивая превращение кадрового потенциала предприятия, отрасли, страны в целом в их человеческий капитал.

Осуществляемые в обществе деятельности, которые обеспечивают превращение трудовых ресурсов в человеческий капитал отдельных субъектов экономической деятельности мы рассматриваем

Рис. 1.

Рис. 2. Объективизация системы кадрового обеспечения ТЭК как объекта концептуального проектирования [2]

как систему их кадрового обеспечения, обладающую всеми необходимыми атрибутами: эмерджентностью, целостностью, полнотой и т. д. Системой, которую можно исследовать, совершенствовать, которой можно управлять, которую, следовательно, можно и проектировать.

Цифровая трансформация предполагает динамическое развитие всех подсистем. В условиях ускоренного технологического развития образовательная система, поставляющая необходимые бизнесу кадры, выступает в качестве одной из подсистем управления. И она должна быть способна оперативно реагировать на любые вызовы в части обеспечения сбалансированности рынка труда и сохранения динамики роста экономики.

Каждая из отраслей ТЭК имеет свои квалификационные требования. В деятельность по кадровому обеспечению нефтегазовой отрасли в условиях цифровизации вовлечены следующие субъекты:

- потребители (социум, граждане страны, которым не безразличны компетенции специалистов НГК, и естественно, хозяйствующие субъекты НГК);
- поставщики-производители (система государственного и негосударственного профессионального образования, корпоративное образование);
- агенты-посредники (рынок труда с его институтами занятости и их информационными, включая интернет, ресурсами – биржей труда, центрами и службами занятости, профориентации, рекрутинговыми и рекламными, аккредитационными и сертификационными агентствами, консалтинговые компании и др.);
- «строители» институтов: законодатели, общественные некоммерческие организации, профессиональные ассоциации, а именно РССП, WorldSkills Russia, агентства стратегических инициатив, НАРК и т. д.;
- институты-регуляторы – центральные и региональные органы исполнительной власти и подведомственные им структуры (НИИ труда при Минтруде РФ, федеральные органы исполнительной власти ФОИВ: Министерство образования и науки

Сейчас, когда бизнес требует специалистов с междисциплинарными компетенциями, госполитика регулирования образования по нормативам ограничивает необходимое многообразие инструментов

Модель непрерывного инженерного образования, предполагающая не только знания, полученные в вузе, а постоянное приобретение новых квалификаций, пока не принята в нашем бизнес-сообществе

РФ, Минэнерго РФ, Министерство экономики РФ, профсоюзы и т. д.);

- наука как генератор новых знаний, новых компетенций (в том числе педагогических), как институт, дающий методологическую основу системного анализа и оценки обеспеченности НГК требуемыми для его успешной деятельности в условиях Индустрии 4.0 кадрами (Институт проблем нефти и газа РАН РФ, Институт энергетических исследований РАН РФ и другие заинтересованные институты РАН РФ по отраслевому признаку).

Представление системы кадрового обеспечения как системы деятельности позволяет говорить о ней как об объекте управления, а следовательно, объекте проектирования. Кадровое обеспечение как объект проектирования рассмотрен и в «Региональном стандарте кадрового обеспечения промышленного (экономического) роста», разработанном Агентством стратегических инициатив (АСИ) [9]. Несмотря на предпринятую АСИ попытку построения комплексного виденья кадрового обеспечения, в стандарте из внимания выпали важные для нового технологического уклада субъекты: научные организации, являющиеся генераторами передовых технологий и новых компетенций, корпоративные университеты, сервисные структуры рынка труда и т. д.

Предложенный в основе стандарта процессный подход на рис. 3 позволяет синхронизировать деятельность субъектов, вовлеченных в кадровое обеспечение отрасли.

Проектирование системы кадрового обеспечения

Цифровая трансформация всех подсистем рынка труда идет с разной скоростью. Бизнес как драйвер инициирует процесс цифровизации. Соответственно, усиливается несоответствие между потребностями работодателей и компетенциями – знаниями, умениями и навыками выпускников высшей школы и основной массы кадровых работников. Система образования интегрируется в цифровое пространство, а институты рынка труда, аккредитационные и сертификационные

Рис. 3. Процессный подход к кадровому обеспечению региона [3]

агентства, профессиональные сообщества, центры подтверждения квалификаций, консалтинговые компании и т. д., формируются с течением некоторого времени. Тагетирование же нарастающих разрывов и разработка мер по их преодолению «в ручном режиме» становится в условиях цифровых технологий все сложнее или вовсе невозможной. Требуется разработка методологического подхода, способного синхронизировать деятельность всех субъектов по кадровому обеспечению.

Именно программирование – технология, предусматривающая декомпозицию деятельности как объекта проектирования, иначе говоря вычленение относительно автономных наиболее значимых подсистем – деятельностей, обеспечивающих достижение целей второго и последующих уровней, а затем разработку дорожных карт для каждой подсистемы на основе анализа возможных сценариев их развития (во взаимосвязях друг с другом) позволит получить в развернутом виде всю

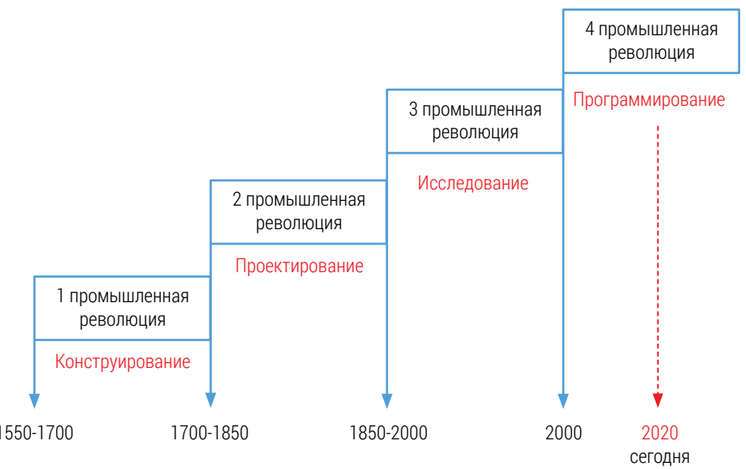


Рис. 4. Эволюция инженерного мышления [5]

Ввиду необычайной сложности системы деятельности по кадровому обеспечению, очертить ее границы, рамки не представляется возможным. На это указывал почти полвека назад один из ведущих в то время специалистов по моделированию сложных систем Н. П. Бусленко [4]. Процесс прорисовки ветвистого дерева целей деятельности (в нашем случае – кадрового обеспечения ТЭК), конструирование на его основе системы разделения труда в виде некоего n-мерного (при $n \to \infty$) графа, связи разнородных узлов которого (отношения между ними) столь же разнообразны, более соответствует не проектированию, а программированию.

Щедровицкий П. Г., размышляя о технологиях инженерного мышления, становившихся доминантными в результате промышленных революций, считает, что каждой промышленной революции соответствует новая технология мышления [5].

многомерную матрицу мероприятий по реализации проекта. Заметим, что именно эта технология взята за основу для национальных проектов программы «Цифровая экономика России» и Национальной технологической инициативы (НТИ).[1]

Национальная технологическая инициатива (НТИ) – государственная долгосрочная комплексная программа по созданию условий для обеспечения лидерства российских компаний на новых высокотехнологичных рынках, которые будут определять структуру мировой экономики в ближайшие 15–20 лет. НТИ развивает свою деятельность по следующим направлениям – AeroNet, AutoNet, MariNet,

[1] Постановление Правительства РФ от 29 сентября 2017 г. № 1184 «О порядке разработки и реализации планов мероприятий (дорожных карт) по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

Рис. 5. Структура мероприятий дорожной карты по кадровому обеспечению нефтегазовой отрасли [предложено автором]

EnergyNet, NeuroNet, SafeNet, HealthNet, FoodNet, FinNet и технологическая группа по развитию передовых производственных технологий –«ТехНет». Для обеспечения глобальной конкурентоспособности российской энергетической системы Минэнерго РФ совместно с Агентством стратегических инициатив и широким кругом заинтересованных сторон разработали дорожную карту Национальной технологической инициативы «Энерджинет», которая была утверждена распоряжением Правительства РФ 28 апреля 2018 г.[2] В развитии инициативы необходимо разработать дорожную карту по ресурсному обеспечению проекта, приоритетным из которых является человеческий капитал. Дорожная карта по кадровому обеспечению нефтегазовой отрасли призвана:

При ускоренном технологическом развитии образовательная система, поставляющая бизнесу кадры, выступает как подсистема управления. И она должна быть способна оперативно реагировать на вызовы

- создать условия для обеспечения потребностей нефтегазовой отрасли России кадрами с новыми компетенциями;
- обеспечить устойчивую связь между корпоративным сектором нефтегазовой отрасли и профессиональным образованием;
- создать информационную базу с целью своевременного закрытия вакансий в отрасли, подбора персонала с узкоспециализированным профилем компетенций, актуализации профессиональных стандартов, профориентации молодежи и повышения престижа профессий нефтегазовой отрасли;
- создания условий для науки, образования и бизнеса к совместным инновационным разработкам;
- повысить производительность труда в нефтегазовой отрасли за счет привлечения квалифицированных специалистов, подготовленных под потребности нефтегазовой отрасли с учетом модернизации ее отрасли.

Мероприятия дорожной карты дают возможность выстроить самоорганизующуюся взаимосвязь между субъектами деятельности рынка труда и системы образования по кадровому обеспечению.

Институциональное обеспечение непрерывного образования с обозначением ключевых результатов и ответственных исполнителей, позволяют преодолеть структурные несоответствия спроса и предложения на рабочую силу, сократить «квалификационную яму» в условиях инновационного развития нефтегазовой отрасли.

Модель непрерывного инженерного образования, предполагающая не только и не столько рихтовку компетенций, однажды полученных инженером в вузе, а постоянное приобретение им новых компетенций, а при необходимости – и квалификаций – пока еще не вполне принята в нашем бизнес-сообществе [6].

Еще совсем недавно считалось само собой разумеющимся, что чем больше стаж работы и, следовательно, накопленный опыт, тем выше квалификация работника, тем он ценнее. Опыт работы, безусловно, является одной из важнейших характеристик квалификации и потому должен прописываться согласно статье 195–1 Трудового кодекса в профессиональных стандартах. В соответствии со статьей 195–1, включенной в декабре 2012 года в Трудовой кодекс, работник, не имеющий опыта работы, не может рассматриваться как обладающий квалификацией. Сегодня этот необходимый опыт отнюдь не всегда пропорционален стажу работы. Но в эпоху цифровой экономики подвергается сомнению, что человеческий капитал напрямую связан с опытом работы и интеллектуальным потенциалом работника. Не всегда инженеры с большим опытом работы могут включиться в высокотехнологичный производственный процесс, наладить коммуникационные связи, перейдя на профессиональный язык.

Институциональное обеспечение непрерывного образования с обозначением ключевых результатов позволяют преодолеть структурные несоответствия спроса и предложения на рабочую силу

Но если общепринятой оценки опыта работы кроме как по стажу работы пока нет, представляется целесообразным, чтобы в профессиональных стандартах допускалась возможность не директивного, а рекомендательного характера записи, касающейся стажа работы. Так же рекомендательно следовало бы в профессиональных стандартах при описании

Таблица 1. Институциональное обеспечение непрерывного образования [предложено автором]

Мероприятие	Ключевой результат	Ответственный исполнитель
3.1. Закрепление нормы непрерывного профессионального образования в макете профессионального стандарта	Актуализация профессиональных стандартов с учетом повышения требований к качеству человеческих ресурсов, модернизации и технологического развития отрасли, появления новых направлений деятельности (инжиниринг, энергоаудит, энергоменеджмент и др.)	Министерство науки и высшего образования РФ, Минэнерго РФ, НАРК, СПК НКГ, профильные образовательные учреждения
3.2. Создать информационную базу при помощи технологий обработки больших данных Big Data, объединяющих данные профильных организаций, образовательных учреждений для актуализации национальной системы квалификаций	Актуальные профессиональные стандарты	Министерство науки и высшего образования РФ, Минэнерго РФ, НАРК, СПК НКГ, профильные образовательные учреждения
3.3. Разработать мероприятия, обеспечивающие становление добровольной системы сертификации квалификаций	Обеспечение отрасли высококвалифицированными кадрами	Министерство науки и высшего образования РФ, Минэнерго РФ, НАРК, СПК НКГ, профильные образовательные учреждения
3.4. Распространение чемпионатов Worldskills и закрепление квалификационных результатов в нормативных квалификационных документах	Соответствие квалификационных экзаменов международным требованиям, что способствует обеспечению отрасли высококвалифицированными кадрами	Министерство науки и высшего образования РФ, Минэнерго РФ, НАРК, СПК НКГ, АСИ, профильные образовательные учреждения
3.5. Развитие коммерческих сервисных институтов рынка труда (кадровый консалтинг)	Построение персональных образовательных траекторий, карьерное планирование	Министерство труда и социального страхования РФ, органы исполнительной власти
3.5. Развитие коммерческих сервисных институтов рынка труда (кадровый консалтинг)	Построение персональных образовательных траекторий, карьерное планирование	Министерство труда и социального страхования РФ, органы исполнительной власти

[2] URL: https://nti2035.ru/markets/energynet (Дата обращения: 01.06.2021).

обобщенных трудовых функций указывать в строке «требования к образованию» периодичность повышения квалификации и профиль соответствующих программ для формирования образовательной траектории развития. Закрепление нормы непрерывного профессионального обучения в макете профессионального стандарта представлено в пункте 4.3 диссертации. Таким образом, профессиональный стандарт может быть переименован в стандарт профессионального развития [7].

Фрагмент дорожной карты по кадровому обеспечению НГК «Институциональное обеспечение непрерывного образования» иллюстрирует важность проектирования деятельности всех субъектов кадрового обеспечения для достижения целей дорожной карты «Энерджинет» по интеграции российской энергетической системы в мировую систему разделения труда.

Вывод

Переход к рыночной экономике расширил перечень субъектов, деятельность которых нацелена на кадровое обеспечение нефтегазовой отрасли. В «Региональном стандарте кадрового обеспечения промышленного (экономического) роста», разработанном Агентством стратегических инициатив, наиболее полно представлены субъекты, которые вовлечены в данный процесс: профессиональные сообщества, аккредитационные и сертифицирующие агентства, центры оценки квалификаций, а также различных форм организованности структуры: АСИ, РСПП, НАРК, СПК, «Волдскиллс Россия» и т. д. С точки зрения автора, в стандарте упущено из внимания участие науки как генератора новых технологий и компетенций, корпоративные университеты, независимые структуры рынка труда, что снижает эффективность системы кадрового обеспечения в целом.

Пересобрать элементы кадрового обеспечения нефтегазовой отрасли на национальном уровне, эффективно зарекомендовавшие себя при плановой экономике, не представляется возможным для достижения лидерства на мировых энергетических высокотехнологичных рынках. Достижение общей цели по формированию ингерентной среды возможно через синхронизацию деятельности всех субъектов системы. Правительство РФ остановило свой выбор по проектированию рыночных систем на основе дорожных карт с указанием плана мероприятий, ответственных структур и ожидаемых результатов. Но несмотря на значительную роль ТЭК в устойчивом развитии страны, в дорожной карте «Энерджинет» отсутствует ресурсное обеспечение проекта. Усилить проект «Энерджинет» и повысить шансы его успешной реализации предлагается посредством разработки дорожной карты по кадровому обеспечению нефтегазовой отрасли. Синхронизировать деятельность субъектов кадрового обеспечения возможно по следующим направлениям дорожной карты: институты рынка труда, система образования, институциональное обеспечение непрерывного профессионального образования, условия реализации кадрового потенциала на корпоративном уровне, интеграция науки, образования и бизнеса и определение источников финансирования проекта.

Использованные источники

1. *Будзинская О. В., Мартынов В. Г. Смена технологического уклада рождает вызов системе образования // Научное обозрение. Серия 1: Экономика и право. 2017. № 4–5. С. 82–94.*
2. *Будзинская О. В., Мартынов В. Г., Шейнбаум В. Г. Кадровое обеспечение ТЭК как объект программирования и проектирования // Социально-трудовые отношения. 4(41), 2020. С. 135–144.*
3. *Кадровый стандарт промышленного (экономического) роста. Электронный ресурс: https://asi.ru/leaders/initiatives/education_leaders/staffing_standard/ (Дата обращения: 05.06.2021).*
4. *Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1978.*
5. *Щедровицкий П. Г. Вызовы III промышленной революции к инженерному вузу. Электронный ресурс: http://www.gubkin.ru/departaments/educational_activities/advanced_training/retaining_effective_teachers/Shablon/Shchedrovitsky%20P.%20G.%20Lecture%2030.05.2016.pdf (Дата обращения: 05.06.2021).*
6. *Новиков А. М. Методология образования. М.: «Эгвес», 2002. 320 с.*
7. *Будзинская О. В., Мартынов В. Г., Шейнбаум В. Г. Не допустить рост энтропии в формирующейся системе квалификаций // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. № 6(174), 2019. С. 46–56.*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Оформить подписку на журнал «Энергетическая политика» на 2021 год можно через филиалы агентства «Урал-пресс», либо в ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. По вопросам подписки звонить по телефону +7-910-463-53-57. Стоимость подписки на полугодие (6 номеров) составит 10 700 рублей.
В каждом номере – аналитические обзоры, авторские колонки, материалы научного и научно-прикладного характера. Будь в курсе основных направлений развития ТЭК!

energypolicy.ru

НАШИ ПАРТНЕРЫ

ПРОМСЫРЬЕИМПОРТ

ГАЗПРОМ НЕФТЬ | СТРЕМИМСЯ К БОЛЬШЕМУ!

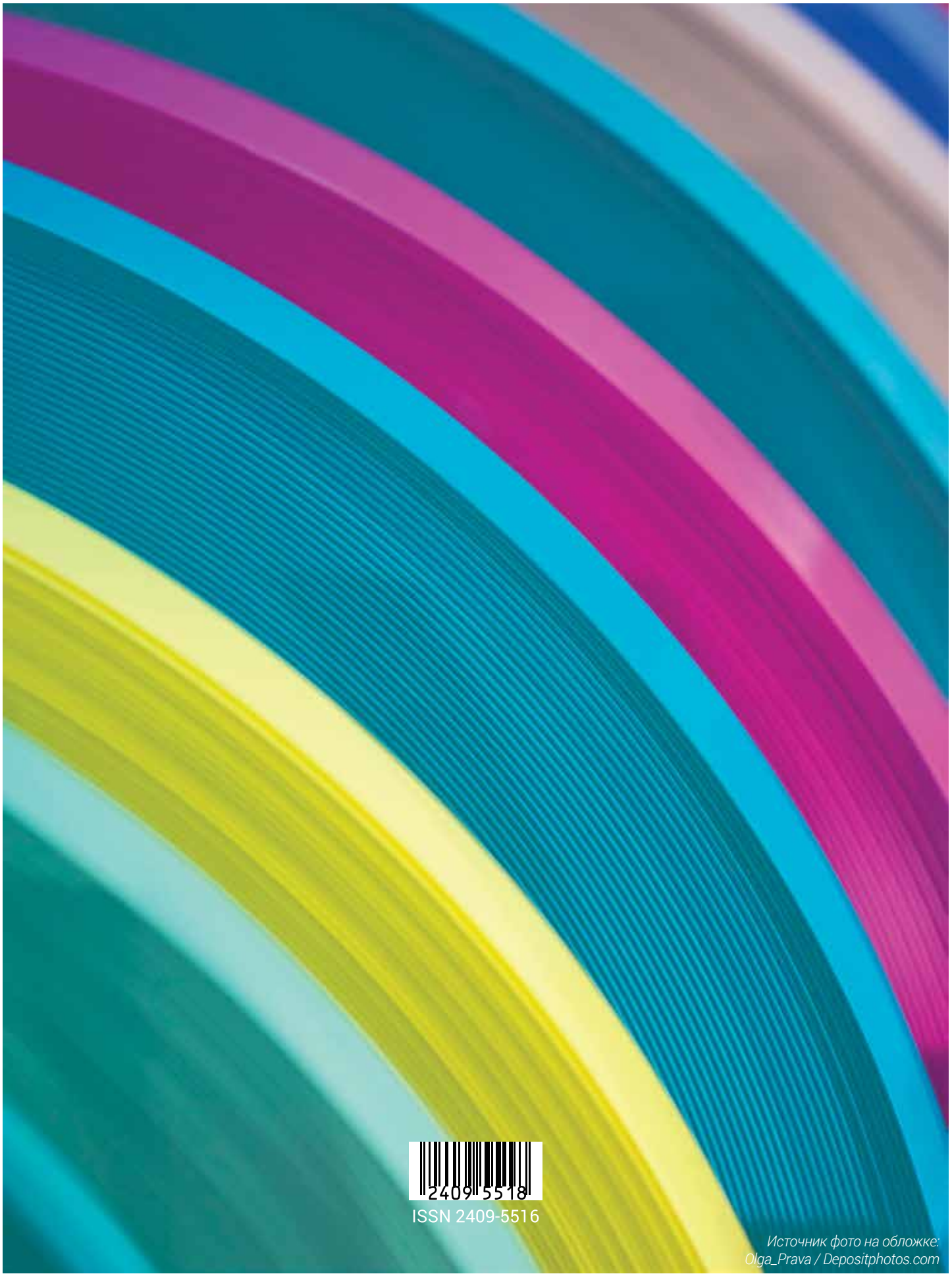
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЗАРУБЕЖНЕФТЬ

ИНТЕР РАОЕЭС энергия без границ

РОССЕТИ

СУЭК СИБИРСКАЯ УГОЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ

БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫЙ ФОНД TATNEFT



ISSN 2409-5516

Источник фото на обложке:
Olga_Prava / Depositphotos.com