РГАСНТИ 44.09.29

ISSN 2409-5516

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№1(179), январь 2023

Тема номера

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИИ И ЕС

Содержание

3 **Слово редакторов**

Безопасность

4 **А. Мастепанов.** Энергетическая безопасность по-европейски

24 **М. Лаврухин.** Терроризм в энергетической промышленности

Атом

38 **С. Чернавский.** Драйверы и тормозы развития ядерной энергетики

56 **М. Альшрайдех, И. Енговатов, А. Морозенко.** Вопросы управления жизненным циклом АЭС

Энергопереход

72 **Н. Попадько, И. Курошев, О. Ежова, Ю. Ухина, А. Пенигин, М. Дымочкина, П. Беловус.** Модернизация добычи нефти на основе технологий улавливания, использования и хранения CO_2

82 **Р. Камаев, О. Шаров, В. Бессель.** Оценка потенциала пеллетной энергетики России

Энергетика

94 **Р. Бердников, Д. Холкин, И. Чаусов.** Оптимизация систем энергоснабжения удаленных и изолированных территорий за счет управления энергетической гибкостью

Contents

3 **Editor's Column**

Security

4 **A. Mastepanov.** Energy security european way

24 **M. Lavrukhin.** Terrorism in the energy industry

Atom

38 **S. Chernavskii.** Drivers and brakes on the development of nuclear energy

56 **M. Alshraydekh, I. Engovatov, A. Morozenko.** The issues of NPP life cycle management

Energy transition

72 **N. Popadko, I. Kuroshev, O. Ezhova, Yu. Ukhina, A. Penigin, M. Dymochkina, P. Belovus.** Modernization of oil production based on carbon capture, use and storage

82 **R. Kamaev, O. Sharov, V. Bessel.** Assessment of the potential of pellet energy in Russia

Energy

94 **R. Berdnikov, D. Kholkin, I. Chausov.** Optimization of energy supply systems for remote and isolated territories through energy flexibility management

УЧРЕДИТЕЛЬ

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

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

ФГБУ «РЭА» Министерства энергетики Российской Федерации

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В. В. Бушуев – д. т. н., проф., г. н. с. ОИВТ РАН
Е. О. Адамов – д. т. н., науч. рук. АО «НИКИЭТ»
В. М. Батенин – член-корр. РАН, д. т. н., проф.
П. П. Безруких – д. т. н., проф. НИУ МЭИ
В. И. Богоявленский – член-корр. РАН, д. т. н., проф., г. н. с. ИПНГ РАН
А. И. Громов – к. г. н., гл. директор по энергетическому направлению Фонда «ИЭФ»
А. Н. Дмитриевский – акад. РАН, д. г.- м. н., научный руководитель ИПНГ РАН
С. А. Добролюбов – акад. РАН, д. г. н., проф., декан географического факультета МГУ
О. В. Жданеев – к. ф.- м. н., зам. ген. директора ФГБУ «РЭА» Минэнерго России
В. М. Зайченко – д. т. н., проф., г. н. с. ОИВТ РАН
М. Ч. Залиханов – акад. РАН, д. г. н., проф., зав. ЦГиЧС КБГУ
В. М. Капустин – д. т. н., проф., зав. кафедрой РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
В. А. Крюков – акад. РАН, д. э. н., директор ИЭОПП СО РАН
А. И. Кулапин – д. х. н., ген. директор ФГБУ «РЭА» Минэнерго России
В. Г. Мартынов – к. г.- м. н., д. э. н., проф., ректор РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
А. М. Мастепанов – акад. РАЕН, д. э. н., г. н. с. АЦЭПБ ИПНГ РАН
Н. Л. Новиков – д. т. н., проф., зам. науч. рук. АО «НТЦ ФСК ЕЭС»
В. И. Рачков – член-корр. РАН, д. т. н., проф.
П. Ю. Сорокин – первый зам. министра энергетики РФ
Д.А. Соловьев – к.ф.-м. н., научный сотрудник Института океанологии РАН
В. А. Стенников – акад. РАН, д. т. н., проф., директор ИСЭ им. Мелентьева СО РАН
Е. А. Телегина – член-корр. РАН, д. э. н., проф., декан фак-та РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
С. П. Филиппов – акад. РАН, д. т. н., директор ИНЭИ РАН
А. Б. Яновский – д. э. н., к. т. н., помощник руководителя администрации президента РФ

Главный редактор Анна Горшкова

Научный редактор Виталий Бушуев

Зам. главного редактора по продвижению Виолетта Локтева

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 ООО «КОНСТАНТА», 308519, Белгородская область, Белгородский р-н, п. Северный, ул. Березовая, 1/12
E-mail: info@konstanta-print.ru

Подписано в печать: 05.01.2023

16+

ГАЗПРОМБАНК

Лучшее создается вместе

Весь спектр банковских услуг

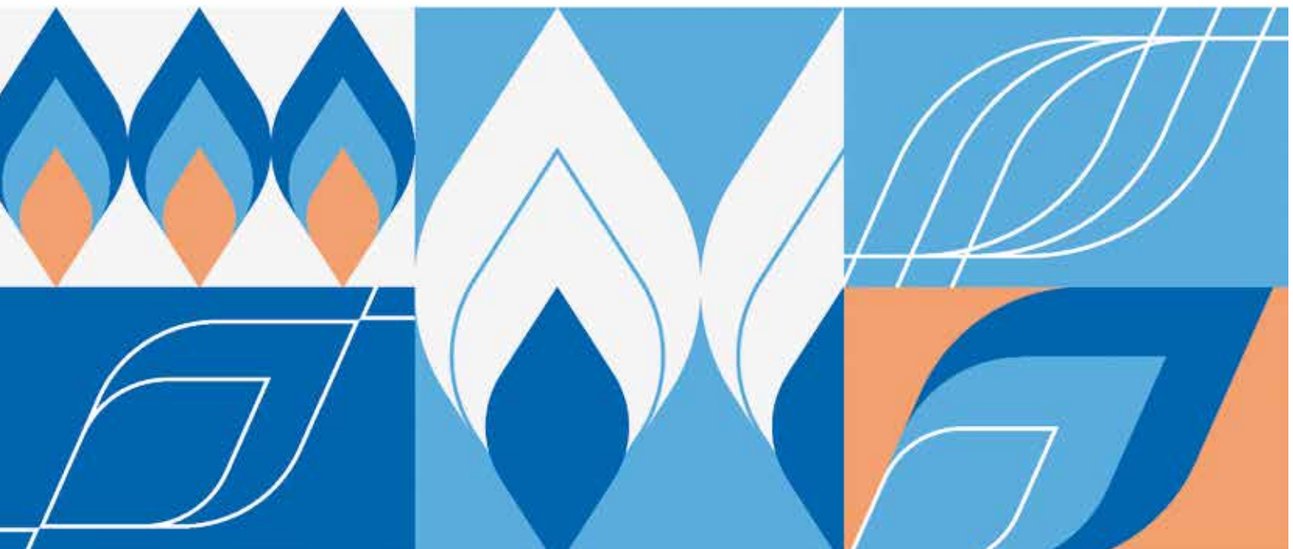
карты | вклады | счета | кредиты

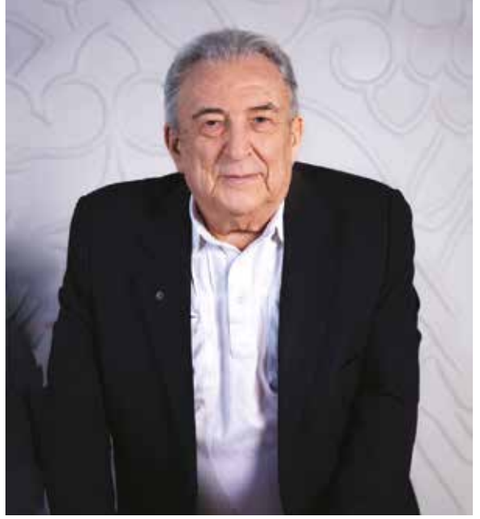
услуги для юр. лиц | страхование

ипотека | рефинансирование

gazprombank.ru

Банк ГПБ (АО). Ген. лицензия ЦБ РФ № 354. Реклама.





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

Анна ГОРШКОВА
Главный редактор журнала
«Энергетическая политика»

Порядок из хаоса

Согласно простой статистике, прошлый год стал достаточно успешным для российского топливно-энергетического комплекса: добыча нефти выросла на 2 %, ее экспорт увеличился на 7 %, производство СПГ – на 8 %, добыча угля – на 0,3 %, производство электроэнергии – на 0,7 %. Однако эти показатели не отражают тот фатально-глобальный перелом, который произошел в 2022 г. не только в российской, но и общемировой энергетике.

Региональный конфликт разрушения и созидания между Россией и Евросоюзом привел к краху годами формировавшегося глобального энергетического рынка. Так что в течение текущего года будут одновременно идти разнонаправленные процессы окончательного разрушения российско-европейских связей и создание новых региональных рынков.

На этом фоне первоочередными вопросами станут уже не новые санкции и контрсанкции, а обеспечение энергетической безопасности, создание новых финансовых механизмов оплаты энергоресурсов, защита национальных энергетических интересов развитыми, развивающими и догоняющими странами и создание альтернативного, частично теневого глобального рынка нефти и нефтепродуктов.

Важными будут и вопросы непубличной гибкости руководства европейских и азиатских стран, а также России, их желания и возможностей приступить к переговорам в рамках уже нового энергетического мира.

Простая статистика в таких случаях, как правило, оказывается не слишком радужной. Возможно, будет зафиксировано снижение добычи нефти или сокращение производства топлива. Но таких показателей не стоит бояться. Лучше верить, что текущий год будет не годом санкций и потрясений, а годом наведения пусть временного, но порядка в мировых энергетических взаимоотношениях.

УДК 620.9 DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179_4 EDN: STFMVZ

Энергетическая безопасность по-европейски

Energy security european way

Алексей МАСТЕПАНОВ
Главный научный сотрудник ИПНГ РАН, д. э. н., профессор РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, академик РАЕН
e-mail: amastepanov@mail.ru

Alexey MASTEPANOV
Chief Researcher of the Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences (OGRI RAS), Dr. of economic sci., professor of the National University of Oil and Gas («Gubkin University»), academician of the Russian Academy of Natural Sciences
e-mail: amastepanov@mail.ru

Здание Еврокомиссии

Источник: sergiodv / depositphotos.com

Аннотация. Статья посвящена анализу энергетической безопасности как одного из базовых понятий современного мира. Показано, что фрагментация глобального пространства и всех международных отношений ставит под сомнение устоявшиеся представления об основных направлениях и мерах обеспечения энергетической безопасности, причём наибольшие трансформации в этой области происходят в настоящее время на европейском пространстве. Проведен анализ эволюции взглядов западных экспертов на проблему энергобезопасности в специфических экономических и геополитических условиях, сложившихся на рубеже XX и XXI веков и в первые десятилетия этого столетия. Проанализированы особенности европейского подхода к обеспечению энергетической безопасности и основные направления стратегии энергобезопасности Евросоюза. Особое внимание уделено анализу решений Евросоюза, направленных на достижение полной независимости от российских энергоносителей, включая природный газ, и последствий такого отказа от них. Предложены некоторые меры, необходимые России для нейтрализации действий, принимаемых Евросоюзом.
Ключевые слова: энергетическая политика, энергетическая безопасность, энергопотребление, энергетический переход, достижение углеродной нейтральности, Евросоюз, диверсификация поставок энергоносителей, независимость от российских энергоносителей, энергетический кризис, пакеты санкций, потолок цен на нефть и газ.

Abstract. The article is devoted to the analysis of energy security as one of the basic concepts of the modern world. It is shown that the fragmentation of the global space and all international relations calls into question the established ideas about the main directions and measures to ensure energy security, and the greatest transformations in this area are currently taking place in the European space. The analysis of the evolution of the views of Western experts on the problem of energy security in the specific economic and geopolitical conditions prevailing at the turn of the XX and XXI centuries and in the first decades of this century is carried out. The peculiarity of the European approach to ensuring energy security and the main directions of the EU energy security strategy are analyzed. Particular attention is paid to the analysis of the decisions of the European Union aimed at achieving full independence from Russian energy carriers, including natural gas, and the consequences of such a rejection of them. Some measures necessary for Russia to neutralize the actions taken by the European Union are proposed.
Keywords: energy policy, energy security, energy consumption, energy transition, achieving carbon neutrality, European Union, diversification of energy supplies, independence from Russian energy carriers, energy crisis, sanctions packages, oil and gas price ceiling.

Введение

Развитие глобальной экономики и энергетики обусловлено не только сугубо экономическими факторами, но и всей совокупностью природно-климатических, социально-экономических, технологических, политических и геополитических условий. Оно находится под воздействием огромного количества самых разных, зачастую разнонаправленных факторов. Это и глобализация, которая, вплоть до последнего времени, была важнейшим из них, и геополитика, и взрывное развитие науки и технологий, в том числе открытие новых источников энергетических ресурсов, демографические процессы и резкий рост социального неравенства, социальные революции и войны. Но особое место в ряду этих факторов принадлежит глобальному потеплению, реакцией на которое стала концепция энергетического перехода, меняющая само представление об энергетике середины XXI века [1]. В последнее время, вплоть до конца 2021 г. считалось, что в ближайшее десятилетие именно глобальные изменения климата и борьба с ними будут основными вызовами для энергетического сектора мировой экономики, хотя не сбрасывалось со счетов и действие геополитического фактора.

Порт Роттердам, Нидерланды

Источник: Foto-VDW / depositphotos.com

Однако в последние годы именно геополитический фактор стал не только определять предстоящее развитие мировой экономики и энергетики, но и повернул вспять целый ряд уже сформировавшихся тенденций мирового развития, резко изменил основные положения энергетической политики ведущих стран, в том числе и представление об энергетической безопасности.

Краткая, но чёткая, характеристика современного этапа дана в ежегодном докладе Валдайского клуба «Мир без сверхдержав», опубликованном 24 октября 2022 г.: «Кризис глобализации, этой универсальной рамки мирового развития, начался ещё в 2000-е гг. Пандемия доказала, что глобализация, как её понимали с 1980-х гг., вполне обратима. Разразившийся в 2022 г. военно-политический кризис в Европе, чрезвычайно опасный и мало предсказуемый рецидив соперничества крупнейших держав, затронул бóльшую часть мира и подвёл черту под моделью отношений, в основе которой лежало представление о взаимозависимости как о благе» [2].

ЕС уже заговорил о трёх стратегиях диверсификации: диверсификации импортных источников газа, диверсификации маршрутов поставок газа и диверсификации источников энергоресурсов как таковых

О серьезных рисках фрагментации мировой экономики на геополитические блоки с различными технологическими стандартами, трансграничными платежными системами и резервными валютами предупредил и МВФ в своём «Обзоре мировой экономики», вышедшем в июле 2022 г. на фоне конфликта на Украине [3, с. 12]. Как было отмечено нами в [1], мир вступает в совершенно новую эру многополярности. Место глобализации занимают бóльший регионализм и фрагментация мировой экономики, которую Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш назвал «раздробленным миром» [4].

Перспектива раздробленной мировой системы стала реальной угрозой уже в середине второго десятилетия этого века[1]. И с тех пор целый ряд внешнеполитических и внешнеэкономических шагов и действий основных акторов мировой экономики и таких привходящих событий как коронавирусная пандемия, сделали эту угрозу практически неизбежной. А нынешний политический кризис вокруг Украины наглядно показал, что возможно всё, даже самое немыслимое. И что без кардинальных преобразований всей системы международных экономических и социально-политических отношений не обойтись.

Подобная фрагментация глобального пространства и всех международных отношений ставит под сомнение устоявшиеся представления об основных направлениях и мерах обеспечения энергетической безопасности. Наибольшие трансформации в этой области происходят в настоящее время на европейском пространстве – в ЕС и странах Европейского союза.

Весь прошлый год тема обеспечения энергетической безопасности была одной из важнейших в энергетической политике Евросоюза и входящих в него государств. Под её флагом принимались исторически важные решения, создавались новые государственные и наднациональные структуры, перекраивались внешнеторговые потоки энергоресурсов.

А что получилось в результате? Цены на внутренних европейских рынках побили все мыслимые и немыслимые рекорды, привели к закрытию не только ряда энергоёмких предприятий, но и десятков простых хлебопекарен и других жизненно важных производств. Жителей призывают уменьшить отопление своих жилищ и зимовать в холодных домах и квартирах, запасаться пледами, свитерами и дровами…Попробуем найти причины таких результатов, разобраться во всём этом.

[1] Отметим, что ещё в 2012 г., задолго до обострения отношений с Западом и активных действий России на мировой геополитической арене, президент РФ В. В. Путин в своём послании Федеральному собранию подчеркнул: «…хочу, чтобы все мы отчётливо понимали: ближайшие годы будут решающими, и, может быть, даже переломными, и не только для нас, а практически для всего мира, который вступает в эпоху кардинальных перемен, а может быть, даже и потрясений. Глобальное развитие становится всё более неравномерным. Вызревает почва для новых конфликтов экономического, геополитического, этнического характера. Ужесточается конкуренция за ресурсы» [5].

Выявление настоящих причин энергокризиса для политической элиты Запада равносильно признанию несостоятельности если не самого энергоперехода, то, по крайней мере, мер по его реализации

Энергетическая безопасность в системе национальной безопасности

В сложившихся на рубеже XX и XXI веков экономических и геополитических условиях, в силу значимости энергии для развития общества, энергетическая безопасность стала важнейшей составляющей национальной безопасности любого государства. При этом в последние десятилетия под энергетической безопасностью «во всём цивилизованном мире» понималось, прежде всего, надёжное и бесперебойное снабжение потребителей топливом и энергией в необходимых объёмах и требуемого качества по экономически прием-

Нефтяной танкер в порту Роттердам, Нидерланды

Источник: Foto-VDW / depositphotos.com

Согласно анализу Еврокомиссии, план REPowerEU по снижению зависимости от российских энергоресурсов потребует дополнительных инвестиций в размере 210 млрд евро в период до 2027 г.

лемым ценам[2]. Эти две основных составляющих энергетической безопасности – бесперебойное снабжение и приемлемые цены – подчёркнуты и в основном труде МЭА – WEO-2022, опубликованном в конце октября 2022 г. В нём МЭА подтвердило, что энергетическая безопасность – это не только наличие бесперебойного доступа к энергии, но и обеспечение поставок энергии по доступной цене[3] [9].

Соответственно, понятие «энергетическая безопасность» в развитых странах – импортёрах энергоресурсов стало всё чаще связываться не столько с политикой всесторонней защиты национальной экономики от возможных перебоев в поставках топлива и энергии, сколько с гарантиями получения их из зарубежных источников в обмен на предоставление экспортёрам доступа на свои энергетические рынки. Иными словами, усилилось понимание того, что решение проблемы энергетической безопасности находится на путях экономического сотрудничества [6].

В 2010-е гг. под воздействием глобализации и изменений социально-политической ситуации в мире во взглядах западных экспертов на проблему энергобезопасности происходит дальнейшая эволюция. Как отмечается, например, в World Energy Outlook 2009, «озабоченности, касающиеся энергетической безопасности, определяемой как доступ к адекватному, посильному и надёжному снабжению энергией, возникают время от времени, внося изменения в международную энергетическую систему и новое понимание рисков и возможной цены нарушения энергоснабжения» [10]. Тем самым, по мнению МЭА, проблема энергетической безопасности сейчас состоит не в отсутствии энергоресурсов, а в обеспечении доступа к этим ресурсам. Соответственно, из этого вытекает обострение мировой конкуренции за права и условия этого доступа[4].

Обобщая имеющиеся исследования в этой области и применяемую практику решения возникающих проблем, связанных с обеспечением энергетической безопасности, нами ещё в 2015 г. был сделан следующий вывод – основными угрозами глобальной энергетической безопасности на современном этапе выступают так называемые системные вызовы, которые охватывают не только всю хозяйственную деятельность человечества, но и её социально-политические аспекты, определяя глубинную природу основных угроз надёжному и бесперебойному энергообеспечению человечества (рис. 1) [12].

Причин дальнейшего изменения подходов к энергетической безопасности было несколько: это политическая нестабильность в отдельных регионах планеты, отсутствие общепризнанных регулирующих международно-правовых механизмов, несовершенство инфраструктуры и однобокость географии трубопроводных маршрутов при недостаточно развитой

[2] Безусловно, в разных странах проблема энергобезопасности понимается и трактуется по-разному. И отличия эти вызваны не только тем, что по отношению к энергетическим ресурсам одни государства выступают как их экспортёры, а другие как импортёры. На характер понимания проблемы влияет множество факторов, в том числе и то, что в современных условиях понятие «энергетическая безопасность» существенно расширилось. Подробнее см., напр., [6–8].

[3] «Energy security is not just about having uninterrupted access to energy, but also about securing energy supplies at an affordable price» – [9, p. 184].

[4] О становлении и развитии понятия энергетическая безопасность и мер по её обеспечению, об эволюции взглядов на эту проблему в конце XX – начале XXI столетий см., напр., [6, 7, 9, 11–13].

Ветряная электростанция. Северное море, Дания
Источник: В Мастепана - chungking / depositphotos.com

Рис. 1. Совокупность вызовов, с которыми столкнулась энергетика в начале XXI века, и важнейшие объективные причины их возникновения

Источник: [12]

системе морских перевозок природного газа [7]. К этому же времени проблемы национальной, региональной, мировой энергетической безопасности становились всё сложнее и сложнее: ужесточалась конкуренция за доступ к энергетическим ресурсам, усиливались государственное регулирование и контроль как на энергетических рынках, так и на маршрутах транспортировки энергоносителей, возрастала степень неадекватной реакции на угрозы энергетической безопасности со стороны правительств некоторых развитых стран, прежде всего, США.

Очередная трансформация взглядов на проблему обеспечения энергетической безопасности связана с прогрессирующим ухудшением состояния окружающей среды, и глобальными изменениями климата, и озабоченностью общества по поводу дальнейшего использования ископаемого топлива.

Отсюда – повышенное внимание к проблеме устойчивого развития экономики и энергетики в трактовке этой проблемы Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992). Понятие «устойчивое развитие» начало применяться и при исследовании проблем энергетической безопасности, а сама энергобезопасность стала общим термином для обсуждения любых вопросов, связанных с энергоснабжением, спросом на энергию, экологическими аспектами, связанными с энергетикой, ценами на энергию и др.

Одновременно растёт также понимание того, что глобальной угрозой энергетической безопасности является низкая энергоэффективность экономик развивающихся стран, а также чрезмерное потребление энергоёмких материальных благ в экономически развитых странах, ведущие к необоснованному росту спроса на энергоресурсы.

Авторам REPowerEU не откажешь в амбициозности. По их словам, план ускорит переход ЕС на чистую энергию, что в итоге снизит цены на энергоносители и глобальный спрос на ископаемое топливо

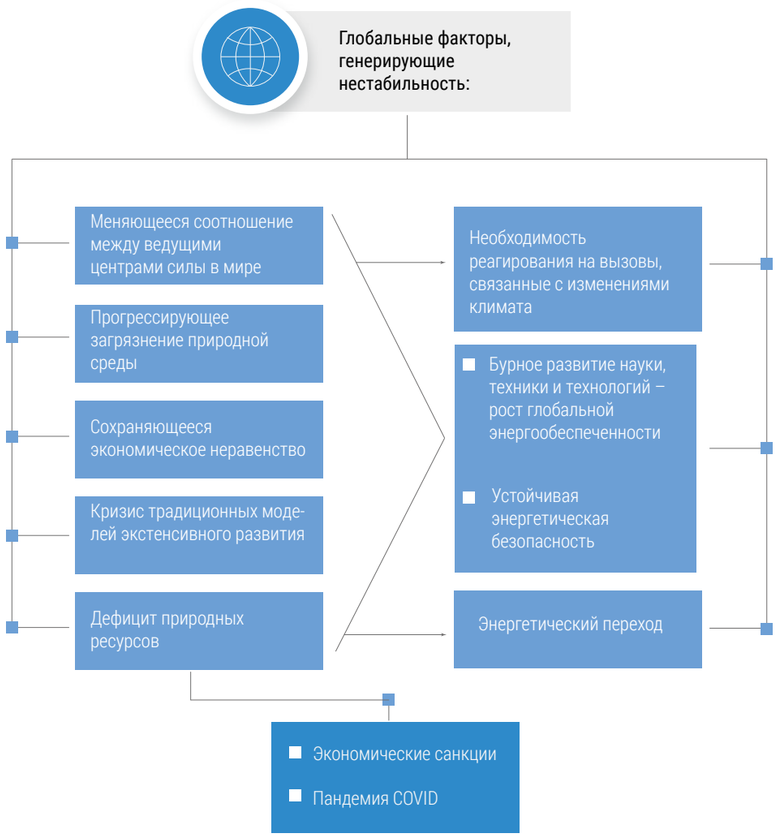


Рис. 2. Новое звучание ситуации в мире во втором десятилетии XXI века

Тем самым родилось новое понятие – «устойчивая энергетическая безопасность», охватывающее проблемы как энергетической устойчивости, так и энергетической безопасности. Взаимосвязи основных причин и факторов, приведших к его становлению, показаны на рис. 2.

Эволюция понятия «энергетическая безопасность» и мер её обеспечения в ЕС

Европейские страны, особенно члены Евросоюза, с их сильной зависимостью от импорта энергоресурсов, основными угрозами своей энергетической безопасности традиционно считали именно эту зависимость, а также высокие цены на нефть и их колебания. Соответственно, необходимыми условиями обеспечения энергобезопасности назывались «предсказуемые и стабильные [политические] режимы [в странах-экспортёрах энергоресурсов], устойчивая и понятная система налогообложения», отсутствие «несправедливых административных барьеров». Из подобного понимания вытекали и меры обеспечения безопасности: открыть рынки ресурсных стран для инвестиций, снять любые ограничения на экспорт энергоресурсов, предоставить полную информацию о запасах нефти, сделать прозрачным процесс управления государственными доходами от продажи энергоресурсов [14].

Исходя из изложенного выше понимания энергобезопасности, в Евросоюзе длительное время основными направлениями стратегии её обеспечения были развитие внутреннего энергетического рынка и рост энергоэффективности, увеличение национального производства возобновляемых видов энергии и диверсификация поставок энергоносителей. Одновременно продолжался процесс осознания того, что решение проблемы энергетической безопасности находится на путях экономического сотрудничества[5].

Другой особенностью европейского подхода, характерной для ЕС, стала передача вопросов обеспечения энергетической безопасности со странового уровня на наднациональный. Если до 2005–2007-х гг. Европейская комиссия, парламент и Совет ЕС принимали документы, которые регулировали лишь энергетическую политику Евросоюза в целом и отдельные вопросы энергообеспечения стран-членов[6], то в последующие годы они всё больше и больше стали определять практически всю политику в этой области. В частности, в 2008 г. Еврокомиссия подготовила «Energy Security and Solidarity Action Plan» [17], в котором были изложены не только стратегические цели ЕС в области энергетики и обеспечения энергетической безопасности сообщества, но и конкретные задачи, и планы в этой области. В 2014 г. в ЕС была принята Стратегия энергетической безопасности (European Energy Security Strategy), подтверждающая необходимость снижения зависимости от «отдельных видов топлива, поставщиков и маршрутов». В ней перечислены и основные направления достижения этой цели: дальнейшее повышение энергоэффективности экономики, развитие ВИЭ, более широкая диверсификация поставщиков и инфраструктуры с акцентом на импорт СПГ из стран Северной Америки и Катара [18].

В целом же, как уже было отмечено выше, в течение последних 20 лет основными направлениями стратегии энергобезопасности ЕС являлись:

- развитие внутреннего энергетического рынка и рост энергоэффективности;
- увеличение национального производства возобновляемых видов энергии;
- диверсификация поставок энергоносителей.

Однако уже после «первой российско-украинской газовой войны» (2006 г.)[7], основной угрозой энергетической безопасности ЕС всё больше и больше стала считаться зависимость от поставок российских энергоресурсов, особенно природного газа.

Газовый конфликт, в результате которого страны Европы ощутили энергетическую беспомощность, стал поводом к переосмыслению ситуации. От прекращения поставок газа экономические и политические потери несёт не только РФ: такие действия, в случае их повторения, поставят под угрозу имидж правительств стран ЕС. Население этих стран, привыкшее к определённым стандартам жизни, проявило антироссийские настроения, побудило искать иные способы обеспечения энергобезопасности [21, с. 31].

После же кризиса и государственного переворота 2014 г. на Украине и нового вит-

СПГ-терминал в Испании
Источник: libremercado.com

[5] Так, в преддверии петербургского саммита "Большой восьмёрки" председатель Европейской комиссии Жозе-Мануэль Баррозу сделал в июле 2006 г. следующий, весьма важный вывод: «Энергетическая безопасность – это всемирная проблема, которая требует глобального решения" [15]. В этой связи уместно привести и оценку этого процесса, сделанную признанным авторитетом в области энергетики, международной политики и экономики Даниелом Ергиным (Daniel Yergin): «Реальная энергетическая безопасность требует отказаться от несбыточной мечты об энергетической независимости и примириться с взаимозависимостью» [16].

[6] Основные из них – так называемые «зеленые книги» по стратегии безопасности обеспечения ЕС энергией: «Green Paper. Towards a European strategy for the security of energy supply», изданная в 2000 г., «Green Paper on Energy Efficiency or Doing More With Less» 2005 г. и «Green Paper. A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy» 2006 г.

[7] Детальное рассмотрение причин этого конфликта и других проблем в газовых взаимоотношениях между Россией и ЕС, не входит в круг задач этой работы. Отметим лишь, что свою долю ответственности за них несут обе стороны. Подробнее вопросы европейской энергобезопасности и место в их обеспечении России рассмотрены в [19 и 20].

ка напряжённости в отношениях с Россией, тезис о необходимости диверсификации поставок газа и снижения зависимости от России зазвучал с новой силой[8].

Речь уже идёт о трёх стратегиях диверсификации: диверсификации импортных источников природного газа, диверсификации маршрутов поставок природного газа и диверсификации источников энергоресурсов как таковых [22]. В развитие тезиса о диверсификации была выдвинута и идея создания Энергетического союза ЕС, подразумевающего, что его члены (страны ЕС) будут вести переговоры с поставщиками энергии единым блоком [22–25].

СПГ-танкер
Источник: akiyoko74 / depositphotos.com

Одновременно украинские события вновь, хотя и с других позиций, подтолкнули западных политиков к пониманию если не глобальности энергетической безопасности, то необходимости скоординированных совместных действий по её обеспечению. Это хорошо видно из рекомендаций странам G7 по укреплению энергобезопасности, разработанных американским Институтом анализа глобальной безопасности (Institute for the Analysis of Global Security) в мае 2014 г. [22]. Среди них:

- диверсификация транзитных маршрутов природного газа, особенно, снижающих зависимость от Украины, которая зарекомендовала себя ненадёжным транзитёром («Поэтому в интересах Европы поддерживать – а не против – новые коридоры для российского газа, такие как газопровод «Южный поток»»);
- продвижение «большой» энергетической сделки с Турцией. Странам G-7 следует развивать и поощрять грандиозную сделку с Турцией, которая с одной стороны поддерживает стремление Турции стать сухопутным мостом для энергоресурсов Каспия и восточного Средиземноморья, а с другой – подвигает Турцию облегчить транзит танкеров с СПГ через свои проливы;
- необходимость нахождения Европой правильного баланса между стратегиями экологической и энергетической безопасности;
- поощрение межтопливной конкуренции на рынке автомобильного топлива;
- создание мощного ледокольного флота, включая строительство атомных ледоколов, для развёртывания будущей коммерческой, включая нефтегазовую, и военной деятельности в Арктике;
- многонациональное сотрудничество в целях подготовки энергетических систем для отражения кибератак и др.

В последние десять лет в энергетической политике ЕС и входящих в его состав основных государств на передний план выходит решение климатической проблемы. При этом, через энергетический переход и достижение углеродной нейтральности, по мнению европейских политиков, будет кардинально решаться и основная задача энергобезопасности – резкое снижение зависимости от импортных энергоресурсов. В декабре 2019 г. Европейский совет одобрил «Европейскую зелёную сделку» (European Green Deal) – масштабную долгосрочную стратегию социально-экономического развития, разработанную Европейской комиссией. Основная цель принятия этого документа заключается в достижении климатической нейтральности к 2050 г. и реализации энергетического перехода с целью создания возможностей для экономического и промышленного роста при одновременном снижении зависимости от импортных энергоресурсов[9].

Однако недооценка объективных сложностей реализации принятого «зелёного курса» (European Green Deal) по достижению климатической нейтральности к 2050 г. за счёт декарбонизации экономики, вызванные этим просчёты в формировании сбалансированной энергетики будущего, вкупе с другими объективными и субъективными причинами, фактически подорвали энергобезопасность ЕС и привели в 2021 г. к масштабному энергетическому кризису. В общем виде выявленные нами основные причины и факторы глобального и регионального характера, вызвавшие этот энергетический кризис, показаны на рис. 3.

Однако признать вышеназванные причины и факторы развития энергетического кризиса для политической элиты Запада, особенно ЕС, равносильно признанию несостоятельности если не самой концепции энергетического перехода, то, по крайней мере, мер по её реализации. Гораздо проще в качестве основной причины энергетиче-

[8] В этой связи интересно привести мнение известного специалиста в области энергетической безопасности, заведующего кафедрой политологии Университета Святого Томаса (Сент-Пол, Миннесота, США), профессора Стивена Хоффмана: «В Западной Европе проблема заключается не столько в поставках как таковых, а в нестабильности отношений между Россией и транзитными государствами – Украиной и Беларусью (в настоящее время устранено в результате строительства новых трубопроводов в обход этих стран)» [21].

[9] Детальный анализ «Европейской зелёной сделки» дан в [26, 27]. В [26] рассмотрена и эволюция основных приоритетов энергетической политики ЕС в 1990–2020 гг.

Рис. 3. Основные причины и факторы глобального и регионального характера, вызвавшие энергетический кризис 2021 г.

Источник: [28]

Идея Еврокомиссии при введении 8-го пакета санкций заключалась в том, чтобы Россия не могла получать сверхдоходы от энергоносителей, но при этом не страдали покупатели, не входящие в ЕС

ского кризиса назвать действия России, ОПЕК или Китая, что и было сделано.

Энергетический кризис, начавшийся в Европе в результате поспешных и непродуманных действий Еврокомиссии и стран ЕС в стремлении ускоренными темпами достичь углеродной нейтральности, принявший глобальный характер, вывел энергетическую безопасность и доступность энергоресурсов на передний план не только в рамках энергетической политики, но и во всей системе международных отношений.

Как отметил в связи с этим журнал Foreign Policy, «В реальности же провалы европейской энергетической политики по своей сути куда более сложны и имеют весьма отдалённое отношение к спорам вокруг возобновляемых источников энергии и ископаемого топлива. Энергетическая безопасность требует выверенного баланса рыночных сил, технологий, политики и геополитики. Истина заключается в том, что нынешнему энергетическому кризису поспособствовали как рыночная идеология правых, так и подавление рынка левыми» [29, 30].

Отказ от российских энергоресурсов – как новый фактор обеспечения энергобезопасности ЕС

Оголтелая русофобия, поднявшаяся в связи со специальной военной операцией России на Украине, ещё больше усложнила все рассмотренные выше процессы.

Обвинив, как водится, в возникновении энергетического (в первую очередь – газового) кризиса Россию, Евросоюз, «под флагом энергетической безопасности», принимает целый ряд решений, направленных на то, чтобы сделать Европу независимой от российских ископаемых видов топлива. Причём политические спекуляции на тему обеспечения энергобезопасности получили

Газопровод «Ямал – Европа» *Источник: nerulife.ru*

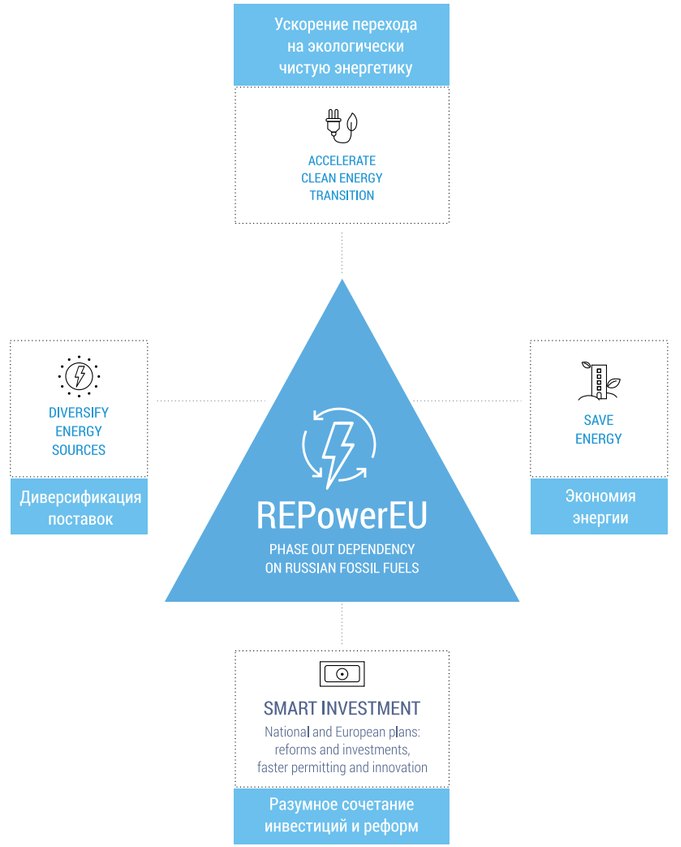


Рис. 4. REPowerEU – план поэтапного отказа от российского ископаемого топлива *Источник: [35]*

в ЕС такое распространение, что впору говорить о новом – спекулятивном – измерении понятия «энергетическая безопасность».

На волне русофобии и в угаре от «атлантической солидарности», запугивая себя и граждан своих стран угрозой прекращения поставок Россией природного газа, руководство Евросоюза один за другим принимает ряд мер, направленных на развал энергетического сотрудничества с Россией и отказ от российских ископаемых видов топлива, включая природный газ [31]. Так, 8 марта Европейская комиссия представила наброски плана «по обеспечению независимости Европы от российского ископаемого топлива задолго до 2030 г.», получившего название REPowerEU. 18 мая REPowerEU, призванный стать общей программой ЕС по «избавлению европейской энергетики от углеводородов российского президента Владимира Путина» [32], принимается Еврокомиссией. В рамках этого плана намечено прекратить импорт угля в ЕС из России с 10 августа 2022 г., нефти – с конца 2022 г., а импорт российского природного газа сократить в три раза к концу 2022 г.

План REPowerEU, по заявлению его авторов, «устанавливает ряд мер по быстрому снижению зависимости от российского ископаемого топлива и ускорению «зеленого перехода», одновременно повышая устойчивость энергетической системы всего Евросоюза. Он подкреплен финансовыми и юридическими мерами по созданию новой энергетической инфраструктуры и системы, в которых нуждается Европа»

[33]. Согласно анализу Еврокомиссии, план REPowerEU потребует дополнительных инвестиций в размере 210 млрд евро в период до 2027 г. Основные направления снижения зависимости от российских энергоресурсов, в соответствии с этим планом, показаны на рис. 4.

Не откажешь авторам плана REPowerEU и в амбициозности. По их словам, «план REPowerEU ускорит переход Европы на чистую энергию, что в конечном итоге снизит цены на энергоносители и глобальный спрос на ископаемое топливо. ЕС поможет ускорить глобальный переход к «зелёной и справедливой энергетике» для обеспечения устойчивой, безопасной и доступной энергии для всего мира [34].

20 июля Еврокомиссия предложила новый законодательный инструмент и план добровольного сокращения спроса на газ. И уже 26 июля страны ЕС на уровне министров энергетики достигли политического соглашения о его принятии – добровольном сокращении спроса на природный газ на 15 % по сравнению со средним потреблением за последние 5 лет в период с 1 августа 2022 г. по 31 марта 2023 г. [31]. Вскоре это соглашение было принято Советом ЕС.

В этом же направлении действуют и принятые ЕС один за другим пакеты антироссийских санкций:

- второй (25 февраля), которым были запрещены поставки товаров и технологий для нефтепереработки;
- третий (28 февраля), согласно которому запрещён экспорт в Россию некоторых товаров и услуг нефтяного сектора;
- четвёртый (15 марта), вводящий запрет на новые инвестиции в российский энергетический сектор (за исключением ядерной энергетики), и санкции против крупнейших нефтяных компаний – «Роснефть», «Транснефть», «Газпром Нефть». Запрет распространяется на все инвестиции, передачу технологий и финансовые услуги, связанные с разведкой и добычей энергоресурсов;
- пятый (8 апреля), предусматривающий запрет на закупку, импорт или перевозку угля и других твердых ископаемых видов топлива в ЕС, если они происходят из России или экспортируются из России (вступление его в силу предусмотрено с августа 2022 г.);
- шестой (3 июня), который предусматривает частичное эмбарго на российскую нефть (в течение 6 месяцев Евросоюз намерен отказаться от импорта российской нефти, в течение 8 месяцев – от импорта нефтепродуктов);
- седьмой (21 июля), которым Евросоюз решил вывести из-под ограничений финансовые трансакции для оплаты поставок российской нефти в третьи страны;
- восьмой (6 октября), включающий сохранение запрета на транспортировку российской нефти с декабря 2022 г. и нефтепродуктов российского происхождения (с февраля 2023 г.) в третьи страны, а также предоставление связанных с ней финансовых и иных услуг. Им также вводится в действие договоренность стран G7 о введении потолка цен на нефть из России, достигнутая 2 сентября на встрече министров финансов государств этого объединения, который должен начать действовать с 5 декабря для сырой нефти и с 5 февраля 2023 г. для нефтепродуктов. Идея Еврокомиссии заключалась в том, чтобы Россия не могла получать сверхдоходы от своих энергоносителей, но при этом не страдали их покупатели, не входящие в Евросоюз. Ограничения включают «запрет на страхование и финансирование танкеров, перевозящих российскую нефть по цене выше согласованного предела»[10].
- девятый (16 декабря) усиливает уже существующий запрет новых инвестиций в энергетику России, дополнительно запрещая новые инвестиции в российский горнодобывающий сектор, за исключением деятельности, связанной с некоторыми важнейшими видами сырья. Добавлены в него и положения о подтверждении запрета с 5 февраля 2023 г. передачи, продажи или транспортировки нефтепродуктов в другие государства-члены ЕС или в третьи страны, которые получены, в порядке временного исключения, из сырой нефти, импортируемой из России рядом стран по трубопроводу (а для Болгарии – и морским транспортом). В то же время, «в порядке отступления от этого запрета», «в духе солидарности с Украиной» Венгрии, Словакии и Болгарии позволяется экспортировать в Украину «определенные нефтепродукты, полученные из российской сырой нефти, в том числе, при необходимости, транзитом через другие государства-члены» [37].

Одновременно с отказом от российских углеводородных ресурсов в ЕС и других западных странах широким фронтом идёт поиск средств, методов и механизмов укрепления энергетической безопасности

Авария на «Северном потоке»
Источники: «Российская газета», Danish Defence Command, AP

[10] Согласованный потолок цен на нефть из России на уровне 60 долларов за баррель Евросоюзом был установлен только 3 декабря 2022 г. Затем к этому решению ЕС присоединились страны G7 (США, Канада, Великобритания, Франция, Германия, Италия и Япония) и Австралия [36].

ЕС ищет варианты строительства газопроводов из Африки в Европу
Источник: minervastock / depositphotos.com

Цель ЕК – доказать, что обеспечение энергобезопасности Европы возможно только при полном отказе от любых энергоносителей из России. Это делается в том числе через официальные прогнозы МЭА

С конца сентября 2022 г. в ЕС обсуждалось также предложение 15 стран Евросоюза о введении потолка цен на весь импортируемый газ, однако дискуссии по этому вопросу шли ещё тяжелее, чем по потолку цен на нефть. В результате заблокировано введение механизма коррекции рынка, который должен был заработать с 1 января. И только 19 декабря, фактически в канун нового 2023 г., страны ЕС согласовали потолок цен на газ, который будет введен с 15 февраля – 180 евро за МВт·ч[11].

Причём, введён при условии, если фьючерс на крупнейшем европейском газовом хабе TTF в течение трёх дней не только превысит этот уровень, но и оторвётся от цен СПГ больше чем на 35 евро. Но и это решение было принято не единогласно: несколько стран Евросоюза проголосовали «против».

Вместе с тем ещё 24 ноября на внеочередном заседании Совет ЕС по энергетике согласовал регламент о совместных закупках газа. В коммюнике по итогам заседания отмечается: «Новые правила позволят государствам-членам и энергетическим компаниям совместно закупать газ на мировых рынках. Объединение спроса на уровне ЕС гарантирует, что страны Евросоюза будут иметь лучшие рычаги воздействия, когда дело доходит до покупки газа на мировых рынках, и что

[11] Порядка 2003 доллара за тысячу кубометров, исходя из курса евро к доллару по состоянию на 20 декабря 2022 г.

государства-члены не будут конкурировать друг с другом в этом процессе». В то же время в коммюнике подчеркивается: «Государства-члены особо уточнили, что российский газ будет исключен из совместных закупок» [38].

Реакция России на введение потолка цен на российские экспортные энергоресурсы давно известна. О ней неоднократно говорили и президент России В. В. Путин, и заместитель председателя Правительства РФ А. В. Новак, и другие официальные лица [39–44].

Так, ещё 1 сентября 2022 г., комментируя мнение Вашингтона, что потолок цен позволит снизить мировые цены на нефть,

Подводные газопроводы
Источник: bennymarty / depositphotos.com

А. В. Новак подчеркнул, что внедрение данного механизма «разрушит рынок полностью», а «Россия прекратит поставки нефти и нефтепродуктов странам, которые введут потолок цен на российскую нефть» [39].

Спустя неделю, на сессии Восточного экономического форума В. В. Путин, комментируя идеи стран Запада ограничить цены на российские энергоносители, высказался ещё более чётко: «Вообще не будем ничего поставлять, если это противоречит нашим интересам и, в данном случае, экономическим. Ни газ не будем поставлять, ни нефть, ни уголь, ни топочный мазут не будем поставлять» [41]. Соответствующий Указ Президента Российской Федерации, формулирующий ответные действия России на введение этого потолка цен, опубликован в конце декабря 2022 г. [45].

Что же касается потолка цен на российский газ, то, по словам пресс-секретаря президента РФ Д. Пескова, реакция России на газовые решения ЕС будет аналогична действиям Москвы по нефтяному вопросу. «Здесь принципы те же. Это нарушение рыночного процесса рыночного ценообразования, посягательство на него. Любые ссылки на потолок неприемлемы. Потребуется время, чтобы тщательно взвесить за и против. Чуть-чуть затянулся процесс по нефти», – сказал он [43].

Одновременно с отказом от российских углеводородных ресурсов в ЕС и других европейских странах широким фронтом идёт поиск средств, методов и механизмов укрепления энергетической безопасности. В частности, в этих целях принимаются новые законы и подзаконные акты, направленные на укрепление энергобезопасности, которые охватывают меры по реформированию энергетических систем и снижению их зависимости от ископаемого топлива, волатильности цен на него, внедрению технологий улавливания, использования и хранения углерода (CCUS), использования водорода и др.

При этом главная цель всей этой деятельности – доказать, что обеспечения энергобезопасности Европы можно добиться только полным отказом от импорта любых энергоносителей из России. Это делается и через официальные прогнозы МЭА [46], и через статьи и интервью с «крупными энергетическими авторитетами» – организациями (Атлантический совет – [47]), и личностями (с тем же Д. Ергиным – [48]).

Более того, своими прогнозами МЭА фактически подталкивает ЕС к ускоренному отказу от российского природного газа, «рисуя» радужные возможности его замены. Так, в своём последнем World Energy Outlook 2022, в сценарии объявленных обязательств[12], МЭА утверждает, что экспорт российского трубопроводного газа в Европейский союз полностью прекратится уже к 2030 г. без особого ущерба для его экономики [46].

Соответственно, и рекомендации для резкого снижения зависимости Европы от российских нефти и газа разрабатываются не только самими европейскими структурами, но и различными международными организациями. Так, то же МЭА в начале марта 2022 г. разработало и представило общественности план по снижению зависимости Евросоюза от российского газа, состоящий из 10 пунктов (или шагов), реализация которых могла бы позволить ЕС сократить импорт газа из России более чем на 50 млрд м^3 уже до конца 2022 г. [49].

Практически одновременно свои предложения по укреплению европейской энергетической безопасности, касающиеся неотложных (реализуемых в период до предстоящей зимы), среднесрочных (рассчитанных на 1–3 года) и долгосрочных мер, разработал и представил Центр глобальной энергии Атлантического совета [50].

А в декабре 2022 г. МЭА специально для ЕС подготовило доклад «Как избежать нехватки газа в Европейском союзе в 2023 г.» (How to Avoid Gas Shortages in the European Union in 2023). Этот доклад исполнительный директор МЭА Фатих Бироль представил 12 декабря вместе с президентом Европейской комиссии Урсулой фон дер Ляйен на пресс-конференции в Брюсселе накануне внеочередной встречи министров энергетики ЕС 13 декабря и заседания Европейского совета 15 декабря [51]. Система мер, предусмотренная этими планами, предложениями и докладами, показана на рис. 5.

Обойдётся ли Европа без российского газа? И официальными структурами, в том числе аналитическими центрами, и отдельными экспертами высказываются различные утверждения по этому поводу, но большинство из них, безусловно, правы – да, в значительной мере может обойтись! Как быстро, в какой степени, и какой ценой – это другое дело (заметим: и дело – не наше, дело европейское: у нас и своих дел хватает).

[12] Сценарий объявленных обязательств (The Announced Pledges Scenario – APS) исходит из того, что все цели, объявленные правительствами, выполняются вовремя и в полном объеме [46].

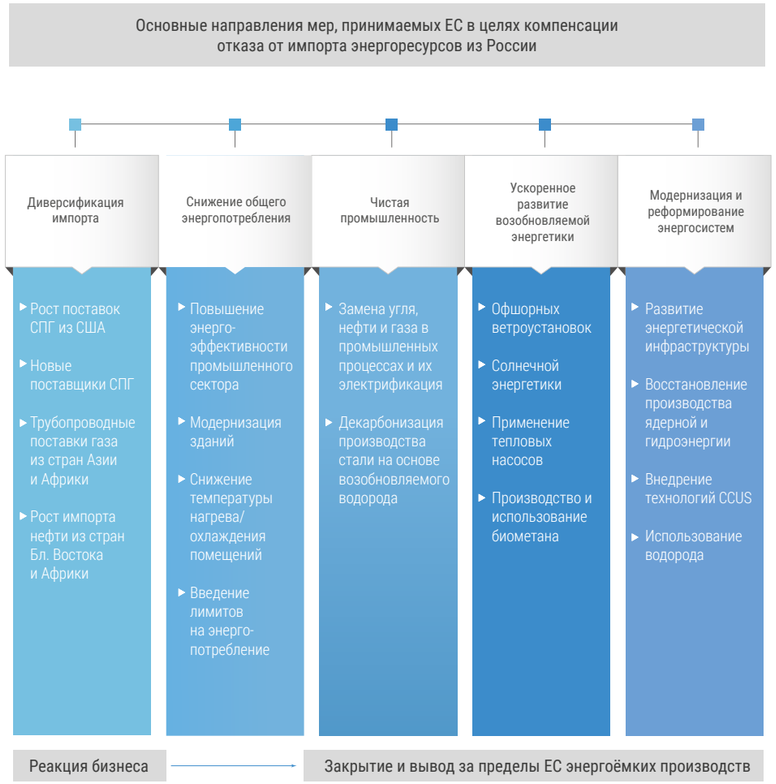


Рис. 5. Меры по замене импорта нефти и газа из России

Источник: по данным [35, 49–51]

С сентября 2022 г. в ЕС обсуждалось предложение 15 стран о введении потолка цен на весь импортируемый газ, однако дискуссии по этому вопросу шли ещё тяжелее, чем по потолку цен на нефть

Анализ всех этих мер по «обеспечению энергетической безопасности», принимаемых Еврокомиссией, ЕС, и странами Евросоюза на волне откровенной русофобии, убедительно свидетельствует, что они всё больше и больше имеют целью не столько повышение качества и надёжности энергообеспечения стран Евросоюза, сколько нанесение вреда экономике России. Более того, тем самым усилиями ЕС, стран G7 и их союзников создаются все условия не для обеспечения глобальной энергетической безопасности, а, напротив, для наступления нового глобального экономического и энергетического кризиса (рис. 6).

Заключение

В результате всех принимаемых ЕС действий (санкций, блокирования «Северного потока 2», и пр.) потенциальная угроза прерывания Россией поставок природного газа трансформировалась в реальное их сокращение, но уже не по вине России, а, главным образом, по вине самих регуляторных органов ЕС.

Первым в ряду этих действий был отказ от ввода в эксплуатацию магистрального газопровода «Северный поток 2». Как это делалось и чем объяснялось, широко известно. Поэтому ограничимся лишь констатацией того, что получилось: полностью построенный и даже заполненный техническим газом, этот газопровод, способный поставлять на газовый рынок ЕС 55 млрд м³ природного газа в год, оказался вначале невостребованным, а затем и физически ликвидированным в результате диверсии на одной из его «ниток».

Далее начались проблемы с действующим газопроводом «Северный поток», по двум «ниткам» которого ЕС в 2020–2021 гг. получал по 59,2 млрд м³ газа (при его проектной мощности в 55 млрд м³). Принимаемые один за другим пакеты экономических и финансовых санкций ЕС

Рис. 6. Основные неопределённости, проблемы и угрозы энергетической безопасности текущего года

и его союзников привели в конечном итоге к остановке работы этого уникального магистрального газопровода.

В начале июня Канада приняла очередной пакет санкций против России, из-за которых возникли сложности с возвращением газоперекачивающего агрегата (ГПА) Siemens из Канады, куда он был отправлен в декабре 2021 г. на капитальный ремонт. В результате, 14 июня «Газпром» был вынужден ограничить работу на компрессорной станции «Портовая», нагнетающей газ в «Северный поток», и поставки по нему снизились со 167 до 100 млн м³ в сутки. Уже 15 июня «Газпром» в связи с окончанием срока межремонтной наработки до капитального ремонта (в соответствии с предписанием Ростехнадзора и с учётом технического состояния двигателя) остановил эксплуатацию ещё одного газоперекачивающего агрегата Siemens на КС «Портовая». Соответственно, суточная производительность КС снизилась до 67 млн м³.

25 июля 2022 г. «Газпром» сообщил о вынужденной остановке работы ещё одного газотурбинного двигателя на КС «Портовая», в результате чего в рабочем состоянии на ней осталась лишь одна турбина, а объём прокачки газа сократился до 30 млн м³/сутки. С началом 31 августа планово-предупредительных работ на этом оставшемся в строю газоперекачивающем агрегате, работа газопровода «Северный поток» была временно полностью приостановлена. Но выявленные в ходе проверок неисправности не позволили вернуть его в эксплуатацию в намечавшиеся сроки, потребовались дополнительные работы по устранению всех неполадок. Санкции, введённые Западом против России, провести необходимый ремонт оборудования не позволили. А уже в ночь на 26 сентября были взорваны три из четырёх ниток газопроводов «Северный поток» и «Северный поток 2».

Отказ Украины принимать с 11 мая 2022 г. природный газ, идущий в Европу через ГИС «Сохрановка», снизил объёмы поставок российского газа на европейские рынки ещё на 32,6 млн м³ в сутки.

В результате вместо надёжных трубопроводных поставок природного газа по долгосрочным контрактам ЕС получает непредсказуемый импорт, в основном, по спотовым ценам, СПГ, который идёт тому покупателю, который платит больше[13].

При этом «для покупки СПГ по баснословным ценам европейские государства выделяют субсидии, исчисляемые сотнями миллиардов евро» [53], а в целях поддержки потребителей – вводят субсидирование тарифов на электроэнергию [54].

Вместо обеспечения промышленных и бытовых потребителей энергоресурсами по «разумным» ценам, – лимитированное поступление энергоносителей с повышением их цены в 2–3 раза в течение года, принудительное нормирование поставок

КС «Портовая*Источник: rupoezd.ru*

газа. В результате – энергодефицит и реальная угроза деиндустриализации.

Вместо диверсификации источников поставок необходимого количества энергоресурсов – примитивный отказ от крупнейшего из них с резким снижением объёма самих поставок, отказ, который, по оценкам агентства Bloomberg, уже стоил Европе порядка 1 трлн долл. [55].

[13] Энергетическая политика Еврокомиссии предусматривает отказ от долгосрочных газовых контрактов, которые ЕК считает нерыночными. Впрочем, заявляя многие годы о неприемлемости для ЕС таких контрактов, в последние дни руководство Евросоюза отходит и от этого принципа. Столкнувшись с угрозой газового дефицита, лидеры Евросоюза на своём саммите, состоявшемся 15 декабря 2023 г. в Брюсселе, признали необходимым ускорить переговоры с «надёжными партнёрами» о долгосрочных газовых контрактах. «Работа должна продолжиться по следующим направлениям… ускорение дискуссий с надежными партнерами для обеспечения поставок газа с учетом зимы 2023–2024 гг. с целью заключения долгосрочных контрактов», – говорится в итоговом документе саммита [52].

Тем самым, как справедливо отметил А. А. Конопляник, «сегодняшнее руководство ЕС и основных стран ЕС своими действиями лишь постоянно усугубляют кризисную ситуацию в энергетике Европы» [56].

Такой на деле оказалась энергобезопасность по-европейски. И как бы ни хотелось в конце этой статьи написать, что стремления Евросоюза обеспечить энергобезопасность путём отказа от российских энергоресурсов являются «замками на песке», но это не так. Усилиями Еврокомиссии и национальных правительств стран ЕС сделано и делается немало, чтобы этого добиться. И в этом им помогают соответствующие ведущие аналитические и прогностические центры всего Запада. Это надо признать, и не заниматься пустым прожектёрством о том, что «мол, никуда они не денутся», или «без проблем найдём другие рынки». Необходимо:

- во-первых, тщательное изучение принимаемых Евросоюзом мер и оценка того, как они могут повлиять на ТЭК России и в ближайшее время, и в средне- и долгосрочной перспективе;
- во-вторых, с учётом первого – своевременно разрабатывать и принимать те меры, которые могут если и не нивелировать, то хотя бы минимизировать их отрицательное влияние на Россию.

Использованные источники

1. *Мастепанов А. М. Некоторые особенности международных отношений и энергетической политики в эпоху великих трансформаций // «Тенденции развития системы международных отношений и их влияние на управление национальной обороной Российской Федерации» Сборник материалов круглого стола (19 августа 2022 г.) / под общ. ред. А. С. Коржевского; ВАГШ ВС РФ. – Москва: Издательский дом «УМЦ», 2022. С. 252–269.*
2. *Мир без сверхдержав. Доклад Международного дискуссионного клуба «Валдай». Октябрь, 2022. 20 с. – URL: https://ru.valdaiclub.com/files/43157/*
3. *World Economic Outlook Update. Gloomy and More Uncertain. International Monetary Fund | July 2022: [сайт]. – URL: World Economic Outlook Update, July 2022: Gloomy and More Uncertain (imf.org) (дата обращения: 07.08.2022). – Текст: электронный*
4. *Let's Together Confront Polarization, Hate, Strife to Mend Fractured World, Urges Secretary-General in Message for Caritas Europa Regional Conference. Press Release Secretary-General. 10 may 2022. – URL: https://press.un.org/en/2022/sgsm21265.doc.htm*
5. *Послание президента Федеральному собранию. 12 декабря 2012 г. – URL: http://kremlin.ru/events/president/news/17118*
6. *Мастепанов А. М. Энергетическая безопасность как фактор современного мира // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. Научно-экономич. журнал. 2021, № 5 (197). С. 5–13.*
7. *Мастепанов А. М. Проблемы обеспечения энергетической безопасности в новых геополитических условиях // Энергетическая политика. 2017, Выпуск 1. С. 20–37.*
8. *Мастепанов А. М. Энергетическая безопасность в Большой Евразии: разные игроки – разные подходы к решению проблемы // В сб.: Большая Евразия: Развитие, безопасность, сотрудничество. Ежегодник. Вып. 1. Ч. 1 / РАН. ИНИОН. Отд. науч. сотрудничества; Отв. ред. В. И. Герасимов. М., 2018. С. 112–118.*
9. *World Energy Outlook 2022. OECD/IEA, 2022. 524 pages. – URL: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022*
10. *World Energy Outlook 2009. OECD/IEA, 2009. 694 pages. – URL: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2009*
11. *Сендеров С., Рабчук В. Энергетическая безопасность сегодня и основные методики ее обеспечения // Энергетическая политика. № 11(177), 2022. С. 56–69.*
12. *Мастепанов А. М. Обеспечение энергетической безопасности: поиск решений в условиях новых вызовов // Neftegaz.RU. 2015. № 10. С. 18–29.*
13. *Мастепанов А. М. Энергетическая безопасность в период геополитической и экономической неопределенности // Бурение и нефть. 2022. № 1. С. 6–9.*
14. *Энергетические приоритеты и безопасность России (нефтегазовый комплекс) / Под общей редакцией А. М. Мастепанова. М.: ООО «Газпром экспо», 2013. – 336 с.*
15. *Председатель Европейской комиссии Жозе-Мануэль Баррозу: «Энергетическую безопасность не обеспечить, «латая дыры» // Известия. 11.07.2006.*
16. *Что реально означает «энергетическая безопасность» («The Washington Post», США) //inoСМИ.Ru – URL: http://apn-nn.ru/contex_s/16437.html*
17. *Second Strategic Energy Review. An EU Energy Security and Solidarity Action Plan. COM(2008) 781 final. Brussels, 13.11.2008. – URL: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0781: FIN: EN: PDF*
18. *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council European Energy Security Strategy /* COM/2014/0330 final */ – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014DC0330*
19. *Ресурсно-инновационное развитие России / Под. ред. А. М. Мастепанова и Н. И. Комкова – Изд. 2-е, доп. – М., Институт компьютерных исследований, 2014. – 744 с.*
20. *Энергетика и геополитика / Под ред. В. В. Костюка и А. А. Макарова. РАН. М.: Наука, 2011. – 397 с.*
21. *Проблемы экономической безопасности Евроатлантического региона / Материалы ситуационного анализа в рамках проекта «Евроатлантическая инициатива в области безопасности (EASI)». Москва, ИМЭМО РАН, 29 июня 2010 г. М.: ИМЭМО РАН, 2010. – 71 с.*
22. *Hard Truths, Difficult Choices. Recommendations to the G-7 on bolstering Energy Security. Institute for the Analysis of Global Security, MAY 2014. – URL: http://www.iags.org/G7report.pdf*
23. *Marie-Claire Aoun. European Energy Security Challenges and Global Energy Trends: Old Wine in New Bottles? // IAI Working Papers 15 | 03 – January 2015. – URL: https://www.iai.it/sites/default/files/iaiwp1503.pdf*
24. *Marco Siddi. The EU'S Energy Union. Towards an integrated European Energy Market? // FIIA Briefing Paper 172 March 2015. – URL: https://www.fiia.fi/wp-content/uploads/2017/01/bp172.*
25. *Fabio Genoese et al. Energy Union: Can Europe learn from Japan's joint gas purchasing? // CEPS Commentary, December 2014, pp. 1–2. – URL: https://www.ceps.eu/wp-content/uploads/2015/01/CEPS%20 Commentary% 20Gas%20Purchasing%20.pdf*
26. *Леонард М., Пизани-Ферри Ж., Шапиро Д., Тальяпиетра С., Вульф Г. Геополитика «Зеленой сделки» Европейского союза // Вестник международных организаций. Т. 16. № 2 (2021). С. 204–235. – URL: 10 Ленард 204–235.pdf (hse.ru).*
27. *Боровский Ю., Шишкина О. Приоритетные цели энергетической политики ЕС // Современная Европа. 2021, № 3. С. 117–127. – URL: http://www.sov-europe.ru/images/pdf/2021/3–2021/Borovsky-3–21.pdf*
28. *Телегина Е. А., Халова Г. О., Мастепанов А. М., Штопаков И. Е., Богомолов П. В., Студеникина Л. А. Изменение мирового порядка и энергетический мир: риски и возможности для России (по материалам конференции) // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. Научно-экономич. журнал. 2022, № 6 (210). С. 62–74.*
29. *FP: Европу настиг «энергетический кризис» – теперь он угрожает и США. – URL: https://russian.rt.com/inotv/2021–10–07/FP-Evropu-nastig-energeticheskij-krizis*
30. *Brenda Shaffer. Is Europe's Energy Crisis a Preview of America's? – URL: https://foreignpolicy.com/2021/10/05/energy-crisis-europe-electricity-gas-renewable-us/*
31. *Мастепанов А. М. Новое – это хорошо забытое старое. О природном газе и не только // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2022. № 9 (213). С. 5–8.*
32. *Никифоров О. Предкризисная трансформация в Европе // НГ-Энергия от 13.06.2022.*
33. *REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe. – URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019–2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en*
34. *Questions and Answers on the REPowerEU Communication. – URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_3132*
35. *Document 52022DC0230. REPowerEU Plan. – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022DC0230*
36. *Страны Запада установили потолок цен на российскую нефть. – URL: https://www.rbc.ru/business/02/12/2022/637dd9519a7947da0e7dd7b5?ysclid=lbthy4gz47253855084*
37. *37. Official Journal of the European Union. Volume 65. 16 December 2022. – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ: L:2022:322I: FULL&from=EN*
38. *Интерфакс. Совет ЕС договорился о коллективных закупках газа, исключив из них российский. – URL: https://www.interfax.ru/business/874160*
39. *Россия прекратит поставлять нефть и нефтепродукты в страны, которые введут ценовой потолок на них… – URL: https://www.interfax.ru/business/860319*
40. *Россия откажется поставлять нефть странам, вводящим любой потолок цен. – URL: https://www.rbc.ru/politics/13/10/ 2022/63485d179a79470e680e4545?ysclid=laxx0j0vp9400684690*
41. *Пленарное заседание Восточного экономического форума. – URL: http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/statements/69299*
42. *Новак: Россия не будет поставлять нефть в страны, которые применят ценовой потолок. – URL: https://www.gazeta.ru/politics/news/ 2022/11/21/19090219.shtml?ysclid=laxxaw17l1746103446*
43. *В Кремле прокомментировали попытки ЕС установить потолок цен на газ. – URL: https://ria.ru/20221219/limit-1839839679.html*
44. *Глава Минэнерго рассказал о возможном ответе РФ на введение потолка цен на газ. – URL: https://www.interfax.ru/russia/877700*
45. *Указ Президента Российской Федерации от 27.12.2022 № 961 «О применении специальных экономических мер в топливно-энергетической сфере в связи с установлением некоторыми иностранными государствами предельной цены на российские нефть и нефтепродукты» – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202212270015?ysclid=lcnpcjh0y8704993083*
46. *World Energy Outlook 2022. OECD/IEA, 2022. 524 pages. – URL: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022*
47. *Europe's long-term energy security: do not become dependent on "green" Russia's future LNG and Hydrogen exports – Energy Post.*
48. *Will Putin's Energy Strategy Backfire? – URL: https://www.energypolicy.columbia.edu/will-putin-s-energy-strategy-backfire*
49. *A 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas. March 2022. – URL: https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-reduce-the-european-unions-reliance-on-russian-natural-gas*
50. *Reducing Europe's dependence on Russian Oil and Gas: immediate, short and long term strategy. – URL: https://energypost.eu/reducing-europes-dependence-on-russian-oil-and-gas-immediate-short-and-long-term-strategy/*
51. *How to Avoid Gas Shortages in the European Union in 2023. A practical set of actions to close a potential supply-demand gap. IEA, December 2022. – URL: https://www.iea.org/news/how-the-european-union-can-avoid-natural-gas-shortages-in-2023*
52. *ЕС намерен ускорить переговоры о долгосрочных газовых контрактах. – URL: https://1prime.ru/gas/20221215/839191435.html*
53. *«Газпром» сравнил развитие в ЕС новых терминалов СПГ с покупкой стаканов вместо воды. – URL: https://www.interfax.ru/business/877035*
54. *Туши свет: Европа заживо хоронит свою энергетику. – URL: https://1prime.ru/exclusive/20221214/839159167.html*
55. *Bloomberg: потери Европы из-за отказа от российского газа достигли 1 трлн долл. – URL: https://tass.ru/ekonomika/16625397*
56. *Конопляник А. А. Противостояние ЕС и США на фоне борьбы с Россией // Независимая газета. № 274 (8613) от 13.12.2022. – URL: https://www.ng.ru/ng_energiya/2022–12–12/12_8613_confrontation.html?ysclid=lc1wk8c*

УДК 327: 620.9 DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179_24 EDN: RFEFAE

Терроризм в энергетической промышленности

Terrorism in the energy industry

Максим ЛАВРУХИН
Руководитель группы
по транспортной безопасности АО
«Арктикморнефтегазразведка»
e-mail: lawruhin.maxim@yandex.ru

Maksim LAVRUKHIN
Head of Transport Safety Group, JSC
«Arktikmorneftegazrazvedka»
e-mail: lawruhin.maxim@yandex.ru

Аннотация. Недавние случаи показывают, что энергетические объекты или работники все чаще становятся жертвами террористических атак. Почему террористы выбирают своей мишенью энергетическую отрасль? Хотя в существующей литературе высказывается мнение, что террористы редко выбирают в качестве мишени инфраструктуру передачи энергии, в данной статье утверждается, что энергетика может провоцировать терроризм в более широком смысле, и предлагается подробное объяснение того, почему энергетика является важной целью террористов. В статье также представлены данные о террористических инцидентах, показывающие, что энергетика является наиболее важной нечеловеческой целью террористов с 1970 по 2018 гг., экономическое воздействие террористических атак на энергетические объекты велико, а нефтедобывающие страны уязвимы к похищениям людей террористами.
Ключевые слова: терроризм, энергетическая промышленность, нефть, газ, террористический акт.

Abstract. Recent cases show that energy facilities or workers are increasingly becoming victims of terrorist attacks. Why do terrorists target the energy industry? Although the existing literature suggests that terrorists rarely target energy transmission infrastructure, this article argues that the energy industry can provoke terrorism more broadly and offers a detailed explanation of why the energy industry is an important target for terrorists. The article also presents data on terrorist incidents, showing that energy is the most important non-human terrorist target from 1970 to 2018, the economic impact of terrorist attacks on energy facilities is high, and oil-producing countries are vulnerable to terrorist kidnappings.
Keywords: terrorism, energy industry, oil, gas, terrorist attack.

Нефтепровод «Каньо Лимон – Ковеньяс», Колумбия *Источник: colombianherald.com*

> **Энергетические объекты или районы, богатые месторождениями нефти и газа, становятся все более привлекательными целями для террористов**

Введение

В сентябре 2019 г. два крупных нефтяных объекта в Саудовской Аравии были атакованы с помощью беспилотников, что создало риск нарушения глобальных поставок нефти и привело к взлету цен на нее на 14,6 %. Ответственность за нападения взяла на себя базирующаяся в Йемене террористическая группировка «Хутис», которая с тех пор совершила ряд нападений на нефтяные танкеры и нефтяные месторождения, в том числе недавно, в апреле 2021 г., атаковала с помощью беспилотников нефтяные объекты компании Saudi Aramco. В марте 2021 г. террористы, поддерживаемые Исламским государством (ИГ, запрещенная в России), напали на Пальму, город на севере Мозамбика, расположенный рядом с крупным морским месторождением природного газа, и убили десятки людей, включая иностранных рабочих. Французская нефтяная компания Total, инвестировавшая 20 млрд долл. в сжижение газа в этом городе, решила приостановить работы после этого события по соображениям безопасности. ИГ не только контролирует богатые нефтью территории Ирака и Сирии, но и совершило множество нападений на нефтегазовую промышленность в Египте и Ливии. В ночь 26 сентября 2022 г. был совершен беспрецедентный террористический акт в отношении двух газопроводов «Северный поток» и «Северный поток 2» компании Nord Stream. Исполнители данного взрыва до сих пор неизвестны, а европейские страны запрещают участвовать в расследовании этих аварий представителям Российской Федерации. Эти случаи показывают, что энергетические объекты

или районы, богатые энергоресурсами, становятся все более привлекательными целями для террористов, а также не менее привлекательными для актов международного терроризма с выгодоприобретателем со стороны крупных нефтегазовых держав мира.

Почему террористы нападают на энергетические объекты? Играет ли энергетика роль в провоцировании терроризма? Террористы нападают на энергетические объекты или субъекты для достижения как минимум трех целей.

Во-первых, они выбирают энергетические компании в качестве средства для сбора средств. Нападая на энергетические объекты или угрожая нападением, похищая работников энергетических компаний или воруя нефть, террористы вымогают и собирают средства для финансирования своей незаконной деятельности.

Во-вторых, некоторые террористические группы возникли потому, что они, по сути, выступают против иностранной нефти или против добычи нефти. Они нападают на транснациональные корпорации или объекты, чтобы прогнать этих чужаков из богатого нефтью региона или выразить свое недовольство.

В-третьих, в более широком смысле, террористы нападают на энергетическую инфраструктуру или субъекты, чтобы подорвать энергетическую безопасность страны-объекта. Это, в свою очередь, может нанести ущерб национальной безопасности и экономике страны, а также стран – участников правоотношений в области пользования, освоения, разведки, продажи или покупки нефти, газа и т. д. Хотя террористические атаки на энергетические объекты составляют небольшую часть всех террористических атак, их последствия с точки зрения материальных потерь весьма значительны, в том числе для мирового сообщества, так как энергетическая промышленность в условиях глобализации занимает ведущую роль.

Нападая на энергообъекты или угрожая нападением, похищая работников энергокомпаний или воруя нефть, террористы вымогают и собирают средства для финансирования своей незаконной деятельности

Террористические атаки на нефтяные объекты в Саудовской Аравии
Источник: AFP GETTY IMAGES / foreignpolicy.com

Энергетическая промышленность может влиять на международные конфликты или сотрудничество через различные механизмы, и некоторые из них объясняют, почему энергетическая система потенциально связана с терроризмом. Энергия может быть оружием, используемым негосударственными субъектами для нанесения ущерба интересам страны-мишени, например, путем прерывания поставок энергии в результате террористической атаки (к примеру, 26 сентября 2022 г. – взрыв трубопроводов «Северный поток» и «Северный поток 2»); доходы от производства энергии могут также использоваться для финансирования транснационального терроризма. Хотя производство или передача энергии могут быть уязвимы для конфликтов или террористических атак, исследование указывает на умиротворяющий эффект энергетической зависимости.

В данной статье утверждается, что понятие энергетического терроризма должно быть определено более широко, необходимо рассматривать все случаи, когда цель террористов связана с энергетической отраслью, включая террористические атаки на энергетические объекты и похищения работников энергетической отрасли.

Цель террористического акта в отношении энергетического комплекса

Общественный образ террористов зачастую максимально утрирован, в большинстве случаев общество представляет их как необразованных, устойчивых к радикализации и подверженных к внешнему воздействию. На самом деле преобладающее количество командиров международных террористических организаций являются докторами наук в области инженерии, химии и т. д. Организаторы террористического акта 11 сентября 2004 г. имели ученые степени в области машиностроения и инженерной архитектуры. Террористы действуют рационально и выбирают тактику и цели, которые делают их атаки наиболее экономически эффективными и демонстративным для проведения акций устрашения. Что определяет предпочтения террористов в выборе мишеней для атаки? Один из способов изучить этот вопрос – понять цели террористов. В зарубежном докладе, опубликованном корпорацией RAND, перечислены четыре основания, по которым террористы выбирают цели. Во-первых, цель террористов – вызвать принуждение, поэтому они выбирают человеческие цели, чтобы вызвать жертвы и общественную панику. Во-вторых, целью террористов является нанесение ущерба экономическим основам страны, которые поддерживают ее политическую, военную или коммерческую мощь, поэтому они выбирают физические цели, такие как жизненно важные объекты инфраструктуры, разрушение которых может привести к экономической дезорганизации и хаосу. В-третьих, террористы выбирают символические цели и совершают крупномасштабные атаки, чтобы сплотить и вдохновить других людей, не входящих в их группу, присоединиться к их операциям или радикальному строю. Наконец, террористы, являющиеся филиалами крупных террористических групп, совершают мелкие атаки в качестве франчайзинговых операций, чтобы продемонстрировать свою поддержку и лояльность. Исходя из этой классификации, мы можем наблюдать, как террористы выбирают в качестве целей людей, физические объекты, символические объекты и обычные объекты, в зависимости от того, является ли их целью принуждение, нанесение ущерба, сплочение или франшиза, соответственно.

Самолеты-беспилотники все активнее используются террористами разных стран
Источник: defense.gov

Другой способ понять террористические цели – рассмотреть внутренние факторы террористических групп, в частности, их мотивацию, и среду, в которой действует организация. Террористические группы, которые поднимаются из-за религиозных мотивов или политического, или экономического недовольства, обычно нацелены на тех, кто, по их мнению, нарушает религиозные принципы или создает недовольство. Например, «Абу Сайяф» – джихадистская террористическая группа, базирующаяся на юге Филиппин, часто нападает на христиан и неверующих в ислам. Выбор террористами целей также ограничивается некоторыми внешними факторами в странах, где они базируются или действуют, такими как политический

Хотя производство или передача энергии могут быть уязвимы для конфликтов или террористических атак, исследование указывает на умиротворяющий эффект энергетической зависимости

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №1(179) / 2023

Террористические группы, преследующие политические цели, такие как смена режима и социальные революции, нацелены на инклюзивную аудиторию. Они, как правило, атакуют труднодоступные цели

режим страны и уровень урбанизации. Например, городские районы более уязвимы для террористов, потому что в городах им легче добраться до своих целей, получить оружие, связаться со СМИ и завербовать членов, чем в сельской местности. Это говорит о том, что террористы выбирают свои цели просто исходя из удобства.

Можно провести различие между «крупными» целями террористов (такими как правительство, полиция и государственная инфраструктура) и «мелкими» целями террористов (включая гражданских лиц и частную собственность). Террористические группы, преследующие более широкие цели, такие как смена режима и социальные революции, как правило, нацелены на инклюзивную аудиторию. Эти группы с большей вероятностью будут атаковать труднодоступные цели, поскольку причинение вреда гражданским лицам сопряжено с риском вызвать раздражение их многочисленной аудитории. Напротив, террористические группы, основанные на специфических идеологиях, таких как религия и этнонационализм, обычно ориентированы на эксклюзивную аудиторию, поэтому они с большей вероятностью будут атаковать мягкие цели, чтобы избежать причинения вреда своим основным сторонникам.

В целом, существует средняя или высокая вероятность того, что энергетика станет целью террористов, особенно при атаках, направленных на нанесение ущерба экономике, против правительства или в ответ на недовольство. При террористических атаках, направленных на создание принуждения или мотивированных религиозными императивами, вероятность того, что энергия станет целью, ниже. Хотя религиозный терроризм и террористические атаки на человеческие цели более распространены, другие формы террористических атак не так редки, как кажется. Это говорит о том, что теоретически энергия, несомненно, является важной целью террористов в современную эпоху.

Почему целью террористов является энергетика?

Энергетические объекты являются привлекательной и уязвимой целью террористов из-за трех их особенностей: низкой мобильности и высокой концентрации, высокой стратегической и экономической ценности и географической удаленности. Во-первых, из-за высоких невозвратных затрат и неравномерного географического распределения запасов энергоресурсов энергетическая отрасль достаточно мобильна. Нефтяные скважины располагаются там, где под землей много нефти; нефтепроводы и газопроводы проложены от нефтяных месторождений до экспортных портов или нефтеперерабатывающих заводов; нефтеперерабатывающие заводы представляют собой огромные сооружения, которые нелегко перемещать. Низкая мобильность и высокая концентрация делают энергетические объекты легкой мишенью.

Во-вторых, нападения на объекты производства или передачи энергии могут привести к нарушению поставок энергии,

Кувейтские пожарные борются за тушение горящей нефтяной скважины на месторождениях Румайла
Источник: en.wikipedia.org

Взрыв на месторождении нефти в Саудовской Аравии
Источник: hms.ba

что потенциально может повлиять на мировые цены на энергоносители. Террористические атаки приводят к росту цен на нефть, причем этот эффект полностью обусловлен атаками, происходящими в нефтедобывающих странах. Но также есть и обратная сторона медали, где терроризм приводит к аномальной доходности от высоких цен на нефть. На основании этого появляются и выгодоприобретатели. При этом нельзя исключить, что за такими выгодами будет стоять и правительство какой-либо страны. Поскольку многие промышленно развитые страны в значительной степени зависят от импорта нефти, шок в цене на нефть часто оказывает негативное влияние на их экономику. Это может помочь террористам достичь своей цели – нанести ущерб энергетической безопасности и экономике страны. Террористические атаки на энергетику также могут быть попыткой саботажа внешних интересов другой страны. В 1971 г. террористическая группа, называвшая себя «Народно-революционным фронтом», взорвала штаб-квартиру двух американских нефтяных компаний, Caltex и Esso, в Маниле, в результате чего один человек погиб и трое получили ранения. Очевидно, что целью террористов были Соединенные Штаты, поскольку преступники оставили записку, в которой говорилось: «Это гнев филиппинского народа против американского империализма».

И последнее, но не менее важное: энергетические объекты, такие как нефтяные месторождения, обычно расположены в отдаленных районах, а многие нефтепроводы и газопроводы проложены на большие расстояния, иногда пересекая государственные границы, что делает защиту энергетических объектов относительно сложной. Для эксплуатации и мониторинга этих трубопроводов все чаще используется компьютеризированное управление, в результате чего они становятся уязвимыми не только для физических атак, но и для кибератак. Электрические сети, которые сильно взаимосвязаны и часто зависят от центрального управления, особенно подвержены террористическим атакам. Некоторые энергетические объекты, такие как ядерные реакторы, хорошо защищены, но с учетом растущей легкости проведения атак с воздуха, например, с помощью дронов, защищенные энергетические объекты все еще могут быть уязвимы для атак. Все эти особенности приводят к тому, что энергетические объекты становятся привлекательной целью для террористов, а тема их защиты и изучения становится архиважной для мирового сообщества, в том числе контртеррористических ведомств.

Помимо атак на энергетические объекты, еще одним способом воздействия террористов на энергетическую отрасль является нападение непосредственно на энергетические компании путем похищения работников или вымогательства денег. Такая форма нападений чаще всего происходит в богатых нефтью регионах развивающегося мира, и целями террористов обычно являются иностранные нефтяные компании. Террористы, похищающие людей, выбирают в качестве мишени энергетические компании по трем при-

Энергетические объекты являются привлекательной и уязвимой целью террористов из-за низкой мобильности, высокой стратегической и экономической ценности и географической удаленности

Тип цели	Число террористических актов	Процент от общего числа	Погибших в среднем
Частные граждане и имущество	46 482	24,2	3,39
Военные	30 090	15,7	4,14
Полиция	26 067	13,7	2,32
Правительство	22 357	11,6	1,31
Бизнес	20 253	10,5	1,19
Энергетика	7 286	3,8	0,58
Транспорт	6 960	3,6	2,14
Религиозные фигуры/институты	4 712	2,5	3,06
Образовательные учреждения	4 508	2,3	0,9

Таблица 1. Цели террористов, 1970–2018 гг. *Источник: Global Terrorism Database*

чинам. Во-первых, как уже упоминалось выше, нефтяные месторождения обычно расположены в отдаленных районах и функционируют как «анклав» в стране, поэтому физическая защита является более дорогостоящей и сложной. Террористам нравится проводить атаки в городах, так как в городских районах больше невинных целей и последствия более масштабны. Но это касается только тех атак, которые могут быть осуществлены быстро и целью которых является запугивание населения, например, взрывы. Когда речь идет о похищении, которое подразумевает похищение заложников и укрытие их в неизвестных местах, предпочтение отдается целям, находящимся в менее заметных местах. Нефтяные месторождения, как правило, удалены от городских районов, и хотя многие компании нанимают охранные агентства, бесперебойной защиты добиться очень сложно. Таким образом, нефтяники становятся уязвимыми целями для похитителей.

Во-вторых, энергетическая промышленность является одной из самых прибыльных отраслей в мире. Энергетические компании, работающие в развивающихся нефтедобывающих странах, в основном являются западными транснациональными нефтяными гигантами, которые финансово способны заплатить выкуп. Поэтому нападение на сотрудников этих компаний повышает ожидаемую прибыль террористов. На самом деле, нефтяные компании учитывают риск политического насилия

Пираты Сомали *Источник: MOHAMED DAHIR AFP Getty Images / us.cnn.com*

Укладка подводного газопровода на шельфе Мозамбика *Источник: heavyliftnews.com*

при принятии инвестиционных решений. Однако из-за высокой рентабельности добычи нефти, даже несмотря на то, что некоторые нефтедобывающие страны крайне нестабильны, случаи, когда иностранные нефтяные компании отказываются от инвестиций, редки.

Статистика

Расчеты показывают, что энергетические объекты часто подвергаются нападениям террористов. В таблице 1 перечислены 9 крупнейших целей террористов с 1970 по 2018 гг. Как видно, объекты энергетики представляют собой шестую по величине цель террористов после частных граждан и имущества, военных, полиции, правительства общего характера и бизнеса. Во всех зарегистрированных террористических инцидентах 3,8 % из них были направлены против объектов или компаний энергетики. Хотя это может показаться не очень большим процентом, количество нападений на энергетику фактически превышает количество нападений на транспорт, который обычно считается уязвимым объектом террористов.

В крайнем правом столбце таблицы 1 приведено среднее число погибших в каждом террористическом инциденте в этих 9 категориях. Видно, что террористические атаки на военных и гражданских лиц являются наиболее смертоносными, в среднем убивая 4,14 и 3,39 человек соответственно. Нападения на энергетические объекты являются наименее смертельными, в среднем 0,58 погибших в каждом инциденте. Это говорит о том, что террористы нападают на энергетические объекты или компании не с целью убийства. Нападения на другие виды целей часто приводят к человеческим жертвам, но террористы нападают на энергетические объекты, чтобы вызвать другие последствия, такие как потеря имущества или подрыв энергетической безопасности страны.

Энергетические компании, работающие в развивающихся нефтедобывающих странах, в основном являются западными транснациональными нефтяными гигантами, которые финансово способны заплатить выкуп

Нефтепровод «Киркук – Джейхан» *Источник: teknoblog.ru*

Для дальнейшего изучения уязвимости энергетических объектов в таблице 2 приведено количество террористических атак на различные типы энергетических объектов и для каждого типа средняя стоимость материального ущерба в каждом инциденте. Из таблицы видно, что электроэнергетические объекты являются наиболее уязвимыми объектами энергетики. Нефтяные объекты (такие как нефтепроводы и нефтеперерабатывающие заводы) также подвержены террористическим атакам, они были основной целью террористов в 1230 террористических инцидентах с 1970 по 2018 гг. Несмотря на то, что террористические атаки на нефтяные объекты происходят реже, чем на объекты электроэнергетики, они имеют гораздо больший экономический эффект. В среднем каждый инцидент, по оценкам специалистов, наносит материальный ущерб в размере 234–551,1 тысяч долл., в то время как каждый теракт на объектах электроэнергетики наносит материальный ущерб в размере 45–731 тысяч долл. Среди этих нападений значительная часть была совершена на нефтепровод Каньо Лимон-Ковеньяс, который представляет собой 780-километровый нефтепровод, проходящий через север Колумбии. Только в 2001 г. этот трубопровод был взорван 170 раз, что привело к остановке его работы на несколько месяцев. Некоторые нападения были совершены на транснациональные нефтепроводы, такие как нефтепровод «Киркук – Джейхан», проходящий из Ирака в Турцию, и Трансандийский нефтепровод, проходящий из Эквадора в Колумбию, которые подвергались нападениям 12 и 14 раз соответственно.

Таблица 2. Террористические атаки на объекты энергетики, 1970–2018 гг. *Источник: Global Terrorism Database*

Цель	Число террористических актов	Нанесенный ущерб (тыс. долл.)
Объекты электроэнергетики	4 282	45,731
Нефтяные объекты	1 230	234,551
Нефтегазовые/электроэнергетические компании	1 100	61,709
Газовые объекты	581	10,976
Нефтяные танкеры	23	1,956,522
Прочие нападения		43,653

Энергетические компании также являются важными целями. За 1970–2018 гг. произошло в общей сложности 1100 террористических инцидентов, в которых первой целью были газовые, нефтяные или электроэнергетические компании. Более половины этих инцидентов – теракты со взрывами, что является наиболее частым типом нападения, зарегистрированным в GTD, но 151 инцидент – это захват заложников или похищение людей. Это говорит о том, что энергетические компании являются привлекательными целями для террористов, которые похищают людей с целью получения выкупа или вымогательства. По сравнению с нефтяными объектами, газовые объекты подвергались нападениям реже, и средний материальный ущерб также значительно ниже, даже ниже, чем средний материальный ущерб во всех других типах инцидентов, в которых цель не связана с энергетикой.

Двадцать три нападения были совершены на нефтяные танкеры. Нефтяные танкеры являются наиболее важным видом транспорта для перевозки нефти с одного континента на другой, поскольку они перевозят половину мировой нефти. Из-за размера и скорости нефтяные танкеры являются очевидными целями террористов. Грузоподъемность нефтяных танкеров (включая Very Large Crude Carriers и Ultra Large Crude Carriers) варьируется от 160 до 550 тыс. т дедвейта, а длина может достигать 380 м. Они также движутся медленно, так как самые крупные супертанкеры в загруженном состоянии плывут со скоростью 16,5 узлов (эквивалентно 30,6 км в час). Из-за юридических вопросов и по соображениям безопасности нефтяные танкеры в основном не вооружены, что делает их уязвимыми для пиратских захватов и террористических атак. Например, в октябре 2002 г. французский нефтяной танкер MV Limburg был взорван боевиками Аль-Каиды в Аданском

Хотя террористические атаки на энергетическую отрасль составляют всего 3,8% от общего числа террористических актов, их прямое финансовое воздействие больше, чем у других атак

Взрыв на танкере *Источник: ceylonnewsfactory.com*

Страна	Число похищений	Добыча нефти в 2017 г. (тыс. т)
Индия	1322	35684
Афганистан	1187	0
Колумбия	1093	44029
Ирак	1014	219737
Пакистан	836	4363
Филиппины	632	676
Нигерия	530	90529
Ливия	458	42322
Йемен	436	1256
Сомали	388	0

Таблица 3. 10 стран с наибольшим количеством похищений, 1970–2018 гг.

Источник: Global Terrorism Database

заливе у берегов Йемена, что вызвало рост цен на нефть на 1,3 % в течение нескольких часов. Кроме того, экономические последствия террористических атак на нефтяные танкеры огромны: по оценкам, каждый инцидент приводит к материальному ущербу в размере 1,96 млн долл.

Несмотря на то, что нефтяные танкеры являются значительной мишенью, они остаются менее защищенными, чем другие нефтяные объекты, такие как трубопроводы или нефтеперерабатывающие заводы. Это объясняется тем, что действия на море менее эффективны и более затратны для террористов, чем действия на суше. Угроза морского терроризма, с которой сталкиваются нефтяные танкеры, также не столь серьезна, как пиратство, поскольку взорвать или потопить нефтяные танкеры, которые, как правило, имеют двойной корпус и отсеки, сложнее, чем захватить их. Тем не менее, террористические группы продолжают строить заговоры с целью нападения на нефтяные танкеры, даже если попытка может оказаться неудачной. Например, «Мстители дельты Нигера» (NDA), новая террористическая группировка, расположенная в дельте Нигера, в июне 2016 г. опубликовала заявление для прессы, в котором угрожала атаковать нефтяные объекты и суда. Но акт международного терроризма, совершенный 26 сентября 2022 г. в отношении трубопроводов «Северный поток» и «Северный поток 2» не такой затратный для исполнителей, как их выгода, к которой в последствии все приведет.

Чтобы изучить взаимосвязь между энергетикой и конкретным видом террористических атак – похищениями людей, в таблице 3 представлены 10 стран, в которых произошло наибольшее количество

Рис. 1. Подводное обследование результатов взрыва газового трубопровода «Северный поток»

похищений людей с 1970 по 2018 гг., и объемы добычи нефти в этих странах в 2017 г. По данным Global Terrorism Database, с 1970 по 2018 гг. в мире произошло в общей сложности 12 173 случая похищения людей, в 1251 из которых террористы требовали выкуп. Хотя требование денежного выкупа фигурировало только в 10 % от общего числа случаев похищения, следует отметить, что во многих случаях неясно, требовался ли выкуп, или террористы выдвигают другие требования, помимо денежных

Рис. 2. Место взрыва газовых трубопроводов «Северный поток»

Источник: Energistyrelsen

выплат. Требование выкупа также фигурирует в других типах террористических инцидентов, таких как угон и баррикады, хотя 91 % террористических атак с выкупом – это похищения людей.

Верхняя панель таблицы 3 показывает, что среди 10 стран, пострадавших от наибольшего количества похищений, восемь являются нефтедобывающими странами. Среди этих жертв четыре страны – Колумбия, Ирак, Нигерия и Ливия – добыли более 200 млн т нефти в 2017 г. Если похищения в Индии или Ираке могут быть напрямую не связаны с нефтяной промышленностью, то похищения в Колумбии и Нигерии явно связаны, поскольку в этих двух странах наблюдался сепаратистский терроризм, базирующийся в богатых нефтью регионах. В Колумбии Армия национального освобождения воюет с правительством уже более 40 лет и занимается такими видами деятельности, как вымогательство у работников нефтяной промышленности и взрывы нефтепроводов. В Нигерии вышеупомянутая организация MEND стремится контролировать добычу нефти в дельте Нигера и часто совершает нападения на нефтяные объекты и иностранные нефтяные компании. Эти случаи говорят о том, что производство энергии может быть первопричиной терроризма и, в свою очередь, повышает вероятность того, что энергия станет целью террористов.

Международный террористический акт в отношении «Северный поток» и «Северный поток 2»

26 сентября 2022 г. в Балтийском море был совершен международный террористический акт в отношении двух газовых трубопроводов «Северный поток» и «Северный поток 2», оператором которых является компания Nord Stream. По предварительной оценке специалистов мощность каждого взрыва составила около 500 кг в тротиловом эквиваленте.

На рис. 1 видны последствия в виде деформации листа металла. Без наличия

Рис. 3. Исполнитель посещает тайник с компонентами самодельного взрывного устройства

соответствующей компетенции во взрывотехническом деле, можно классифицировать такой изгиб как взрыв направленного действия, что уже не является возможной неисправностью или нарушением целостности трубопровода, повлекший взрыв изнутри, о котором говорили представители Европейского союза.

Расследованием данного беспрецедентного международного террористического акта занялась прокуратура Швеции, при этом европейское сообщество также было и остается против того, чтобы к расследованию были привлечены представители России. Однако, прокуратура Швеции все же сделала соответствующие выводы на основе проведенного подводного обследования и экспертизы полученных материалов: «Проведенная экспертиза показала наличие следов взрывчатых веществ на нескольких объектах, которые были извлечены. Ведется детальное и охватывающее самые различные аспекты расследование. В его ходе будет установлено, можно ли идентифицировать каких-либо подозреваемых».

В то же время представители Соединенных Штатов Америки обвинили Россию в данных диверсиях, целью которой являлось обеспечение энергетического кризиса стран Европы, а данные действия назвали – «Energy terrorism» (в переводе «Энергетический терроризм»).

В рамках статьи ранее перечисленные террористические акты никогда не были так прямо и тесно связаны с политическим участием, а подготовка и реализация таких актов была значительно хуже.

В этой связи нельзя не отметить попытку совершения такого акта 22 сентября 2022 г. в отношении газопровода «Турецкий поток». Исполнитель данного террористического акта задержан сотрудниками Федеральной службы безопасности России. В ходе оперативных мероприятий стало известно, что исполнителем является россиянин 1978 г. рождения, завербованный Службой безопасности Украины.

Из-за юридических вопросов и по соображениям безопасности штат нефтяных танкеров в основном не вооружен, что делает суда уязвимыми для пиратских захватов и террористических атак

Заключение и последствия для политики

Энергия питает современное общество и является ключом к экономическому росту. Однако производство энергии, особенно традиционной, сопровождается некоторыми негативными последствиями, такими как загрязнение окружающей среды и изменение климата. Данная статья указывает на еще один негативный результат производства энергии – терроризм. Одним из ограничений данной статьи является то, что основные доказательства основаны на описательной статистике, взятой исключительно из GTD. Описательная статистика, действительно, не является таким строгим методом, как другие количественные методы, такие как многомерный анализ, но это полезный инструмент для изучения взаимосвязей или описания закономерностей в исследованиях в области изучения терроризма в сфере энергетики. Описательная статистика также не способна проверить причинно-следственные механизмы. Хотя в данной статье показана общая закономерность террористических атак на энергетику, будущие исследования могут продолжить изучение причинно-следственных механизмов на макро или микроуровне, которые побуждают террористов нападать на энергетическую отрасль, и изменений в их стимулах для нападения на энергетическую инфраструктуру.

В заключении необходимо выстроить четкую модель противодействия таким актам терроризма. Во-первых, страны-производители энергии должны повысить свой уровень защиты энергетических объектов. Хотя террористические атаки на энергетическую отрасль составляют всего 3,8 % от общего числа террористических актов, их прямое финансовое воздействие больше, чем у других атак. Косвенное воздействие на энергетическую безопасность и экономику может быть даже более значительным. Недавние случаи свидетельствуют о том, что террористические атаки на энергетические объекты стало легче осуществлять благодаря использованию беспилотников. Энергетическая отрасль также остается главной мишенью для террористов, занимающихся похищениями и вымогательством. Поэтому правительствам следует усилить защиту энергетических объектов или компаний, чтобы предотвратить террористические атаки и потенциальные финансовые потери. Во-вторых, некоторые террористы нападают на энергетические объекты или компании из-за негативных явлений, связанных с производством энергии, таких как несправедливое распределение доходов, деградация окружающей среды и безработица. Чтобы предотвратить этот вид терроризма, основанного на недовольстве, правительства и энергетические компании должны также приложить усилия для минимизации воздействия производства энергии на местное сообщество. Например, энергетические компании могут рассмотреть возможность найма местных жителей и более активного взаимодействия с обществом, что будет стимулировать занятость и позволит избежать ксенофобии в богатых нефтью регионах. В-третьих, переход от традиционных источников энергии, которые больше загрязняют окружающую среду, к возобновляемым источникам энергии может помочь снизить уровень терроризма. Пока нет доказательств того, что возобновляемая энергия связана с терроризмом, поскольку производство возобновляемой энергии с меньшей вероятностью будет сопровождаться негативными явлениями, о которых говорилось выше.

Нефтяные месторождения расположены в отдаленных районах, а многие нефтепроводы и газопроводы проложены на большие расстояния, что делает защиту энергетических объектов относительно сложной

Использованные источники

1. *О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса [Текст]: Федеральный закон от 21 июля 2011 г. № 256-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации 2011, № 30.*
2. *Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации [Текст]: Указ Президента РФ № 216 от 13.05.2019.*
3. *Мазур И. И. Глобальная энергетическая безопасность // Век глобализации. № 1, 2008. С. 57–69.*
4. *Global Terrorism Database. – URL: https://www.start.umd.edu/gtd/ // Дата обращения: 10.09.2022.*
5. *U.S. Energy Information Administration. – URL: https://www.eia.gov/ // Дата обращения: 10.09.2022.*
6. *RAND Database of Worldwide Terrorism Incidents. – URL: https://www.rand.org/nsrd/projects/terrorism-incidents.html // Дата обращения: 10.09.2022.*

УДК 620.9 DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179_38 EDN: VILKWI

Драйверы и тормозы развития ядерной энергетики*

Drivers and brakes on the development of nuclear energy

* В научной и популярной литературе широко используются также термины: атомная энергетика, атомная энергия. В данной статье используется, соответственно: ядерная энергетика, ядерная энергия, так как энергия, генерируемая в ядерном реакторе, – следствие деления ядер вещества. Однако – атомная (а не ядерная) электростанция, так как это стало устойчивым словосочетанием в русском языке.

Сергей ЧЕРНАВСКИЙ
Главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН,
д. э. н., к. т. н.
e-mail: sergeichernavsky@mail.ru

Sergei CHERNAVSKII
Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher of the Central Institute of Economics and Mathematics of RAS
e-mail: sergeichernavsky@mail.ru

Чернобыльская АЭС, Припять

Источник: Wendelin Jacober / behance.net

Аннотация. Распространение ядерной энергии как источника первичной энергии происходит очень неравномерно. Периоды ускоренного роста ядерной энергетики чередуются с периодами торможения и даже остановки роста. Рассматривается широкая палитра факторов, влияющих как на рост ядерной энергетики (дефицитность энергетического баланса, стремление стран к энергонезависимости и снижению издержек энергоснабжения, угроза глобального потепления климата на Земле, истощение ресурсов органического топлива, использование экономии от масштаба и др.), так и торможение ее развития (оценка приемлемости ядерной энергии как источника первичной энергии, недостаточность знаний о развитии ядерных реакций в ядерных реакторах, сложность человеко-технических систем, серьезные аварии на предприятиях ядерной энергетики, удешевление технологий использования солнечного света, ветра, и других нетрадиционных возобновляемых источников энергии и др.). Показывается, что реалистическая, объективная и всесторонняя оценка всей палитры драйверов и тормозящих факторов роста ядерной энергетики требует междисциплинарного подхода и способствует повышению качества прогнозирования развития ядерной энергетики и общества в целом.
Ключевые слова: ядерная энергетика, общественное благосостояние, спрос на энергию, издержки производства электроэнергии, первичная энергия, аварии на атомных электростанциях, приемлемость, глобальное потепление климата, возобновляемые источники энергии, истощение ресурсов органического топлива.

Abstract. The spread of nuclear power as a primary energy source has been very uneven. Periods of accelerated growth of nuclear power alternate with periods of deceleration and even stagnation. A wide palette of factors influencing both the growth of nuclear power (energy balance deficit, countries' desire for energy independence and reduction of energy supply costs, threat of global warming on Earth, depletion of fossil fuel resources, use of economies of scale, etc.) and its inhibition (assessment of the acceptability of nuclear energy as a primary energy source, lack of knowledge about the development of nuclear reactions in nuclear reactors, complexity of human and technical systems, serious a It is shown that a realistic, objective and comprehensive assessment of the whole palette of drivers and limiting factors of nuclear power growth requires an interdisciplinary approach and contributes to improving the quality of forecasting the development of nuclear power and society as a whole.
Keywords: nuclear power, public welfare, energy demand, energy production costs, primary energy, accidents at nuclear power plants, acceptability, global climate warming, renewable energy sources, depletion of fossil fuel resources.

Введение

В конце 1930-х гг. была обнаружена возможность осуществления цепной реакции деления ядер изотопа урана-235, в ходе которой выделяется энергия внутриядерных связей (далее ядерная энергия), и образуются новые вещества, одни из которых представляет собой отходы деления урана-235, а другие (например, плутоний-239) могут быть использованы как источник ядерной энергии. Количество высвобождаемой ядерной энергии было столь велико, что вначале изучалась только перспектива ее использования для создания нового оружия огромной мощности. В решение этой задачи в нескольких странах были вложены очень большие интеллектуальные, материальные и финансовые ресурсы. В результате удалось разработать несколько конструкций ядерных реакторов, в которых осуществлялись управляемые ядерные реакции с получением двух видов продуктов: (1) веществ, которые можно использовать для изготовления урановых и плутониевых атомных бомб и (2) тепла, которое можно использовать для подогрева воды и приготовления водяного пара.

Были установлены условия, необходимые для обеспечения в ядерном реакторе

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №1(179) / 2023

управляемой реакции деления урана-235, в том числе, состав и форма ядерного топлива, основу которого составляет делящийся изотоп урана. Но в природе уран-235 – редкое вещество. Так, в природном уране содержится только около 0,72 % этого изотопа, а около 99,27 % – это неделящийся изотоп уран-238. Для того чтобы изготовить из природного урана ядерное топливо для АЭС, необходимо увеличить концентрацию урана-235, осуществляя для этого фазовые переходы твердого вещества в газ и газа в твердое вещество. Сложность и высокая стоимость изготовления ядерного топлива определяются не только необходимостью обогащать природный уран, но и тем, что для извлечения природного урана приходится перерабатывать огромные массы природных материалов – даже в богатой урановой горной руде содержится всего около 0,2 % природного урана (NEPSG, 1977). Так что только несколько промышленно развитых стран были способны преодолеть сложности, возникающие при изготовлении топлива для ядерных реакторов.

Разрушенная АЭС Фукусима
Источник: pinktentacle.com

Идея использовать ядерную энергию для производства электроэнергии, как известно, впервые была воплощена в СССР, когда в 1954 г. в г. Обнинске была введена в эксплуатацию АЭС электрической мощностью 5 МВт. Было ясно, что, увеличивая мощность ядерного реактора, можно добиться значительного снижения удельных издержек производства электроэнергии. В 1958 г. в США была введена в строй АЭС Shippingport электрической мощностью 68 МВт. Единичная мощность сооружаемых энергоблоков АЭС быстро увеличилась до 400–1000 МВт. В этом диапазоне действовал эффект экономии от масштаба – с ростом единичной мощности энергоблоков АЭС снижались удельные издержки производства электроэнергии. К началу 1960-х гг. во многих странах АЭС с крупными энергоблоками стали рентабельными при покрытии базовой части графика электрической нагрузки.

В использовании АЭС для производства электроэнергии оказались заинтересованы многие страны. К началу 1987 г. АЭС (на которых было установлено более 405 энергоблоков) работали в 26 странах (таблица 1). В последующие 35 лет, согласно данным таблицы 1, к этому числу добавилось 5 стран.

В конце 2022 г. по данным Всемирной ядерной организации (Nuclear Power in the World Today, 2022) на АЭС с помощью 440 энергоблоков произведено 10 % общего количества произведенной в мире электроэнергии. (Для сравнения: в 2019 г. за счет угля было произведено 36,7 % электроэнергии, природного газа – 23,5 %, гидроэнергии – 16 %, ядерной энергии – 10,3 %, нетрадиционных источников энергии (солнечного света, ветра и др.) – 8,2 %, мазута – 2,8 %, прочих источников – 2,6 %.). Это означает, что, хотя большинство стран мира с большой осторожностью открывают новые для себя программы строительства АЭС, в некоторых странах, где уже есть опыт работы атомных станций, ввод новых продолжается. И это при том, что в 2011 г. еще одна катастрофическая авария произошла на АЭС Фукусима!

Закрытая из-за аварии АЭС Three Miles Island, США
Источник: comicvine.gamespot.com

А ведь после катастрофы на Чернобыльской АЭС в 1986 г., задевшей экономику нескольких стран, а также серьезной аварии с расплавлением активной зоны ядерного реактора в 1979 г. на АЭС Three Miles Island, многим людям, в том числе тем, кто влияет на формирование общественного мнения, казалось, что до тех пор, пока не будет полностью исключена возможность такого типа аварий, у ядерной энергетики нет перспектив роста.

Продолжение строительства новых энергоблоков с ядерными реакторами через несколько лет после катастрофической аварии на какой-нибудь АЭС – не новый феномен. Он наблюдался еще после аварии на АЭС Three Miles Island. До нее в период 1954–1978 гг. в мире в среднем вводилось в эксплуатацию 10 ядерных энергоблоков в год. В 1977 г. к электрической сети было подключено 18 энергоблоков АЭС, в 1978 г. – 20 энергоблоков, а в 1979 г., когда произошла авария на АЭС Three Miles Island, – только 8 энергоблоков. Шок, полученный от этой очень серьезной аварии, оказался краткосрочным – в период с 1980–1985 гг. в мире вводилось в среднем по 22 ядерных энергоблоков в год. Однако «число новых заказов на строительство уменьшилось, а реализация проектов, которые были уже заказаны или даже находились в стадии строительства, была отложена или прекращена вовсе» (Чар, Шик, 1987, с. 24–25). То есть даже не катастрофическая авария на АЭС (в ней радиоактивность не вышла за пределы АЭС) стала долгосрочным фактором торможения роста ядерной энергетики.

В результате оказалось, что рост ядерной энергетики стал очень неравномер-

Таблица 1. Распространенность АЭС в мире

Регион	Число стран, в которых работают АЭС	
	на январь 1987 г.[1]	на октябрь 2022 г.[2]
Европа	16	18
Северная Америка	2	3
Азия	5	7
Южная Америка	2	2
Африка	1	1
Австралия	0	0
Всего	26	31

[1] Источник данных: Чернавский, 1988.
[2] Источник данных: Nuclear Power in the World Today, 2022.

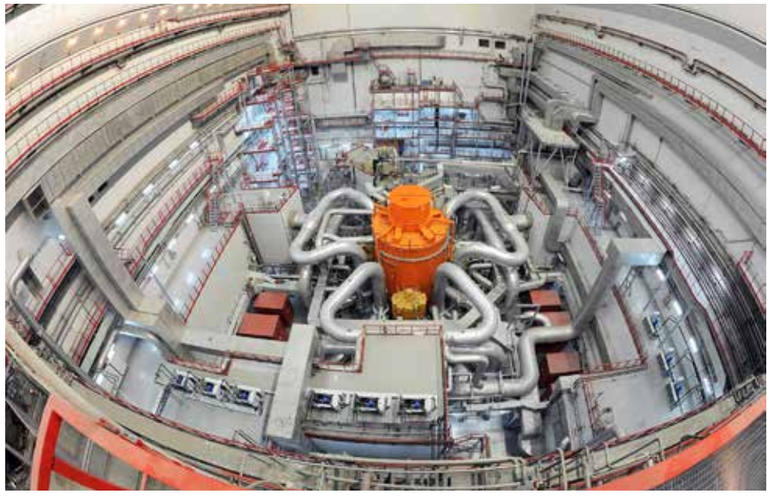
ным. Периоды ускоренного строительства АЭС после серьезной аварии хотя бы на одной из работающих АЭС сменяются периодами резкого замедления строительства. Однако через какое-то время инвесторы снова начинают вкладывать свои средства в проекты сооружения АЭС.

Такой неравномерный процесс свидетельствует о том, что развитие ядерной энергетики происходит под влиянием разнонаправленных факторов. Одни факторы (драйверы) поддерживают и стимулируют ее рост в мире и в отдельных странах, другие (тормозы – и это не только аварии на АЭС) притормаживают этот рост, а некоторые, возможно, способны даже обнулить его. Их выявление и анализ роли, которую они играют и могут играть в развитии ядерной энергетики, являются одной из важнейших задач в энергетическом секторе мировой и российской энергетики.

Драйверы роста ядерной энергетики

Рост спроса на первичную энергию после промышленных революций XIX и XX веков, вероятно, – основной долгосрочный драйвер роста ядерной энергетики. В течение многих столетий источником первичной энергии были возобновляемые энергетические ресурсы (ВИЭ). В конце XVIII века стали строить промышленные предприятия, которым нужна была первичная энергия в таких масштабах, которые традиционные в то время ВИЭ дать им не могли. Их стали вытеснять уголь и нефть. Новый толчок роста спроса на первичную энергию начался с развитием электроэнергетики. К производству электроэнергии подключились крупные ГЭС и природный газ.

В 2022 г. по данным Всемирной ядерной организации на АЭС с помощью 440 энергоблоков произведено 10% общего объема электроэнергии в мире. Это означает, что ввод новых блоков продолжается



Энергоблок БН-600 на Белоярской АЭС
Источник: napp52.ru

Для ее производства стали использовать очень широкую палитру природных источников, основными из которых долгое время были месторождения угля, нефти и природного газа. Добываемые нефть и природный газ оказались настолько привлекательными для промышленности, транспорта и домашних хозяйств, что их принялись использовать не только как топливо для получения электроэнергии, горячей воды, водяного пара, функционирования двигателей внутреннего сгорания и прочего, но и для изготовления различных веществ и конструкций.

Оценки разведанных ресурсов органического топлива на Земле показали, что их совокупности достаточно, чтобы обеспечить мировую экономику энергией в течение нескольких десятилетий и «энергетический голод человечеству не угрожает даже в отдаленном будущем» (Стырикович, 1980, с. 11).

Однако если даже согласиться с тем, что мир в целом достаточно хорошо обеспечен ресурсами органического топлива и возобновляемой гидроэнергией, производимой мощными ГЭС, то картина обеспеченности ими по отдельным странам – очень пестрая. На территории многих стран, в том числе, промышленно развитых (Японии, Тайваня, Южной Кореи и др.), не обнаружено сколько-нибудь значимых запасов органического топлива. Нет там и больших полноводных рек, где можно было бы построить мощные ГЭС.

Многие страны располагают значительными запасами угля (Китай, Индия, ЮАР, Германия, Польша), но запасов таких редких видов органического топлива – нефти и природного газа на их территориях тоже не обнаружено. В некоторых регионах мира, например, в Западной Европе, разрабатываемые месторождения нефти и газа в значительной мере истощены. Большинство стран, не имея собственных адекватных спросу запасов нефти и газа, вынуждены импортировать углеводороды, чтобы в стремлении повысить качество и уровень жизни населения своих стран обеспечить нормальное функционирование таких отраслей, как транспорт, химическая промышленность, электроэнергетика, производство тепла для отопления и горячего водоснабжения, (в том числе домашних хозяйств), производство строительных материалов и пр.

Эта политика хорошо мотивирована и могла бы стать очень эффективной даже для стран, у которых запасов собственных энергоресурсов недостаточно. Но история международных отношений показывает, что с развитием цивилизации межстрановые конфликты, доминировавшие в прошлом, не исчезают, и порой становятся ожесточенными. В XX веке, где наряду с двумя мировыми войнами было много других кровопролитных опустошающих страны конфликтов, эта тенденция не исчезла. Поэтому, стремясь обеспечить свое

Стройплощадка БРЕСТ-ОД-300
Источник: energotek.ru

Периоды ускоренного возведения АЭС после серьезной аварии сменяются периодами резкого замедления строительства. Но затем инвесторы снова начинают вкладывать в атомные проекты

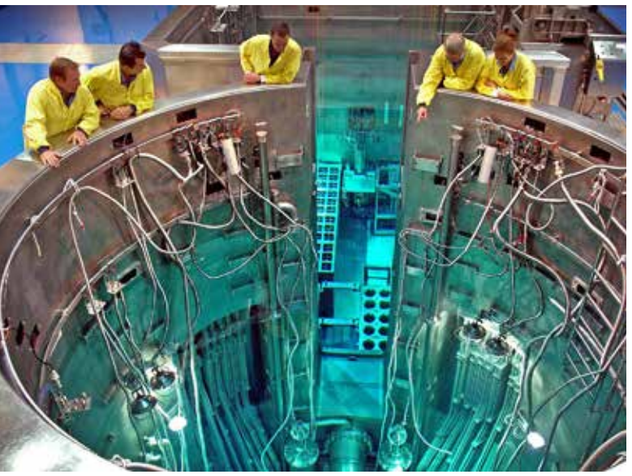
устойчивое долгосрочное развитие, каждая страна – импортер энергоресурсов заинтересована в появлении таких источников первичной энергии и таких технологий ее использования, которые могли бы сделать страну более (или полностью) энергонезависимой.

Стремление к энергонезависимости особенно сильно проявило себя в начале 1950-х гг., когда после второй мировой войны начался восстановительный рост мировой экономики и, соответственно, рос спрос на первичную энергию. У многих стран возникла потребность в новых источниках первичной энергии, которые могли бы существенно снизить их зависимость от экспортеров энергоресурсов (прежде всего, нефти и природного газа).

Как можно было решить эту проблему? Казалось бы, наиболее простой и естественный путь – использовать те источники первичной энергии, которые есть в распоряжении каждой страны: прежде всего – солнечный свет и ветер. У стран, которые имеют доступ к океанам, есть дополнительная возможность: энергия приливов и отливов, а у некоторых стран, например, у Исландии, еще один легкодоступный природный источник первичной энергии – выходящие на поверхность Земли потоки горячей воды и пара. Все эти источники первичной энергии входят в состав нетрадиционных возобновляемых источников энергии[1] (НВИЭ).

[1] Источник энергии квалифицируется как возобновляемый, если скорость его использования не превышает скорости его возобновления. Следует иметь в виду, что некоторые виды НВИЭ – ресурсы двойного-тройного назначения. Например, древесина – это не только дрова, но и сырье для изготовления домов, мебели, бумаги и пр., а также поглотитель самого распространенного парникового газа – CO_2. Скорость расходования древесины в мире по этим направлениям ее утилизации уже давно выше скорости ее восстановления в лесах. Постепенно площадь, занимаемая лесами, сокращается, то есть сокращается также сырьевая база целлюлозно-бумажной и деревоо-

Однако в 1950-х – 1960-х гг. использовать это направление реструктуризации энергетического баланса было невозможно. Даже в промышленных развитых странах, которые импортировали в больших объемах энергоресурсы, не было рентабельных технологий использования нетрадиционных ВИЭ (хотя, казалось бы, они были очень заинтересованы в их утилизации). Дело в том, что предельные издержки добычи и транспортировки нефти в мире были относительно небольшими (порядка 2–3 долл./барр.). К тому же в 1960-х гг. в Западной Сибири и в акватории Северного моря были открыты несколько крупнейших и даже гигантских



Ядерные реакторы s6w
Источник: sunhome.ru

месторождений нефти и газа. Очень популярна была гипотеза, что запасы органического топлива положительно коррелированы с затратами на геологоразведку. Разработчики энергетической политики и инженеры думали, что, расширяя геологоразведку, можно было не беспокоиться об обеспеченности человечества запасами первичной энергии в традиционных природных источниках.

Казалось, что ВИЭ уже никогда не смогут вернуть себе то доминирующее влияние, которое они имели еще несколько столетий назад. Прогнозы весьма компетентных и влиятельных ученых поддерживали это отношение, что видно из оценки, данной в 1980-е гг. крупнейшим российским энергетиком М. А. Стыриковичем: «Можно согласиться с тем, что ВИЭ вряд ли могут составить заметную часть в энергобалансе мира даже в весьма отдаленном будущем» (Стырикович, 1980, с. 22). Какой еще природный источник первичной энергии смогут использовать будущие люди после истощения ресурсов органического топлива?

В середине 1950 г. в качестве многообещающего источника первичной энергии предстал природный уран. АЭС, использующие в качестве ядерного топлива обогащенный уран, почти одновременно появились в СССР, США, Великобритании и Франции в результате реализации государственных программ создания атомной и водородной бомб. В созданных с помощью масштабного государственного финансирования ядерных кластерах были построены предприятия по переработке урановой руды в топливо для ядерных энергетических реакторов.

У стран, дефицитных по запасам органического топлива, появилась надежда, что рост их экономики в недалеком будущем будет обеспечен системой предприятий, в которых осуществляются управляемые цепные ядерные реакции, а выделяющаяся при этом энергия преобразуется в электроэнергию и тепло для домашних хозяйств и промышленности. Эта надежда также стала одним из существенных драйверов развития ядерной энергетики.

Спрос на АЭС стал формироваться не только в тех странах, в которых были созданы кластеры ядерной энергетики, но и в развивающихся странах, в которых таких кластеров (например, предприятий по изготовлению ядерного топлива или долгосрочному захоронению отработавшего ядерного топлива) не было.

Почему такие страны предъявляли спрос на сооружение на своих территориях АЭС – ведь у них не было надлежащих систем топливоснабжения ядерных реакторов? Дело в том, что энергоплотность ядерного топлива намного выше энергоемкости органического топлива, поэтому масса подвозимого топлива для АЭС

брабатывающей промышленности. Снижается значимость древесины как инструмента смягчения угрозы глобального потепления. Это ограничивает масштаб использования древесины как НВИЭ. Тем не менее, для человечества в целом древесина сегодня – невозобновляемый ресурс, поскольку из-за антропогенной деятельности на Земле снижается площадь территории, на которой растет лес. Солнечная энергия – также энергоресурс двойного назначения, так как она может быть преобразована как в тепло, так и в электроэнергию.

Энергоплотность ядерного топлива намного выше энергоемкости органического топлива, поэтому масса подвозимого топлива для АЭС на порядки меньше масс органического топлива для ТЭС

на порядки меньше тех масс органического топлива, которые надо подвозить к тепловой электрической станции (ТЭС) (той же мощности, что и АЭС). К тому же ядерное топливо надо подвозить к АЭС довольно редко, а не непрерывно, как к ТЭС. Это был привлекательный стимул для строительства АЭС.

Конечно, в то время, когда месторождения органического топлива в мире истощатся, а ВИЭ (кроме уже построенных крупных ГЭС) не появятся, ядерная энергетика может оказаться единственным поставщиком электроэнергии и тепла, но это время наступит только через много десятков лет. Поэтому актуален вопрос, а чем может быть она полезна сегодня, когда все еще в различных странах существует широкомасштабная добыча различных видов органического топлива?

До истощения ресурсов органического топлива АЭС приходится конкурировать, прежде всего, с ТЭС. Для того, чтобы АЭС смогли потеснить ТЭС, например, в структуре производителей электроэнергии или даже вытеснить их, необходимо, чтобы удельные издержки производства электроэнергии были ниже удельных издержек ТЭС. Для снижения издержек производства электроэнергии проектировщики активно использовали уже упоминавшийся эффект экономии издержек от масштаба производства. Большинство зарубежных и отечественных экспертов пришли к выводу, что на АЭС можно производить более дешевую электроэнергию, чем на ТЭС.

Для СССР развитие ядерной энергетики было очень многообещающим направлением. Вытеснение из структуры первичной энергии органического топлива позволило бы увеличить экспорт нефти и природного газа на рынки с намного бóльшим объемом извлекаемой ренты, чем при продаже на внутренних рынках. А это имело исключительно важное значение, так как в СССР

Ленинградская АЭС
Источник: rosenergoatom.ru

АЭС Пауло Верде

Источник: businesswire.com

в 1970-х гг. появились признаки истощения внутренних источников роста экономики.

Поэтому в 1970-х гг. в СССР планировался и разрабатывался технологический прорыв – ускоренный долгосрочный рост ядерной энергетики[2]. По мнению руководства страны, без него нельзя было ожидать, что электроэнергетика (а с нею и вся экономика) сможет расти в соответствии с траекторией «опережающего развития» – стратегии, внедренной в СССР (в качестве нормативной) вскоре после принятия (в 1921 г.) плана ГОЭЛРО. Приведенные ниже высказывания иллюстрируют характер ожиданий роста доли ядерной энергетики в экономике страны: «К 1990 г. <…> за счет АЭС будет вырабатываться около 40 % всей электроэнергии» (Александров, 1978, с. 221). «Намечалось (*в 1960-х гг. – СЧ*), что за 50 лет электроснабжение СССР будет полностью переведено на ядерно-топливную основу» (Корякин, 2002, с. 53).

Более того, по мнению многих авторитетных экспертов, «среди различных отраслей энергетики, основанных на применении ископаемого топлива, атомная энергетика не имеет себе равных по минимальному уровню вредного воздействия на обслуживающий персонал, население и окружающую среду, а также по оснащенности средствами защиты против возможного загрязнения окружающей среды и <…> широкое развитие атомной энергетики <…> до 1000 ГВт в СССР (прогноз на 2000–2010 гг.) позволяет обеспечить сохранение достаточной чистоты внешней среды» (Экспертная оценка-1975, 2013, с. 111). В этом прогнозе, а также в большинстве других прогнозов образ такого «будущего» был логическим следствием наблюдаемых феноменов

Важным драйвером развития ядерной энергетики является развитие экономико-математического моделирования электроэнергетических систем в разных странах на длительную перспективу

[2] В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976–1980 гг.» было записано «Предусмотреть опережающее развитие атомной энергетики в Европейской части СССР. Ускорить строительство и освоение реакторов на быстрых нейтронах. Приступить к подготовительным работам по использованию атомной энергии для целей теплофикации». (Александров, 1978, с. 195.)

«прошлого» и «настоящего» ядерной энергетики, а также господствовавших тогда представлений о ее свойствах.

По прогнозам многих российских экспертов, к концу XX века в европейской части страны АЭС должны были вытеснить из сферы производства электроэнергии электростанции на органическом топливе (ТЭС), а с помощью атомных ТЭЦ (АТЭЦ) и атомных станций теплоснабжения (АСТ) потеснить ТЭЦ и котельные на органическом топливе в сфере производства тепла (см., например, (Энергетический комплекс СССР, 1983). А уже в 1986–1990 гг. «в европейских районах страны практически прекращается строительство новых конденсационных тепловых электростанциях (КЭС) на органическом топливе. Будет осуществляться лишь ввод в действие мощности на ряде электростанций, сооружение которых было начато раньше, а также на некоторых ТЭЦ» (Воскресенский, 1987, с. 172).

Многие весьма авторитетные ученые и инженеры были уверены в том, что благодаря интенсивному техническому развитию ядерная энергетика (совместно с термоядерной) уже в начале XXI сможет полностью обеспечить людей первичной энергией, на базе которой будут удовлетворены потребности человечества во всех необходимых ему формах энергии. Эта уверенность выражена, например, в статье (Александров, 1984, с. 343) в такой форме: «Решение задачи полного обеспечения всех видов энергопотребления в нашей стране за счет деления и синтеза атомных ядер – достойная задача нашей науки и техники на границе веков», или в более осторожной: «АЭС <…> выходят *в абсолютные энергетические лидеры на XXI в.* по экономическим <…> показателям (*курсив автора _ – СЧ*)» (Корякин, 2002, с. 223).

В такого рода оценках, однако, не принималось во внимание то, что спрос на электрическую энергию неоднороден во времени. Дизайнеры электроэнергетических систем задолго до появления АЭС учли, что среди потребителей электроэнергии есть те, у которых спрос на электрическую мощность практически не меняется в течение всего года. Это, например, металлургические заводы, предприятия, работающие непрерывно в три смены и т. д. Они формируют в данном узле электрической сети так называемую базовую зону суммарного графика электрической нагрузки. Есть предприятия, которые работают с переменной загрузкой своего оборудования, так как экономическая активность снижается по ночам и выходные дни, во многих странах – также зимой. Они формируют полупиковую зону графика нагрузки. Наконец, в графике электрической нагрузки есть зона пиковой нагрузки, в которой мощность требуется всего 1–2 часа в рабочие сутки года.

В результате диспетчеры электрической сети, стремясь в интересах общества минимизировать суммарные издержки электроэнергетической системы, для производства пиковой электроэнергии привлекают такие энергоблоки, которые имеют

Ядерные энергетические реакторы Сарри, Вирджиния
Источник: easygreener.blogspot.com

минимальные удельные капиталовложения и наиболее высокие удельные переменные затраты (у ТЭС они близки к удельным затратам на топливо). Для покрытия спроса на базовую электроэнергию, напротив, привлекают, энергоблоки с наибольшими удельными капиталовложения и минимальными переменными затратами.

Расчеты и реальная практика показали (см., например, Стырикович и др., 1984; Chernavsky, 1985), что долгосрочные удельные издержки АЭС, работающих в зоне базовой электрической нагрузки ниже, чем у ТЭС. Что касается пиковой нагрузки и значительной части полупиковой нагрузки, то во многих странах издержки различных ТЭС и гидроаккумулирующих электро-

В торможении развития АЭС «виноваты» три аварии: очень серьезная авария 1978 г. на АЭС Three Miles Island, и две катастрофические в 1986 г. на Чернобыльской АЭС и в 2011 г. на АЭС Фукусима

станций (ГАЭС) ниже, чем у АЭС. Поэтому до истощения традиционных источников энергии оптимальной структурой электростанций является композиция ТЭС, АЭС, ГЭС и ГАЭС. При этом в количественном отношении оптимальная структура электроэнергетики неоднородна по странам.

Это показывает, что важным драйвером развития ядерной энергетики является развитие экономико-математического моделирования электроэнергетических систем в разных странах на длительную перспективу, с помощью которых определяются количественные характеристики оптимального использования технических устройств. Однако механизм действия этого драйвера отличается от механизма влияния спроса на первичную энергию.

Примерно таким же по характеру своего влияния драйвером стала ограниченность ресурсов делящегося изотопа U-235. Природный уран, в состав которого входит уран-235, весьма распространенный элемент на Земле, однако его концентрация в природных веществах очень низкая, Если в богатых урановых рудах содержание природного урана, как уже указывалось выше, около 0,2 %, то в более бедных может быть на порядок меньше, в гранитах – порядка $4 \cdot 10^{-6}$, в морской воде – порядка $3{,}4 \cdot 10^{-6}$ (см., например, Стырикович, Шпильрайн, 1981, с. 33). Однако издержки извлечения природного урана быстро возрастают со снижением его концентрации в исходном природном сырье. Поэтому уже на начальном этапе становления атомной энергетики многие исследователи полагали, что из-за ограниченности обнаруженных в то время богатых ураносодержащих руд топливная проблема в отдаленном будущем станет доминирующей и ядерное топливо, как и органическое, войдет в группу невозобновляемых энергетических ресурсов.

Реакция деления является доминирующей, если реактор спроектирован, в основном, на получение энергии. Такой реактор является «сжигателем» ядерного топлива. Если делящийся изотоп ядерного топлива U-235, то из-за ограниченности запасов природного урана ядерная энергия, построенная на реакторах-сжигателях, представляет собой ограниченный и невозобновляемый источник энергии. Однако в ядерном реакторе при делении ядер выделяются нейтроны, часть которых захватываются неделящимися изотопами U-238, что приводит к образованию новых делящихся изотопов. Если число новых делящихся изотопов превышает число разделившихся изотопов, ядерного топлива становится больше, чем в исходном ядерном топливе, и такой реактор становится реактором-«размножителем» ядерного топлива, а АЭС, в составе которых работают реакторы-размножители оказывается источником возобновляемой первичной энергии. В результате осуществляется уникальный в энергетике процесс, в котором использование первичной энергии приводит не к уменьшению ее запасов, а к их увеличению. Моделируя развитие ядерной энергетики с реакторами-сжигателями и реакторами-размножителями, можно определить их оптимальную (с точки зрения интересов общества) композицию и возможную роль

Тяньваньская АЭС
Источник: Аркадий Сухонин / «Росатом»

АЭС Касивадзаки-Карива
Источник: inshorts.com

АЭС с реакторами-размножителями в росте предложения первичной энергии при истощении ее традиционных источников.

Истощение месторождений органического топлива как драйвера развития атомной энергетики в начале 1970-х гг. получило мощного союзника. Им стал – ОПЕК. Созданный в 1960 г. этот международный картель, объединивший пять нефтедобывающих стран (к концу 1960-х гг. их число возросло до 11), создал возможность манипулирования ценами нефти на мировом рынке. В течение примерно 13 лет ОПЕК не пользовался своей рыночной властью, однако в конце 1973 г. ОПЕК «проснулся» и стал в шоковом режиме повышать цену нефти на мировом рынке, что вызвало мировые энергетические кризисы и стало сигналом конца «эпохи дешевой энергии» (Стырикович, 1980, с. 11).

За счет дифференциала между картельной ценой на мировых рынках энергоресурсов и предельными издержками их добычи страны – экспортеры нефти стали получать большие сверхприбыли, экономический источник которых – относительно высокая эффективность развитых стран. Особенно неприятным сюрпризом новой реальности дорогой энергии для стран – импортеров нефти оказалось трудно прогнозируемое появление масштабных шоковых и неожиданных для них скачков цен нефти. Из-за их непредсказуемости и масштабности адаптация экономики к шокам цен стала обходиться значительно дороже приспособления к постепенному росту цен нефти.

В странах – импортерах нефти задача снижения импорта нефти получила высший приоритет. Как оказалось, в ее решении были заинтересованы не только страны – импортеры нефти, но и весь мир. Ведь на протяжении последних 200 лет (после первой промышленной революции) именно развитые страны – импортеры нефти (США, Япония, страны западной и северной Европы, Южная Корея, Тайвань и др.) были широкомасштабными мировыми технологическими драйверами. Значительное повышение затрат этих стран на энергоснабжение могло надолго затормозить технологический прогресс во всем мире.

В ответ на использование ОПЕКом на мировом рынке нефти своей экономической власти страны-импортеры стали разрабатывать долгосрочные энергетические программы, чтобы с их помощью можно было снижать негативное влияние на экономику роста нефтяных цен.

Атомная энергетика в этих новых условиях получила мощный стимул для своего развития. По характеру своего воздействия мировой кризис 1973–1974 гг. стал точкой бифуркации, после прохождения которой надежды на ядерной энергетики как энергетическую палочку-выручалочку мировой энергетики резко выросли.

Еще один «союзник» в наборе драйверов появился даже раньше ОПЕКа. В 1960–1970-е гг. были опубликованы результаты исследований, в которых был обнаружен заметный антропогенный след в повышении концентрации парниковых газов в атмосфере Земли. Основной вклад в антропогенную эмиссию парниковых газов вносит сжигание органического топлива. Была обнаружена положительная корреляция между кон-

«Безопасный» путь развития ядерной энергетики в принципе неосуществим. Создать безопасные в точном смысле этого слова АЭС пока не представляется возможным ни в одной стране

центрацией парниковых газов в атмосфере и потеплением климата на Земле. Оценки показали также, что следование сложившемуся тренду антропогенной эмиссии парниковых газов приведет к существенному снижению комфортности жизни людей на Земле. Во многих местах нормальный уровень комфортной жизни окажется недостижимым. Хотя результаты были получены с помощью представительных климатических моделей, некоторые авторитетные ученые и исследовательские организации не признавали значимость влияния антропогенной эмиссии парниковых газов на потепление климата на Земле. В своих работах они «не замечали» проблемы глобального потепления или не рассматривали глобальное потепление как существенную угрозу цивилизации (см., например, (Мировая энергетика..., 1980), (Стырикович, 1980), (Воробьев, Воскресенский, Гончаров, 1987), (Аникеев, Жибоедов, 1995)).

Однако позже появились работы, опиравшиеся как на наблюдаемые климатические изменения, так и на более совершенные и трудно опровергаемые климатические модели, которые подтвердили: угроза человечеству от глобального потепления климата серьезна, и значительная доля «вины» за ее появление было возложено на человеческую деятельность.

И здесь снова на авансцену выходит ядерная энергетика, поддерживаемая несбалансированностью энергетического сектора в большинстве стран мира, низкими издержками производства базовой электроэнергии, картельной ценовой политикой ОПЕК на мировом рынке нефти и угрозой глобального потепления климата на Земле. Кажется, что приведенные выше картины будущего тотального доминирования ядерной энергетики (они уже были

При оценке аварийности ядерных реакторов ясность – иллюзия. Деление ядер в реакторе относятся к цепным реакциям, скорость которых очень велика, а выделяющаяся энергия огромна

Авария на АЭС Three Miles Island, 1978 г.
Источник: pastvu.com

приведены выше) должны стать реальностью. Но этого не произошло. Почему рост ЯЭ затормозился?

Тормозы развития ядерной энергетики

Для многих наблюдателей ответ на поставленный выше вопрос очевиден – в торможении развития АЭС и провале ожиданий вытеснения из структуры первичной энергии органического топлива ядерным «виноваты» три аварии на АЭС. Одна из них, произошедшая в 1978 г. на АЭС Three Miles Island (TMI) была очень серьезной, а две другие (в 1986 г. на Чернобыльской АЭС и в 2011 г. на АЭС Фукусима) катастрофическими.

Такая оценка причин торможения роста ядерной энергетики, однако, не вполне соответствует фактам. В США и в нескольких странах Западной Европы еще в 1960-х гг., то есть задолго до аварии на АЭС TMI, возникло движение против строительства атомных электростанций.

Безопасный объект – это объект, который никому ничем не угрожает (Ожегов, 1988, с. 37). Однако промышленная деятельность, как правило, не бывает совершенно безопасной. Происходят аварии, которые вредят окружающей среде, здоровью людей, иногда в результате аварий люди гибнут люди. Потенциальная опасность АЭС очень велика – скорость реакций с выделением больших количеств тепловой энергии в ядерном реакторе очень высокая, выделение энергии сопровождается производством радиоактивных веществ, многие из которых распадаются затем на безопасные вещества только в течение десятилетий. Так что при работе ядерного реактора в нем протекают процессы, которые безопасными не являются. Правда, с самого начала перед атомной промышленностью ставилась задача «не допустить выхода радиоактивности за пределы ядерного реактора или технологических помещений станции» (Сидоренко, 1988, с. 28).

«Безопасный» (по определению этого свойства) путь развития ядерной энергетики в принципе неосуществим. Создать безопасные (в точном смысле этого слова) АЭС пока не представляется возможным ни в одной стране. Однако возможно использование принципов приемлемости (Чернавский, 1988, с. 3–25).

Приемлемый объект – это такой объект, который удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям (Ожегов, 1988, с. 479), его можно принять и начать работу с ним.

В агрегированном виде картина приемлемости ядерной энергетики представлена в табл. 1. Согласно приведенным данным, сегодня атомная промышленность оказалась приемлемой в 31 стране. Рассматривая отношение людей к ядерной энергетике более детально, можно выделить несколько заинтересованных слоев. Во-первых, это конструкторы и дизайнеры предприятий, в задачу которых входит сооружение надежно работающих и экономически прибыльных объектов. В свою очередь, к этому сорту специалистов предъявляется множество технических и экономических требований со стороны органов технадзора, строителей, монтажников, эксплуатационного персонала, а также инвесторов и собственников соответствующих объектов атомной энергетики. В первом приближении характер требований к людям, занимающимся деятельностью по конструированию, сооружению и эксплуатации объектов, одинаков, и вариации определяются целями, поставленными перед этими людьми.

Атомная электростанция Diablo Canyon
Источник: kqed.org

Появление «физически невозможной» аварии является следствием недостаточной изученности процессов деления ядер в реакторах. Система оказалась более сложной, чем предполагали ее создатели

Как эти люди определяют приемлемость объекта атомной энергетики? Полностью безопасный ядерно-энергетический объект соорудить невозможно, поэтому время от времени на нем будут происходить опасные события. Одни можно будет технически предотвратить (с помощью диагностических систем) или парировать (например, с помощью ремонта). Решения о приемлемости будут приниматься в результате оценки собственниками и инвесторами. Рост капиталовложений в безопасность может притормозить развитие ядерной энергетики, но окончательное решение об экономической приемлемости оцениваемого объекта будет приниматься в результате сравнения экономики ядерно-энергетического объекта с альтернативными вариантами.

Возможны события другой природы, когда активные процессы, протекающие в объекте, выходят из-под контроля персонала и воздействуют не только на технические элементы объекта, но и на людей и другие части окружающей среды. Как

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №1(179) / 2023

АЭС Каттеном

Источник: telebasel.ch

в этом случае оценить приемлемость? Трудность решения этой задачи состоит в том, что оцениваемый объект еще не построен.

Для решения этой задачи прежде всего нужно составить перечень таких событий, относительно которых есть предположение, что каждое из них может произойти. После этого по каждому списочному событию нужно определить состав пострадавших, вред, который был нанесен каждому пострадавшему от события, а также дать оценку вероятности события. Сумма полученных оценок представляет собой агрегированную оценку объекта ядерной энергетики для сопоставления с другими проектами.

Технологии использования ВИЭ достигли коммерческой зрелости, поэтому если общество той или иной страны не хочет рисковать, оно может предпочесть более дорогие источники первичной энергии

На первый взгляд – очень ясная процедура оценки, хотя ее получение и сопряжено с большими трудовыми затратами. Однако при оценке ядерных реакторов эта ясность – иллюзия. Дело в том, что реакции деления ядер в реакторе относятся к цепным реакциям, скорость которых очень велика, а выделяющаяся при каждом делении энергия огромна. Реакции должны быть управляемыми, чтобы не допустить ни чрезмерного ускорения выделения энергии, ни остановки реактора, в то время, когда АЭС должна работать.

Согласно бытовавшим в 1950-е – 1970-е гг. представлениям о работе реакторов на тепловых нейтронах, разгон реакции блокируется обратной связью между температурой топлива и интенсивностью энерговыделения. Это было основанием для исключения из списка возможных событий таких ситуаций, при которых активная зона расплавляется. Чтобы подчеркнуть их нереалистичность, аварии с расплавлением активной зоны реактора, в том числе аварии «с тяжелыми последствиями, связанными с разрушением реактора и выходом радиоактивных веществ в окружающую среду» называли «запроектными» (Легасов, Новиков, 1988, с. 36)». Однако три таких «запроектных» аварии все-таки произошли, что говорит о том, что отрицательная обратная связь не смогла предотвратить появление события, казалось бы, физически невозможного.

Появление «физически невозможного» события, в свою очередь, является следствием недостаточной изученности процессов и свойств сконструированной человеком системы – АЭС с ядерным реактором. Другими словами, техническая система оказалась более сложной, чем предполагали ее создатели.

Из-за неполной изученности некоторые возможные в данной искусственной системе события могут оказаться необнаруженными и не попасть в список ситуаций, которые должны быть учтены при оценке данного объекта. В результате – считавшаяся невероятной «запроектная» авария, как на АЭС TMI или на Чернобыльской АЭС, компрометирует в глазах многих людей, тормозит и даже останавливает рост ядерной энергетики. «Запроектной» аварией была и авария на АЭС Фукусима. Но если в рассмотренных выше двух авариях фактором торможения развития АЭС было недостаточное знание процессов в ядерном реакторе, то причиной аварии на Фукусиме было недостаточное знание природных процессов в зоне этой АЭС.

Если общество под давлением разного рода обстоятельств готово рискнуть, то выбор будет сделан в пользу атомной энергетики, несмотря на риск столкнуться с «запроектной» аварией

Значимость недостаточности знаний при формировании полного множества возможных аварий на атомных станциях играет гораздо бóльшую роль, чем недостаточность знаний при формировании списка возможных аварий на ТЭС, так как последствия самых тяжелых аварий на АЭС сопряжены с намного более опасным вредом для людей и окружающей среды, чем последствия от самых тяжелых аварий на ТЭС.

Авария на TMI поставила на повестку дня очень сложный вопрос: можно ли добиться того, что «запроектные» аварии

АЭС Каттеном

Источник: commons.m.wikimedia.org

в ядерной энергетике (расплавление активной зоны, выход радиоактивности за пределы АЭС, разрушение ядерного реактора) будут полностью исключены из списка возможных событий? Аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима показали, что пока этой цели достичь не удалось. Это, несомненно, является существенным фактором, тормозящим рост ядерной энергетики. Однако этот же фактор способствует развитию ЯЭ, стимулируя поиск дизайна АЭС, в котором эта задача, возможно, будет решена.

Но как подходить к оценке ядерной энергетики сегодня, когда «запроектная» авария возможна? Задача оценки объекта, в процессе эксплуатации которого возможны различные аварии с разными последствиями, аналогична игре человека с человеко-технической системой. Этот тип игры, заметим, существенно отличается от игр с природой – традиционного объекта, рассматриваемого в теории игр. Принципиальное отличие состоит в том, что природа может быть описана моделями, основанными на законах природы. В человеко-технической системе действует человек, поведение которого не описывается полностью законами, а в значительной мере определяется его непредсказуемой активностью. Очевидно, что без использования в такой модели знаний психологии персонала, привлеченного для работы с техническими устройствами АЭС и социальных отношений в коллективах АЭС, составить множество возможных событий невозможно. Междисциплинарный подход для решения этой задачи естественен.

Каждое возможное событие в игре человека с человеко-технической системой описывается парой чисел: суммарной величиной ущерба для людей и окружающей среды от данного события и вероятностью этого события. Произведение этих чисел дает вклад данного события в общую оценку объекта, а сумма вкладов по всем возможным событиям – результирующую оценку объекта. Сравнение оценки ядерной энергетики с оценками других источников первичной энергии может послужить основой для оптимизации структуры используемых источников первичной энергии.

Такая схема оценивания кажется естественной и ясной. Но в ней очень много проблем, некоторые из которых не имеют ясного решения. О трудности составления полного списка возможных событий уже говорилось. Ясно, что в настоящее время этот список должен быть дополнен «запроектными» авариями, специфичными для конкретного дизайна атомной станции.

При этом сразу возникает проблема «входного билета»: приемлема ли такая игра, в которой возможна «запроектная» авария на АЭС. Очевидно, что ответ на этот вопрос – один из самых важных для развития и роста ядерной энергетики.

Предположим, что «запроектную» аварию общество оценило как приемлемую, и она включена среди других событий в общую оценку ядерной энергетики. Чтобы оценить вклад этой аварии в общую оценку, необходимо определить ущерб от этой аварии (предположим, что такую оценку удалось получить) и ее вероятность. Здесь возникает серьезная проблема: теорию вероятности использовать нельзя, так как для очень редких событий нет эмпирических статистических данных. Субъективной вероятностью тоже нельзя воспользоваться, так как субъектов, у которых можно было попросить вероятностную оценку, не существует – у людей пока нет надлежащего опыта. По-видимому, в этом случае придется вернуться к вопросу: приемлема ли АЭС, если «запроектная» авария произойдет «завтра»?

Ленинградская АЭС, новый энергоблок ВВЭР-1200
Источник: atomic-energy.ru

Ответ на этот вопрос носит исторический характер. Если бы такой вопрос был задан лет тридцать тому назад в условиях, когда нет другой альтернативы, кроме развития атомных станций, ответ мог быть позитивным: да, приемлема. Сегодня, когда технологии использования НВИЭ достигли коммерческой зрелости, ответ становится уже не таким однозначным. Если общество в данной стране не хочет рисковать, оно может предпочесть более дорогие источники первичной энергии – традиционные (нефть, газ, уголь и крупные ГЭС) или возобновляемые источники (солнечный свет, ветер, биотопливо, геотермальную энергию).

Если общество под давлением разного рода обстоятельств (не только экономических) готово рискнуть, то выбор будет сделан в пользу атомной энергетики, несмотря на риск столкнуться с «запроектной» аварией. Из сказанного выше следует, что в обоих случаях для определения оптимальной (с точки зрения интересов общества) структуры используемых источников первичной энергии необходимы глубокие междисциплинарные исследования, охватывающие многие аспекты человеческой деятельности. Это серьезный вызов научным и практическим работникам.

Использованные источники

1. *Александров А. П. (1978). Атомная энергетика и научно-технический прогресс. Статьи и выступления. М.: Наука.*
2. *Александров А. П. (1984). Технические аспекты ядерной энергетики на грани веков // Атомная энергия. – Том 56. – Вып. 6, Июнь 1984. С. 339–343.*
3. *Аникеев В. А., Жибоедов В. Г. (1995). Экологические аспекты энергетики / Новая энергетическая политика России. Под общей ред. Ю. К. Шафраника. Ред. коллегия: В. В. Бушуев, А. А. Макаров, А. М. Мастепанов, А. А. Соловьянов. М.: Энергоатомиздат.*
4. *Воробьев В. К., Воскресенский Ю. К., Гончаров Ю. А. (1987). Энергетика СССР в 1986–1990 гг. / Под ред. А. А. Троицкого. М.: Энергоатомиздат.*
5. *Воскресенский Ю. К. (1987). Атомные электростанции / Энергетика СССР в 1986–1990 гг. / Под ред. А. А. Троицкого. М.: Энергоатомиздат.*
6. *Корякин Ю. И. (2002). Окрестности ядерной энергетики России: новые вызовы. М.: Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н. А. Доллежаля) (ГУП НИКИЭТ).*
7. *Легасов В. А., Новиков В. М. (1988). Безопасность и эффективность ядерной энергетики: критерии, пути совершенствования / В сб.: Ядерная энергетика: перспективы развития, проблемы прогнозирования. – Под ред. М. А. Стыриковича. – М.: Международный центр научной и технической информации, Рабочая консультативная группа при Президенте АН СССР для разработки новых вопросов дальних перспектив развития энергетики. С. 35–47.*
8. *Мировая энергетика (1980). Мировая энергетика: прогноз развития для 2020 г. Пер. с англ. под ред. Ю. Н. Старшинова. М.: Энергия.*
9. *Ожегов С. И. (1988). Словарь русского языка / Под ред. Н. Ю. Шведовой. 20-е изд. – М.: Русский язык.*
10. *Сидоренко В. А. (1988). Безопасность и стратегия развития ядерной энергетики / В сб.: Ядерная энергетика: перспективы развития, проблемы прогнозирования / Под ред. М. А. Стыриковича. – М.: Международный центр научной и технической информации, Рабочая консультативная группа при Президенте АН СССР для разработки новых вопросов дальних перспектив развития энергетики. С. 26–34.*
11. *Стырикович М. А. (1980). Предисловие к русскому изданию / Мировая энергетика: прогноз развития для 2020 г. Пер. с англ. под ред. Ю. Н. Старшинова. М.: Энергия.*
12. *Стырикович М. А., Белова А. М., Рассохин Н. Г., Хаинсон Я. И., Чернавский С. Я. (1984). Проблемы покрытия переменной части графиков электрических нагрузок в перспективе / Энергетика. Топливо. 1984. Вып. 6. С. 21–27. М.: МЦНТИ.*
13. *Стырикович М. А., Шпильрайн Э. Э. (1981). Энергетика. Проблемы и перспективы. М.: Энергия.*
14. *Чар Н. Л., Шик Б. Дж. (1987). Развитие ядерной энергетики: история и перспективы. Бюллетень МАГАТЭ. № 3. С. 22–28. URL.https://www.iaea.org/sites/default/files/29304781925_ru.pdf.*
15. *Чернавский С. Я. (1980). Системное прогнозирование ядерной энергетики. Теория и методы. М.: Наука.*
16. *Чернавский С. Я. (1988). Ядерная энергетика: перспективы развития, проблемы прогнозирования / Ядерная энергетика: перспективы развития, проблемы прогнозирования / Под ред. М. А. Стыриковича. М.: Международный центр научной и технической информации; Рабочая консультативная группа при Президенте АН СССР для разработки новых вопросов дальних перспектив развития энергетики.*
17. *Чернавский С. Я. (2022). Системное прогнозирование (на примере ядерной энергетики). 2-е изд., доп. М.: Ланд.*
18. *Экспертная оценка – 1975. (2013). Ядерная энергетика. Основные проблемы и перспективы развития. Экспертная оценка 1975 г. / И. В. Курчатов и А. П. Александров о стратегии ядерного энергетического развития. Отв. ред. А. Ю. Гагаринский, М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2013.*
19. *Энергетический комплекс СССР. (1983) / Под ред. Л. А. Мелентьева и А. А. Макарова. М.: Экономика.*
20. *NEPSG. (1977). Nuclear power issues and choices. Report of the Nuclear Energy Policy Study Group. – Cambridge: Ford Foundation.*
21. *Nuclear Power in the World Today. (2022). https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx.*

УДК 621.039(075.8) DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179_56 EDN: QQCRPB

Вопросы управления жизненным циклом АЭС

The issues of NPP life cycle management

Мохаммед АЛЬШРАЙДЕХ
Аспирант кафедры
СОТАЭ НИУ «МГСУ»
e-mail: Msh.19894@yahoo.com

Mohammed ALSHRAYDEKH
Postgraduate student of National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)
e-mail: Msh.19894@yahoo.com

Игорь ЕНГОВАТОВ
Профессор кафедры
СОТАЭ НИУ «МГСУ», д. т. н.
e-mail: eng46@mail.ru

Igor ENGOVATOV
Professor of National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Doctor of Technical Sciences
e-mail: eng46@mail.ru

Андрей МОРОЗЕНКО
Зав. кафедрой СОТАЭ НИУ МГСУ,
профессор, д. т. н.
e-mail: morozenkoaa@vgsu.ru

Andrey MOROZENKO
Head Department of National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Professor, Doctor of Technical Sciences
e-mail: morozenkoaa@vgsu.ru

Строительство АЭС Куданкулам, Индия *Источник: atomic-energy.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные проблемы и вопросы, связанные с управлением жизненным циклом АЭС. Показано, что для решения задач управления жизненным циклом АЭС в проекте необходимо учесть множество аспектов, связанных логико-целевой функцией станции, изменяющей свое строение в соответствии с программой жизненного цикла и воздействия факторов внутренней и внешней среды. Для этого требуется внедрение новых методов проектирования, передовых организационных структур и систем управления жизненным циклом АЭС, основанных на принципах высокого качества и наглядности разработанной документации, полного контроля выполнения программы проекта, своевременного принятия решений по возникающим обстоятельствам. Такую возможность представляют многоуровневые адаптивные организационные структуры и их системы управления, создающие новые качества эффективности и комплексности в управлении большими системами, которыми и являются проекты жизненного цикла АЭС.
Ключевые слова: атомная энергетика, жизненный цикл АЭС, энергетическое проектирование, организационные структуры, системы управления.

Abstract. The article discusses current problems and issues related to the management of the life cycle of nuclear power plants. It is shown that in order to solve the problems of managing the life cycle of nuclear power plants in the project, it is necessary to take into account many aspects related to the logical-objective function of the project, which changes its structure in accordance with the program of the life cycle and the impact of factors of the internal and external environment. This requires the introduction of new design methods, advanced organizational structures and life cycle management systems of nuclear power plants based on the principles of high quality and clarity of the developed documentation, full control over the implementation of the project program, timely decision-making on emerging circumstances. Such an opportunity is presented by multi-level adaptive organizational structures and their management systems, which create new qualities of efficiency and complexity in the management of large systems, which are NPP life cycle projects.
Keywords: nuclear power engineering, NPP life cycle, energy design, organizational structures, management systems.

Введение

В настоящее время на долю атомной энергетики приходится примерно 10 % мирового производства электроэнергии. Ее доля будет увеличиваться в связи с резким повышением стоимости энергоресурсов промышленно развитых и развивающих странах [1]. Тем не менее существуют различные взгляды на ее эффективность и безопасность [2] с учетом всего жизненного цикла таких сложных объектов как энергоблоки АЭС.

Жизненный цикл АЭС последовательно включает следующие стадии:

1. Размещения и оценка площадки(“Sitting”),
2. Проектирование (“Designing”),
3. Сооружение (“Construction”),
4. Эксплуатация (Commissioning),
5. Вывод из эксплуатации (“Decommissioning”).

Каждая стадия жизненного цикла может включать этапы, подэтапы (фазы) и т. д., которые в свою очередь должны иметь «веху» (признак), свидетельствующий о начале и завершении указанной деятельности. Обычно это получение и прекращение действия лицензии (разрешения) на соответствующий вид деятельности [2].

Имеющийся российский и зарубежный опыт в области сооружения и эксплуатации энергоблоков АЭС позволяет утверждать о неотъемлемой связи всех стадий жизненного цикла с точки зрения влияния на безопасность населения и окружающей среды этих сложных объектов энергетики и экономическую эффективность. Таким образом, можно утверждать, что стратегическая цель развития и существования атомной энергетики (целевая функция) состоит в до-

Калининская АЭС

Источник: «Росатом»

стижении высокой технико-экономической и социальной эффективности производства энергии при минимизации ущерба для общества и окружающей среды на всех стадиях жизненного цикла [7].

Достижение указанной цели возможно на основе многофакторного анализа отражающего радиационно-экологические, научно-технические, законодательные, социальные, экономические и другие аспекты обосновывающих организационно-технологическую систему принятия решений и управления на всех стадиях жизненного цикла с учетом современных подходов, включающих методы анализа затрат – выгода, выявления, оценки и управления рисками, управления старением составляющих и всего комплекса в целом, информационных технологий, рассмотрения различных сценариев, которые характеризуют строительство и эксплуатацию энергоблоков, различные варианты вывода из эксплуатации и использования площадки и т. д. Следует отметить чрезвычайную сложность создания и реализации программы Проекта АЭС, как организационной структуры, имеющей в своем составе в зависимости от уровня декомпозиции от сотен до миллионов элементов и их системных связей, которые меняются в течение жизненного цикла по детерминированным разработчиком законам и из-за случайных событий.

Уже на этапе принятия решения о начале строительства АЭС, необходимо понять, каков ее жизненный цикл и как он влияет на будущее энергетики с точки зрения экономики и эффективности

Учитывая серьезные потенциальные негативные последствия сегодняшнего выбора энергии для будущих поколений, исследование роли атомной энергетики в достижении Целей устойчивого развития ООН требует дальнейшего изучения с точки зрения эффективности и экологической жизнеспособности. Уже на этапе принятия решения о начале строительства АЭС, необходимо понять, каков ее жизненный цикл и как он влияет на будущее энергетики с точки зрения экономики и эффективности. А также необходимо принимать во внимание экономические и политические факторы, которые оказывают значительное влияние на будущее энергетики в ближайшие годы[7].

Проблемы управления жизненным циклом АЭС

На настоящий момент в мире было построено более 400 атомных электростанций в разных странах [1,7]. С накоплением мирового опыта, возникли новые проблемы, которые не были предусмотрены проектировщиками ранее. Они требуют проведения системных научных исследований для нахождения эффективных решений.

Одной из таких проблем, возникших после начала эксплуатации атомных электростанций, являются потенциальные риски, которые могут возникнуть из-за нехватки человеческих знаний и отсутствия комплексной интеграции для управления жизненным циклом атомных электростанций.

Прежде всего необходимо дать определение понятию «управление жизненным циклом АЭС». МАГАТЭ описывает управление жизненным циклом как комплексную работу, охватывающую эксплуатацию, техническое обслуживание, деятельность по нормативному, экологическому и экономическому планированию, а также инжиниринг [2] или другими словами, это интеграция решений для управления безопасностью, старением и работой в течение всего срока службы АЭС.

На протяжении всего жизненного цикла АЭС приходится иметь дело с огромным количеством документации, которая должна быть сохранена, систематизирована и доступна на заключительном этапе

Ниже будут рассмотрены некоторые организационно-технологические аспекты и подходы к управлению на стадиях и этапах жизненны цикла энергоблока АЭС.

Стадия размещения

Данная стадия начинается проектно-изыскательскими и проектно-конструкторскими работами до начала строительно- монтажных работ. Основой проектирования для структурной

Сооружение Тяньваньской АЭС

Источник: Тимур Сабиров / «Росатом»

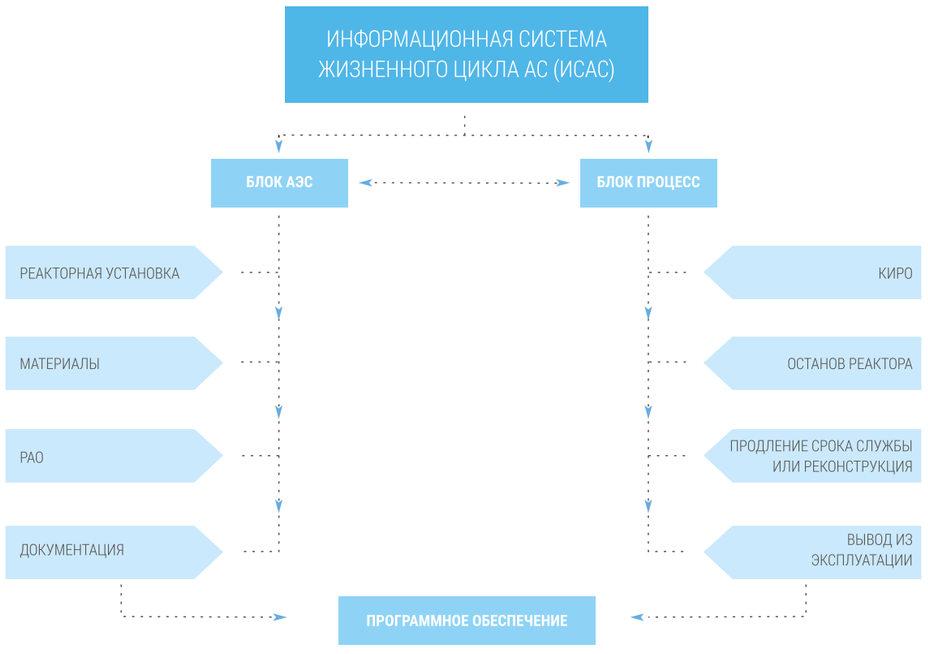
Зачастую важные сведения, данные, записи не оцифрованы и хранятся на бумажных носителях в столах отдельных ключевых специалистов в цехах и могут быть потеряны или повреждены

системы и компонентов (ССК) является заданные параметры, которые должны выполняться, а также ключевые параметры проектирования и диапазон значений для них. При проектировании должны быть учтены государственные задачи, основные требования безопасности, ожидаемые сценарии аварий и отказов, экологические требования, отраслевые нормы и стандарты [3, 6, 9].

Утвержденные чертежи проекта АЭС используются не только на стадии сооружения, но и в дальнейшем, на стадиях эксплуатации и вывода из работы персоналом станции и регулирующим органом.

С этой целью эксплуатирующая организация должна создать и начать эксплуатацию информационной системы жизненного цикла энергоблока блока АЭС, примерная блок-схема которой представлена на рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема информационной системы жизненного цикла АЭС (ИСАС)



Информационная система жизненного цикла АЭС

На протяжении всего жизненного цикла АЭС приходится иметь дело с огромным количеством информации и документации, которая должна быть сохранена, систематизирована и доступна на заключительном этапе.

Для этих целей каждый блок АЭС должен иметь собственную информационную систему жизненного цикла блока АС (ИСАС).

Цель ИСАС состоит в обеспечении пользователя способами, методами и инструментами, которые помогут оперативно найти обоснованный ответ на любые специфические вопросы в общей проблеме вывода из эксплуатации, а также предоставить надежную оценку ключевых параметров: коллективной дозы облучения, объемов и уровней радиоактивных отходов, стоимости работ (в том числе при продлении срока службы, реконструкции).

ИСАС включает информацию и инструменты, которые дают возможность пользователю анализировать результаты решения следующих основных задач:

1. Оценка технического и радиационного состояния площадки, зданий и сооружений блока АС.
2. Расчет и прогноз коллективной эквивалентной дозы с учетом временного фактора, уровней активности, объемов и видов радиоактивных отходов, продолжительности процесса вывода из эксплуатации или продления срока службы или реконструкции, а также стоимости работ.
3. Изучение и сравнение различных вариантов вывода из эксплуатации или продления срока службы или реконструкции АС.
4. Определение характеристик, источников образования и истории различных типов радиоактивных отходов, а также контроль за их движением в процессе обработки, упаковки и транспортировки к местам хранения и захоронения.
5. Анализ экспериментальных данных с целью экстраполяции информации для одного блока на другие однотипные, а также в пределах однотипных систем конкретного блока.

ИСАС должна состоять из двух укрупненных блоков: блока АЭС и «блока-процесс», которые в свою очередь могут состоять из самостоятельных и функционально связанных между собой баз данных.

Блок АЭС описывает площадку, здания и сооружения, боксы и помещения, системы и оборудование.

Блок-процесс описывает работы, персоналии и организации, обеспечивающие деятельность по выводу из эксплуатации или продлению срока службы или реконструкцию атомной станции.

Блок АЭС содержит следующие частные блоки (базы данных):

- реакторная установка: информация о площадке, зданиях сооружениях, боксах и помещениях, оборудовании и системах АС;
- материалы АЭС: информация о физико-химических характеристиках конструкционных и защитных материалов на станции;
- РАО АЭС: информация о радиоактивных материалах на станции, образующихся на этапе эксплуатации и вывода из эксплуатации;
- документация АЭС: содержит документальную часть ИСАС – полную информацию об истории станции, включая все необходимые материалы по проектированию, строительству и эксплуатации, а также их каталоги.

Блок-процесс содержит следующие частные блоки (базы данных):

- комплексное инженерное и радиационное обследование: методы и средства получения специфической информации по остаточной радиоактивности и инженерном состоянии блока, зданий и сооружений, боксов и помещений, оборудования и систем, площадки АЭС;
- останов реактора: остаточная радиоактивность конструкционных и защитных материалов, оборудования, зданий и сооружений, боксов и помещений, площадки атомной станции, остаточный ресурс основного оборудования, зданий и сооружений;
- вывод из эксплуатации: весь спектр проблем по планированию, продолжительности и осуществлению конкретных работ по выводу из эксплуатации, включая контроль качества и стоимостные оценки;

АЭС Козлодуй, Болгария
Источник: new.wanomc.ru

- программное обеспечение: все составляющие разрабатываются в едином стандарте программного продукта, при максимальном использовании достижений и существующих разработок.

Большинство специалистов, которые проработали на атомных электростанциях более 30–40 лет, были отправлены на пенсию, что затрудняет процесс передачи знаний и опыта. Так как подготовка узкоспециализированных кадров, полностью осведомленных обо всех деталях работы, это длительный и сложный процесс. В связи с уходом с работы прежних опытных кадров теряется существенный объем значимой информации. Зачастую важные сведения, данные, записи не оцифрованы и хранятся на бумажных носителях в столах отдельных ключевых специалистов в цехах и могут быть потеряны или повреждены. Существовавшая ранее советская налаженная система бумажного организационно-технического документооборота между эксплуатирующей организацией и проектно-конструкторскими институтами в настоящее время в полной мере не работает. Наблюдается расхождение между реальным состоянием действующего блока АЭС и содержимым проектно- конструкторской документации. На действующих АЭС внедряются разнообразные ИТ-системы поддержки эксплуатации, и в каждой из них, зачастую, применяются не вполне совместимые перечни оборудования. Эти проблемы вызваны отсутствием согласованности между всеми подразделениями, работающими в управлении жизненным циклом АЭС на всех этапах, например, отсутствует информационный сервер, содержащий всю накопленную информацию с начала проектирования до вывода АЭС

Для решения проблем, связанных с огромным объемом несогласованной информации, и объединения всех макетов, сделанных на разных стадиях проекта, используются специальные инженерные программы

Строительство АЭС Хинкли-Поинт.
Графство Сомерсет, Великобритания
Источник: mtdmfg.com

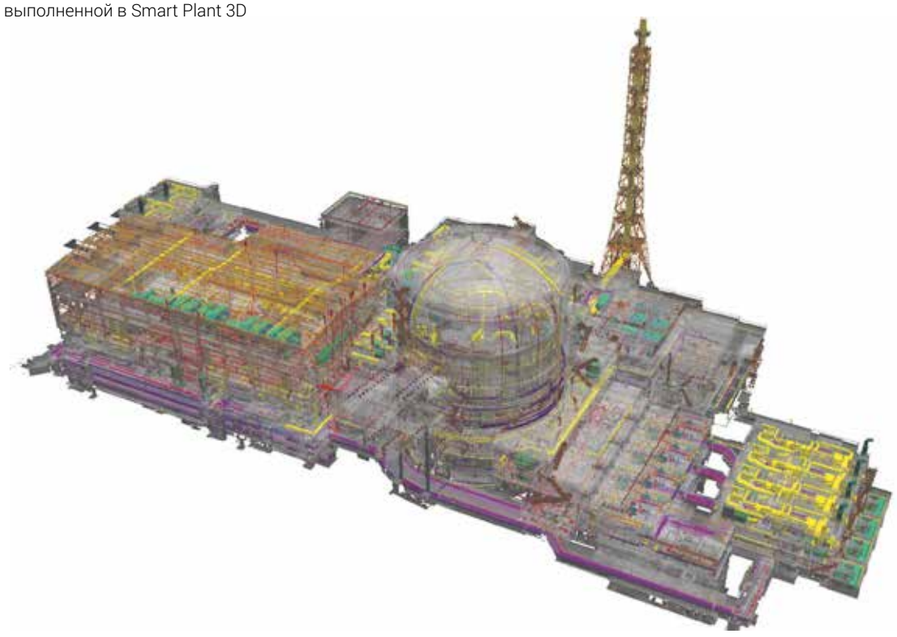
из эксплуатации. Такая база данных необходима в случае, если команде управления требуется замена электрических кабелей в определенном помещении станции. Для этого необходимо найти утвержденные исполнительные планы с характеристиками существующих кабелей, такие как диаметр, тип и т. д. Пример информационной модели приведен на рис. 2.

Для преодоления трудностей работы с огромным объемом несогласованной информации и объединения утвержденных инженерных чертежей, модификации которых были сделаны на различных стадиях проекта, используются специально разработанные инженерные программы такие, как Oracle Aconex. Повысить эффективность координации проектирования и строительства, управление проектам и затратами, документооборота и надзора на стройплощадках с помощью программного решения. Например, Intergraph SmartPlant Enterprise (Основа для создания 3D модели), теперь могут обеспечить не только автоматизацию разработки проекта и построение трехмерной проектной модели объекта, но и позволяют создать действенное единое информационное пространство сопровождения жизненного цикла, объединив в нем научные, проектные, конструкторские, строительно-монтажные организации, поставщиков оборудования и, собственно, эксплуатирующую организацию. Объединение всех участников происходит вокруг постоянно актуализируемой трехмерной информационной модели блока АЭС. Однако, обладая большими возможностями как САПР, данная система не интегрирована в комплексную систему управления жизненным циклом АЭС, что не позволяет считать ее универсальной программной базой в системе управления на всем протяжении жизненного цикла АЭС.

Стадия сооружения

Строительно-монтажные и пусконаладочные работы до энергопуска блока длятся 3–4 года [3,4,7]. Строительство может длится до 8 лет. Атомные электростанции представляют собой сложные строительные проекты, поскольку они требуют больших трудозатрат. Строительство зависит в основном от наличия квалифицированных рабочих, обеспечения доставки всех материалов и качества выполняемых работ, необходимых для завершения строительства в сроки, определенные сетевым графиком и контрактом (см. рис. 3). Компании, занимающиеся строительством атомных электростанций, сталкиваются с проблемами в логистике и доступности материалов. Проблема была особенно актуальна в 2020 г., когда началась пандемия,

Рис. 2. Общий вид информационной модели энергоблока АЭС, выполненной в Smart Plant 3D



Затраты на строительство и вывод из эксплуатации одинаковы и считаются наиболее дорогими этапами работы АЭС. Они могут быть снижены до 15 % при оптимизации управления жизненным циклом АЭС

которая повлияла на поставки материалов, а также на мировое производство.

В 2022 г. международные компании пострадали от закрытия воздушных пространств для авиаперевозок и мировых санкций на торговлю и обмен технологиями между Россией и западными странами. Все эти факторы оказывают влияние на строительство АЭС в части стоимости и сроков, установленных в контрактах.

Строительство атомных электростанций связано с большим объемом сложных работ и требует большого количества рабочих на стройплощадке, в дополнение к тому, требуются большие площади для

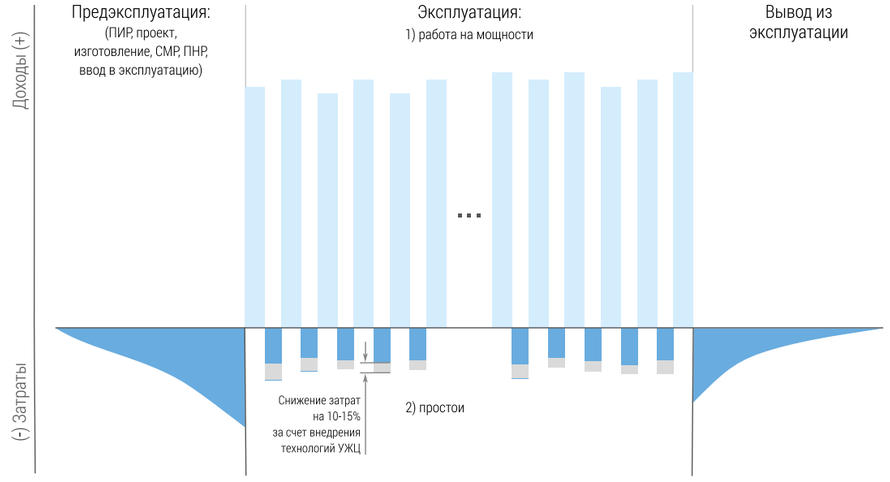


Рис. 3. Показатели Эффективности УЖЦ АЭС

хранения строительных материалов. Следует принять во внимание, что важно оборудовать большие наземные площадки для транспортировки большого количества строительных материалов рядом со строительной площадкой, чтобы сэкономить время, усилия и финансы, потраченные на доставку этих элементов. Иногда некоторые элементы считаются нетранспортабельными, из-за отсутствия инфраструктуры для надлежащего осуществления транспортных операций. Считается нормальным, что субподрядчик перевозит оборудование и установки на строительную площадку АЭС, чтобы гарантировать отсутствие задержек в доставке инженерных элементов, необходимых для завершения строительных работ атомной электростанции. Перед началом строительных работ следует изучить факторы, влияющие на строительство атомных электростанций с точки зрения площадки, а именно: инфраструктура района (железные дороги или улицы и водные пути), климат, ограничения и технологии, которые будут использоваться при строительстве.

Из опыта строительства атомных электростанций или любого сложного объекта известно, что во время строительства вносится множество изменений в первоначальный проект. Причиной является обнаружение технических ошибок или замечаний от подрядных организаций во время реализации проекта. Основными причинами задержек в строительстве АЭС является задержки в закупке и доставке материалов и оборудования на проект, а также сдвиги сроков в завершение некоторых строительных работ. Поэтому чтобы исключить риски срыва графика строительных работ, при проведении тендеров решающую роль играет не низкая цена, а опыт и репутация подрядной компании. Иногда приходится вносить изменения в проект, производя замены определенного в проекте оборудования и комплектующих на другие типы в связи

Управление старением является обязательным для обеспечения безопасности и надежной эксплуатации АЭС. Это может повысить эксплуатационную готовность и экономичность станции

Процесс вывода АЭС из эксплуатации является затратным: продукция на остановленном блоке уже не производится, а средства на подготовку, вывод блоков и удаление отходов значительны

с задержками в поставках, невыполнения поставщиками обязательств и пр.

В последние годы появились новые технологии, которые помогают специалистам выполнять строительные работы быстрее и точнее. Трехмерная информационная проектная модель блока АЭС, применяемая совместно с другими современными технологиями, такими, как лазерное сканирование, ГЛОНАСС/GPS-навигация, мобильные вычислительные устройства, может осуществить переворот в подготовке исполнительной документации «как построено», создавая модель точно соответствующую фактическому сооружению блока АЭС–COMOKC® (Система оперативного мониторинга объектов капитального строительства) [7].

Стадия эксплуатации

Проектный срок эксплуатации может длится 30–60 лет. Этап «ввод в эксплуатацию» и «эксплуатация» заключается в обеспечении бесперебойной работы станции, обслуживании по техническому состоянию и, в конечном счете, к снижению издержек эксплуатирующей организации по владению основными фондами и к получению максимальной прибыли. Чтобы проиллюстрировать важность этапа управления эксплуатацией АЭС, проведем сравнение этапов финансирования жизненного цикла АЭС. На рис. 3 приведены показатели эффективности с точки зрения доходов и затрат для стадий эксплуатации и вывода из эксплуатации.

На диаграмме видно, что финансовые затраты на строительство АЭС, и затраты на вывод АЭС из эксплуатации, почти одинаковы и считаются наиболее дорогостоящими этапами жизненного цикла АЭС [2]. Оценки показывают, что финансовые затраты могут быть снижены до 15 % при оптимизации управления ЖЦ АЭС.

АЭС Индиан Пойнт, США

Источник: alkhaleejonline.net

Рис. 4. Платформа в управлении жизненным циклом АЭС [1, 2]

Ленинградская АЭС

Источник: «Росатом»

Платформа управления жизненным циклом АЭС

Принятие обоснованных решений с самого начала строительства атомной электростанции оказывает влияние на все стадии жизненного цикла. Например, при проектировании атомных электростанций необходимо учитывать поиск проектных решений, которые помогают специалистам в демонтаже АЭС в будущем.

Ниже приведена схема (рис. 4), которая содержит 16 важных элементов влияющих на жизненный цикл АЭС.

Управление старением существенно влияет на продление срока службы электростанции и безопасности, поскольку это влияет на затраты и на повышение эффективности производства электрической энергии [2].

Управление старением. Управление старением (Aging management) является обязательным для обеспечения безопасности и надежной эксплуатации АЭС, а также, как следствие, может повысить эксплуатационную готовность и экономичность станции. Понимание механизма старения имеет основополагающее значение для вышеуказанных проблем, а проверка и анализ потенциальной деградации необходимы для профилактических мер, прогнозирования и управления старением. Для продления срока службы АЭС и принятия комплекса превентивных мер следует учитывать, с одной стороны, факторы, способствующие долговечности атомных электростанций: долговечность материалов и оборудования, используемых при эксплуатации АЭС, эффективность оборудования и ожидаемый срок службы, применение мер для уменьшения последствий старения и поддержания работоспособности оборудования в хорошем состоянии производительности и эксплуатации [5].

С другой стороны, следует принимать в расчет основные факторы старения АЭС:

Новые методы проектирования, внедрение прогрессивных информационных технологий не всегда удовлетворяют требованиям снижения себестоимости на всех этапах жизненного цикла АЭС

срок службы несменяемых деталей и частей, ухудшение состояния сменных деталей и частей, устаревание оборудования или компонентов, способность объекта соответствовать изменениям требований безопасности [2, 5].

Однако следует отметить, что эти решения не должны увеличивать затраты на управление жизненным циклом АЭС и не должны снижать безопасность атомных электростанций.

Управление активом [2, 6, 7]. Подход с учетом всех стадий жизненного цикла может быть применен для снижения затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание, повышения надежности оборудования, управления конфигурацией и минимизации рисков. Модели управления (Стандартная модель ядерной производительности), процесс (Надежность оборудования) и рекомендации специалистов для новых проектов атомных станций (Проектирование и Закупки). Эти модели постепенно внедряются на действующих АЭС, а также распространяются на строящиеся АЭС в других странах мира. Программы управления состоят из регистрации активов (список активов, структура, спецификация и т. д.), классификации активов (класс оборудования, функциональная важность, анализ и т. д.), а также стратегий и планов технического обслуживания. Следовательно, продавцы и поставщики активов будут обязаны предоставлять, в соответствии с условиями контракта, все данные и информацию, относящиеся к программам управление для физического актива, который они предлагают. Технические и финансовые риски также можно контролировать в рамках долгосрочных планов управления надежностью оборудования [2].

Управление рисками [2, 7, 8]. Риски и управление ими являются одной из важнейших задач в решении общей проблемы управления жизненным циклом. Это процессы включают максимизацию положительных и минимизацию отрицательных последствий наступления рисковых событий. Риски нужно не только идентифицировать, но и управлять ими.

Основной целью работ по изучению рисков является оценка последствий их влияния на сроки, безопасность и стоимость выполнения работ. Методика оценки рисков, возникающих на всех стадиях жизненного цикла АЭС должна включать:

- идентификацию рисков;
- классификацию рисков;
- анализ, оценку и ранжирования рисков;
- разработку контрмер.

Иными словами, управление рисками в общей системе управления жизненным циклом можно представить следующим образом. Есть целевая функция управления на всех стадиях жизненного цикла. Достижение ее показателей на всех этапах жизненного цикла является основной задачей с точки зрения повышения безопасности и снижения финансовых затрат. Для достижения целей необходима разработка пакета методик и математического аппарата, которые позволят осуществлять планомерную работу по достижению указанных выше целей.

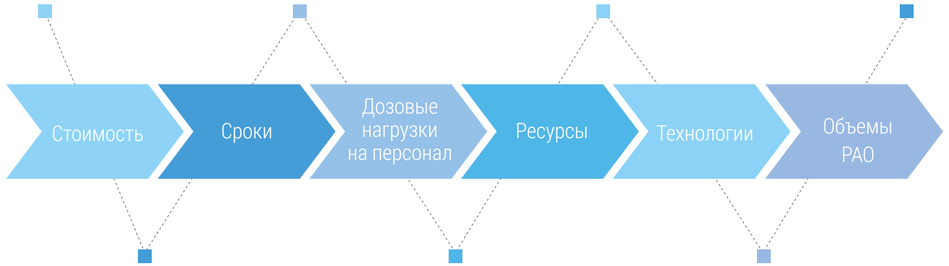


Рис. 5. Пространство оптимизации процесса ВЭ блока АЭС

Управление безопасностью [2, 5, 9]. Безопасность персонала, населения и окружающей среды является важнейшим показателем на всех этапах жизненного цикла энергоблока АЭС. Он связан с процессом управления рисками. Управление безопасностью является неотъемлемым компонентом управления всей организацией и описывается в рамках системы менеджмента качества. Есть много данных, которые не имеют достаточного обоснования и объяснения, таких как профилактическое техническое обслуживание, менеджмент качества, управление использованием зданий и площадкой энергоблока, руководство подготовкой и распределением кадров, переработка, хранение и удаление отходов, управление лицензиями, периодическая оценка безопасности и так далее. Все эти факторы рассматриваются как факторы, которые прямо или косвенно влияют на работу станции и требуют оценки и управления на всех стадиях жизненного цикла АЭС.

Стадия «Вывод из эксплуатации»

Вывод из эксплуатации длится более 60 лет и является одной их самых длительных и может даже более продолжительной, чем стадия эксплуатации.

Подготовка к выводу из эксплуатации и вывод из эксплуатации (ВЭ) энергоблока АЭС – комплексный процесс, включающий несколько этапов, на которых осуществляется разработка объектовой концепции и программы вывода из эксплуатации, проведение комплексного инженерного и радиационного обследования, разработка проекта вывода из эксплуатации, дезактивация и демонтаж оборудования, обращение с радиоактивными отходами и т. д.

Осуществление полного цикла работ по выводу из эксплуатации блока АЭС является масштабным организационным и техническим мероприятием, во многом сопоставимым со строительством блока.

Основной проблемой при выводе из эксплуатации блока АЭС является проблема переработки и удаления для последующего захоронения радиоактивных отходов. Факторы обращения с радиоактивными отходами и обеспечения радиационной безопасности играют наиболее значимую роль в стоимости практической реализации вывода из эксплуатации, поэтому представляется необходимым и возможным осуществлять предварительное моделирование данного процесса на имитационных многомерных интерактивных моделях блока АЭС, в рамках создания баз данных по выводу из эксплуатации в общей Информационной системе жизненного цикла АЭС. Управление выводом из эксплуатации предполагает оптимизацию и конкретные объекты оптимизации, представленные на рис. 5.

Процесс вывода блоков атомной станции из эксплуатации является затратным, так как продукция на остановленном блоке уже не производится и не реализуется, а затраты на проведение мероприятий по подготовке и выводу блоков из эксплуатации очень значительны и направлены в основном на скорейшее удаление радиоактивных отходов с блока и площадки, демонтаж оборудования, зданий и сооружений, возврат площадки АЭС в повторное ограниченное или неограниченное использование, в том числе для нужд атомной энергетики[2,3,4].

Строительство АЭС Эль-Дабаа
Источник: atomic-energy.ru

Из вышесказанного можно сделать вывод, что этапы жизненного цикла атомной электростанции взаимосвязаны и влияют друг на друга. Взаимосвязь стадий жизненного цикла схематически представлена на рис. 6.

Во время строительства АЭС вносится множество изменений в первоначальный проект из-за обнаружения технических ошибок или замечаний от подрядных организаций во время реализации проекта

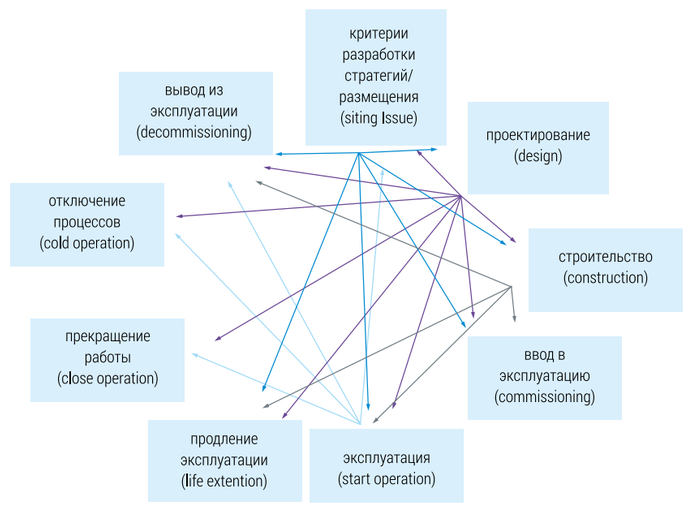
Стадия эксплуатации является основной, на которой происходит выработка энергии и получение прибыли. Эффективная работа на всех предыдущих стадиях приводит к повышению эффективности производства и значительному снижению затрат.

Вывод из эксплуатации АЭС – дорогостоящий этап, который необходимо учитывать еще на стадии проектирования, поскольку это позволяет заранее разработать безопасные конструктивные решения, которые дают возможность избежать сложностей при демонтаже и сократить финансовые расходы.

Заключение и выводы

1. Успешная реализация задач управления жизненным циклом АЭС возможна на основе представления о проекте, как о большой динамической системе, состоящей из множества элементов, связанных логико-целевой функцией проекта, являющейся многоуровневой организационной структурой, изменяющей свое строение в соответствии с программой жизненного цикла и воздействием факторов внутренней и внешней среды.
2. Масштаб, сложность проекта, большое количество участников делают программу проекта неуправляемой в классическом смысле. Новые методы проектирования, внедрение прогрессивных информационных технологий не всегда удовлетворяют требованиям снижения себестоимости на всех этапах жизненного цикла АЭС: наглядности разработанной документации, полного контроля выполнения программы проекта, своевременного принятия решений по возникающим обстоятельствам. В этой связи необходимо отметить недостаточную информативность языка общения участников проекта. Альтернативой этому может служить разработка и внедрение цифро-графического языка проекта, способного интегрировать базовую и текущую информацию о проекте, его состоянии, создание системы управления на его основе. Такой язык может быть разработан на основе представления о жизненном цикле АЭС, как совокупности ключевых событий различного уровня программы проекта.
3. Особенности реализации программы проекта требует внедрения передовых организационных структур и систем управления жизненным циклом АЭС. Данную возможность представляют многоуровневые адаптивные организационные структуры и их системы управления. Развитие данных систем создают новые качества эффективности в управлении большими системами, которыми являются проекты жизненного цикла АЭС и, в первую очередь, комплексность в управлении ими.

Рис. 6. Взаимосвязь стадий жизненного цикла атомной электростанции



Строительство Белорусской АЭС

Источник: Аркадий Сухонин / «Росатом»

Использованные источники

1. *World nuclear association, nuclear power in the world today. Электронный ресурс: https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx*
2. *Safe and effective nuclear power plant life cycle management towards decommissioning iaea, Vienna, 2002. IAEA-tecdoc-1305 ISBN 92-0-113002-3; ISSN 1011-4289 © IAEA, 2002. Printed by the IAEA in Austria, august 2002.*
3. *Laraia M. Nuclear decommissioning. Planning, execution and international experience. Woodhead Publishing Limited – 2012.*
4. *Основы вывода из эксплуатации блоков атомных электрических станций, Б. К. Былкин, Ю. А. Зверков, И. А. Енговатов и др.; под общей ред. П. Л. Ипатова и Ю. М. Семченкова.— М.: Издательский дом МЭИ, 2019. ISBN 978-5-383-01384-4*
5. *Управление старением атомных электростанций руководство по безопасности международное агентство по атомной энергии. Вена. ISBN 978-92-0-400214-0; ISSN 1020-5845. № ns-g-2.12.*
6. *Nuclear power plant life management and longer-term operation, © oecd 2006 nea no. 6105 nuclear energy agency organization for economic co-operation and development.*
7. *Integrated plant life management(plim) – the iaea contribution ki-sig kang, claude russell clark, akira omoto division of nuclear power international atomic energy agency 18th international conference on structural mechanics in reactor technology (smirt 18) Beijing, China, august 7-12, 2005 smirt18-d03-1.*
8. *Handbook on ageing management for nuclear power plant iaea nuclear energy series @ technical reports guides objectives basic principles handbook on ageing management for nuclear power plants no. np-t-3.24.*
9. *Requirements for the safe management of radioactive waste IAEA, Vienna, 1995. IAEA-tecdoc-853 ISSN 1011-4289 © IAEA, 1995 printed by the IAEA in Austria, december 1995.*

УДК 620.9 DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179_72 EDN: JISOHH

Модернизация добычи нефти на основе технологий улавливания, использования и хранения CO_2

Modernization of oil production based on carbon capture, use and storage

Наталия ПОПАДЬКО
Доцент кафедры стратегического управления топливно-энергетическим комплексом, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, к. т. н.
e-mail: popadko.n@gubkin.ru

Natalia POPADKO
PhD (Engineering), Associate Professor, Department for Strategic Management of Fuel and Energy Industry, Gubkin National University of Oil and Gas
e-mail: popadko.n@gubkin.ru

Илья КУРОШЕВ
Нач. отдела металлургической, нефтегазовой и горнорудной промышленности ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»

Il'ya KUROSHEV
Head of the Department for metallurgical, oil and gas and mining industry, EIPC

Ольга ЕЖОВА
Зам. нач. отдела металлургической, нефтегазовой и горнорудной промышленности ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»

Olga EZHOVA
Deputy Head of the Department for metallurgical, oil and gas and mining industry, EIPC

Юлия УХИНА
Зам. нач. отдела металлургической, нефтегазовой и горнорудной промышленности ФГАУ «НИИ «ЦЭПП»

Yuliya UKHINA
Deputy Head of the Department for metallurgical, oil and gas and mining industry, EIPC

Артем ПЕНИГИН
Руководитель по разработке продуктов газовых МУН и декарбонизации ООО «Газпромнефть НТЦ»

Artem PENIGIN
Project Manager for Gas EOR and Decarbonization «Gazpromneft STC» LLC

Мария ДЫМОЧКИНА
Ведущий эксперт ООО «Газпромнефть НТЦ»

Maria DYMOCHKINA
Lead Expert «Gazpromneft STC» LLC

Павел БЕЛОВУС
Главный специалист ООО «Газпромнефть НТЦ»

Pavel BELOVUS
Senior Reserch Engineer «Gazpromneft STC» LLC

Аннотация. В статье описаны перспективные технологии добычи нефти на примере третичных методов нефтеотдачи, представлены подходы к оценке ресурсной эффективности технологий с целью определения потенциала дальнейшего развития и модернизации отрасли нефтедобычи, предложен эксергетический метод термодинамического анализа. Вектор развития нефтедобычи будут определять технологии, обеспечивающие высокие показатели ресурсной и энергетической эффективности. Внедрение наилучших доступных технологий, оценка ресурсной эффективности и ориентир на низкоуглеродное развитие будут способствовать переходу к экономике замкнутого цикла.
Ключевые слова: наилучшие доступные технологии добычи нефти, методы повышения нефтеотдачи, перспективные технологии, ресурсная эффективность, улавливание, использование и хранение углерода, эксергетический метод термодинамического анализа.

Abstract. The article describes promising oil extraction techniques using the example of tertiary oil recovery methods, presents approaches to assessing the resource efficiency of techniques in order to determine the potential for further development and modernization of the oil extraction industry, and proposes an exergy method of thermodynamic analysis. The trends in the oil extraction development will be determined by techniques with high resource and energy efficiency. Implementation of the best available techniques, assessment of resource efficiency and focus on low-carbon development will facilitate the transition to a circular economy.
Keywords: best available techniques for oil extraction, enhanced oil recovery methods, promising techniques, resource efficiency, carbon capture, use and storage, exergy method of thermodynamic analysis.

> **По данным Национального кадастра, энергетический сектор вносит наибольший вклад в выбросы CO_2 – более 50 % от общего количества**

Введение

Внедренная в российское законодательство ФЗ-219 [1] концепция наилучших доступных технологий (НДТ) запустила процесс постадийного перехода промышленности на более совершенные технологии, сопровождающийся модернизацией производственных мощностей с сопутствующим снижением негативного воздействия на окружающую среду и повышением ресурсной эффективности.

Установленные Правительством подходы к определению НДТ должны обеспечить реализацию политики повышения ресурсной эффективности в промышленности – а именно снижение потребления сырья, материалов, энергии и воды в производственных процессах, сокращение эмиссий (выбросов, сбросов загрязняющих веществ, отходов, потерь вещества и энергии и пр.) и вовлечение в экономический оборот вторичных ресурсов.

Перечисленные факторы направлены на формирование экономики замкнутого цикла и устойчивое развитие промышленности [2], где особая роль отведена отраслевым информационно-техническим справочникам по наилучшим доступным технологиям (ИТС НДТ).

Перспективные технологии добычи нефти

Так в начале 2022 г. вступил в действие актуализированный ИТС НДТ 28–2021 «Добыча нефти» [3], который содержит описание отрасли, технологически выверенные данные о применяемых НДТ добычи нефти, и соответствующих им маркерных веществах, технологических показателях НДТ и показателях ресурсной и энергетической эффективности.

Этап добычи нефти	Целевой показатель	Единицы измерения	Значение
Показатели ресурсной эффективности			
Подготовка нефти, газа и воды	Потребление топлива (газового)	$м^3$ / т подготавливаемого продукта (сумма нефти, газа, попутной воды)	Не более 34,1
Добыча углеводородов на морских нефтяных платформах (этап добычи, сбора и транспорта продукции нефтяных скважин и этап подготовки нефти, газа и воды)	Потребление топлива (газового)	$м^3$/т добываемой нефтегазоводяной смеси	Не более 31,1
Показатели энергетической эффективности			
Добыча, сбор и транспорт продукции нефтяных скважин	Потребление электроэнергии	кВт·ч / т добываемой нефтегазоводяной смеси	Не более 335
Подготовка нефти, газа и воды	Потребление электроэнергии	кВт·ч/т подготавливаемого продукта (сумма нефти, газа, попутной воды)	Не более 59
Добыча углеводородов на морских нефтяных платформах (этап добычи, сбора и транспорта продукции нефтяных скважин и этап подготовки нефти, газа и воды)	Потребление электроэнергии	кВт·ч/т добываемой нефтегазоводяной смеси	Не более 332

Таблица 1. Целевые показатели ресурсной и энергетической эффективности для добычи нефти

Источник: [3]

Показатели ресурсной и энергетической эффективности в ИТС НДТ приняты на основе анализа ресурсоемкости производства, где основным ресурсом выступает топливный газ и электрическая энергия (таблица 1).

Отдельно в ИТС НДТ представлен перечень перспективных технологий добычи нефти.

Перспективными технологиями приняты технологии, которые находятся на различных стадиях промышленного внедрения на предприятиях и характеризуются более высоким количественным уровнем качественных показателей, применяемых в текущих НДТ.

В частности, в ИТС НДТ 28–2021 «Добыча нефти» к перспективным технологиям отнесены:

Масштабность реализации проектов по захоронению CO_2 напрямую зависит от размещения крупных углеродоемких производств, которые формируют запрос на необходимый объем хранения углекислого газа

- улавливание, транспортировка, хранение и использование углекислого газа промышленных объектов;
- мониторинг вторичной эмиссии углекислого газа в процессе реализации климатических мероприятий по его закачке и хранению и др.

Улавливание, транспортировка, хранение углекислого газа промышленных объектов. Невозможность снижения эмиссии парниковых газов в производственном процессе определяет возрастающую потребность в их утилизации с помощью внешних технологических решений. Такими решениями могут служить технологии улавливания, транспортировки и захоронения парниковых газов, в том числе углекислого газа, в специальных подземных хранилищах.

Создание хранилищ в Российской Федерации, как и во всем мире, основывается на подходах, учитывающих естественные гидрогеологические, гидродинамические и геотермические режимы подземных геологических структур, которое, тем более, не должно приводить к вторичной эмиссии парниковых газов в атмосферу из-за возможной миграции CO_2 через литологические окна, трещины и разломы в породах [4].

Масштабность реализации проектов по захоронению углекислого газа напрямую зависит от размещения крупных углеродоемких производств, которые формируют запрос на необходимый объем хранения углекислого газа.

К наиболее соответствующим указанным требованиям очевидно относятся нефтегазоносные пласты традиционных регионов добычи нефти и природного газа России.

Так в настоящее время в России, например, в ПАО «Газпром нефть» рассматривается пилотный проект захоронения CO_2 не менее 20 млн т в год.

Однако захоронение углекислого газа не всегда является единственно возможным решением по снижению эмиссий парниковых газов.

Использование углекислого газа промышленных объектов. Использование углекислого газа как ресурса в том же нефтедобывающем секторе открывает новые возможности.

В общепринятом понимании к ресурсам относят используемые и потенциальные источники удовлетворения потребностей общества, которые укрупненно можно подразделить на материальные, энергетические и пр. [5].

Парниковые газы до определенного момента не рассматривались с точки зрения ресурса. Чаще к вторичным ресурсам относили возвращаемые промышленные сточные воды или отходы, формируя тем самым замкнутый цикл производства.

Парниковые газы ранее не рассматривались как ресурс. Чаще к вторичным ресурсам относили промышленные сточные воды или отходы, которые позволяли создавать замкнутый цикл производства

По данным Национального кадастра энергетический сектор вносит наибольший вклад в выбросы парниковых газов (более 50 % от общего количества). При этом отраслевая эмиссия диоксида углерода от основных операций по добыче нефти и газового конденсата – эмиссия от утечек и испарения, газоотведения, сжигания ПНГ в 2019 г. составила 40,7 млн т [6].

Следовательно, реализация перспективных технологий добычи нефти характеризуется собственной высокой обеспеченностью выбросами диоксида углерода.

Химическая лаборатория на нефтяном месторождении

Источник: gazprom-neft.ru

К таким перспективным технологиям использования углекислого газа отнесены третичные методы увеличения нефтеотдачи (МУН), нацеленные на повышение нефтедобычи на месторождении.

МУН. Эксплуатация месторождений нефти сопровождается четырьмя основными стадиями разработки, к которым отнесены:

– освоение месторождения и выход на эксплуатационный режим;
– период максимальной добычи нефти;
– период снижения производства или падающей добычи;

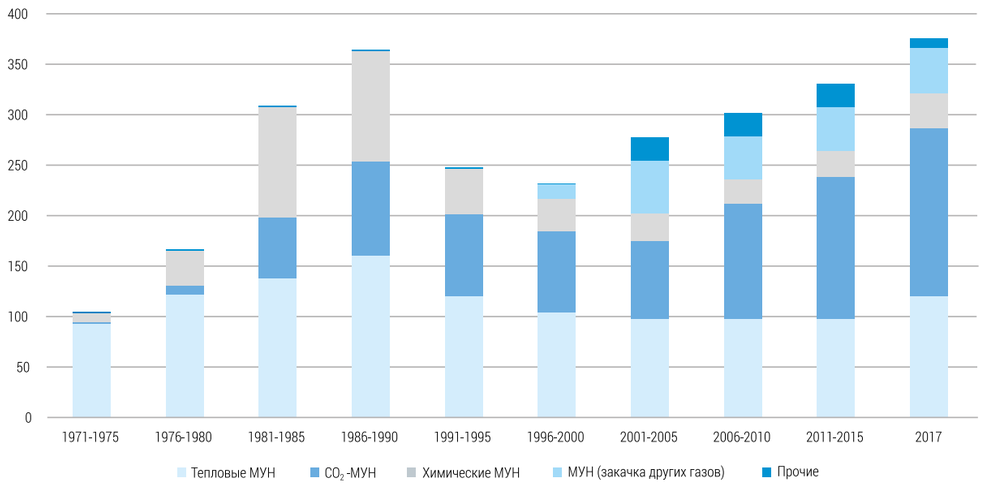


Рис. 1. Количество проектов повышения нефтеотдачи за 1997–2017 гг. (мир)

Источник: составлено авторами по данным The International Energy Agency. – Whatever happened to enhanced oil recovery? – URL: https://www.iea.org/commentaries/whatever-happened-to-enhanced-oil-recovery (дата обращения 01.08.2022)

– завершение использования скважины.

На первой стадии разработки месторождения МУН не применяются. Добыча, как правило, характеризуется естественным «легким» выходом нефти на поверхность и обусловлена высоким давлением в пласте. Собственная эффективность извлечения нефти – коэффициент извлечения нефти (КИН) может доходить до 30 %.

На последующих двух стадиях разработки месторождения применение МУН обуславливается снижением давления нефтегазоносных пластов. На второй стадии разработки интенсивное извлечение нефти обеспечивается вводом в эксплуатацию оставшихся скважин и использованием вторичных МУН. Удержание или увеличение уровня добычи нефти достигается искусственно созданным поддержанием пластового давления за счет заводнения пластов или закачки попутного нефтяного газа. КИН при этом достигает 30–50 %.

Третья стадия разработки месторождений сопровождается падающей добычей в связи с естественным истощением запасов нефти в пластах. Для поддержания уровня нефтедобычи применяются третичные методы, направленные на изменение физических свойств добываемых углеводородов и облегчения их извлечения. Методы подразделяются на тепловые и химические, методы закачки газов и прочие. В качестве ресурса в зависимости от выбранного метода могут применяться:

– пар, горячая вода, внутрипластовое горение;
– углекислый газ, углеводородные газы, азот, дымовые газы;
– щелочные растворы, ПАВ, полимеры.

К прочим методам отнесены микробиологические, акустические, электромагнитные способы увеличения нефтеотдачи. Эффективность извлечения нефти с помощью третичных МУН характеризуется показателями в 50–80 % [7].

CO_2-МУН. По оценкам The International Energy Agency (IEA), в настоящее время в мире действует около 375 проектов повышения нефтеотдачи (рис. 1) [8].

Почти половину из них представляют третичные методы повышения нефтедобычи, основанные на закачке газов, а именно CO_2-МУН, направленные на улавливание, транспортировку, хранение и использование углекислого газа.

В период с 2025 по 2040 гг. прогнозируется рост общей добычи нефти с использованием третичных МУН с 341 тыс. т в сутки до более чем 613 тыс. т в сутки.

Оценка ресурсной эффективности перспективных технологий добычи нефти

Ресурсная эффективность представляет собой эффективность потребления природных и иных ресурсов, используемых при производстве той или иной продукции [9].

Применительно к НДТ, оценка ресурсной эффективности и установление в ИТС НДТ показателей ресурсной и энергетической эффективности являются неотъемлемой частью определения технологий как наилучших доступных [10, 11].

Таким образом, представляется необходимым проведение предварительной оценки ресурсной эффективности перспективных технологий в целях выявления потенциальных показателей для установления в ИТС НДТ при широком распространении технологий и перевода их в наилучшие доступные.

Методы оценки и показатели. Для оценки технологий с точки зрения ресурсной эффективности предлагается использовать эксергетический метод термодинамического анализа. Метод успешно применяется в различных отраслях промышленности с конца 1960-х гг. и считается универсальным в части используемых характеристик и конечных показателей для сравнения внутри отрасли, так как позволяет все характеристики процесса (технологии) выразить единым показателем [12].

Основу метода составляют оба начала термодинамики. Метод позволяет определить для различных технологических процессов их эффективность (максимальную работу, которую может совершить система), потери (от необратимости физических или химических реакций), а также разработать рекомендации по практическому совершенствованию технологических процессов и т. д. Метод успешно апробирован при оценке технологий, применяемых в металлургии, и является актуальным на сегодняшний день [13, 14].

Указанный метод описан в одном из недавних исследований технологических проектов по улавливанию, транспортировке, хранению и использованию углекислого газа в нефтедобыче [15]. В основе исследования была положена эксергетическая оценка CO_2-МУН с учетом некоторых допущений и сценариев.

Анализ проводился в несколько этапов, включая определение границ технологии,

Мессояхское месторождение, ЯНАО
Источник: «Газпром нефть»

Рис. 2. Технологические границы CO2-МУН (жизненный цикл CO_2)

Источник: составлено авторами по данным [16]

распределение эксергетических потоков и максимальной работы продукционной системы.

Так в границы CO_2-МУН включены отдельные процессы: улавливание эмиссии от источников выбросов, очистка и сжатие углекислого газа, последующая транспортировка, и закачка в отработанные нефтегазоносные платы и т. д. (рис. 2).

Проведено распределение эксергетических потоков технологии на материальные и рабочие (рис. 3).

К материальным потокам отнесены входящие и циркулирующие в продукционной системе отходящие дымовые газы, углекислый газ в их составе, попутный нефтяной газ (ПНГ), нефтегазоводяная смесь (НГВС), вода и нефть с характеристиками химической эксергии «рабочих» тел.

Согласно Поручениям Правительства РФ, установление в ИТС НДТ показателей удельных выбросов парниковых газов станет ориентиром достижения углеродной нейтральности в добыче нефти

К рабочим потокам – операции в составе всего технологического процесса, осуществляемые с «рабочим телом». В качестве характеристик рабочих потоков принимаются КПД используемого оборудования, термодинамические свойства потоков – давление, температура, энтропия и энтальпия.

По мнению исследователей, [16] вся концепция расчета может быть описана одной основной формулой:

$$Éx = Éx^{ke} + Éx^{p} + Éx^{ph} + Éx^{ch} \qquad (1)$$

где:

Éx – эксергетический коэффициент системы;

$Éx^{ke}$ – кинетическая эксергия (основа – скорость рабочего потока);

$Éx^{p}$ – потенциальная эксергия (основа – скорость рабочего потока);

$Éx^{ph}$ – физическая или термомеханическую эксергия (разница температуры и давления рабочего потока);

$Éx^{ch}$ – химическая эксергия (основа – химический потенциал компонентов материального потока).

Результаты исследований позволяют сделать выводы о том, что:

- жизненный цикл CO_2 в третичных МУН возможно оценить с помощью эксергетического метода;
- эксергетический коэффициент CO_2-МУН зависит от эффективности использования CO_2, который по расчетам ПАО «Газпром нефть» определяется в пределах 2–3 т CO_2 на тонну дополнительно добытой нефти.
- наивысший эксергетический коэффициент CO_2-МУН может быть достигнут при повторной закачке в пласт выделенного из нефтегазоводяной смеси ПНГ без разделения на отдельные компоненты;
- для усиления эффекта нефтеотдачи закачку диоксида углерода необходимо чередовать с заводнением пластов.

Потенциал модернизации добычи нефти

Модернизация производства является неотъемлемым процессом совершенствования технологий, отвечающая задачам времени и современным вызовам.

В повестке настоящего времени, как мы определили ранее значительное место отведено декарбонизации промышленности и использованию механизмов экономики замкнутого цикла.

Определены показатели, которыми целесообразно оперировать при постановке вопроса о декарбонизации одного из самых углеродоемких секторов экономики.

В рамках, применяемых НДТ показатели ресурсной эффективности могут быть

К национальным мерам отнесено регулирование выбросов диоксида углерода, метана, закиси азота и других парниковых газов в различных секторах экономики и отраслях промышленности

расширены показателями вторичных методов нефтедобычи:

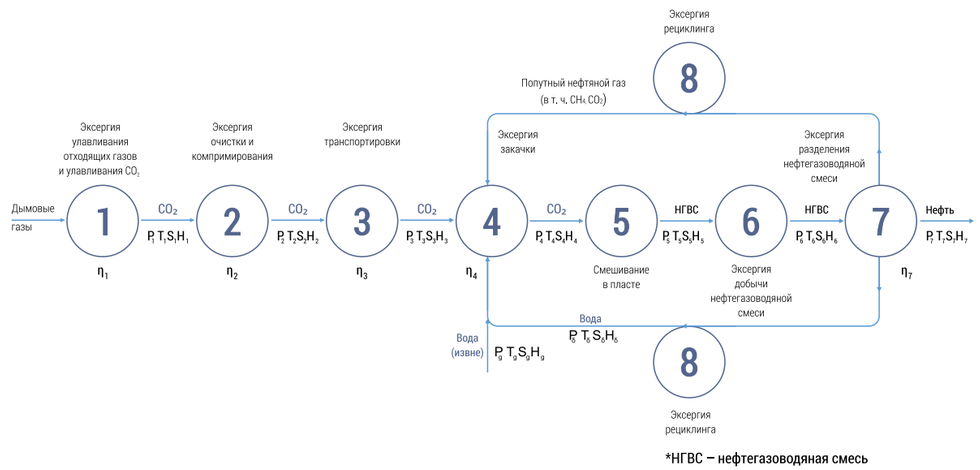
- коэффициент использования ПНГ;
- коэффициент использования воды (заводнение пластов).

Ресурсная эффективность перспективных технологий (CO_2-МУН) может быть оценена с помощью эксергетического коэффициента CO_2-МУН и коэффициента эффективности использования диоксида углерода. А также коэффициента использования ПНГ и воды (заводнение пластов) при совокупном применении вторичных и третичных методов нефтеотдачи.

Величина эффективности использования диоксида углерода в перспективных технологиях может быть использована в целях национального отраслевого бенчмаркинга [17]. Согласно Поручениям Прави-

Рис. 3. Границы эксергетических потоков в CO_2-МУН

Источник: составлено авторами по данным [15]



Эффективность извлечения нефти с помощью третичных МУН характеризуется показателями в 50–80 %. Методы подразделяются на тепловые и химические, методы закачки газов и прочие

тельства РФ [18] установление в ИТС НДТ показателей удельных выбросов парниковых газов станет ориентиром достижения углеродной нейтральности в добыче нефти.

Эффект от реализации перспективных технологий повышается за счет решения сразу нескольких задач:

- использования диоксида углерода из отходящих газов антропогенных источников эмиссий;
- использования ПНГ для повышения нефтеотдачи вместо сжигания на факельных установках при отсутствии возможности использования на собственные нужды или отправки на газоперерабатывающий завод (ГПЗ);
- возможности возврата в цикл вторичной эмиссии CO_2 из ПНГ;
- возможности комбинированного использования вторичных и третичных МУН;
- повышения добычи нефти и увеличение срока эксплуатации месторождения.
- снижения выбросов парниковых газов в углеродоемком секторе экономики.

Выводы

Основу обеспечения низкоуглеродного развития страны определяют общие национальные и отраслевые меры реализации Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. [19].

К национальным мерам отнесено регулирование выбросов диоксида углерода (углекислый газ), метана, закиси азота и других парниковых газов в различных секторах экономики и отраслях промышленности [20].

К отраслевым – внедрение наилучших доступных и перспективных технологий с контролируемыми и управляемыми показателями ресурсоемкости.

Представленные выше показатели и результаты эксергетической оценки вторичных методов повышения нефтеотдачи и перспективных технологий позволяют получить обоснованное представление о направлении модернизации технологий добычи нефти в целях перехода к технологически обоснованному и возможному замкнутому циклу производства, повышению ресурсной эффективности и снижению выбросов парниковых газов.

Западно-Мессояхское месторождение

Источник: sdelanounas.ru

Использованные источники

1. *Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».*
2. *Скобелев Д.О., Федосеев С.В. Политика повышения ресурсоэффективности и формирование экономики замкнутого цикла // Компетентность I Competency (Russia). № 3. 2021. – DOI: 10.24412/1993-8780-2021-3-05-14A.*
3. *ИТС НДТ 28-2021 «Добыча нефти» (утв. приказом Росстандарта от 21 октября 2021 г. № 835).*
4. *Новиков Д. А., Дульцев Ф. Ф., Юрчик И. И., Садыкова Я. В., Деркачев А. С., Черных А. В., Максимова А. А. Региональный прогноз перспектив реализации проектов CCUS на территории Российской Федерации // Нефтяное хозяйство. № 3. 2022. С. 36–42.*
5. *ГОСТ Р 52104-2003. «Ресурсосбережение. Термины и определения».*
6. *Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2019 гг. Ч. 2 Приложения. 2021.*
7. *Перспективы развития третичных МУН в мире и в России // Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. Март 2021.*
8. *The International Energy Agency. – Whatever happened to enhanced oil recovery? – URL: https://www.iea.org/commentaries/whatever-happened-to-enhanced-oil-recovery (дата обращения 01.08.2022).*
9. *Дмитриева Т.Е. Оценка ресурсной эффективности: тренды и методы // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия «Экономические науки». № 2(48). Сыктывкар, 2021.*
10. *ГОСТ Р 113.00.03—2019. «Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника».*
11. *Перечень поручений Президента РФ по результатам проверки исполнения положений законодательства об обращении с отходами производства и потребления, отнесенными к III классу опасности от 16 сентября 2020 г. Пр-1489. – URL: http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/64046 (дата обращения 27.07.2022).*
12. *Шаргут Я., Петела Р. Эксергия // Под ред. В.М. Бродянского. «Энергия». Москва. 1968.*
13. *Потенциал и резервы энергосбережения в промышленности // Степанов В.С., Степанова Т.Б. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 248 с.*
14. *Юрков А.Л., Курошев И. С. Доброхотова М.В. Производство алюминия // Энциклопедия технологий. Производство металлов. 2022. С. 11–120.*
15. *R. Farajzadeha, A.A. Eftekharib, G. Dafnomilisa, L.W. Lakec, J. Bruininga On the sustainability of CO_2 storage through CO_2 – Enhanced oil recovery // Applied Energy. 261 (2020) 114467 P. 1–12.*
16. *Технологический обзор – улавливание, использование и хранение углерода (CCUS). – URL: https://unece.org/publications/tekhnologicheskiy-obzor-ulavlivanie-ispolzovanie-i-khranenie-ugleroda-ccus*
17. *ГОСТ Р 113.00.11-2022. «Наилучшие доступные технологии. Порядок проведения бенчмаркинга удельных выбросов парниковых газов в отраслях промышленности».*
18. *Протокол совещания у Первого заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А.Р. Белоусова от 25 ноября 2021 г. № АБ-П13-276пр.*
19. *Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р).*
20. *Перечень парниковых газов, в отношении которых осуществляется государственный учет выбросов парниковых газов и ведение кадастра парниковых газов распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 октября 2021 г. N 2979-р.*

УДК 620.952 DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179_82 EDN: CFKESX

Оценка потенциала пеллетной энергетики России

Assessment of the potential of pellet energy in Russia

Ринат КАМАЕВ
Магистрант РГУ нефти
и газа им. И.М. Губкина
e-mail: rinatkamay@yandex.ru

Rinat KAMAEV
Master's student of the Gubkin Russian State
University of Oil and Gas
e-mail: rinatkamay@yandex.ru

Олег ШАРОВ
Технический директор ООО «Светлобор»
e-mail: shar52@bk.ru

Oleg SHAROV
Technical Director of Svetlobor LLC
e-mail: shar52@bk.ru

Валерий БЕССЕЛЬ
Профессор РГУ нефти и газа
им. И.М. Губкина, исполнительный вице-
президент ООО «НьюТек Сервисез»
e-mail: vbessel@nt-serv.com

Valery BESSEL
Ph.D., Executive Vice President of NewTech
Services (LLC) (Russia), Professor of the Gubkin
Russian State University of Oil and Gas
e-mail: vbessel@nt-serv.com

Заготовка древесины. Алтай, Росиия

Источник: Starover64 / depositphotos.com

Аннотация. Авторы статьи проанализировали возможности производства и использования пеллетного топлива в России. Согласно полученным результатам, потенциал пеллетного рынка в России огромен. Энергетический потенциал использования пеллет сопоставим с добычей нефти крупнейшими нефтяными компаниями России. В то же время подчеркивается, что создание российского рынка пеллетного теплоснабжения – это комплексная задача, требующая эффективного взаимодействия государства, производителей пеллет и производителей котлов.
Ключевые слова: биотопливо, производство древисины, отходы зерновых культур, производство пеллет, сжигание в котлах, КПД пеллетного котла.

Abstract. The authors of the article analyzed the possibilities of production and use of pellet fuel in Russia. According to the results obtained, the potential of the pellet market in Russia is huge. The energy potential of using pellets is comparable to oil production by the largest oil companies in Russia. At the same time, the article emphasizes that the creation of the Russian market for pellet heat supply is a complex task that requires effective interaction between the state, pellet producers and boiler manufacturers.
Keywords: biofuel, wood production, crop waste, pellet production, combustion in boilers, pellet boiler efficiency.

Сырьё для производства пеллет доступно практически на всей территории России, потенциал биомассы для их производства огромен

Постоянно растущее потребление энергии требует вовлечения в баланс глобального энергопотребления все большего количества всех доступных на сегодняшний момент источников топлива и энергии [1,2]. Ежегодный рост мирового потребления энергии в период с 2011 по 2021 гг. составил не менее 1,3 % в год [3].

Биотопливо – один из альтернативных традиционным энергетическим ресурсам источников энергии. В твердом виде используется в виде биомассы с естественной влажностью (для древесины примерно 50 %) и в рафинированном виде, в частности, в виде пеллет (влажность примерно 10 %) [4]. Сжигание биомассы естественной влажности эффективно в котлах, в частности, производства компаний «Гейзер», «Теплоресурс», «Союз проект» из г. Ковров, имеющих аналоги австрийских производителей. Благодаря хорошо развитой внутренней конкуренции, они достойно представляют российский рынок котлов для сжигания биомассы естественной влажности. Коэффициент полезного действия таких котлов при чистом теплообменнике составляет примерно 86 %, при загрязнении он снижается примерно на 10–15 %, в связи с чем, к их недостаткам можно отнести отсутствие в базовой конфигурации системы самоочистки теплообменника, что приводит к снижению его эффективности в процессе эксплуатации.

Для характеристики пеллет, производимых из биомассы, лучше всего подходят слова Д. И. Менделеева "Сжигать нефть все равно что топить печку ассигнациями". Великий химик предлагал сначала выделять из нее все полезные составляющие и только потом превращать остатки в удобное топливо. К преимуществам пеллет можно отнести:

1. Низкую влажность – щепа и дрова имеют влажность 50 %, влажность пеллет колеблется в пределах 8–12 %.
2. Экономию при транспортировке – дрова и щепу экономически не выгодно возить на расстояние более 50–100 км, в то время как пеллеты везут автотранспортом на тысячи километров.

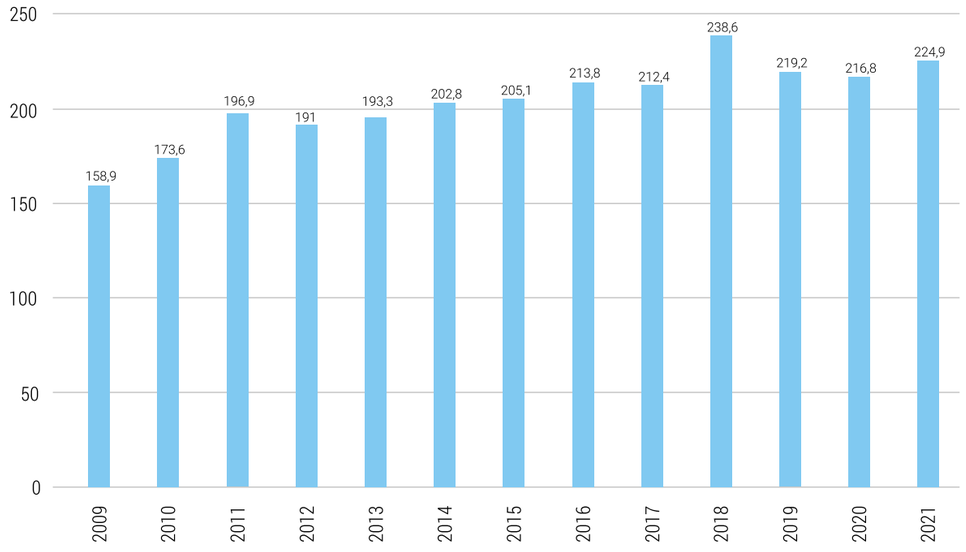


Рис. 1. Динамика роста заготовки леса-кругляка в России с 2009 по 2021 гг., млн м^3

3. Если разница в теплотворной способности дубовых и сосновых дров доходит до 50 %, то теплотворная способность пеллет из дуба и сосны отличаются не более, чем на 5 % [5].
4. Высокий КПД при сжигании в котлах. В отличии от угля, в составе древесных пеллет нет серы и фосфора. При отоплении углем требуется держать температуру дымовых газов более 200 ºС, иначе при конденсации газов образуется сернистая и фосфорная кислота, что приводит к разрушению котла. В итоге КПД угольного котла не превышает примерно 82 %. Температура дымовых газов пеллетного котла примерно 100 ºС, соответственно существенно выше КПД примерно 94 %.
5. Возможность автоматизации процесса сжигания топлива. Благодаря стабильным геометрическим размерам пеллет, процесс их сжигания легко автоматизируется и синхронизируется с процессами очистки горелки и теплообменника. Большой внешний склад пеллет позволяет обеспечивает месяцы автономной работы.
6. Пеллеты – единственно экономически выгодный пример зеленой энергетики, который может существовать без дотаций даже в условиях России, где стоимость энергии для конечного потребителя является одной из самых низких в мире в настоящее время [6].

Осреднённая энергетическая эффективность пеллет из отходов переработки леса в России оценивается примерно в 25,6 млн т н. э., что сопоставимо с годовой добычей нефти «Татнефти»

В России на данный момент потребителями пеллетного топлива являются частные домохозяйтсва, промышленные котельные, муниципальные объекты теплоснабжения. По данным «Русского Пеллетного Союза» за 2020 г., количество крупных потребителей составило 699 объектов. Количество потербителей пеллет в 2021 г. увеличилось до 800, что составило 1 % от топливно-энергетического баланса РФ [6].

Россия в силу своей огромной территории является одним из мировых лидеров по запасам биотоплива, в том числе таких, как остатки от переработки леса-кругляка в деловую древисину, осушенная солома и зелёная масса ежегодно собираемых зерновых культур и лузги от производства подсолнечного масла. В настоящей статье дана оценка энергетической ценности пеллет, произведённых из вышеперечисленных биологических отходов по данным за 2020 г.

За последние годы в России наметился устойчивый рост заготовки деловой древесины, динамика роста которого в период с 2009 по 2021 гг. показана на рис. 1 [7].

Как следует из диаграммы на рис. 1, в России наблюдается устойчивый рост заготовки кругляка, что объясняется ростом спроса на деловую древесину. В силу того, что с 1 января 2022 г. Правительство РФ ввело запрет на вывоз леса-кругляка из страны, переработка кругляка в деловую древесину отныне осуществляется непосредственно в стране. Это позволяет использовать остатки от переработки древесины, в том числе и для производства энергии.

Оценка остатков от переработки древесины из кругляка в деловой брус квадратного сечения были сделаны исходя

Осреднённая энергетическая эффективность пеллет из отходов производства зерновых культур в России оценивается примерно в 63,1 млн т н. э., что больше, чем добыча «Сургутнефтегаза»

из того, что заготовленный кругляк может иметь три формы ствола: цилиндрическую, усечённого конуса и усечённого параболоида вращения – объёмы которых рассчитываются по формулам [8]:

– кругляк в форме цилиндра:

$$V_{k1} = \frac{\pi d^2}{4} L \qquad (1)$$

– кругляк в форме усечённого конуса:

$$V_{k2} = \frac{1}{12} \pi L^* \left(D^2 + Dd + d^2 \right) \qquad (2)$$

– кругляк в форме усечённого параболоида вращения:

Топливные гранулы пеллеты

Источник: is-belkomin.ru

Доля отходов в зависимости от формы кругляка	
цилиндр	0,363
усеченный конус вращения	0,509
усеченный параболоид вращения	0,514

Таблица 1. Доля отходов переработки леса-кругляка в квадратный брус

$$V_{k3} = \frac{\pi D^2}{4} L - \frac{1}{8} \pi L^* \left(D^2 - d^2 \right) \quad (3)$$

Объём деловой древесины в виде бруса квадратного сечения рассчитывается по формуле:

$$V_{dd} = \frac{d^2}{2} L \quad (4)$$

где:

D – диаметр нижней (большего сечения) части ствола заготовленного кругляка, м;

d – диаметр верхней (меньшего сечения) части ствола заготовленного кругляка, м;

L – длина заготовленного кругляка, м.

Таким образом, объём отходов рассчитывается по формуле:

$$V_{o1} = V_{k1} - V_{dd} = 0{,}363 * V_{k1} \quad (5)$$

$$V_{o2} = V_{k2} - V_{dd} = 0{,}509 * V_{k2} \quad (6)$$

$$V_{o3} = V_{k3} - V_{dd} = 0{,}514 * V_{k3} \quad (7)$$

Результаты расчета долей отходов сведены в таблицу 1.

Плотность хвойных и мягких лиственных пород составляет примерно 850 кг/м³, а плотность твёрдых лиственных пород около 1000 кг/м³ [9]. По причине отсутствия информации о структуре заготавливаемой в стране древесины, в дальнейших расчетах принята средняя арифметическая плотность древесины примерно 925 кг/м³. Объём заготовленной в 2020 г. древесины был взят из графика на рис. 1. В расчетах первоначальная влажность древесины оценивалась в 65 % [10], пеллеты изготавливаются из древесины влажностью от 8 до 12 % [10], удельная теплота сгорания пеллет из отходов древесины оценивается примерно в 17,17 МДж/кг [5]. Результаты проведённых расчетов сведены в таблицу 2.

Из таблицы 2 следует, что осреднённая энергетическая эффективность пеллет из отходов переработки леса – кругляка в деловой брус – в России по данным за 2020 г. оценивается примерно в 25,6 млн т н. э., что сопоставимо с годовой добычей нефти ПАО «Татнефть» [11].

Еще одним перспективным ресурсом для производства пеллет являются отходы от производства зерновых культур, объём сбора которых в России постоянно растёт. Для проведения оценки энергетической ценности пеллет из отходов производства зерновых культур по диаграмме на рис. 2 были выбраны 5 культур, которые занимают наибольшие посевные площади: пшеница (озимая и яровая) – 36,9 %, ячмень (озимый и яровой) – 10,7 %, подсолнечник – 10,6 %, кукуруза на зерно – 3,6 %, овёс – 3,1 % [12].

Таблица 2. Оценка энергетического потенциала пеллет из отходов деревопереработки в России по данным за 2020 г.

Форма кругляка	Доля отходов в кругляке	Кол-во отходов в 2020 г., млн м³	Среднее кол-во отходов в 2020 г., млн м³	Кол-во отходов, млн т	Среднее кол-во отходов, млн т	Отходы (осушенные) при влажности, млн т		Кол-во получаемой энергии, млн т н. э.		
						8 %	12 %	min	max	среднее
цилиндр	0,363	78,7	100,2	72,8	92,7	47,7	50,3	24,9	26,3	25,6
усеченный конус вращения	0,509	110,4		102,1		66,8	70,6			
усеченный парабалоид вращения	0,514	111,5		103,1		67,5	71,3			

Структура посевных площадей основных сельскохозяйственных культур в России в 2020 году, %
Общий размер площадей – 79 629,7 тыс. га

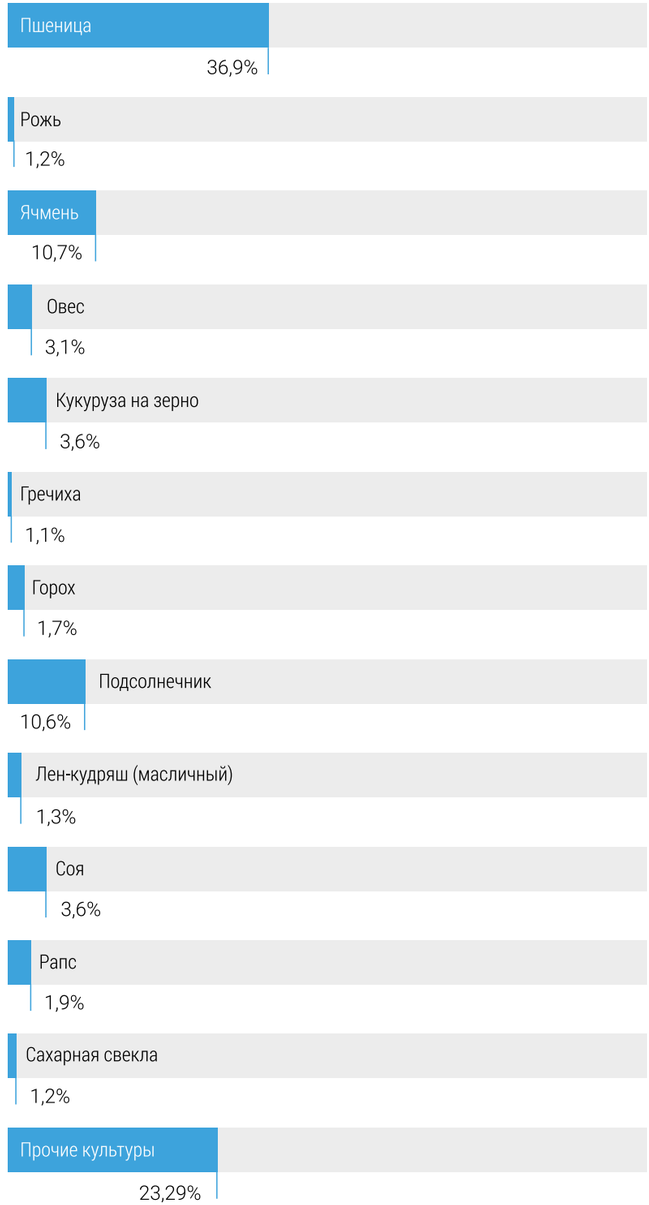


Рис. 2. Структура посевных площадей в России в 2020 г.

Валовый сбор продуктов растениеводства (в хозяйствах всех категорий) в 2020 г., млн т		Количество осушенной соломы и зеленой массы по выбранным культурам (в хозяйствах всех категорий), млн т				Количество получаемой энергии, млн т н. э.		
		доля осушенной соломы и зеленой массы к зерну, min	кол-во	доля осушенной соломы и зеленой массы к зерну, max	кол-во	min	max	среднее
Пшеница	85,9	0,75	64,4	1,4	120,3	46,1	80,1	63,1
Ячмень	20,9	0,75	15,7	1,4	29,3			
Овес	4,1	0,75	3,1	1,4	5,7			
Кукуруза на зерно	13,9	1,2	16,7	2,5	34,8			
Подсолнечник	13,3	2,5	33,3	3,1	41,2			
ВСЕГО	138,1		133,1		231,2			

Таблица 3. Оценка энергетического потенциала пеллет из отходов зернового производства в России по данным за 2020 г., млн т н. э.

В 2020 г. в России собрано более 133 млн т зерновых культур [13]. Для оценки энергетической ценности остатков биомассы от собранных зерновых культур были приняты следующие допущения: соотношение массы соломы для таких культур как пшеница, ячмень и овёс – от 0,75 до 1,4 от массы колоса. Соотношение зеленой массы стебля и листьев кукурузы – от 1,2 до 2,5 к массе кукурузного початка. Соотношение массы стебля подсолнечника – от 2,5 до 3,1 от массы семечек подсолнуха [14]. С учетом того, что 1 кг пеллет из соломы при сжигании выделяет примерно 14,5 МДж/кг [5] энергии, были сделаны расчеты, результаты которых представлены в таблице 3.

Как следует из таблицы 3, осреднённая энергетическая эффективность пеллет из отходов производства зерновых культур в России по данным за 2020 г. оценивается примерно в 63,1 млн т н. э., что больше, чем уровень добычи нефти ПАО «Сургутнефтегаз» [11].

В 2020 г. в России было произведено 13,3 млн т подсолнечника [13]. С учетом того, что 1 кг пеллет из отходов от производства подсолнечного масла при сжигании выделяет примерно 18,1 МДж/кг [5], были сделаны расчёты, результаты которых сведены в таблицу 4.

Обобщённые данные по энергетической ценности биологических остатков от производства деловой древесины, зерна и подсолнечного масла в России в 2020 г. сведены в таблицу 5.

Проведённая оценка энергетической ценности показывает, что пеллетная

Таблица 4. Оценка энергетического потенциала пеллет из отходов производства подсолнечного масла в России по данным за 2020 г.

Валовый сбор подсолнечника (в хозяйствах всех категорий) в 2020 г., млн т	Количество лузги, полученной после обработки зерен (отношение массы лузги к массе семян,%), млн т		Количество получаемой энергии, млн т н. э.		
	15 %	30 %	min	max	среднее
13,3	2	3,99	0,86	1,72	1,29

Таблица 5. Оценка потенциала энергии при сжигании пеллетного топлива в России в 2020 г.

Вид биомассы	min	max	среднее
Отходы от переработки древесины	24,9	26,3	25,6
Осушенная солома и зеленая масса с/х	46,1	80,1	63,1
Лузга подсолнечника	0,86	1,72	1,29
ИТОГО	71,9	108,1	90

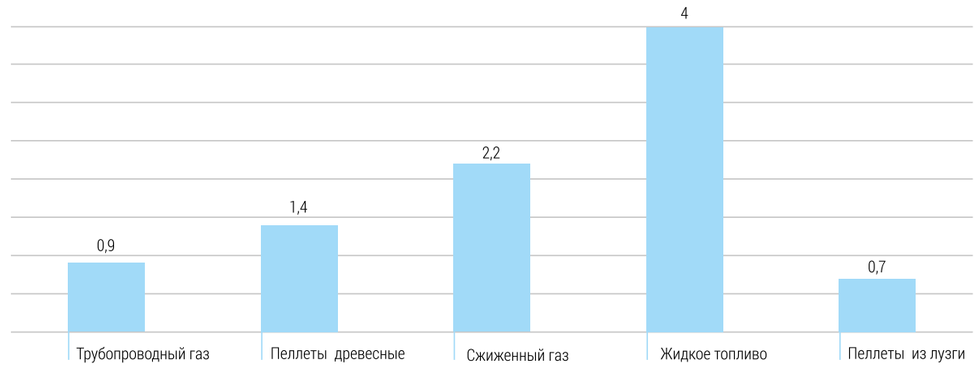


Рис. 3. Стоимость кВт·ч тепловой энергии на различных видах топлива в России по данным за 2021 г.

энергетика в России обладает огромным потенциалом развития – только в 2020 г. энергия, которая могла быть получена при сжигании пеллет из отходов производства деловой древесины, зерна и подсолнечного масла, составляла бы более 90 млн т н. э., что выше годового производства нефти ПАО «ЛУКОЙЛ» в том же году примерно на 22 % [11].

Стоимость тепловой энергии, получаемой при сжигании различных источников топлива (руб./кВт·ч), в России за 2021 г. показана на диаграмме на рис. 3. Стоимость пеллетного отопления рассчитана при стоимости древесных пеллет примерно 6 руб./кг и пеллет из лузги примерно 3 руб./кг [15].

Снижение стоимости пеллетного отопления возможна только при постоянном КПД котла около 94 %, что допустимо только в случае наличия системы автоматической очистки теплообменника, причём, не реже одного раза в час. При ручной очистке один раз в сутки КПД котла падает на 5–10 %, при очистке один раз в неделю разница КПД составит 15–20 %, что приводит к росту стоимости отопления [15].

Котел должен иметь систему очистки колосниковой решетки, при этом возможно сжигание не только белых, но и серых промышленных пеллет, которые дешевле белых примерно на 1,5 руб./кг. Пеллеты из лузги дешевле промышленных на 2–3 руб./кг, в зависимости от урожая подсолнечника.

Котел должен обеспечить полный дожиг пеллет, без осаждения смол на стенках камеры сгорания, для чего котел должен иметь высокотемпературную камеру сгорания, показанную на рис. 4, обеспечивающую полный дожиг любых пеллет, как промышленных древесных, так и из соломы или лузги [15].

Рис. 4. Высокотемпературная керамическая камера сгорания из карбида кремния, температура в камере примерно 1100 °C

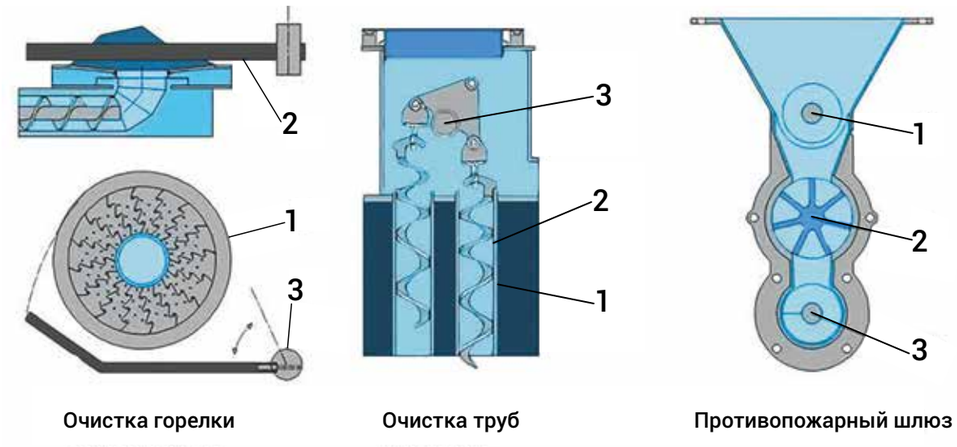


Рис. 5. Схема устройства системы очистки горелки (где 1 – горелка, 2 – кочерга, 3 – привод кочерги), труб (где 1 – дымогарные трубы, 2 – спирали-турбулизаторы, 3 – механизм подъёма) и противопожарного шлюза (где 1 – дозирующий шнек, 2 – противопожарный шлюз, 3 – противопожарный шлюз) современного пеллетного котла

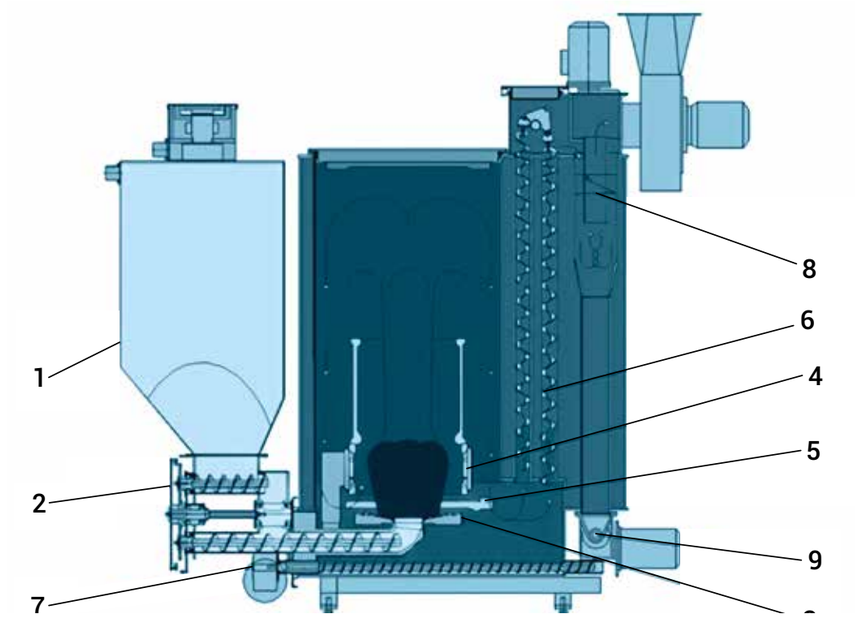


Рис. 6. Схема пеллетного котла, где: 1 – встроенный бункер хранения пеллет и устройство пневмоподачи из внешнего склада; 2 – питатель, состоящий из привода, шнека дозатора, противопожарного шлюза (противодействует обратной тяги) и шнека подачи пеллет в горелку; 3 – горелка, конструкция которой обеспечивает максимально возможный нагрев первичного воздуха; 4 – керамическая камера сгорания с распределительным каналом и соплами подачи вторичного воздуха, обеспечивает нагрев вторичного воздуха, экранирование и огневой затвор факела; 5 – кочерга очистки колосниковой решетки от пензообразных шлаков; 6 – устройство очистки дымогарных труб, путем подъёма и опускания спиралей; 7 – механизм удаления золы; 8 – мультициклон; 9 – устройство выгрузки золы из мультициклона.

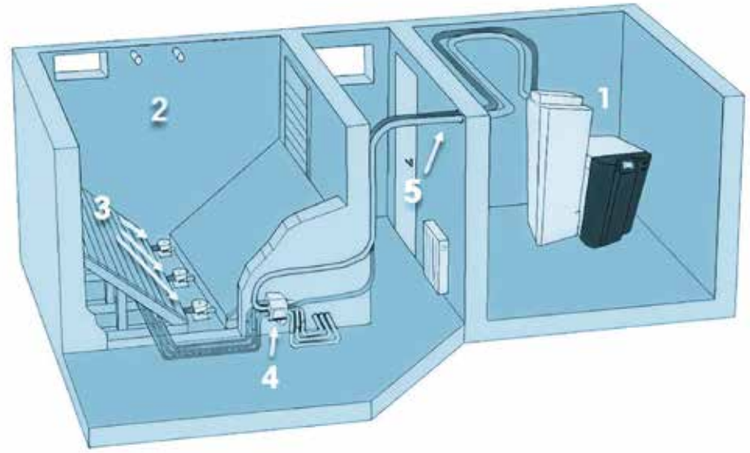


Рис. 7. Пример расположения внешнего склада в частном доме, где 1 – пеллетный котёл, 2 – внешний склад, 3 – заборные устройства, 4 – переключатель, 5 – шланги подачи.

На рис. 5 показана схема устройства системы очистки горелки и труб, а также противопожарного шлюза, наличие которого является обязательным условием безопасной эксплуатации котла [15].

На рис. 6 приведена схема котла, который обеспечивает достаточно низкую стоимость тепла для конечного потребителя и стоимость обслуживания благодаря автоматизации процесса сжигания пеллет [15].

Если у пеллетного котла нет аналогичных систем, он будет дороже в эксплуатации за счет бóльшего расхода пеллет и расходов на заработную плату кочегара, либо времени, которое сам потребитель затратит на очистку котла. Разница в цене, сожжённых за сезон пеллет в ручных котлах и котлах, где установлена автоматизированная система очистки, превышает разницу в стоимости данных котлов [15].

Эксплуатацию котлов на пеллетах облегчает наличие внешнего склада, примерная схема расположения которого показана на рис. 7. Данный склад способен хранить несколько т пеллет, которые с точки зрения логистики выгоднее покупать в пакетах по 1000 кг, а не в мешках по 30 кг, что на практике снижает затраты на 0,5 руб./кг. А если использовать «летний завоз», то экономия составит примерно 1 руб./кг, так как в летний период производители пеллет имеют проблемы со сбытом и с наличием складских площадей для хранения готовой продукции [15].

Примерная схема расположения склада промышленной котельной приведена на рис. 8 [15].

Таблица 6. Сравнительная таблица пеллетных котлов

Фирма/страна	Очистка горелки	Очистка теплообменника	Противопожарный шлюз или клапан
Herz, Frolling, Eta, KWB, Oekofen/ Австрия	Да	Да	Да
Светлобор/Россия	Да	Да	Да
Faci/Италия	Нет	Нет	Нет
Kostrzewa/Польша	Нет	Нет	Нет
Roteks/Россия	Нет	Нет	Да
Metal-Fach/Россия	Нет	Нет	Нет
Zota/Россия	Нет	Нет	Нет

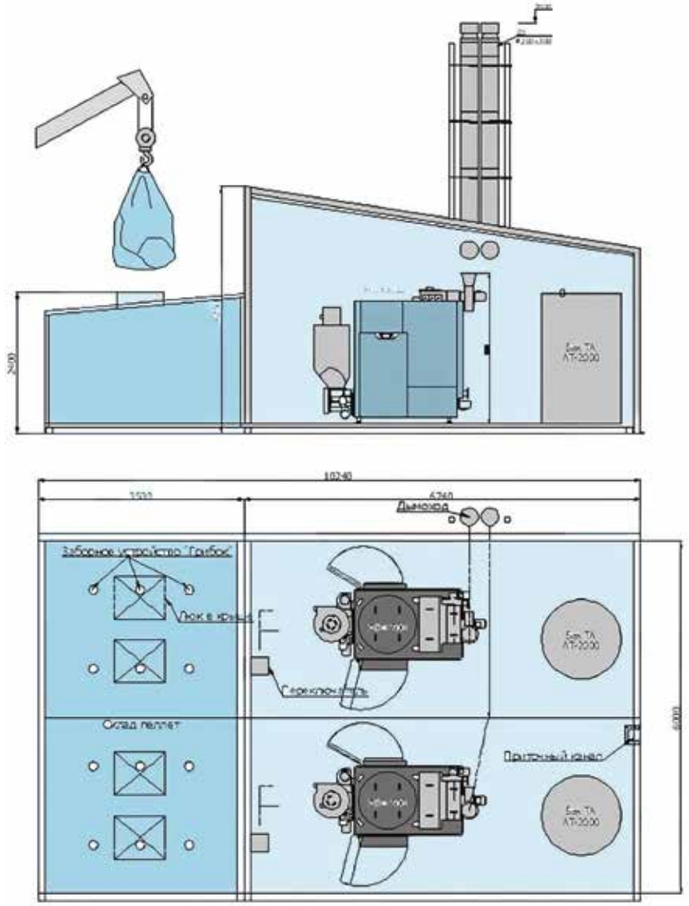


Рис. 8. Схема внешнего склада промышленной котельной

Сравнительный анализ наличия автоматизированной системы очистки пеллетных котлов представлена в таблице 6.

Пеллетные котлы «Светлобор» имеют степень автоматизации, как у Австрийских производителей, что дает дополнительное преимущество развитию пеллетеной энергетики в России. Стоит отметить, что российские пеллетные котлы «Roteks» имеют противопожарный шлюз, что также увеличивает степень автоматизации работы котла.

С точки зрения биологических экосистем, сжигание пеллет приводит к выбросам, сопоставимым с естественным природным фоном, в связи с чем экологические последствия от использования пеллетной энергетики минимальны. В газовой смеси, поступающей в атмосферу, практически отсутствует сера (0,1 %), эмиссия углекислого газа ниже в 10–50 раз, чем у любого другого вида традиционного топлива. Что касается твёрдых отходов, то при сжигании пеллет образуется всего лишь 1,5 % пепла от общего объёма используемых гранул [16].

Правительство РФ в последние годы уделяет все бóльшее внимание развитию восточных регионов страны. Введение пеллетной энергетики для обеспечения комфортного проживания людей, теплоснабжения частных и многоквартирных домов, социально-значимых объектов, производств муниципального и регионального значения, а также труднодоступных и отдалённых районов сыграло бы огромную роль в развитии регионов Сибирского и Дальневосточного федерального округа согласно [17], п. 6 [18].

Также переход на пеллетное отопление вместо теплоснабжения за счёт сжигания газа и нефти, позволит увеличить поставки углеводородного сырья зарубежным партнёрам, что способствует привлечению дополнительных средств в бюджет страны.

Выводы:

1. Создание российского рынка пеллетного теплоснабжения – комплексная задача, требующая эффективного взаимодействия государства, производителей пеллет и производителей котлов.
2. Сырьё для производства пеллет доступно практически на всей территории России, оценки показывают, что потенциал биомассы для производства пеллет в России огромен. Это делает пеллетную энергетику доступной практически во всех уголках нашей огромной страны.
3. Оценка потенциала пеллетной энергетики в России по данным за 2020 г. показала, что потенциал колоссален и может быть оценён десятками миллионов т нефтяного эквивалента в год.
4. Главный показатель энергетики – стоимость тепла для конечного потребителя, в связи с чем достаточно простое и дешёвое производство как пеллет, так и пеллетных котлов, а также минимальные логистические затраты на доставку пеллет потребителям по дорогам общего пользования всех категорий, позволяет эффективно использовать пеллеты для энергообеспечения широкого спектра потребителей, особенно в удалённых и труднодоступных территориях.
5. Пеллетная энергетика экологически чистая, позволяющая сохранять естественный экологический фон биологических природных экосистем и городской среды.

Использованные источники

1. *Природный газ – основа устойчивого развития мировой энергетики: монография / В.Г. Мартынов, В.В. Бессель, В.Г. Кучеров, А.С. Лопатин, Р.Д. Мингалеева. – М.: Изд. центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2021. – 173 с.*
2. *Бессель В.В., Мингалеева Р.Д. Устойчивое развитие крупнейших экономик мира требует все больше энергии // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2022. № 3 (207). С. 57–63. – DOI 10.33285/1999-6942-2022-3(207)-57-63.*
3. *BP Statistical Review of World Energy. 2022. – URL: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf*
4. *Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. – М. Лесная промышленность, 1987. – 224 с.*
5. *Таблица теплотворности. – URL: https://www.automaticles.ru/stati/tablica-teplotvornosti*
6. *Внутренний рынок древесных топливных гранул: антикризисные решения и новые потребители. – URL: https://www.infobio.ru/sites/default/files/russkiy_pelletnyy_soyuz_biotoplivnyy_kongress_13.09.2022.pdf*
7. *ЕМИСС государственная статистика. Объём заготовленной древесины. – URL: https://fedstat.ru/indicator/37848*
8. *Семенов К. С. Таксация леса без таблиц / К. С. Семенов // Известия Уральского государственного университета. 1921. Т. 2. С. 1–7.*
9. *Свод правил СП 64.13330.2017 «СНИП II-25-80. Деревянные конструкции». – URL: https://docs.cntd.ru/document/456082589*
10. *Влажность древесины. – URL: https://albnn.com/stati/vlazhnost-drevesiny/*
11. *Добыча нефти в России. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Добыча_нефти_в_России#2020*
12. *Посевные площади по культурам в 2020 г. Лидеры по приросту и сокращению. – URL: https://agrovesti.net/lib/industries/posevnye-ploshchadi-po-kul-turam-v-2020-godu-lidery-po-prirostu-i-sokrashcheniyu.html*
13. *Сельское хозяйство в России. 2021: Стат. сб. / Росстат. М., 2021. С. 29.*
14. *Физико-механические свойства растений / Развитие product union: – URL: http://razvitie-pu.ru/?page_id=7543#15*
15. *Шаров О.М. Всероссийский рынок пеллетного отопления// Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ. 2022. № 5 (74). С. 20–23.*
16. *Полищук А.И., Рубинская А.В. Пеллеты – современный экологически чистый вид биотоплива. – URL: http://science-bsea.narod.ru/2011/les_2011/polishuk_pellet.htm*
17. *Распоряжение Правительства РФ от 24 сентября 2020 г. № 2464-р «Об утверждении Национальной программы социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 г. и на перспективу до 2035 г.».*
18. *Распоряжение Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. N 207-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 г. (с изменениями и дополнениями)».*

УДК 620.9 DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179_94 EDN: CRQLOW

Оптимизация систем энергоснабжения удаленных и изолированных территорий за счет управления энергетической гибкостью

Optimization of energy supply systems for remote and isolated territories through energy flexibility management

Роман БЕРДНИКОВ
Член правления, первый заместитель генерального директора ПАО «РусГидро»

Roman BERDNIKOV
The Management Board member – First Deputy General Director of the RusHydro Group

Дмитрий ХОЛКИН
Генеральный директор АНО «Центр энергетических систем будущего «Энерджинет»
e-mail: dvh@internetofenergy.ru

Dmitry KHOLKIN
General director of the Future Energy Systems Center
e-mail: dvh@internetofenergy.ru

Игорь ЧАУСОВ
Директор аналитического направления АНО «Центр энергетических систем будущего «Энерджинет»
e-mail: chi@internetofenergy.ru

Igor CHAUSOV
Director of Analytic branch of the Future Energy Systems Center
e-mail: chi@internetofenergy.ru

Аннотация. Энергетическая гибкость в энергоузлах на удаленных и изолированных территориях (УИТ) рассматривается как основное средство снижения затрат на энергоснабжение, позволяющее эффективно использовать ВИЭ в составе автоматизированных гибридных энергетических комплексов (АГЭК) и сокращать расход дизельного топлива. Рассмотрены вопросы развития технологии АГЭК с использованием энергетической гибкости. Описаны примеры управления энергетической гибкостью из мировой практики, возможные пилотные проекты в России, эффекты масштабирования апробированных решений.
Ключевые слова: автоматизированные гибридные энергокомплексы, энергетическая гибкость, изолированные микрогриды, изолированные и труднодоступные территории, возобновляемые источники энергии, приведенная стоимость электрической энергии.

Abstract. Energy flexibility in remote microgrids on hard-to-reach areas as a key factor for energy cost reduction, effective RES penetration to hybrid remote microgrids, and fuel consumption reduction is considered. The issues of development of hybrid energy system technology using energy flexibility are considered. Available energy flexibility sources, the remote microgrids simulation approach within these resources' optimization, cases from global market, pilot projects in Russia possibilities, and scale up for approved decisions are contemplated. Shown that remote areas are places where the new energy order is formed.
Keywords: hybrid energy system, energy flexibility, remote microgrids, remote and hard-to-reach areas, renewables, levelized cost of electricity.

В среднем удельные фактические затраты на энергоснабжение в удаленных и изолированных территориях РФ превышают 50 руб. за кВт·ч

Проблема энергоснабжения удаленных и изолированных территорий в России

На зоны децентрализованного энергоснабжения приходится почти 65 % территории России, на них проживает чуть менее 14 % населения страны [1]. Значительная его часть сконцентрирована в городах и снабжается электрической и тепловой энергией от крупных электростанций. Но не менее 700 тыс. человек в 23 регионах страны проживают на удаленных и изолированных территориях (УИТ) с децентрализованным энергоснабжением, общая установленная мощность почти 500 российских объектов генерации там составляет 840 МВт [2]. В основном такие территории сосредоточены в Дальневосточном федеральном округе (ДФО) и Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ). Эти объекты обеспечивают в основном небольшие поселения, в 60 % таких населенных пунктов постоянное население составляет менее 500 человек [2].

По оценке ЦЭНЭФ, расходы федерального бюджета на субсидирование тарифов для населения и организаций на удаленных и изолированных территориях и покрытие расходов бюджетных организаций на энергоснабжение составляют 150 млрд рублей в год [3]. Себестоимость производства электроэнергии в таких районах находится в пределах от 13,7 до 42,7 рублей за кВт·ч [2]. Сегодня эта себестоимость выросла еще больше: можно найти оценки в широком диапазоне от 35 до 270 рублей за кВт·ч в зависимости от региона и объекта, но в среднем можно говорить о том, что удельные фактические затраты на энергоснабжение в удаленных и изолированных территориях превышают 50 рублей за кВт·ч.

Таким образом, проблема энергоснабжения на удаленных и изолированных территориях в России состоит в его высокой стоимости. Поскольку в России в настоящее время установленная мощность ВИЭ в составе объектов локальной генерации составляет только 2 % от их общей мощности, можно говорить о том, что энергоснабжение удаленных и изолированных территорий осуществляется практически полностью за счет дизельной генерации [2]. Поэтому проблема высокой стоимости такого энергоснабжения формируется двумя факторами:

1. На удаленных и изолированных территориях, как правило, отсутствуют

Юрта, оснащенная солнечной панелью. Алтай
Источник: Snegolika / Depositphotos.com

близкорасположенные источники топлива, и в силу логистической составляющей стоимость завозного топлива на них в 1,5–2 раза выше, чем на территории ЕЭС.
2. Износ основного оборудования объектов генерации на таких территориях в среднем превышает 50 %. Оперативный ремонт оборудования осложнен логистикой запасных частей и комплектующих, из-за чего для объектов в этих регионах характерны высокие удельные расходы условного топлива (300–600 г у. т./кВт·ч) и затраты на обслуживание [2].

Анализ мировой практики, проведенные для ряда объектов модельные расчеты и имеющийся в России опыт Группы «РусГидро» по модернизации объектов энергоснабжения с применением современных технологий показывают, что размер субсидирования может быть существенным образом сокращен за счет снижения стоимости производства электроэнергии на удаленных и изолированных территориях при эффективном использовании потенциала ВИЭ и систем автоматизированного управления.

Управление энергетической гибкостью как ключ к эффективности энергоснабжения УИТ

Поскольку затраты на завозное дизельное топливо являются определяющими при формировании высокой стоимости энергоснабжения на удаленных и изолированных территориях, очевидным путем снижения этой стоимости видится использование генерации на местном топливе и ВИЭ для топливозамещения. Наиболее универсальными и доступными для таких регионов оказываются ресурсы солнечной и ветровой энергии в зависимости от особенностей местности, что подтверждается анализом российского опыта. Так, на Алтае и в южных районах Якутии эффективными оказываются солнечные станции, а в прибрежных районах Камчатки и Сахалина, а также на островах – ветроэнергетические установки (ВЭУ). При этом в ряде случаев потенциал ВИЭ на удаленных и изолированных территориях достаточно велик: например, в случае Камчатского края расчеты показывают, что КИУМ ветровой генерации может достигать 20 % на западном побережье, 30 % на восточном, и 53 % на о. Беринга [4]. При этом важным, но в настоящее время технологически нераскрытым ресурсом являются органические бытовые отходы и отходы деревообработки.

Использование только ВИЭ в сочетании с дизельной генерацией само по себе еще не гарантирует снижения стоимости электроэнергии и может приводить к существенным проблемам с ее качеством. Например, в с. Новиково Сахалинской области ветрогенераторы работают с КИУМ 2–3 % при проектном значении 18–20 %, а удельные затраты на электроэнергию остаются на уровне 41,7 рублей за кВт·ч. На других площадках включение ВЭУ в со-

Поселок Дукат
Источник: ru.wikipedia.org

став энергоузла приводит к резкому росту и раскачиванию частоты при сильных порывах ветра. В таких изолированных энергосистемах с гибридной генерацией не хватает принципиально важной компоненты, превращающей их в современные микрогриды и обеспечивающей успешность и эффективность интеграции трудно диспетчируемых ВИЭ. Эта компонента – управление энергетической гибкостью.

Энергетическая гибкость – способность таких энергоустановок, как маневренная генерация, различного типа накопители энергии, управляемые нагрузки, электрические котельные и другие устройства с тепловой инерцией, оказывать управляемое воздействие на баланс электрической энергии и мощности в энергосистеме [5]. Ценность энергетической гибкости в изолированных энергоузлах объясняется двумя причинами:

1. Энергетическая гибкость в изолированных энергоузлах, обеспечивая эффективным образом баланс производства электрической энергии на основе ВИЭ и её потребления, позволяет повысить КИУМ ветровой и солнечной генерации и снизить использование углеводородной генерации, а за счет этого – снизить стоимость электроэнергии.
2. Энергетическая гибкость позволяет управлять режимом передачи и качеством электроэнергии, поддерживая частоту и напряжение за счет влияния на баланс мощности.

Мировая практика создания изолированных микрогридов показывает большое разнообразие в выборе источников энергетической гибкости. Помимо электрохимических систем накопления энергии в зарубежных микрогридах используются маховики, тепловые накопители, электрокотельные, регулируемые насосы системы водоснабжения, мини-ГЭС и мини-ГАЭС, а также водородные накопители энергии в составе электролизеров с регулируемой производительностью, сосудов для хранения водорода под давлением и топливных элементов. Накопление энергии в водородном цикле за счет своей долговременности приобретает все большую популярность, несмотря на сравнительно высокую стоимость водородных технологий.

Для эффективного сочетания ВИЭ с дизельной генерацией под управлением единой системы автоматизированного управления создаются автоматизированные гибридные энергетические комплексы (АГЭК). В частности, Группа «РусГидро» активно внедряет технологию АГЭК в рамках модернизации объектов дизельной генерации Дальнего Востока. Эта технология позволяет увеличивать КИУМ ВИЭ за счет использования ресурсов энергетической гибкости маневренной дизельной генерации и систем накопления энергии (при наличии). Еще большую эффективность можно извлечь, развивая данную технологию, за счет использования всего потенциала управления энергетической гибкостью в изолированном энергоузле, имеющегося как на стороне генерации, так и на стороне потребителей.

Предварительные оценки показывают, что управление энергетической гибко-

Использование только ВИЭ в сочетании с дизельной генерацией само по себе еще не гарантирует снижения стоимости электроэнергии и может приводить к существенным проблемам с ее качеством

стью в изолированных микрогридах при оптимальном сочетании мощностей ВИЭ и углеводородной генерации в конфигурации АГЭК позволяет снизить приведенную стоимость электроэнергии на жизненном цикле (LCOE) на 30–40 % по сравнению не только с дизельными электростанциями (ДЭС), но и по сравнению с АГЭК, работа которых не сопряжена с управлением энергетической гибкостью. Таким образом, возникает задача создания АГЭК следующего поколения, возможности которых должны быть расширены средствами управления энергетической гибкостью как на стороне генерации, так и на стороне потребителей. За счет этого переход на энергоснабжение УИТ при помощи АГЭК следующего поколения может обеспечить в масштабах страны экономию на снижении стоимости электроэнергии в размере 6,9–9,3 млрд рублей в год.

При этом ключевое значение для достижения указанного эффекта в изолированных энергоузлах имеют системы интеллектуального управления такими энергоузлами – автоматизированные системы управления источниками генерации и энергетической гибкости. Именно от качества их работы зависит то, насколько эффективно в каждый момент времени будут задействованы имеющиеся в конфигурации генераторы, накопители и управляемые нагрузки, какой будет стратегия заряда и разряда накопителей, накопления тепла, производства и использования водорода.

Моделирование энергетической гибкости в изолированных энергоузлах

В изолированных энергоузлах без ВИЭ потребность в энергетической гибкости определяется динамикой потребления электроэнергии, в особенности резкопеременными нагрузками, а для управления балансом энергии и мощности используется регулирование частоты и мощности силами дизельных генераторов, обладающих для этого необходимой маневренностью. В случае гибридной генерации с ВИЭ усложняется задача, поскольку на баланс энергии и мощности влияют в этом случае сразу два не полностью предсказуемых и в значительной степени неуправляемых фактора: динамика потребления и динамика выработки. В этом случае управление балансом энергии и мощности при помощи дизельных генераторов оказывается часто неэффективным по следующим причинам:

Бурзянская СЭС
Источник: hevelsolar.com

1. При характерной для изолированных энергоузлов нехватке инерции вращающихся масс, дизельным генераторам часто не хватает маневренности для компенсации резких наборов и провалов мощности, свойственных ВИЭ, особенно ветровой генерации.
2. Использование дизельных генераторов для регулирования частоты и мощности в АГЭК приводит к их работе в режимах, далеких от оптимальных – с недостаточной загрузкой и перегрузкой, – что приводит к росту удельного расхода топлива, сокращению моторесурса и росту стоимости обслуживания генераторов.
3. Когда баланс мощности регулируется только за счет дизельных генераторов, КИУМ ВИЭ определяется не возможностями местности, а тем, насколько совпадают профили генерации на базе ВИЭ и потребления электроэнергии. Вся невостребованная в момент ее выработки возобновляемая энергия превращается в потери, недостающая – компенсируется углеводородной генерацией, и возможности ВИЭ для топливозамещения существенно сокращаются.

Последний фактор имеет ключевое значение для ценности энергетической гибкости в изолированных микрогридах. Минимизация стоимости электроэнергии достигается при максимально возможном для данной местности КИУМ ВИЭ. Эти максимальные показатели в свою очередь достигаются при таком балансе энергии и мощности, при котором профиль потребления электроэнергии как можно ближе совпадает с профилем ее выработки на базе ВИЭ. Энергетическая гибкость должна обеспечивать баланс между потреблением и выработкой на базе ВИЭ так, чтобы минимизировать использование топливной генерации и достичь максимальный КИУМ ВИЭ. Основными источниками энергетической гибкости при этом могут выступать следующие типы энергоустановок:

1. Электроустановки потребителей, мощностью потребления которых можно управлять без ограничения их функционала. К таким нагрузкам относятся электрические котлы, электрообогреватели, кондиционеры и холодильные машины, тепловые насосы, промышленное оборудование, связанное с тепловыми процессами.
2. Системы накопления электрической энергии (СНЭ), которые могут работать в разных режимах, например, питать нагрузки в течение времени, необходимого для пуска ДГУ при снижении выдачи мощности от ВИЭ, или обеспечивать дополнительное потребление электроэнергии при ее избытке в энергосистеме и выдачу накопленной электроэнергии при ее недостатке в период от нескольких часов до нескольких суток.
3. Системы накопления тепловой энергии, обеспечивающие превращение электрической энергии в тепловую и накапливающие ее на срок до нескольких суток.
4. Водородные системы накопления энергии, обеспечивающие производство водорода методом электролиза с последующим его использованием для получения электроэнергии в период от нескольких часов до нескольких недель или даже месяцев (сезонное накопление), а также в качестве моторного топлива, для получения тепла, в качестве промышленного сырья.

На Алтае и в южных районах Якутии эффективными оказываются солнечные станции, а в прибрежных районах Камчатки и Сахалина, а также на островах – ветроэнергетические установки

ВЭС на Аляске
Источник: saftbatteries.com

Но энергетическая гибкость, как и генерация, имеет собственную стоимость владения, связанную как с капитальной стоимостью источников гибкости и систем управления ими, так и с операционными расходами на эксплуатацию и обслуживание источников гибкости.

Таким образом, LCOE в изолированных микрогридах оказывается функцией многих переменных, связанных с параметрами источников энергии и источников гибкости, причем в число последних включены и нагрузки потребителей с учетом как их управляемости, так и их регулирующего эффекта. Минимум функции LCOE достигается при оптимальной конфигурации

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА №1(179) / 2023

Мировая практика энергоснабжения поселений на островах подтверждает вывод о том, что стоимость электроэнергии для них может быть снижена на 20–40 % при использовании гибридной генерации

АГЭК и изолированного микрогрида на его основе (наборе генераторов и источников гибкости) и таком балансе энергии и мощности, в котором для достижения максимального КИУМ ВИЭ используются наиболее дешевые источники энергетической гибкости. При этом кроме минимума LCOE в зависимости от запросов потребителей и общества критериями оптимизации могут выступать также минимизация углеродного следа электроэнергии и минимизация времени и частоты перерывов в электроснабжении (SAIDI, SAIFI), то есть максимизация надежности электроснабжения.

Многопараметрическая дискретная оптимизация конфигурации изолированного энергоузла, включающего АГЭК и источники энергетической гибкости, в целях обеспечения баланса энергии и мощности на жизненном цикле по указанному набору критериев является нетривиальной задачей, в решении которой могут быть применены как методы полного перебора, так и популяционные методы (метод роя частиц) и многокритериальные методы принятия решений (TOPSIS, MVO). В настоящее время силами Центра «Энерджинет» и Группы «РусГидро» ведется разработка многопараметрической цифровой расчетной модели для выбора оптимальных параметров АГЭК и подбора источников гибкости в изолированном энергоузле. Это качество отличает создаваемую модель от используемых в мировой практике средств инвестиционного моделирования микрогридов, таких как HOMER Pro, RETScreen и ряда других [6].

Мировая практика

Мировая практика энергоснабжения поселений на островах и в изолированных районах подтверждает вывод о том, что стоимость электроэнергии на таких территориях может быть снижена на 20–40 % и более по сравнению с дизельной генерацией при использовании гибридной генерации с управлением энергетической гибкостью. На основе анализа более 40 действующих изолированных микрогридов в 22 странах мы отобрали 12 наиболее показательных примеров, параметры которых приведены в таблице 1. Из нее видно, что за счет сочетания дизельной генерации, ВИЭ и источников энергетической гибкости достигается стоимость электроэнергии в диапазоне 8,5–22,5 рубля за кВт·ч (по курсу 2022 г.), соответствующему результатам предварительного модельного анализа возможности снижения стоимости энергии в ряде российских изолированных энергоузлах. Для того, чтобы показать влияние природно-климатических факторов на возможности снижения стоимости энергии, примеры разделены поровну на территории, находящиеся в высоких широтах, и территории, находящиеся в тропиках или близко к ним.

На ряде примеров можно явным образом показать эффект снижения LCOE при использовании ВИЭ в сочетании с источниками энергетической гибкости:

1. В городке Уналаклит на Аляске (США) установка ВЭУ и использование в качестве источника гибко-

ВЭС на Аляске

Источник: phys.org

Расположение АГЭК	Тип климата (по Кёппину)	Установленная мощность, кВт	Источники энергии и гибкости	LCOE, руб./кВт·ч
Территории в умеренных и субполярных широтах				
о. Кадьяк, Аляска, США	Субполярный морской (Cfc)	75 000	ДГУ 33 000 кВт ВЭУ 9 000 кВт ГЭС 30 000 кВт СНЭ (Pb/Ac Gel) 3 000 кВт/2 000 кВт·ч СНЭ (маховик) 1 000 кВт	8,5
о. Суиндл, Британская Колумбия, Канада	Умеренный морской (Cfb)	1 723	ГЭС 1 700 кВт СЭС 23 кВт	14,6
о. Восточный Фолкленд, Фолклендские о-ва, Великобритания	Субполярный морской (Cfc) и тундровый (ET)	8 580	ДГУ 6 600 кВт ВЭУ 1 980 кВт СНЭ (маховик) н/д	18,2
о. Эйгг, Шотландия, Великобритания	Умеренный морской (Cfb)	250	ДГУ 64 кВт ГЭС 112 кВт ВЭУ 24 кВт СЭС 50 кВт СНЭ (Pb/Ac) 720 кВт·ч	18,9
п. Рай, Трёнделаг, Норвегия	Умеренный морской (Cfb) и умеренный холодный (Dfb)	359	ДГУ (биодизель) 48 кВт СЭС 86,4 кВт ВЭУ 225 кВт СНЭ (Li-ion) 550 кВт·ч Электролизер (PEM) 50 кВт Топливный элемент (PEM) 100 кВт Запас водорода 220 кВт·ч (10 кг, 30 бар)	22,5
п. Уналаклит, Аляска, США	Субарктический холодный (Dfc)	3 220	ДГУ 1 900 кВт ВЭУ 600 кВт Электрокотельная 300 кВт	26,1
Территории в тропических и субтропических широтах				
о. Кобрадор, Ромблон, Филиппины	Влажный экваториальный (Af)	45	ДГУ 15 кВт СЭС 30 кВт СНЭ (Li-ion) 180 кВт·ч	9,1
о. Иерро, Канарские о-ва, Испания	Жаркий аридный (Bfh) и средизем-номорский (Csa)	35 000	ДГУ 12 700 кВт ВЭУ 11 500 кВт ГАЭС 11 300 кВт	9,7
о. Кинг, Тасмания, Австралия	Средизем-номорский (Csb)	8 840	ДГУ 6 000 кВт ВЭУ 2 450 кВт СЭС 390 кВт СНЭ (Li-ion) 3 000 кВт / 1 500 кВт·ч СНЭ (маховик) 1 500 кВт	11,6
Корал-Бэй, Карнарвон, Австалия	Жаркий аридный (Bwh)	2 915	ДГУ 2 240 кВт ВЭУ 675 кВт СНЭ (маховик) 500 кВт	12,2
о. Некер, Британские Виргинские о-ва	Муссонный (Am)	2 160	ДГУ 960 кВт ВЭУ 900 кВт СЭС 300 кВт СНЭ (Li-ion) 500 кВт·ч	14,6
о. Бонэйр, Малые Антильские о-ва, Нидерланды	Саванный (Aw)	25 000	ДГУ 14 000 кВт ВЭУ 11 000 кВт СНЭ (Li-ion) 100 кВт·ч	20,7

Таблица 1. Зарубежные изолированные микрогриды с гибридной генерацией и источниками энергетической гибкости

Площадка	Тип климата (по Кёппену)	Установленная мощность, кВт	Потребление мощности (макс/мин), кВт	Источники энергии	LCOE, руб./кВт·ч
с. Новиково, Сахалинская область	Влажный холодный (Dfb)	2825	400 150	ДГУ 2 600 кВт ВЭУ 225 кВт	41,7
п. Усть-Камчатск, Камчатский край	Субарктический холодный (Dfc)	11 775 (12 075 с 2023 г.)	8000 1000	ДГУ 10 600 кВт ВЭУ 1 175 кВт (1 475 кВт с 2023 г.)	>50

Таблица 2. Параметры действующих объектов локальной генерации, на базе которых могут быть развернуты пилотные проекты создания АГЭК с управлением энергетической гибкостью

сти электрокотельной позволили, согласно расчетам, снизить стоимость электроэнергии на 21,8 %.

2. На Фолклендских о-вах установка ветрогенераторов в дополнение к ДГУ и использование маховикового накопителя энергии обеспечила снижение стоимости электроэнергии на 28,6 %.
3. В поселении Рай в Норвегии в рамках пилотного проекта по использованию водородного накопителя энергии как источника гибкости в дополнение к солнечной, ветровой и биогазовой генерации, а также литий-ионным СНЭ, рассчитанный эффект снижения стоимости энергии в сравнении с дизельной генерацией составляет 43,9 %.
4. В поселении Клемту на о. Суиндл в Канаде в качестве источника гибкости используется микро-ГЭС, которая в сочетании с крышными солнечными панелями позволила снизить стоимость электроэнергии на 71,4 %.

Пилотные проекты в России

В целях освоения и последующего масштабирования практики использования изолированных микрогридов с АГЭК нового поколения, обеспечивающих комплексное управление энергетической гибкостью, в России также необходимо запустить ряд пилотных проектов. В настоящее время в России на УИТ действует почти 50 объектов генерации, в составе которых есть ВИЭ, но только несколько объектов созданы по технологии АГЭК, при этом управление энергетической гибкостью в части электроустановок потребителей пока не реализовано ни на одном из них.

Наиболее освоенным типом АГЭК является комплекс на базе дизельной и солнечной генерации. Так, в 2021–2022 гг. Группа «РусГидро» ввела в эксплуатацию шесть АГЭК на основе сочетания ДГУ, СЭС, СНЭ и автоматизированной системы управления в населенных пунктах Табалах, Верхоянск, Кулун-Елбют, Хонуу, Чумпу-Кытыл и Сасыр на территории Якутии общей установленной мощностью 11,9 МВт.

Практика управления энергетической гибкостью в изолированных энергосистемах и энергоузлах, основу генерации в которых составляют ветровые и дизельные источники энергии, слабо развита. Наиболее сложное сочетание источников гибкости с применением СНЭ, накопителей тепловой энергии и управления нагрузками в такого типа АГЭК реализуется в настоящее время в рамках проекта МФТИ в с. Лабороваая в ЯНАО. Именно на отработке автоматизированных (интеллектуальных) систем управления ветродизельных АГЭК нового поколения, включая управление энергетической гибкостью для повышения

Мини-ГЭС в Норвегии
Источник: commons.wikimedia.org

их эффективности, должны быть сосредоточены новые пилотные проекты. Параметры двух дальневосточных площадок, на базе которых могут быть реализованы такие пилотные проекты, приведены в таблице 2. Одна из них располагается в с. Новиково Сахалинской области, вторая – в п. Усть-Камчатск Камчатского края.

Пилотный проект в с. Новиково. Село Новиково располагается в Корсаковском районе Сахалинской области на Тонино-Анивском полуострове в 75 км от ближайшего крупного города, в нем проживает чуть более 250 человек. Энергоснабжение в изолированном Новиковском энергоузле обеспечивается АО «НДЭС». В составе ветродизельной электростанции имеется две ВЭУ Vestas V-25 (2×225 кВт), только одна из которых находится в эксплуатации, и дизельные генераторы: американские Caterpillar C-18 (2×500 кВт) и советские ДГ-72 (4×800 кВт, два – на консервации).

Основной проблемой энергоснабжения в с. Новиково является сильное несоответствие доступных мощностей (ДГУ 2600 кВт и ВЭУ 225 кВт) и потребности в мощности (150 кВт летом и 400 кВт зимой), а также отсутствие единой автоматизированной системы управления и накопителей энергии. Избыток генерации и острый недостаток энергетической гибкости приводят к тому, что ДГУ практически постоянно работают в неоптимальном режиме с мощностью около 30 % от номинальной. Такая работа ДГУ, в свою очередь, приводит к высокому расходу топлива на уровне 350 г/кВт·ч. Чтобы не рисковать техническим состоянием ДГУ, снижая нагрузку на них ниже 30 % от номинальной мощности, необходимо ограничивать выдачу энергии от ВЭУ в сеть, в результате чего КИУМ ВЭУ оказывается на уровне 2–3 % при расчетном значении 18–20 %. Совокупно указанные факторы делают себестоимость электроэнергии в Новиково высокой – более 40 рублей за кВт·ч.

Создание АГЭК с комплексным управлением энергетической гибкостью за счет единой автоматизированной системы управления в Новиковском энергоузле позволит решить описанные проблемы. При этом необходимо как повысить гибкость дизельной генерации, так и обеспечить энергоузел дополнительными источниками гибкости, с которыми можно реализовать ветровой потенциал местности и существенно повысить КИУМ ВЭУ.

На первом этапе пилотного проекта предлагается установить новые ДГУ российского производства мощностью 100 кВт и 200 кВт для работы в условиях низких и средних нагрузок в оптимальных для ДГУ режимах и снятия ограничений на выдачу энергии с ВЭУ. Предполагается восстановить работу второго ВЭУ V-25, обеспечить синхронную и параллельную работу ВЭУ и ДГУ с автоматическим управлением составом включенных мощностей и их оптимальной загрузкой, установить опорно-балансирующий литий-ионный накопитель (200 кВт/70–80 кВт·ч) для повышения КИУМ ВЭУ и обеспечения возможности режима максимального использования

Ветродизельная установка в с. Новиково на Сахалине
Источник: rao-esv.ru

ВИЭ, а также перевести ряд административных зданий с. Новиково на электрическое отопление со встроенными системами накопления тепловой энергии для повышения КИУМ ВЭУ. Последнее мероприятие должно быть проведено в том числе для оценки влияния перевода потребителей на электроотопление на себестоимость производства тепла котельными при изменении полезного отпуска.

Предварительный анализ, проведенный с использованием разрабатываемой многопараметрической цифровой модели, показывает, что за счет перечисленных мероприятий себестоимость электроэнергии с учетом возврата инвестиций может снизиться на 50–65 %, а эмиссия CO_2 – на 25–35 %.

На втором этапе пилотного проекта предполагается развернуть в составе Новиковского энергоузла ряд инновационных источников гибкости контейнерного исполнения: водородный накопитель энергии (электролизер, ресиверы водорода/азота, топливный элемент) и проточную ванадиевую редокс-батарею в целях их сравнительной опытно-промышленной эксплуатации для вторичного и третичного регулирования в энергоузле и проверки возможности сезонного накопления. Эти работы предполагается проводить в рамках федеральной программы «Чистая энергетика» и создания водородного полигона в Сахалинской области. За счет этих мероприятий предполагается достичь увеличения КИУМ ВЭУ до 20 % и дополнительного снижения LCOE.

Пилотный проект в п. Усть-Камчатск. Поселки Усть-Камчатск и соседнее село Крутоберегово располагаются на берегах реки Камчатки в Усть-Камчатском районе на восточном побережье Камчатского края, в них проживает чуть более 3,5 тыс. человек и расположено несколько крупных предприятий рыбной промышленности. Сезонность работы этих предприятий, связанная с нерестом лососевых, обуславливает специфический годовой профиль потребления электроэнергии с летним максимумом на уровне 6–8 МВт и зимним минимумом на уровне 1–2 МВт. Теплоснабжение поселка осуществляется распределенными котельными на топочном мазуте – по одной котельной на 2–4 здания. Этим объясняется сравнительно невысокое зимнее потребление электроэнергии.

Энергоснабжение поселков осуществляется Усть-Камчатским РЭС на основе ветродизельного комплекса без единой системы автоматизированного управления и накопителей энергии. В его составе

Практика управления энергетической гибкостью в изолированных энергосистемах и энергоузлах, основу генерации в которых составляют ветровые и дизельные источники энергии, слабо развита

Ветроустановка на ВЭС в Усть-Камчатске
Источник: rushydro.ru

три ВЭУ Kamai KWT-300 (по 300 кВт), ВЭУ Vergnet (275 кВт), а также 13 ДГУ различных марок с мощностями 800–1500 кВт. В 2022–2023 гг. планируется ввод в эксплуатацию еще одной ВЭУ мощностью 300 кВт.

КИУМ ветровой генерации превышает 20 %, удельный расход топлива ДГУ сравнительно невысок (250 г/кВт·ч), но стоимость электроэнергии в АГЭК остается сравнительно высокой – более 50 рублей за кВт·ч. Кроме того, при свежем ветре ВЭУ «раскачивают» сеть с набором частоты до 52 Гц: с «провалами» ветра ДГУ справляются, но с резким набросом мощности ВЭУ эффективно работать ДГУ не могут. Используемая схема утилизации избыточной энергии ВЭУ для подогрева воды в ряде котельных поселка не обеспечивает достаточного повышения эффективности использования ВЭУ.

В рамках пилотного проекта необходимо рассмотреть следующие решения:

- установка опорно-балансирующей СНЭ мощностью 200–300 кВт и емкостью 300–500 кВт·ч для первичного регулирования и повышения КИУМ ВЭУ;
- частичный перевод потребителей поселка на электроотопление с накоплением тепловой энергии и питанием от ВЭУ;
- установка систем сезонного накопления энергии, например, на основе водородных технологий, для использования ветрового потенциала зимних месяцев во время пиков потребления в летние месяцы;
- установка дополнительных ВЭУ с учетом возможностей по накоплению энергии.

Таким образом, создание АГЭК с управлением энергетической гибкостью в Усть-Камчатске должно обеспечить повышение КИУМ ВЭУ до теоретически достижимых в этой местности 33,5 % для снижения стоимости электроэнергии, а также первичное регулирование в энергосистеме для обеспечения нормативного качества электроэнергии.

Развитие российский компетенций по управлению энергетической гибкостью в изолированных микрогридах

Для реализации пилотных проектов и развития локальной энергетики Дальнего Востока и Арктики на основе технологии АГЭК с использованием ВИЭ, систем накопления энергии и автоматизированных систем управления требуется наращивание отечественных компетенций в этой области. Группа «РусГидро» открыла во Владивостоке на о. Русский Научно-исследовательский центр (НИЦ «РусГидро»), который представляет собой

Гидроагрегаты, Новотроицкая ГЭС
Источник: «Русгидро»

Наиболее сложное сочетание источников гибкости с применением СНЭ, накопителей тепловой энергии и управления нагрузками реализуется сейчас в рамках проекта МФТИ в с. Лаборовая в ЯНАО

уникальный для России полигон для разработки, тестирования и апробации инновационных решений в том числе в области локальной энергетики, развития технологии АГЭК, использования ВИЭ и локальных энергетических ресурсов, управления нагрузками потребителей, накопителей электроэнергии и тепла и других источников энергетической гибкости. В настоящее время помимо прочих созданы две лаборатории, непосредственно связанные с управлением энергетической гибкостью.

В рамках лаборатории «Технологии потребления энергии» развивается тема активного потребления энергии – одного из важных источников энергетической гибкости. Силами компании «Фонд “Форсайт”» при участии Центра «Энерджинет» развернута интеллектуальная система управления потреблением НИЦ «РусГидро», за счет которой сам НИЦ стал «живой лабораторией». К системе активного потребления НИЦ подключены солнечные панели (36 кВт), ветрогенератор (60 кВт), зарядка для электромобилей (60 кВт) и около 80 приборов, управляющих нагрузками. Уникальной компонентой системы является энергетический роутер – регулятор перетоков мощности, реализованный в соответствии с архитектурой Интернета энергии (IDEA). Он перераспределяет мощность между двумя независимыми вводами в здания НИЦ, симметрирует фазы и сглаживает профиль потребления из сети. По предварительным оценкам, активное потребление позволяет в 2 раза сократить потребности в присоединённой мощности и снизить затраты на энергоснабжение на 20–30 %.

Лаборатория «Интеграция ВИЭ и накопителей энергии» изучает вопросы подбора оптимальных конфигураций АГЭК и управления энергетической гибкостью

в изолированных микрогридах. Для натурного моделирования конфигураций и режимов работы АГЭК в лаборатории силами МФТИ и Центра «Энерджинет» развернут полигон, на котором можно создать действующую упрощенную модель АГЭК с любой конфигурацией, конструируя ее из установленных в лаборатории генерирующих мощностей (ДГУ 10 кВт и СЭС 5,7 кВт), СНЭ с опорно-балансирующей функцией (30 кВт), управляемых нагрузок (30 кВт) и накопителей тепла (15 кВт). Установлены два цифро-аналоговых имитатора ВИЭ (по 10 кВт) и гибридная СНЭ (30 кВт/50 кВт·ч) на базе сочетания литий-ионной и редокс-ванадиевой технологий. Планируется развивать полигон за счет его дополнения водородными системами и технологиями.

Сформированная в НИЦ «РусГидро» исследовательская инфраструктура позволит изучать различные аспекты организации и управления АГЭК, в том числе АГЭК нового поколения, выявлять проблемы их функционирования, разработать необходимые требования к оборудованию и функциональным свойствам АГЭК, типовые технические решения для преодоления этих проблем. В частности, в силу включения в систему управления АГЭК кроме разнотипной генерации еще и различных источников энергетической гибкости, в т. ч. размещенных у потребителей, возникают вопросы обеспечения устойчивости работы микрогрида и качества электроэнергии. Все эти вопросы должны быть решены на полигоне НИЦ «РусГидро», а потом в пилотных проектах создания АГЭК нового поколения.

Важным, особенно в контексте темы этой статьи, направлением работ НИЦ «РусГидро» станет цифровое моделирование изолированных микрогридов для определения оптимального состава оборудования модернизируемых энергосистем и энергоузлов на удаленных и изолированных территориях. Будет применяться вышеуказанная многопараметрическая модель энергетической гибкости.

Выводы

Группа «РусГидро» формирует новую технологическую основу локальной энергетики Дальнего Востока и Арктики на основе АГЭК. Реализованные пилотные проекты Группы «РусГидро» подтверждают эффективность АГЭК для изолированных микрогридов. Опыт по созданию АГЭК позволяет сформировать новые стандарты строительства и эксплуатации объектов локальной генерации, существенно снизив сроки строительства, капитальные и эксплуатационные затраты, при этом обеспечивая рост надежности энергоснабжения и снижение выбросов парниковых газов. Переход в ближайшем будущем к АГЭК нового поколения, обеспечивающим управление энергетической гибкостью, позволит получить еще большие эффекты за счет увеличения КИУМ ВИЭ. Деятельность нового центра компетенций – НИЦ «РусГидро», – будет направлена в том числе на развитие указанных технологий локальной энергетики, а также реализация нескольких пилотных проектов. В перспективе удаленные и изолированные территории могут стать местом «зарождения» нового энергетического уклада, основанного на бережном использовании локальных энергетических ресурсов и кооперативном управлении энергосистемами с участием потребителей.

Использованные источники

1. *Асаул А. Н., Асаул М. А., Левин Ю. А., Платонов А. М. Энергоснабжение изолированных территорий в контексте привлечения инвестиций и развития экономики региона // Экономика региона. 2020, Т. 16, вып. 3. С. 884–895.*
2. *Объекты генерации в изолированных и труднодоступных территориях в России. Аналитический доклад // Аналитический центр при Правительстве РФ, 2020. – 78 с.*
3. *Башмаков И.А., Борисов К.Б., Дзедзичек М.Г., Лебедев О.В., Лунин А.А. Низкоуглеродные решения для изолированных регионов России с высокими затратами на энергию // Энергосбережение. №5, 2017. С. 56–62.*
4. *Нефедова Л., Киселева С. Ветроэнергетический потенциал изолированных районов Камчатки // Энергетическая политика. №7 (713), 2022. С. 80–89.*
5. *Холкин Д.В., Чаусов И.С., Баркин О.Г. Управление энергетической гибкостью в России и мире // Энергетическая политика. №11 (177), 2022. С. 43–56.*
6. *Бобыль А.В., Малышкин В.Г., Тарасенко А.Б., Теруков Е.И., Шахрай И.С., Эрк А.Ф. Анализ применимости коммерческих программ в задачах технико-экономического моделирования солнечных энергоустановок // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. №2 (99), 2019. С. 32–50.*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Оформить подписку на журнал «Энергетическая политика» на 2023 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 13 200 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

ГАЗПРОМ НЕФТЬ | СТРЕМИМСЯ К БОЛЬШЕМУ!

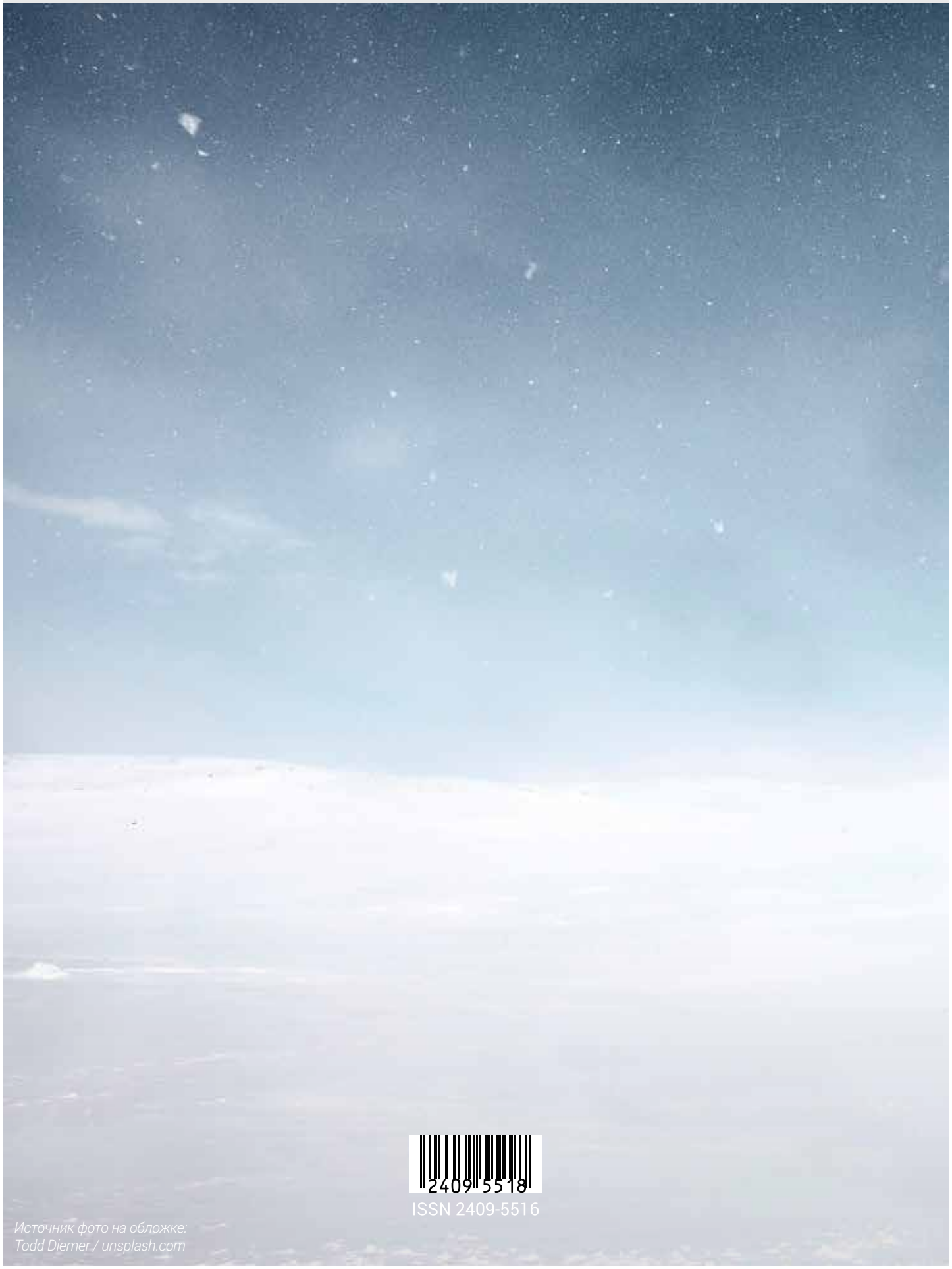
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЗАРУБЕЖНЕФТЬ

РОССЕТИ

ГАЗПРОМБАНК

ТРАНСНЕФТЬ

БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫЙ ФОНД TATNEFT



ISSN 2409-5516

Источник фото на обложке:
Todd Diemer / unsplash.com