

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ISSN 2409-5516

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№4(207), апрель 2025

РГАСНТИ 44.09.29



Тема номера

ЭНЕРГОСТРАТЕГИЯ РОССИИ – 2050



Реклама 12+



Инфраструктурная
основа экономики
страны



ROSSETI_OFFICIAL

Подписывайтесь через
приложение Telegram
или QR-код

15-18 СЕНТЯБРЯ 2025, ТЮМЕНЬ

Объединяем лидеров нефтегазовой промышленности

Промышленно-энергетический
форум TNF



Промышленность

Формирование модели
взаимодействия
промышленности и ТЭК



Технологии

Презентация новейших
технологических
разработок отрасли



Решения

Внедрение лучших
отраслевых практик
и инициатив

ОРГАНИЗАТОРЫ



ПРАВИТЕЛЬСТВО
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ



Правительство
Тюменской области

КОНТАКТЫ



OILGASFORUM.RU



@OILGASFORUM_TNF

Самая актуальная
информация о форуме
в Telegram-канале

ROSSETI.RU



«ЗАРУБЕЖНЕФТЬ» — государственная российская нефтегазовая компания стратегического значения с богатой историей и уникальным опытом внешнеэкономической деятельности.

«ЗАРУБЕЖНЕФТЬ» специализируется на разработке нефтегазовых месторождений в России и за рубежом, обеспечивая эффективную и комплексную добычу углеводородных ресурсов.

УЖЕ БОЛЕЕ 40 ЛЕТ

«Зарубежнефть» успешно осваивает континентальный шельф юга Вьетнама в рамках совместного предприятия «Вьетсовпетро».

В ЧИСЛЕ ДРУГИХ ПРОЕКТОВ:

- разработка месторождений в Ненецком автономном округе (СК «РУСВЬЕТПЕТРО» и «ЗАРУБЕЖНЕФТЬ-добыча Харьяга»);
- применение передовых технологий добычи высоковязких сортов нефти на Кубе;
- повышение нефтеотдачи на зрелых месторождениях Узбекистана;
- реализация проектов в Египте и Индонезии.

Помимо этого, компания работает в сегменте «Нефтепереработка и сбыт» на территории Республики Сербской (Босния и Герцеговина), имеет в структуре собственные проектные институты подземного и наземного обустройства нефтегазовых месторождений, а также сервисные компании.



НАША КОМАНДА

В компании работают более 12 000 сотрудников по всему миру. **Каждый сотрудник «Зарубежнефти» — ОСНОВА компании.**

Наш сайт



Мы в Telegram



Реклама 12+

**ЗАРЯЖАЕМ МИР
ЭНЕРГИЕЙ**



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
**«РОССИЙСКАЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ
НЕДЕЛЯ»**

Москва, ЦВЗ «Манеж», Манежная пл., д.1

**ВЫСТАВКА
ОБОРУДОВАНИЯ
И ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ТЭК**

Москва, Гостиный двор,
ул.Ильинка, д.4

15-17
октября 2025 г.
Москва, Россия



rusenergyweek.com

Реклама 6+

Содержание

Слово редакторов

- 7 **В. Бушуев, А. Горшкова.**
Энергостратегия широких горизонтов

От первого лица

- 8 **А. Новак.** ТЭК России – 2050:
надежность, технологичность, лидерство

Мир

- 18 **Г. Халова, М. Арсланов.** Перспективы
и вызовы атомной энергетики
в государствах Центральной Азии

Нефть

- 28 **С. Образцов.** Точность прогноза среднемесячной
цены нефти Brent на 2024 г. превысила 97%

Газ

- 32 **Д. Васютенко.** Влияние изменений в поставках
газа на промышленность стран Балтийского
региона: последствия и возможности для России

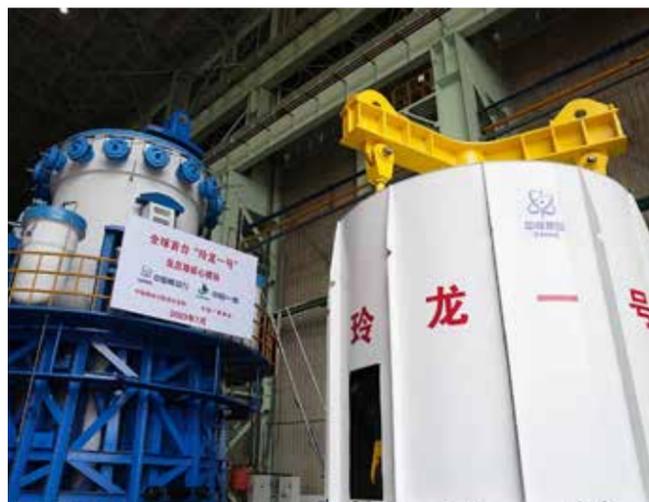
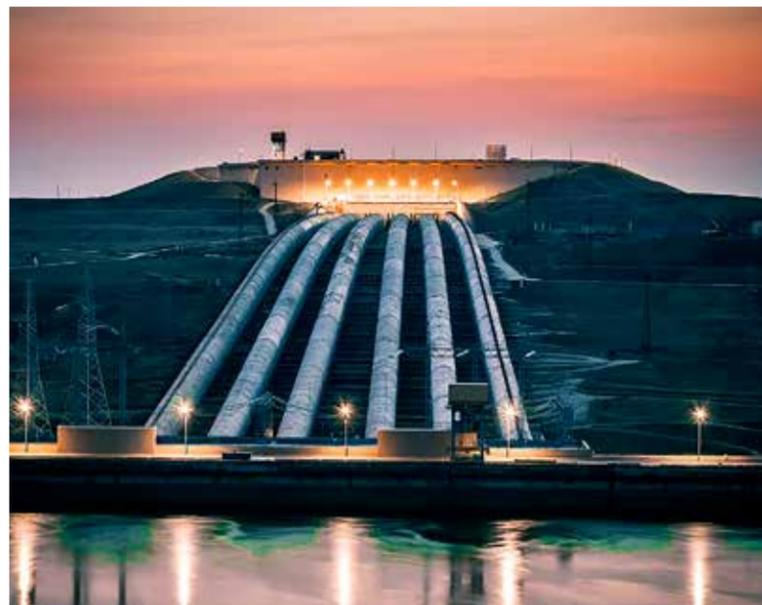
Энергетика

- 42 **А. Абрамова.** Концепция развития
научно-технологического суверенитета
электроэнергетической экосистемы региона

Технологии

- 52 **К. Вершинина, К. Паушкина, П. Стрижак, А. Тугов.**
Потенциал использования промышленных
и коммунальных отходов в ТЭК России

- 74 **Д. Малышев.** Способы решения проблем выхода
из строя электронагревателей технологического
газа установки утилизации сероводорода



УЧРЕДИТЕЛЬ

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

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «ГУ Институт
энергетической
стратегии»

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. Жданев – д. т. н., ЦКТР ТЭК
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
В. Г. Мартынов – к. г.-м. н., д. э. н., проф.,
ректор РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
А. М. Мастепанов – акад. РАН,
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

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:
125009, г. Москва,
ул. Тверская, д. 23, с. 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:
25.04.2025

Contents

Editor's column

- 7 **V. Bushuev, A. Gorshkova.**
The energy strategy of broad horizons

In the first person

- 8 **A. Novak.** FEC of Russia – 2050:
reliability, adaptability, leadership

World

- 18 **G. Khalova, M. Arslanov.** Prospects and Challenges
of Nuclear Energy in Central Asian States

Oil

- 28 **S. Obratsov.** The accuracy of the forecast
of the average monthly Brent
oil price for 2024 exceeded 97%

Gas

- 32 **D. Vasyutenko.** The Impact of Changes in Gas
Supplies on the Industry of the Baltic Region Countries:
Consequences and Opportunities for Russia

Energy

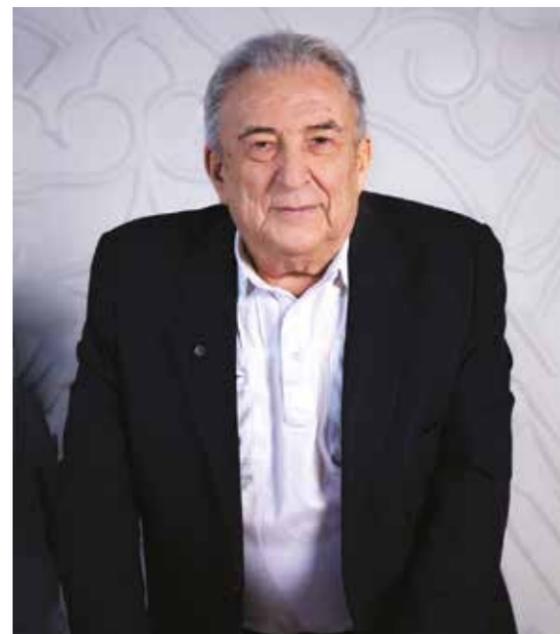
- 42 **A. Abramova.** The concept of the development
of scientific and technological sovereignty
of the regional electric power ecosystem

Technologies

- 52 **K. Verшинina, K. Paushkina, P. Strizhak, A. Tugov.**
Potential for the use of industrial and municipal waste
in the fuel and energy sector of Russia

- 74 **D. Malyshev.** Methods for solving problems
of failure of electric heaters of process gas
in a hydrogen sulfide gas recovery plant

16+



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



Анна ГОРШКОВА
Главный редактор журнала
«Энергетическая политика»

Энергостратегия широких горизонтов

Энергетическая стратегия России – это программный документ, определяющий основные направления развития ТЭК страны на среднесрочную перспективу. Такой программный документ разрабатывается в России каждые 5 лет, однако принятая в апреле этого года Энергетическая стратегия – 2050 имеет ряд принципиальных отличий. Впервые в Энергостратегии были раздвинуты горизонты планирования с принятых ранее 15 лет до 25 лет. Документ содержит сразу 5 сценариев развития, включая 2 стресс-сценария. Один из них основан на тотальном ухудшении геополитической ситуации и почти полном прекращении экспорта энергоресурсов из России. Второй стресс-сценарий предполагает ускоренный энергопереход и максимальный отказ от тра-

диционных энергоресурсов в пользу ВИЭ. Разработчики Энергостратегии отмечают, что подобные сценарии крайне маловероятны, тем не менее еще 5 лет назад такие варианты развития событий не допускались в принципе. Энергостратегия-2050, как и любой максимально общий документ, не лишена недостатков. Так, в ней достаточно скупо отражены процессы цифровизации отрасли и внедрения искусственного интеллекта. Некоторые целевые показатели, например, производство 100 млн т СПГ, не подтверждены инвестиционными планами компаний. Однако эти вопросы будут так или иначе решаться в процессе утверждения генеральных схем развития энергетических отраслей и корректировки самой Энергостратегии, проводимой каждые 5 лет.

Александр НОВАК

Заместитель председателя Правительства РФ

DOI 10.46920/2409-5516_2025_04207_8

EDN: UDXCYX

ТЭК России – 2050: надежность, технологичность, лидерство

Россия занимает уникальное место в мировой экономике и энергетической системе, являясь одновременно крупным производителем, потребителем и экспортером энергетических ресурсов. Наша страна входит в число мировых лидеров по запасам углеводородного сырья, объемам производства и экспорта энергетических ресурсов, по развитию, использованию и экспорту технологий атомной энергетики. И задача обновлённой по поручению Президента РФ Энергетической стратегии Российской Федерации – сохранить и приумножить эти достижения.



В структуре мирового энергодбаланса к 2050 г. по-прежнему доминирующую роль будут играть нефть и газ, доли которых составят 33,2 и 26%, что примерно соответствует уровню 2023 г.

Энергостратегия до 2050 г. – ключевой документ, определяющий основные принципы долгосрочной энергетической политики России, среди которых дальнейшее надежное обеспечение внутренних потребностей в энергоресурсах и эффективная реализация экспортного потенциала. Стратегия сбалансирована с национальными целями развития, идет в тесной связке с основополагающими задачами страны, учитывает мировые тенденции и внутренние вызовы отраслей сектора.

Тенденции мировой энергетики

Мировая энергетика в последние годы переживает период глубокой трансформации. Меняется структура энергодбаланса, строятся новые партнерские связи и логистические цепочки. Одновременно рост

мировой экономики и населения планеты требуют наличия доступных энергоресурсов.

За последние 11 лет рост спроса на энергию составил около 14%. В ближайшие 20 лет рост потребления первичной энергии может составить выше 20%. Согласно сбалансированному сценарию, мировой спрос на энергию к 2050 г. достигнет 25 млрд т у. т., что на 23% больше, чем по итогам 2023 г.

Одновременно изменения будут касаться структуры спроса. Мы видим значительное увеличение роли стран БРИКС в мировой экономике и мировом ВВП, при этом рост экономик европейских стран и стран G7 замедляется. Эта тенденция проецируется на потребление энергоресурсов. Таким образом, основными потребителями энергии будущего станут страны Глобального Юга и Востока.

Доля использования ВИЭ в мировом энергодбалансе в сбалансированном сце-

нарии вырастет с 2,5% в 2023 г. до 10% в 2050 г., но, несмотря на это, данные источники не смогут удовлетворить полностью мировые потребности в энергии.

В общей структуре мирового энергодбаланса к 2050 г. по-прежнему доминирующую составляющую будут занимать нефть и газ, доли которых составят 33,2 и 26% соответственно (в 2023 г. – 36,9 и 26,1% соответственно). Относительно 2023 г. спрос на нефть к 2050 г. вырастет на 12% (со 102 млн б/с до 114 млн б/с), на газ – на 24% (с 4,1 трлн м³ до 5,1 трлн м³).

Динамика роста мирового спроса на газ будет уступать только темпам развития возобновляемой энергии. Значительную роль в мировой торговле газом будет играть СПГ за счет гибкой логистики. В 2050 г. общая мощность заявленных к строительству СПГ-заводов может приблизиться к 1 млрд т, т. е. увеличиться более чем вдвое, а следовательно, конку-



ренция на мировом СПГ-рынке будет возрастать.

Основной прирост поставок нефти после 2030 г. будет происходить за счет стран ОПЕК+, куда входит и Россия. А основным драйвером роста потребления нефти станет Индия, спрос в которой, по данным ОПЕК, вырастет с 5,3 млн б/с в 2023 г. до 13,3 млн б/с в 2050 г. Также лидерами потребления станут Китай, другие страны Азии, Ближнего Востока и Африки. Наибольшее падение нефтяного спроса ожидается в европейских странах – спрос на нефть в регионе снизится с 13,4 до 9,2 млн б/с. При этом мы можем говорить о том, что пик спроса на газ и нефть еще не пройден. Возможно, этот момент наступит за горизонтом 2050 г.

Потребности в угле будут постепенно снижаться. Однако этот ресурс по-прежнему будет пользоваться спросом, преимущественно в странах Азии и Африки. Кроме того, свои подходы к угольной отрасли пересматривают и западные страны. Например, о возрождении угольной отрасли заявили в США, где вводят мораторий на закрытие угольных шахт и выделяют государственное финансирование кредитных программ для разработки и внедрения новых угольных технологий. Ожидается, что наиболее востребованными в мире окажутся металлургические марки угля, а пик потребления этого ресурса может сдвинуться до 2030-х гг. или даже позднее.

Новый импульс в развитии получила атомная энергетика. Если еще несколько лет назад мы наблюдали тенденцию на закрытие АЭС в ряде стран, сегодня атомная энергия глобально признана низкоуглеродной и значимой в деле достижения целей климатической повестки. Ее доля в первичном потреблении энергии к середине

В 2050 г. мощность заявленных к строительству СПГ-заводов может приблизиться к 1 млрд т, т. е. увеличиться более чем вдвое, при этом конкуренция на мировом СПГ-рынке будет возрастать



Индия будет определять мировой спрос на энергоресурсы
Источник: kuba.dvorak18 / depositphotos.com

столетия составит 2,8% (1,5% в 2023 г.), при этом доля АЭС в объеме производства электроэнергии достигнет 16,4% (9,2% в 2023 г.).

Значительное влияние на мировую энергетику оказывает внедрение цифровых технологий, искусственного интеллекта. Мировое потребление электроэнергии дата-центрами составляет более 400 ТВт·ч (более 1% мирового потребления э/э), в ближайшее десятилетие их потребление может увеличиться в 2–4 раза.

Также увеличивается доля электротранспорта. И это не только электромобили, доля которых в мировом автопарке составляет около 2–3%, а к 2050 г. может превысить треть мирового автопарка. Также электрифицируются железные дороги, водный транспорт. Развиваются системы накопления энергии, что меняет мировой экономический уклад.

Долгосрочная энергетическая политика России

Энергетическая стратегия России учитывает текущие тренды в ТЭК, мировые потребности в источниках энергии и нацелена на стабильное обеспечение энергоресурсами внутреннего рынка и лидерство страны на международной энергетической арене. Мы сохраним опору на традиционные отрасли ТЭК, одновременно наращивая долю АЭС и ВИЭ, развивая водород

и углеродоемкие технологии. То есть будем придерживаться сбалансированного подхода.

Эти задачи будут достигнуты через рациональное использование всех видов энергетических ресурсов, эффективное освоение ресурсной базы, модернизацию отраслей энергетики, достижение технологического суверенитета, развитие транспортной и логистической инфраструктур, подготовку высококвалифицированных производственных кадров для каждой отрасли.

Нефтяная отрасль

В настоящее время Россия входит в топ-3 стран-производителей и экспортеров нефти, занимая долю около 10% мирового рынка.

Нефтяная отрасль полностью обеспечивает спрос внутреннего рынка на качественные моторные топлива, масла, керосин, битумы и продукцию крупнотоннажной нефтехимии. Россия традиционно занимает авторитетную роль на мировом рынке нефти, что позволяет нашей стране в партнёрстве со странами ОПЕК+ эффективно балансировать мировой нефтяной рынок и вносить весомый вклад в бюджет: благодаря действию сделки ОПЕК+ за 8 лет, Россия совокупно получила более 40 трлн руб. дополнительных доходов.

Добыча нефти в ХМАО
Источник: «РН-Юганскнефтегаза»



Мировое потребление электроэнергии дата-центрами составляет более 400 ТВт·ч, то есть более 1% мирового спроса, в ближайшее десятилетие их потребление может увеличиться в 2–4 раза

При этом растущий мировой спрос и восполнение естественного падения добычи в мире в перспективе будут во многом удовлетворяться именно за счет стран ОПЕК+, что приведет, по оценкам аналитиков организации, к увеличению доли рынка странами ОПЕК+ с 49 до 52% к 2050 г. (с учетом нефти и прочих жидких углеводородов).

Также продолжится рост внутреннего спроса как на моторные топлива за счет роста автопарка, внутреннего туризма, авиаперевозок, так и на крупнотоннажную нефтехимию за счет легких отраслей промышленности, торговли и строительной отрасли.

Уже в ближайшие годы мы планируем вернуться на уровень добычи 540 млн т нефти в год. Этот показатель будет удерживаться вплоть до 2050 г. Это потребует своевременного восполнения ресурсной базы, в первую очередь, за счет вовлечения большего объема трудноизвлекаемых запасов и внедрения более совершенных технологий.

На сегодняшний день доля трудноизвлекаемых, обводненных и истощенных запасов составляет порядка 60%. Для стимулирования их разработки необходима доработка фискальной системы, что сделает инвестиции в новые категории запасов и технологии рентабельными. Это, в свою очередь, приведет к скачку инвестиций и укрепит роль нефтяной отрасли в качестве локомотива отечественных промышленности и науки. Развитие нефтедобычи также будет играть важную социально-экономическую роль, способствуя развитию стратегически важных регионов, в том числе Арктики, Восточной Сибири, Дальнего Востока.

Продолжится совершенствование механизмов стимулирования геологоразведочных работ и недропользования, в том числе в части создания полигонов для обкатки новых технологий. Это позволит вовлечь в разработку более 5 млрд т новых запасов и обеспечить 100%-ное восполнение минерально-сырьевой базы, освоить и развить стратегически важные регионы, такие как Арктика, Восточная Сибирь, Дальний Восток.

Для повышения конкурентоспособности идет всесторонняя работа по технологическому развитию отрасли. Координация усилий нефтегазовых компаний и государства уже позволила значительно повысить уровень импортозамещения. К 2027 г. рассчитываем на практически полное импортозамещение в нефтяной отрасли, а в перспективе Россия намерена занять весомое

Добыча газа на Мессояхском месторождении, ЯНАО
Источник: «Газпром нефть»



место в новой для себя нише экспорта технологических услуг и товаров.

Развитие инфраструктуры для повышения экономической эффективности поставок нефти позволит России к 2050 г. стать № 1 на рынке нефти Азии и полностью обеспечить потребности отрасли флотом. Также планируется развитие системы магистральных трубопроводов, портовой и железнодорожной инфраструктур, в т. ч. увеличение пропускной мощности Восточного полигона.

Ключевая задача нефтеперерабатывающей отрасли – завершение программы модернизации НПЗ, что позволит ввести 48 новых установок на НПЗ и достичь выхода светлых нефтепродуктов в 72% к 2036 г.

В нефтехимии к 2036 г. планируется удвоить мощности по производству крупнотоннажных полимеров при увеличении доли вовлечения лёгкого углеводородного сырья (этан, СУГ, нефтя), направляемого на нефтехимию, до 45% к 2036 г.

Также продолжится развитие биржевых инструментов, которые способствуют балансировке сырьевого рынка.

Газовая отрасль

Газовая отрасль России обладает мощным ресурсным потенциалом. Наша страна занимает 1 место в мире по запасам природного газа и 2 место по добыче (16% от мировой), располагает развитой инфраструктурой и значительным технологическим заделом. В последние годы была существенно расширена ресурсная база, запущены новые газопроводы, образована перспективная отрасль СПГ.

В числе ключевых задач – удовлетворение внутреннего спроса на газ, то есть потребностей граждан, промышленности и транспорта. К 2036 г. внутреннее потребление газа в целевом сценарии вырастет на 93 млрд м³. (+19% к уровню 2023 г.), к 2050 г. – на 35% от уровня 2023 г., до 669 млрд м³.

Этому, в частности, будет способствовать дальнейшая газификация регионов страны, которая продолжается по поручению Президента РФ, и включает догазификацию и экономически эффективную газификацию регионов Сибири, Дальнего Востока и Арктики.

Для развития сектора переработки, где идет активное развитие собственных технологий газохимии, предлагается выде-

ление ресурсной базы под газохимические проекты. К 2050 г. запланировано создание порядка 10 новых газохимических производств. Рост спроса со стороны проектов газохимии составит около 20 млрд м³.

Рассчитываем, что росту потребления газа будет способствовать расширение использования газомоторного топлива (ГТМ). Для популяризации газового топлива продолжим расширение необходимой инфраструктуры и сохраним экономические и административные стимулы потребителю для перехода на альтернативные виды транспорта. Доля транспорта на ГТМ к 2050 г. достигнет более 10%, а количество объектов инфраструктуры для ГТМ составит более 3 тыс. единиц по всей стране.

Для реализации этих задач предстоит дальнейшее освоение огромной ресурсной базы газа, запасы которого достигают 63,4 трлн м³, и сохранение уровня добычи в регионах с развитой инфраструктурой. Для этого необходимы налоговые стимулы для новых инвестиций в добычу трудноизвлекаемых запасов, разработка программы стимулирования геологоразведочных работ, а также локализация производства по высокотехнологичному бурению. Это позволит вовлечь в разработку более 5 трлн м³ неразрабатываемых запасов с уровнем добычи более 50 млрд м³, в том числе из категории ТРИЗ, в Арктике и на шельфе. В результате добыча газа к 2050 г. в стране достигнет порядка 1 трлн м³.

Для реализации логистического и экспортного потенциалов продолжится развитие магистральной инфраструктуры. В первую очередь речь идет о строительстве экспортного маршрута «Сила Сибири 2», соединении «Силы Сибири 1» с «Сахалин – Хабаровск – Владивосток», а также единой системы газоснабжения с магистралями на востоке страны, ускорении поставок по Дальневосточному маршруту.

В планах – разработка собственных технологий бесшовных труб и труб большого диаметра, а также кооперация с дружественными странами для совместного развития газовой инфраструктуры и заключение долгосрочных контрактов, формирование своповых поставок партнерами. Это позволит нарастить экспорт трубопроводного газа до 197 млрд м³ к 2036 г., сохранить объемы добычи и поступлений в федеральный бюджет. К 2050 г. Россия станет экспортером № 1 на газовые рынки Азии.

Стратегическим направлением развития газовой отрасли продолжает оставаться СПГ. Наша задача – сохранить роль ведущего поставщика, нарастить в среднесрочной перспективе производство СПГ до 100 млн т и войти в топ-3 поставщиков на рынке СПГ. Достижению этой цели будет способствовать развитие собственного сервиса и технологий СПГ, расширение флота газозовозов и создание специализированных хабов по перевалке, хранению и торговле СПГ. Передовое машиностроение в нефтегазохимии и СПГ-отрасли позволит обеспечить не только импортозамещение, но и экспорт технологий по этим направлениям.



Эльгинское месторождение угля
Источник: lenskrayon.ru

Угольная отрасль

Угольная отрасль России остается опорной для ряда регионов и для экономики страны в целом. Наша страна производит все виды угля – энергетический, коксующийся, бурый, антрацит, – которые ориентированы на удовлетворение потребностей граждан, нужд электрогенерации, промышленности и металлургии, а также для поставок на экспорт.

Россия располагает большой ресурсной базой угля и имеет все возможности для эффективного извлечения запасов и их использования для стабильного удовлетворения внутренних потребно-



Угольный терминал в порту Ванино, Находка

Источник: sovetskayagavan.bezformata.com

стей и развития экспортных поставок. Наша страна обеспечена запасами более чем на 500 лет, а производственные мощности уже сейчас позволяют наращивать добычу. Развитие новых центров добычи угля обеспечит дополнительно до 250 млн т производственной мощности на горизонте до 2050 г. Приоритетом является экологичная и безопасная обработка запасов.

К 2050 г. отрасль будет представлять собой комплекс высокотехнологичных современных предприятий с высокими экологическими стандартами. Установленная мощность угольной генерации в Сибири и на Дальнем Востоке достигнет величины порядка 38 ГВт. Также планируются внедрение технологий «чистого угля» и инновационных технологий угледобычи, создание широкой линейки продуктов из угля и отходов его обогащения, а также развитие углехимии.

Уровень потребления угля на внутреннем рынке составит до 230 млн т/г. к 2050 г., а доля производства угля открытым способом вырастет до 75% от общего объема добычи, что благоприятно скажется на повышении уровня безопасности. Особое внимание будет уделено процессу

интеграции в угольную промышленность России новых субъектов.

Одним из ключевых драйверов развития угольной промышленности останется экспорт. Определяющими факторами успеха российского угля на мировом рынке всегда были высокое качество, низкая себестоимость, близость к крупнейшим рынкам, обширные запасы и стабильные инвестиции в добычу на фоне других поставщиков. Для наращивания экспорта угля на растущие рынки Азиатско-Тихоокеанского региона будем продолжать развитие инфраструктуры. Для этого предусмотрено создание новых центров угледобычи вблизи рынков сбыта, расширение провозной способности ж/д Восточного полигона, строительство Тихоокеанской ж/д, подходов к портам Юга и Северо-Запада, увеличение пропускной способности СМП в части транспортировки угля, развитие портовой инфраструктуры и оптимизация транспортной логистики с использованием механизмов долгосрочного тарифообразования. Конкурентоспособность также будет обеспечена за счет дальнейшего повышения качественных характеристик российских углей.

Электроэнергетика

Электроэнергетический комплекс страны – не только один из самых крупных в мире, но и один из самых надежных. А доля низкоуглеродных источников энергии в генерации уже достигает 87%.

Ожидается, что потребление электрической энергии к 2050 г. вырастет на 42% к 2050 г. – с 1139 млрд кВт·ч (2023 г.) до 1624 млрд кВт·ч. Это произойдет в первую очередь за счет реализации крупных инфраструктурных проектов в обрабатывающей и добывающей промышленности, на транспорте, а также развития новых отраслей экономики, в том числе искусственного интеллекта, центров обработки данных, майнинга.

Ускоренный рост потребления электроэнергии в России требует дальнейшего развития энергосистемы. Поэтому ключевая задача – перейти от экономики спроса, то есть удовлетворения спроса на электроэнергию под текущие потребности экономики, к экономике предложения, что подразумевает долгосрочное планирование в потребностях экономики и опережающее обеспечение технологической доступности для новых потребителей. основополагающими принципами в этой работе должны стать системные меры по привлечению в отрасль инвестиций и повышению эффективности при минимальной финансовой нагрузке на потребителя.

Ключевая задача нефтеперерабатывающей отрасли – завершение программы модернизации НПЗ, что позволит ввести 48 новых установок на НПЗ и достичь выхода светлых нефтепродуктов в 72% к 2036 г.

Этим целям отвечает утвержденная Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 г. Документ формирует рациональную структуру генерирующих мощностей до 2042 г. с учетом совершенствования системы регулирования электроэнергетики и механизмов возврата инвестиций, что обеспечит возможность расширения и создания новых объектов электроэнергетики. Это необходимо делать с учетом задач по достижению углеродной нейтральности и снижению показателей выбросов парниковых газов, а также исходя из минимизации затрат на производство энергии.

Для стабильной работы отрасли необходимо обеспечить покрытие спроса электроэнергетики на ГТУ отечественного производства. Уже в 2025 г. запланирован выпуск до 8 единиц ГТЭ-170/ГТЭ-65 и до 2

Сулинская ВЭС

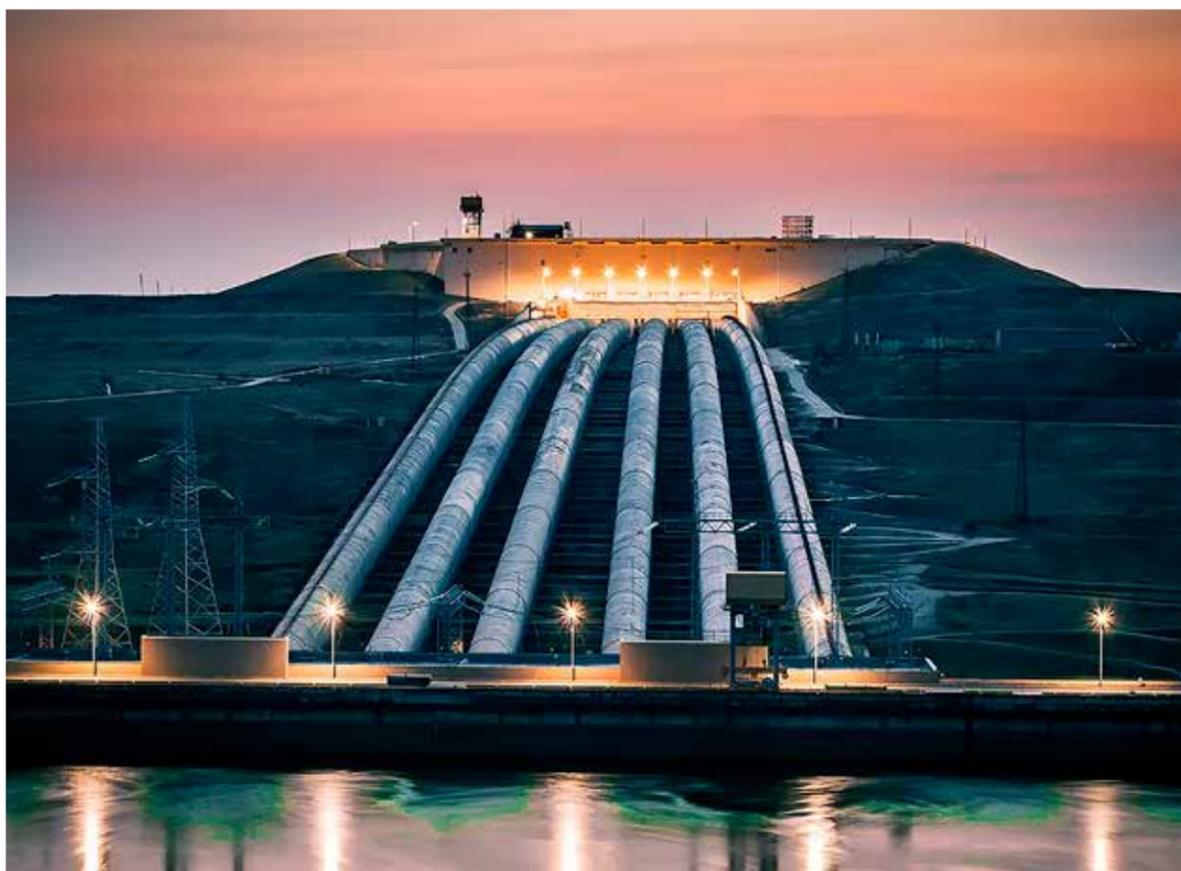
Источник: prooren.ru

Потребление электроэнергии к 2050 г. вырастет на 42% к 2050 г., до 1624 млрд кВт·ч. Это произойдет за счет реализации крупных проектов в обрабатывающей и добывающей промышленности

единиц ГТД-110М. В период 2027–2029 гг. запланирована реализация 4 проектов модернизации ТЭС на 1605 МВт с применением 3 ГТД-110М, 4 ГТЭ-170 и 2 ГТЭ-65. До 2050 г. планируется ввести в эксплуатацию порядка 45 ГВт новых и модернизированных генерирующих мощностей, преимущественно с применением газотурбинных установок отечественного производства. Будет полностью локализовано производство газовых турбин средней и большой мощностей, солнечных и ветрогенераторов, накопителей энергии и ключевой автоматики. Общая доля отечественных технологий и оборудования в электроэнергетике достигнет 90%.

Загорская ГАЭС

Источник: ixbt.com



Еще одна задача – повышение уровня надежности и эффективности систем теплоснабжения. Для этого продолжится совершенствование методов тарифного регулирования, стимулирующих инвестиционное развитие теплоснабжения, а также нормативно-правового регулирования по повышению нормативных требований к качеству и надежности теплоснабжения потребителей. Также предлагается создание единой информационной системы управления развитием теплоснабжения Российской Федерации. Будет модернизирована 40% тепловой генерации. Эти меры обеспечат повышение качества и надежности теплоснабжения потребителей.

С учетом мирового тренда на развитие ВИЭ продолжится совершенствование механизмов регулирования возобновляемой энергетики, будут созданы системы национальных стандартов в области ВИЭ с учетом лучших мировых практик. Также планируется развитие систем «зеленой» сертификации источников происхождения электрической энергии и систем накопления электрической энергии. Важной задачей также будет развитие экспорта оборудования и услуг в области ВИЭ-генерации за рубежом.



Медвеженская ВЭС

Источник: novawind.ru

Кроме того, в связи с развитием низкоуглеродной энергетики, включающей ВИЭ и системы накопления электрической энергии, растет спрос на минеральное сырье, востребованное в энергетике – литий, никель, кобальт, марганец, графит, редкоземельные металлы, алюминий, медь, что создает новые возможности для реализации ресурсного потенциала России.

В результате долгосрочных мер развития энергетического комплекса к 2050 г. установленная мощность электростанций достигнет 330 ГВт (+78 ГВт к 2023 г.), будет введено 26 ГВт новых ГЭС, ГАЭС, ВЭС и СЭС (+50% к 2023 г.) и 50 ГВт новых тепловых электростанций. Будет построено 30 ГВт новых атомных электростанций (+29% к 2023 г.), доля атомной генерации в структуре производства электроэнергии увеличится до 25%. На рынке появится линейка новых продуктов – энергоблоки средней и малой мощностей, технологии замкнутого ядерного цикла, а Россия сохранит мировое лидерство в атомных энерготехнологиях.

Энергетика станет важным инструментом достижения целей устойчивого развития и климатической повестки. Мероприятия, проводимые организациями ТЭК по снижению выбросов парниковых газов, будут играть ключевую роль в снижении негативного воздействия на окружающую среду и климат. Меры в области повышения энергоэффективности обеспечат

экономическую устойчивость объектов ТЭК и внесут значительный вклад в достижение национальных целей в сфере климатической политики. Продолжится развитие отраслей водородной энергетики, улавливания, использования и захоронения CO₂.

Особое внимание будет уделено цифровизации. Уже 40% предприятий ТЭК внедрили искусственный интеллект. Дальнейшая цифровая трансформация позволит увеличить долю автоматизации процессов до 80%, а совокупный уровень промышленной роботизации до 70%. При этом производительность труда увеличится в 1,5–2 раза.

Будем укреплять международное сотрудничество с дружественными странами, что будет способствовать реализации экспортного потенциала отраслей ТЭК.

Таким образом, Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2050 г. определит основные векторы развития отраслей отечественного ТЭК на десятилетия вперед. В результате будут достигнуты национальные цели по обеспечению надежного и экологичного энергоснабжения страны, формированию устойчивой, конкурентоспособной и современной энергетической системы для опережающего развития экономики Российской Федерации и сохранения её роли одного из ведущих поставщиков на мировом энергетическом рынке.

Перспективы и вызовы атомной энергетики в государствах Центральной Азии

Prospects and Challenges of Nuclear Energy in Central Asian States

Гюльнар ХАЛОВА
Главный научный сотрудник
Центра центральноазиатских
исследований, д. э. н., ИКСА РАН
E-mail: khalova@iccaras.ru

Gulnar KHALOVA
Chief Scientific Officer
Center for Central Asian
Studies, Doctor of Economics, ICSA RAS
E-mail: khalova@iccaras.ru

Магомед АРСЛАНОВ
Аспирант Центра центральноазиатских
исследований, ИКСА РАН
E-mail: Arslanov_7777@mail.ru

Magomed ARSLANOV
Graduate student Center for Central
Asian Studies, ICSA RAS
E-mail: Arslanov_7777@mail.ru

Национальный банк Узбекистана в Ташкенте

Источник: bakhrom.media / depositphotos.com



Аннотация. Центрально-Азиатский регион, обладающий крупнейшими мировыми запасами урана, сталкивается с серьезными проблемами, такими как энергодефицит, водная недостаточность и климатическая нестабильность. В статье показан потенциал атомной энергетики и возможности его использования для решения проблем энергодефицита, экологической неустойчивости и экономического роста государств Центральной Азии. Особое внимание уделяется роли российских технологий, таких как малые модульные реакторы (ММР) и крупные АЭС. В данной статье показан потенциал создания крупных АЭС и малых атомных модульных реакторов (ММР), проводится сравнительный экономический анализ различных технологий. Особое внимание уделено роли России и ГК «Росатом» как важному партнеру в реализации проектов атомной энергетики в Центральной Азии.
Ключевые слова: атомная энергетика, Центральная Азия, уран, малые АЭС, «Росатом», экономическое развитие, энергетическая безопасность, устойчивое развитие.

Abstract. The Central Asian region, which has the world's largest uranium reserves, faces serious challenges such as energy shortages, water scarcity and climate instability. The article shows the potential of nuclear energy and the possibilities of its use to address the problems of energy shortages, environmental instability and economic growth of the Central Asian states. Particular attention is paid to the role of Russian technologies, such as small modular reactors (SMRs) and large NPPs. This article shows the potential of large NPPs and small nuclear modular reactors (SMRs), provides a comparative economic analysis of various technologies, and discusses the geopolitical and environmental implications. Particular attention is paid to the role of Russia and the Russian company Rosatom as an important partner in the implementation of nuclear energy projects in Central Asia.

Keywords: nuclear energy, Central Asia, uranium, small nuclear power plants, Rosatom, economic development, energy security, sustainable development.

//

Казахстан, не имеющий собственных АЭС, добыл около 22 тыс. т урана, экспортировав около 20 тыс. т, преимущественно в Китай (45%) и ЕС (30%)

Введение

Ряд государств Центральной Азии обладают уникальным ресурсным потенциалом, который делает их естественными кандидатами на лидерство в развитии атомной энергетики. В советский период

Казахстан и Киргизия были поставщиками урана на предприятия атомной отрасли Советского Союза. И сегодня Казахстан, занимающий 2 место в мире по запасам урана (рис. 1), производит около 45% его общемирового объема [6].

Запасы и производство

Казахстан, обеспечивая 45% мировой добычи урана (21,82 т в 2023 г.), является ключевым игроком в производстве топливных таблеток [1]. На Ульбинском металлургическом заводе выпускаются таблетки с обогащением 4,5% U-235, энергетический эквивалент которых сопоставим с 700 кг угля.

Отметим, что глобальный спрос на уран продолжает расти, особенно в Китае (+18% с 2020 г.) и Индии (+12%), которые активно строят новые АЭС. Восточная Европа также планирует ввод 10 реакторов к 2030 г. Эксперты прогнозируют возможный дефицит урана к 2035 г. из-за истощения месторождений в Канаде и Намибии. На этом фоне роль Казахстана в экспорте урана может существенно возрасти.

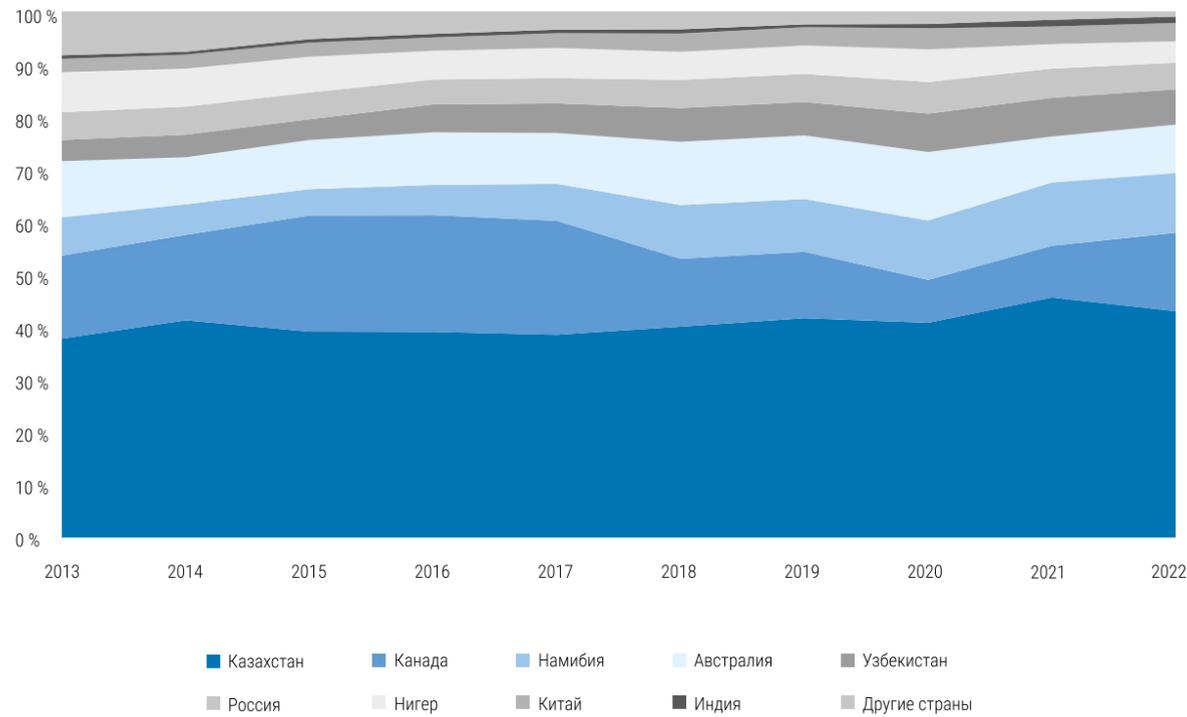


Рис. 1. Добыча урана странами мира, тыс. т

Источник: составлено авторами на основе [7]

По данным за 2023 г., Казахстан, не имеющий собственных атомных станций, добыл около 22 тыс. т урана, экспортировав около 20 тыс. т, преимущественно в Китай (45%) и ЕС (30%). Канада и Намибия также остаются крупными экспортерами, ориентируясь на рынки США, ЕС и Китая. В 2023 г. Казахстан произвел более 190 т урановых таблеток на Ульбинском заводе, тогда как Россия – около 600 т на Новосибирском заводе химконцентратов.

Узбекистан также имеет существенные запасы урана (131,2 т, [7]) (рис. 2), что позволяет стране использовать собственные ресурсы для развития атомной энергетики.

Эксперты прогнозируют возможный дефицит урана к 2035 г. из-за истощения месторождений в Канаде и Намибии. На этом фоне роль Казахстана в экспорте урана может существенно возрасти

Перспективы развития атомной энергетики

Локальное использование урана позволит Казахстану и Узбекистану существенно снизить затраты на топливо, делая атомную энергетику более конкурентоспособной по сравнению с другими источниками энергии. Строительство АЭС на местном уране позволит сократить стоимость электроэнергии для локальных потребителей на 30–40%, что особенно важно в условиях растущей конкуренции между различными видами энергоресурсов, включая возобновляемые источники энергии (ВИЭ¹) и газ.

Тем не менее, обладание ресурсами само по себе не гарантирует успеха. Ни Казахстан, ни Узбекистан не располагают собственными технологиями для строительства и эксплуатации атомных станций, что требует привлечения международных партнеров. Одним из таких партнеров является российская государственная корпорация «Росатом», которая уже активно сотрудничает с Казахстаном в проекте строительства первой АЭС в Улькене.

¹ Энергия из энергетических ресурсов, которые являются возобновляемыми или неисчерпаемыми по человеческим масштабам.

Сегодня в развитии энергетики как Казахстана, так и Узбекистана существуют ряд вызовов и возможностей. Среди них 1 место занимает растущий спрос на электроэнергию, обусловленный экономическим подъемом и урбанизацией, превышающими текущие возможности энергосистем. Например, в Казахстане прогнозируется ежегодный рост потребления электроэнергии на 3–4%, что требует значительного расширения генерирующих мощностей. Узбекистан также страдает от дефицита электроэнергии, особенно зимой.

Оба государства планируют решать проблему нехватки электроэнергии за счет ВИЭ, но, несмотря на значительный потенциал солнечной и ветровой энергетик в Узбекистане, их доля в энергобалансе остается низкой из-за высоких затрат на хранение энергии и неразвитости инфраструктуры. Аналогичная ситуация наблюдается и в Казахстане. Нестабильность возобновляемых источников энергии (ВИЭ), связанная с зависимостью от погодных условий, создает риски для промышленности.

Использование ископаемых видов топлива приводит к значительным выбросам углекислого газа и ухудшению

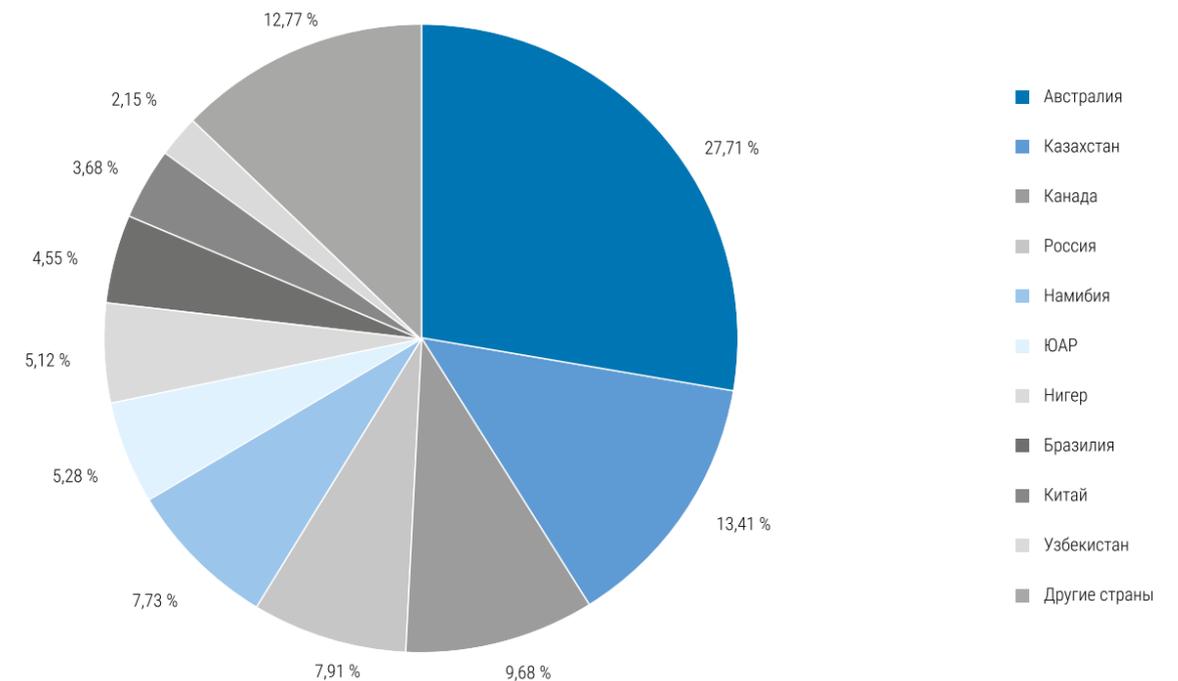
Стоимость электроэнергии от ММП оценивается в 60–80 долл. за МВт·ч, что сопоставимо с газовой генерацией (50–70 долл. за МВт·ч) и ниже, чем у угольных станций (70–100 долл. за МВт·ч)

экологической обстановки. Угольные электростанции в Казахстане производят более 70% всей электроэнергии, что делает страну одним из крупнейших источников выбросов CO₂ в регионе. Узбекистан активно использует природный газ в производстве электроэнергии, но его запасы ограничены.

Очевидно, что указанные вызовы необходимо решать за счет развития атомной энергетики. Современные атомные станции создают условия для равномерного стабильного энергоснабжения в круглосуточном режиме. Коэффициент использования установленной мощности

Рис. 2. Доля запасов урана среди стран мира в %

Источник: составлено авторами на основе [7]



(КИУМ²) атомных станций – более 90%, что значительно выше, чем у ВИЭ, а это особенно важно для промышленного развития региона.

Атомные электростанции не выделяют углекислый газ, что делает их важными элементами стратегии перехода к низкоуглеродной экономике. Одна АЭС мощностью 1 ГВт способна предотвратить выбросы 5–6 млн т CO₂ в год по сравнению с угольной электростанцией. С другой стороны, в странах Центральной Азии строительство крупных АЭС требует значительных инвестиций (6–9 млрд долл. США за один энергоблок).

Кроме того, в Центральной Азии 80% водных ресурсов используются для нужд



Малая модульная АЭС NuScale Power US460
Источник: atomic-energy.ru

сельского хозяйства. Недостаток водных ресурсов ограничивает возможности строительства крупных электростанций, требующих больших объемов воды для охлаждения реакторов, – это затрудняет строительство крупных АЭС.

Проблемой для строительства АЭС является высокая сейсмическая активность в Центральной Азии, что требует применения современных технологий безопасности. Такие технологии существуют – это реакторы ВВЭР-1200, разработанные «Росатомом». Данные реакторы оснащены системами пассивной безопасности, пре-

дотвращающими аварии даже при полном отказе основных систем управления [1].

По нашему мнению, для региона предпочтительнее малые модульные реакторы (ММР³), которые обходятся дешевле (1–2 млрд долл. США). Это делает их идеальными для регионов с ограниченными ресурсами. Более того, ММР можно транспортировать по железной дороге, что особенно важно для удаленных районов с ограниченной доступностью.

Преимущества ММР

- 1. Компактность и гибкость.** Благодаря уменьшенным размерам, ММР могут быть установлены в регионах, где строительство крупных АЭС экономически или технически нецелесообразно, например, в удаленных или труднодоступных районах. В частности, в Казахстане ММР могут быть использованы для энергоснабжения отдаленных регионов, таких как Мангистауская область. Модульность конструкции позволяет постепенно наращивать мощность энергоблока, добавляя новые модули по мере необходимости.
- 2. Повышенная безопасность.** Современные проекты ММР, такие как NuScale и РИТМ-200, используют пассивные системы безопасности, которые не требуют активного вмешательства оператора или внешних источников энергии для предотвращения аварий. Это делает их более устойчивыми к внешним воздействиям, включая природные катастрофы и террористические угрозы.
- 3. Экологичность.** ММР производят 5–12 г CO₂-экв. на кВт·ч в течение жизненного цикла, что значительно меньше, чем у угольных (820–1050 г CO₂-экв.) и газовых (490–650 г CO₂-экв.) электростанций. Для сравнения, традиционные АЭС имеют схожие показатели – 10–15 г CO₂-экв. на кВт·ч.
- 4. Меньшая потребность в воде.** ММР требуют в 10 раз меньше воды для охлаждения по сравнению с традиционными АЭС, что критично в условиях водного дефицита.



Атомный реактор малой модульной АЭС
Источник: chinadaily.com.cn

По данным МАГАТЭ (2022 г.), капитальные затраты на строительство ММР варьируются от 3 до 6 тыс. долл. США за кВт установленной мощности, что на 20–30% ниже, чем у традиционных АЭС (где затраты составляют 5–8 тыс. долл. США за кВт). Например, проект NuScale в США оценивается в 3,6 млрд долл. США для станции мощностью 720 МВт, что соответствует 5 тыс. долл. США за кВт. Российский проект РИТМ-200 оценивается в 4–5 тыс. долл. США за кВт, а китайский проект HTR-PM (высокотемпературный газоохлаждаемый реактор) имеет затраты около 6 тыс. долл. США за кВт.

Стоимость электроэнергии от ММР оценивается в 60–80 долл. США за МВт·ч, что сопоставимо с газовой генерацией (50–70 долл. США за МВт·ч) и ниже, чем у угольных станций (70–100 долл. США за МВт·ч). В то же время, стоимость энергии от солнечных и ветровых электростанций (ВИЭ) продолжает снижаться и составляет 30–50 долл. США за МВт·ч (в зависимости от региона). Однако ММР имеют преимущество в стабильности выработки, они могут использоваться как дополнение к ВИЭ⁴.

По данным МАГАТЭ (2022 г.) и исследований компании NuScale Power, удельные капитальные затраты на строительство ММР могут быть на 20–30% ниже, чем

у традиционных АЭС, благодаря стандартизации производства и сокращению сроков строительства.

ММР идеально вписываются в современные тренды энергетики, такие как децентрализация, цифровизация и переход к низкоуглеродной экономике. Их способность работать в паре с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечные и ветровые электростанции, делает их важным элементом гибридных энергосистем. Кроме того, ММР могут использоваться для производства тепла, опреснения воды и других промышленных нужд, что расширяет их применение за пределами электроэнергетики. Малые модульные реакторы (ММР) предлагают уникальные возможности для укрепления глобальной энергетической безопасности благодаря своей гибкости, надежности и способности адаптироваться к различным условиям.

Ярким примером является российская плавучая АЭС «Академик Ломоносов» (70 МВт), которая уже продемонстрировала успешное применение ММР в условиях ограниченной инфраструктуры.

Россия обладает передовыми технологиями строительства и эксплуатации малых модульных реакторов (ММР). Исходя из этого, стратегическое партнерство с Россией через «Росатом» может сыграть важную роль в развитии атомной энергетики в государствах Центральной Азии.

Прогноз МАГАТЭ по развитию атомной энергетики на период до 2050 г. демонстрирует значительные различия между регионами мира. Прогноз содержит как положительные, так и отрицательные сценарии. В Северной Америке, несмотря на возможное снижение производства электроэнергии по негативному сценарию, оптимистичный прогноз предполагает существенный рост, что подчерки-

Атомная энергетика занимает промежуточное положение по стоимости электроэнергии между ВИЭ и газовыми станциями. Но её ключевое преимущество заключается в стабильности производства энергии

² Отношение выработки электроэнергии электростанцией за некоторый период времени (обычно за год) к выработке, которую она могла бы обеспечить при работе на полной (установленной) мощности в течение этого периода.

³ Ядерный реактор относительно небольших размеров и мощности (как правило, имеют электрическую мощность менее 300 МВт или тепловую мощность менее 1000 МВт).

⁴ Например, в США стоимость электроэнергии от NuScale оценивается в 65 долл. за МВт·ч, в Китае же стоимость электроэнергии от HTR-PM составляет 70 долл. США за МВт·ч.

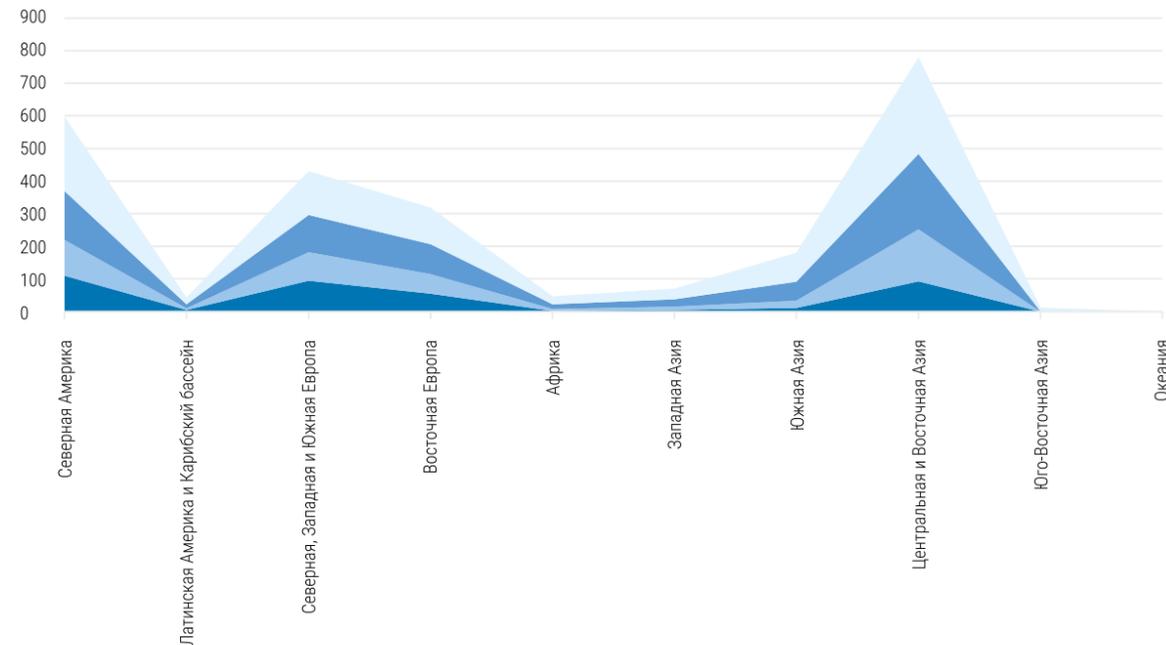


Рис. 4. Прогноз установленной мощности для производства электроэнергии из атомной энергии к 2050 г. по регионам мира по оптимистичному сценарию

Источник: составлено авторами на основе [5]

вает потенциал атомной энергетики в качестве ключевого источника низкоуглеродной энергии. В Европе, особенно в Восточной, также ожидается рост, хотя и более умеренный, что связано как с технологическими инновациями, так и с политическими решениями. В то же время Африка и Латинская Америка, хотя и начнут развивать атомную энергетику, останутся относительно небольшими игроками в глобальном масштабе.

Специалисты МАГАТЭ ожидают, что именно государства Центральной и Восточной Азии обеспечат ключевой рост показателя производства электроэнергии из атомной энергии (рис. 4).

Оптимистичный сценарий для этого региона предполагает почти трёхкратное увеличение производства электроэнергии к 2050 г., что отражает растущий спрос

на энергию и стремление к энергетической безопасности. Оптимистичный сценарий открывает возможности для значительного роста, но требует скоординированных усилий на международном уровне для преодоления существующих барьеров. По расчетам специалистов, строительство одной АЭС мощностью 1,2 ГВт может добавить 0,5–1% к ВВП страны за счет создания рабочих мест и увеличения налоговых поступлений.

После анализа технологических аспектов, экологических преимуществ и прогнозов развития атомной энергетики, важно рассмотреть её экономическую конкурентоспособность по сравнению с другими источниками энергии в Центральной Азии. Для этого проведем сравнительный анализ стоимости электроэнергии, произво-

димой атомными электростанциями (АЭС), возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) и газовыми станциями. Этот анализ позволит оценить экономические преимущества и недостатки каждого источника энергии, а также их применимость в условиях Центральной Азии.

Анализ данных показывает, что атомная энергетика занимает промежуточное положение по стоимости электроэнергии между ВИЭ и газовыми станциями. Однако её ключевое преимущество заключается в стабильности производства энергии, что особенно важно для промышленного развития региона. Таким образом, атомная энергетика представляет собой оптимальный баланс между стоимостью, стабильностью и экологической устойчивостью. Особенно это важно для стран Центральной Азии, где наблюдаются дефицит базовых мощностей и растущий спрос на энергию. Мы считаем, что в республиках Центральной Азии развитие АЭС становится стратегически важным шагом.

Выводы

Отметим, что разработка атомной энергетики в Центральной Азии представляет собой стратегическую возможность для экономического роста и обеспечения энергетической безопасности. Регион обладает значительными запасами ура-

Ульбинский завод по производству уранового топлива

Источник: Пресс-служба АО УМЗ



Таблица 1. Таблица сравнения стоимости электроэнергии

Источник: составлено авторами на основе [4]

Источник	Стоимость электроэнергии (долл. США/МВт·ч)	Преимущества	Недостатки
АЭС	60–80	Стабильность, низкий углеродный след	Высокие капитальные затраты
ВИЭ	40–90	Экологичность	Нестабильность
Газовые станции	70–100	Быстрая окупаемость	Высокие выбросы CO ₂

Проблемой для строительства АЭС является высокая сейсмическая активность в Центральной Азии, что требует применения современных технологий безопасности, например, реакторов ВВЭР-1200

на, что делает его ключевым игроком на мировом рынке ядерного топлива. Тем не менее, для реализации этого потенциала требуется тесное сотрудничество с Россией, включая внедрение современных технологий и развитие малых АЭС. Думается, для реализации своего потенциала, например, Казахстану, целесообразно развивать полный топливный цикл. Запуск собственных АЭС по проекту с «Росатомом» (ВВЭР-1200) поможет увеличить ВВП Республики Казахстан. Особые перспективы открывает строительство в стране атомных станций на малых модульных реакторах (ММР) мощностью 50–100 МВт для энергоснабжения удаленных регионов. Одновременно Казахстан имеет возможность развивать

Страна	Добыча, тыс. т	Экспорта, тыс. т	Основные рынки сбыта
Казахстан	21,819	19,500	Китай (45%), ЕС (30%)
Канада	4,693	3,800	США, ЕС
Намибия	5,753	5,200	Китай, Франция
Россия	2,635	2,400	Китай, Индия

Таблица 2. Сравнение стран по добыче и экспорту в 2023 г.

Источник: составлено авторами на основе [6]

обогащательные мощности, используя зарубежный опыт китайской CNNC, которая за 5 лет создала экспериментальный полный топливный цикл [1].

Странам региона целесообразно не только торговать сырьем, но и заняться его переработкой и поставлять на мировые рынки продукцию с высокой добавленной стоимостью.

Казахстан, обладая 15% мировых запасов урана, имеет все возможности для перехода от сырьевой модели к технологической. Инвестиции в ММП и обогащение позволят не только обеспечивать энергией отдаленные регионы, но и занять нишу поставщика высокотехнологичного топлива для Азиатско-Тихоокеанского региона. В условиях грядущего дефицита урана после 2030 г. это станет стратегическим преимуществом страны.

Отметим также, что обедненный уран (U-238) играет критически важную роль

в медицине благодаря своей исключительной плотности (19,1 г/см³). В радиационной защите он используется в свинцовых эквивалентах для стен рентген-кабинетов и онкологических центров, обеспечивая безопасность персонала и пациентов. В лучевой терапии урановые коллиматоры в линейных ускорителях позволяют точно направлять излучение на опухоли, снижая повреждение здоровых тканей на 20–30% по сравнению с традиционными материалами. Изотопы урана также применяются в производстве радиоактивных маркеров для диагностики метастазов. Узбекистан и Казахстан смогут использовать этот ресурс для развития медицинского туризма, но для этого необходимо осуществить подготовку специалистов. Здесь большую роль может сыграть «Росатом», который может не только помочь с подготовкой кадров, но и обеспечить поставку собственного оборудования.

Поставки урана по ж/д из Казахстана

Источник: Science & Future dzen.ru



Сити-парк и бизнес-центры в Ташкенте

Источник: sergfear / depositphotos.com

Использованные источники

1. В КНР к 2050 г. могут запустить «искусственное солнце». [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftegaz.ru/news/nuclear/882099-v-knr-k-2050-g-mogut-zapustit-iskusstvennoe-solntse/> (дата обращения: 13.03.2025).
2. Как Казахстан стал ведущим игроком на мировом рынке урана. [Электронный ресурс]. – URL: <https://abaidan.kz/ru/categories/zholdau/kak-kazahstan-stal-veduschim-igrokom-na-mirovom-rynke-urana-2024-09-23> (дата обращения: 13.01.2025).
3. «Росатом» рассказал казахстанским экспертам о технологиях обеспечения безопасности АЭС российского дизайна. [Электронный ресурс]. – URL: <https://atommedia.online/2024/06/19/rosatom-rasskazal-kazahstanskim-e/> (дата обращения: 18.02.2025).
4. 2024 Levelized Cost Of Energy+. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.lazard.com/media/xemfey0k/lazards-lcoeplus-june-2024_vf.pdf (дата обращения: 01.04.2025)
5. Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050. [Электронный ресурс]. – URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-1-44_web.pdf (дата обращения: 18.02.2025).
6. World Mining Data 2024. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD%2024.pdf](https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD%202024.pdf) (дата обращения: 18.02.2025).
7. World Uranium Mining Production. [Электронный ресурс]. – URL: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production> (дата обращения: 18.02.2025).

Точность прогноза среднемесячной цены нефти Brent на 2024 г. превысила 97%

The accuracy of the forecast of the average monthly Brent oil price for 2024 exceeded 97%

Сергей ОБРАЗЦОВ

Ранее – начальник лаборатории математического моделирования АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», д. ф.-м. н.
E-mail: obsm47@mail.ru

Sergei OBRAZTSOV

Last position – Head of the mathematical modeling laboratory IPPE JSC, Doctor of Physical and Mathematical Sciences
E-mail: obsm47@mail.ru

Аналитик нефтяного рынка

Источник: fotosedrik / depositphotos.com



Аннотация. Прогноз ежемесячной цены нефти марки Brent на период февраль – декабрь 2024 г., рассчитанный на основе солнечной активности, сбился с точностью 97,6%. Форма прогнозной кривой совпала с динамикой изменения реальной цены нефти. Прогнозная модель, использующая данные о состоянии Солнца, имеет высокую эффективность. Внедрение предложенного способа прогнозирования цены нефти в практику планирования финансовых критериев повысит продуктивность экономической деятельности.

Ключевые слова: цена нефти, прогнозирование, солнечная активность, искусственный интеллект.

Abstract. The forecast of the monthly price of Brent crude oil for the period February – December 2024, calculated on the basis of solar activity, came true with an accuracy of 97,6%. The shape of the forecast curve coincided with the dynamics of changes in the real oil price. The predictive model, which uses data on the state of the Sun, is highly efficient. The introduction of the proposed method of forecasting oil prices into the practice of planning financial criteria will increase the productivity of economic activity.

Keywords: oil price, forecasting, solar activity, artificial intelligence.

Введение

Солнечная активность (СА) оказывает существенное влияние на социально-экономические процессы, в том числе и на динамику стоимости нефти [1–4]. В статье [5] приведен прогноз цены нефти марки Brent на февраль – декабрь 2024 г., полученный по модели, представляющей собой комбинацию методов анализа временных рядов, включающей искусственную нейронную сеть. Отличительной особенностью модели является учет чисел Вольфа, характеризующих состояние Солнца. Алгоритм расчета состоит из двух блоков: на первом этапе прогнозируются числа Вольфа, которые затем используются для предсказания стоимости нефти. Вместе с прогнозом был рассчитан коридор ошибок, определяющий степень разброса прогнозных значений. Прогноз предсказывал рост цены нефти в начале 2024 г., достижения точки перелома в апреле и последующее плавное снижение с выходом на плато в конце года.

В настоящей работе оценена точность прогноза, рассчитанного с учетом влияния солнечной активности на цену нефти Brent [5], показана высокая эффективность предложенного подхода.

Анализ точности прогноза

Важно, что реальное изменение стоимости нефти повторяет форму прогнозную кривую. Говоря другими словами, был предсказан главный тренд изменения сто-

имости нефти, а его знание позволяет оптимизировать политику на энергетическом рынке. Фактическая цена нефти достигла максимума в апреле 2024 г., после чего стоимость нефти снижалась в границах коридора ошибок. Исключением является цена нефти в сентябре, когда ее значение упало ниже границы доверительного коридора. В большинстве случаев (10 из 11) модуль относительной ошибки находится на уровне 5% и менее, лишь в сентябре ошибка достигает ~ 8%. Поэтому будем рассматривать ошибку за сентябрь как аномальный выброс и использовать медиану для оценки точности прогноза. Медиана точности прогноза на февраль – декабрь 2024 г. равна 97,6%, что близко к абсолютной и недостижимой величине 100%.

Отметим, что прогноз [5] был рассчитан на основе чисел Вольфа, без привлечения других причин, обычно используемых при прогнозировании цены нефти. Как правило, рассматривают 2 большие группы факторов: экономические (спрос/предложение) и спекулятивные (биржевая игра) [6]. В этой связи интересно сравнить точность прогнозов, независимо рассчитанных разными исследовательскими группами.

Сопоставление прогнозов

В работе [5] представлен прогноз агентства прогнозирования экономики (АПЭКОН) цены нефти Brent на февраль – декабрь 2024 г., полученный на основе биржевых критериев. С другой стороны, известен прогноз цены нефти Brent Института энергетической стратегии (ИЭС)

Длительность прогноза, месяцы	Точность, %		
	СА [5]	АПЭКОН [5]	ИЭС [7]
7	98,7	92,8	90,2
11	97,6	88,5	—

Таблица 1. Точность прогнозов

на июнь – декабрь 2024 г., предсказывающий рост стоимости нефти в сезоне отпусков с июня по август 2024 г. [7]. Авторы [7] не описывают факторов, указывая, что для расчета прогноза используются нейросети. Корректное сравнение точности прогнозов возможно на периоде прогнозирования одинаковой длины, поскольку ошибка нарастает со временем. Так как минимальный период прогнозирования, рассматриваемый в сообщении [7], равен семи месяцам, то вначале сравним точности прогнозов за это время. Медиана точности прогноза на основе солнечной активности [5] за февраль – август равна 98,7%, АПЭКОН – 92,8%. Точность прогноза ИЭС [7] оказалась наименьшей, ее значение за июнь – декабрь равно 90,2%. Для иллюстрации на рис. 1 показаны графики прогнозов и реальные данные.

Из рис. 1 видно, что прогноз [7] располагается выше фактических значений цены нефти, прогноз [5] проходит по средней кривой, равномерно отклоняясь в обе стороны.

Обсуждение результатов и выводы

Разработка оптимальной стратегии поведения на энергетическом рынке зависит от точности прогноза стоимости нефти. Так как цена сырой нефти обусловлена многочисленными природными, экономическими, политическими и другими факторами, связанными между собой нелинейными характеристиками, то точное предсказание цены является сложной задачей. Неадекватное прогнозирование стоимости нефти приводит к грубым ошибкам в определении динамики валового мирового продукта [2].

Решение этой задачи зависит от выбора математико-статистических методов извлечения полезной информации из массива данных. С другой стороны, актуальным является поиск универсального фактора, определяющего тенденцию изменения цены на сырую нефть. Солнечная активность, глобально воздействующая как на биологические, социальные, экономи-

ческие, так и на геофизические и климатические процессы, является таким обобщающим фактором [1]. В таблице 1 представлена точность прогнозов, рассчитанных при различных исходных предположениях на период различной длительности.

Из таблицы 1 видна высокая эффективность прогнозной модели, использующей данные о состоянии Солнца. Примечательно, что для расчета прогноза ИЭС используются нейросети [7], тем не менее, его точность не превышает точность прогноза АПЭКОН. Оба этих прогноза уступают в точности прогнозу, основанному на динамике солнечной активности, которая, как видно из проведенного анализа, влияет на обе составляющие цены нефти. Это доказывает, что применение искусственного интеллекта само по себе, без опоры на содержательный анализ, не обеспечивает необходимой точности прогноза стоимости нефти. Напротив, разумная комбинация методов анализа временных рядов и информативного массива данных повышает точность прогноза. Определение критически важных факторов и дискриминация второстепенных переменных доступны только человеку, носителю творческих способностей. Например, автор [2], используя метод А. Л. Чижевского, рассчитывает достоверные прогнозы цены нефти, не прибегая к помощи машинных методов.

Искусственная нейронная сеть – мощный инструмент обработки данных, способный устанавливать скрытые нелинейные взаимосвязи переменных в заданном массиве данных. Его распространение в значительной степени вызвано увеличением вычислительной мощности современных компьютеров. Так, применение искусственной нейронной сети позволило предсказать в 2016 г. кризисное падение цены нефти в 2021 г. [8].

Точность прогноза цен на нефть марки Brent в 2024 г. при использовании чисел Вольфа и искусственной нейронной сети приближается к предельно возможной величине в 100% и равна 97,6%

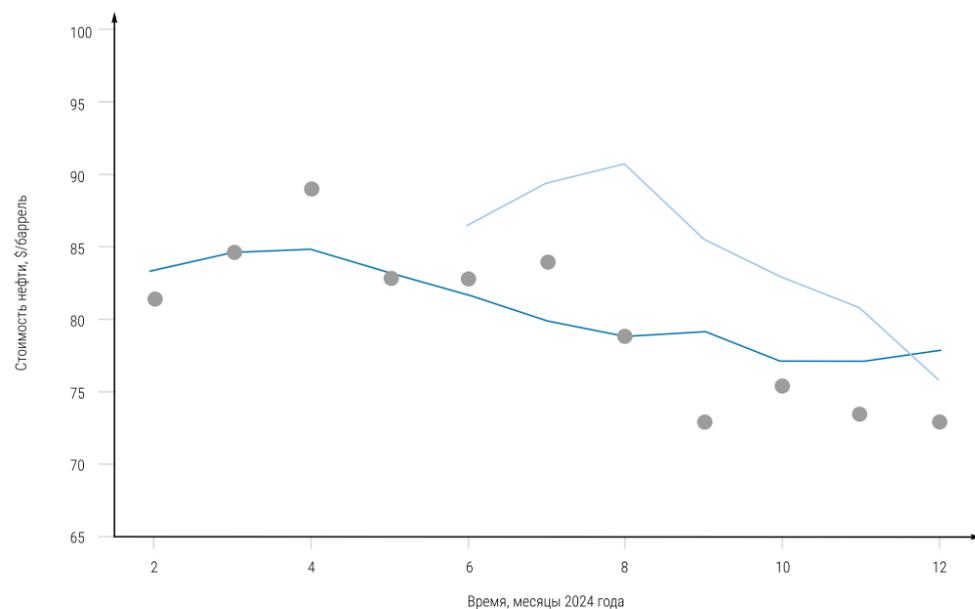
Однако вычислительная машина не способна сама выбрать значимые факторы из всего многообразия причин. Самый совершенный способ расчета не в состоянии опровергнуть проверенный временем принцип: «что подано на вход алгоритма, то и получено на выходе». Безосновательная надежда на «всемогущество» технического прогресса не только бесполезна, но и опасна при выборе стратегии поведения. Об этом еще в 1953 г. предупреждал В. Гейзенберг, один из крупнейших физиков XX в. [9].

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Подтверждена высокая эффективность подхода к прогнозированию стоимости нефти с использованием данных о солнечной активности.
2. Точность прогноза при использовании чисел Вольфа и искусственной нейронной сети приближается к предельно возможной величине в 100% и равна 97,6%.
3. Внедрение предлагаемой методики в практику долгосрочного планирования макроэкономических критериев способствует увеличению доходов.

Рис. 1. Прогнозные и реальные значения цены нефти Brent на 2024 г.;

маркеры – факт, прогнозные кривые: красная – на основе чисел Вольфа [5], синяя – нейросети [7]



Использованные источники

1. Мирошниченко Л. И. Физика Солнца и солнечно-земных связей / Под ред. проф. М. И. Панасюка. Учебное пособие. М.: Университетская книга. 2011.
2. Белкин В. А. Падение цен на нефть в 2025–2027 гг. Препринт. 2024. URL: <https://www.researchgate.net/publication>
3. Montano V., Pajigal R., Sobrejuanite G. Dynamics in Crude Oil Prices: A Markov-Switching Autoregressive Approach Incorporating Sunspot Activity // IJMRA, V.7. Issue 8 August 2024.
4. Образцов С.М. Нейросетевое прогнозирование цены нефти Brent на основе чисел Вольфа // Энергетическая политика. 2023, №10(189). С. 18–24.
5. Образцов С.М. Комплексная модель прогнозирования цены нефти Brent // Энергетическая политика. 2024, №3(194). С. 16–20.
6. Бушуев В.В., Конопляник А.А., Миркин Н.М. Цены на нефть: анализ, тенденции, прогноз. М.: ИД «Энергия». 2013.
7. Цены на нефть этим летом могут вернуться к 90 долл. за баррель. URL: <https://energypolicy.ru/czeny-na-neft-etim-letom-mogut-vernutsya-k-90-za-barrel/novosti/2024/19/05>
8. Образцов С.М. Нейросетевое прогнозирование цен на нефть и золото. URL: <https://www.mbureau.ru/articles/neyrosetevoie-prognozirovanie-cen-na-neft-i-zoloto>
9. Гейзенберг В. Картина мира в современной физике // Природа. 1987, №6(862). С. 86–97.

Влияние изменений в поставках газа на промышленность стран Балтийского региона: последствия и возможности для России

The Impact of Changes in Gas Supplies on the Industry of the Baltic Region Countries: Consequences and Opportunities for Russia

Денис ВАСЮТЕНКО
Аспирант БФУ им. И. Канта
E-mail: vassyutenko.denis@mail.ru

Denis VASYUTENKO
Postgraduate student
of the Immanuel Kant Baltic Federal University
E-mail: vassyutenko.denis@mail.ru

Побережье Балтийского моря

Источник: alex.stemmer / depositphotos.com



Аннотация. Сокращение поставок российского газа в страны Балтийского региона, вызванное геополитическими сдвигами, привело к негативным экономическим последствиям для промышленных отраслей. Долгосрочная зависимость от газа обострила уязвимость этих стран и вынудила их искать альтернативные источники энергии и развивать инфраструктуру для импорта сжиженного природного газа. Исследование анализирует последствия сокращения поставок газа, оценивает влияние на промышленное производство и предлагает возможности для России сохранить свое влияние в энергетическом секторе. *Ключевые слова: энергетический сектор, Балтийский регион, промышленность, сокращение поставок, альтернативные источники энергии.*

Abstract. The reduction of Russian gas supplies to the Baltic region countries, caused by geopolitical shifts, has led to economic consequences for industrial sectors. Long-term dependence on gas has exacerbated the vulnerability of these countries, forcing them to seek alternative energy sources and develop infrastructure for importing liquefied natural gas. The study analyzes the consequences of the reduction in gas supplies, assesses the impact on industrial production and suggests opportunities for Russia to maintain its influence in the energy sector. *Keywords: energy sector, Baltic region, industry, supply reduction, alternative energy sources.*



Среди стран Балтики наибольшее снижение промышленного производства зафиксировано в Латвии (-5,5%), Германии (-4,1%) и Эстонии (-2,9%)

Энергетическая безопасность страны и региона является одним из ключевых факторов стабильности экономики. Страны Балтийского региона на протяжении десятилетий сохраняли значительную зависимость от поставок российского газа. Это было вызвано их тесной связью в период советской власти, географической близостью и развитой инфраструктурой, а также благоприятными условиями приобретения газа из России. Компания «Газпром» являлась ключевым поставщиком природного газа в регион, занимая доминирующее положение на рынке стран Балтийского региона [1]. На рис. 1 изображены маршруты поставок «Газпрома» в Европу [1].

Мощность трубопроводов: «Северный поток 1» – 55 млрд м³, «Северный поток 2» – 55 млрд м³, «Ямал – Европа» – 32,9 млрд м³, «Уренгой – Помары – Ужгород» – 32 млрд м³, «Прогресс» – 26 млрд м³, «Голубой поток» – 16 млрд м³, «Турецкий поток» – 31,5 млрд м³, «Союз» – 26 млрд м³.

После распада СССР «Газпром» продолжил обеспечивать поставки газа в регион, укрепляя энергетическую зависимость стран. Однако газовые кризисы 2006 и 2009 гг., а также геополитические события 2014 г. показали уязвимость стран, связанную с высокой зависимостью от российского газа. Уже тогда страны ЕС начали принимать меры, которые позволили бы исключить столь большую зависимость от одного ключевого поставщика основного энергоресурса, но после начала специальной военной операции в 2022 г. политические разногласия дали импульс для более активной диверсификации поставок, особенно в Литве и Польше [2].

После введения санкций против России в 2022 г. объемы экспорта российского газа в Европу снизились более чем на 50%. По данным компании «Газпром», в 2022 г. экспорт газа в страны дальнего зарубежья составил 100,9 млрд м³, что стало самым низким показателем за несколько десятилетий [1]. На рис. 2 видно, что уже в следующем году этот показатель упал до 24 млрд м³.

На фоне энергетического кризиса, структурных сдвигов и сокращения поставок российского газа, страны Балтийского



Рис. 1. Маршруты поставок «Газпрома» в Европу [1]

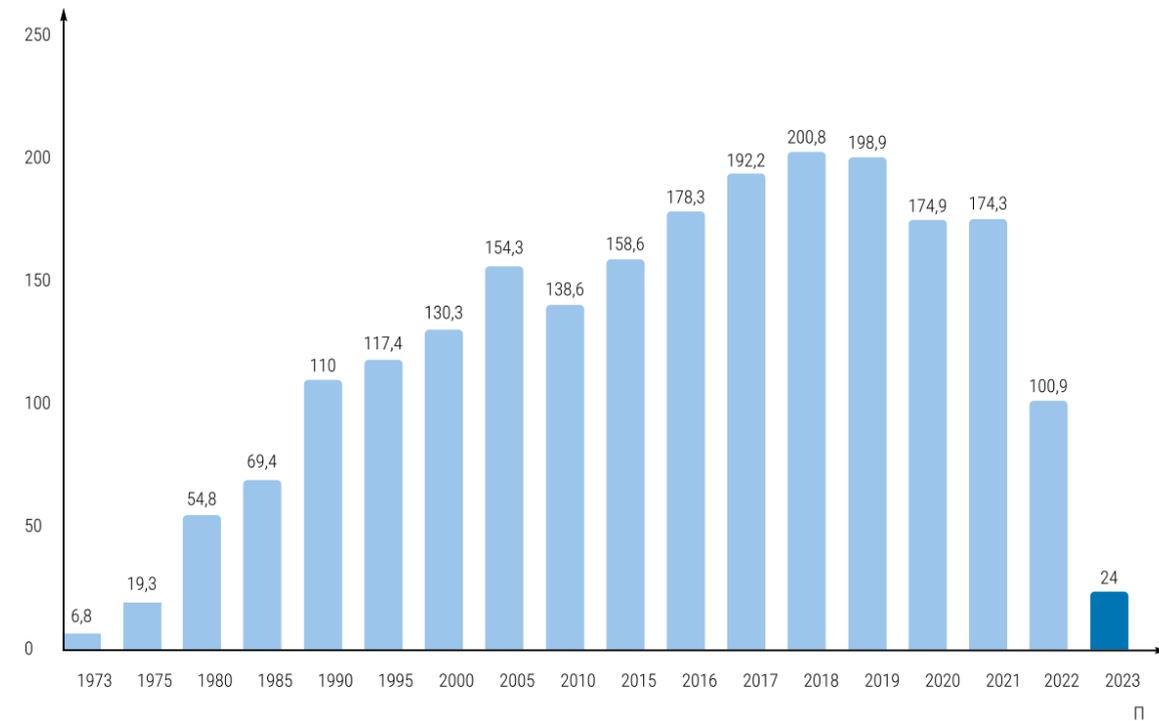


Рис. 2. Поставки российского трубопроводного газа в Европу, млрд м³ [8]

региона продолжили активное развитие альтернативных маршрутов. В настоящее время, помимо России, доставку такого важного энергоресурса как газ, в Европу осуществляют и другие страны, например Норвегия, которая является важным поставщиком как сетевого газа, так и СПГ. Заметными поставщиками газа остаются страны Северной Африки, Великобритании и Катара. Алжир и Ливия вносят значительный вклад в поставки газа в ЕС в основном по трубопроводам, в то время как Катар обеспечивает гибкость поставок газа через терминалы СПГ [3].

В некоторых официальных отчетах Еврокомиссии указано, что к 2023 г. доля российского газа в странах ЕС сократилась с 40% до менее чем 15% [4]. Это стало возможным благодаря росту импорта СПГ и расширению сотрудничества с Норвегией и США. В 2023 г. Соединенные Штаты были крупнейшим поставщиком СПГ в ЕС, на их долю приходилось почти 50% от общего объема импорта сжиженного газа. В 2023 г., по сравнению с 2021 г., импорт из США вырос почти в 3 раза [3].

Прекращение транзита российского газа через Украину 31 декабря 2024 г. создало существенный разрыв в поставках, достигающий примерно 15 млрд м³ в год

Прекращение транзита российского газа через Украину 31 декабря 2024 г. создало существенный разрыв в поставках, достигающий примерно 15 млрд м³ в год или 5% от общего объема импорта ЕС

или 5% от общего объема импорта ЕС [4]. Ожидается, что в 2025 г. спрос на газ в Европе вырастет примерно на 2% в годовом исчислении, что еще больше увеличит нагрузку на предложение, поскольку он останется примерно на 17% ниже среднего уровня, наблюдавшегося с 2017 по 2021 гг. [4].

Проанализировав степень зависимости стран Балтийского региона от российского газа, можно сделать вывод, что даже несмотря на принятые меры по развитию альтернативных путей поставок углеводорода, страны испытывают дефицит, потому что им не удастся восполнить тот объем, который давала Россия.

Порт Вентспилс, Латвия

Источник: drive2.ru



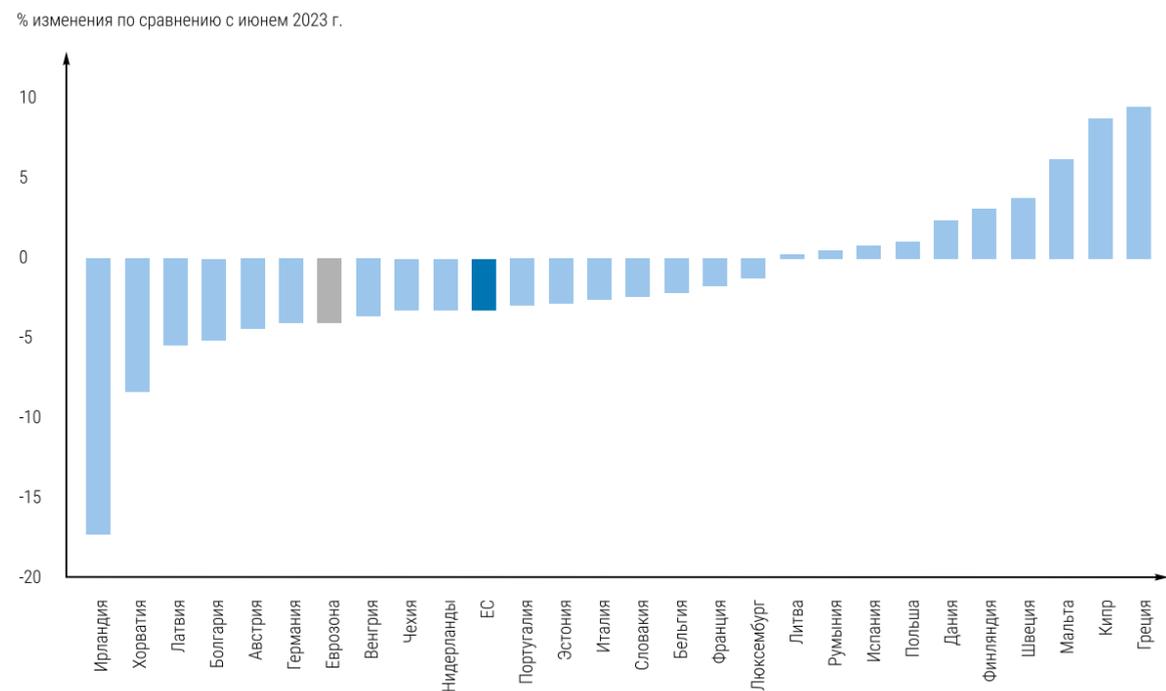


Рис. 3. Ежегодное сравнение промышленного производства еврозоны и стран ЕС [5]

Из статистических источников были получены результаты изменения в промышленном производстве стран ЕС на июнь 2024 г., по сравнению с прошлым годом:

- производство промежуточных товаров снизилось на 1,2%;
- производство капитальных товаров уменьшилось на 7,1%;
- потребительские товары длительного пользования сократились на 2%.

На рис. 3 отражено ежегодное сравнение промышленного производства еврозоны и стран ЕС.

Среди стран Балтийского региона наибольшее снижение зафиксировано в Латвии (-5,5%), Германии (-4,1%) и Эстонии (-2,9%).

Для получения результатов исследования, необходимо изучить влияние сокращения поставок российского газа на промышленность стран Балтийского региона, проследить динамику, сделать прогнозы, оценку успехов внедренных программ и предложить пути укрепления энергетических позиций России в Балтийском регионе и на международной арене.

В процессе исследования литературы и справочников, которые помогли бы разобраться в последствиях сокращения

поставок газа для ключевых отраслей промышленности, было обнаружено предположение, что рост цен на энергоресурсы, особенно на газ и электроэнергию, приведут к росту производственных затрат. Согласно исследованию, проведенному Международным энергетическим агентством [2] рост цен на энергоресурсы может снизить конкурентоспособность местных производителей, особенно в таких отраслях, как металлургия, машиностроение и химическая промышленность. Это может вызвать сокращение объемов производства, прекращение работы некоторых предприятий, негативное влияние на развитие важных для экономики производственных отраслей и, как следствие, потерю рабочих мест, что способно вызвать негативное социальное воздействие.

Сокращение поставок газа существенно повлияло на различные отрасли экономики стран Балтийского региона. Проведя анализ статистических данных и данных из научной литературы, были определены основные элементы влияния на различные секторы экономики, наблюдаемые по состоянию на начало 2025 г.

Рост цен на энергоносители. Прекращение импорта российского газа привело

к резкому росту цен на энергоносители во всем регионе. Этот всплеск напрямую затронул как домохозяйства, так и промышленность, способствуя кризису стоимости жизни, поскольку энергия составляет значительную часть потребительских расходов в этих странах [6].

Производство электроэнергии на газовых электростанциях Прибалтики снизилось, так как эти страны активно переходили на альтернативные источники, включая биогаз и возобновляемую энергетику. В Латвии, Литве и Эстонии доля газа в энергетике снизилась до минимальных значений [7].

Снижение потребления газа. В 2022 г. потребление газа в странах Прибалтики и Финляндии упало на 40%, с 66,7 ТВт·ч в 2021 г. до всего 40 ТВт·ч. Это снижение было обусловлено в первую очередь высокими ценами и переходом на альтернативные виды топлива для отопления и производства электроэнергии. Особенно это снижение ощутил промышленный сектор, многие компании сократили потребление газа или вообще прекратили свою деятельность [6].

Производственные отрасли, сильно зависящие от газа, такие как производство аммиака в Литве (в частности, Achema), столкнулись с серьезными производственными проблемами. В некоторых официальных отчетах отражено, что многие заводы либо сократили, либо остановили производство из-за резкого роста цен на газ, что значительно снизило общий спрос на промышленный газ [6].

Сокращение доступности газа в Германии на 10% может привести к снижению промышленного производства, особенно в таких секторах, как химическая промышленность, которая потребляет 14% газа в стране.

Химическая отрасль, зависящая от газа для производства удобрений, столкнулась с резким ростом цен на сырье, что привело к снижению объемов производства в Германии и Польше [2]. Металлургия, где газ используется для плавки металлов, также испытала трудности из-за перебоев с поставками и роста издержек.

Зафиксировано снижение производства машиностроительного сектора стран Балтийского региона, при этом ожидается дальнейшее снижение в 2025 г. Это снижение объясняется различными факторами, включая геополитическую напряженность и структурные сдвиги в отрасли.

Дания и Швеция также борются с ростом цен на энергоносители и сбоями в цепочках поставок, которые повлияли на уровень производства машиностроительного сектора. Переход к более экологичным энергетическим решениям продолжается, но еще не полностью синхронизирован с промышленными потребностями. Страны Прибалтики сталкиваются с аналогичными проблемами, при этом у них производительность труда значительно ниже, чем в более развитых странах Балтийского региона [7]. Машиностроительный сектор Польши сообщил о снижении как внутренних,



СПГ-терминал Свиноуйсьце, Польша
Источник: zvezdaweekly.ru

так и иностранных заказов. Аналогичная ситуация наблюдается и в Германии. Учитывая, что машиностроение является важной отраслью для этой страны, можно ожидать неблагоприятные последствия для экономики.

В результате в Балтийском регионе наблюдается заметное замедление роста ВВП. Прогнозы указывали на резкое снижение по сравнению с предыдущими годами, при этом ожидаемые темпы роста были пересмотрены в сторону понижения на 2–3 процентных пункта на 2022 г. Этот экономический спад может привести к повышению уровня безработицы, негативно влияющему на социальное воздействие и долгосрочным экономическим трудностям.

Определены и классифицированы основные аспекты и последствия сокращения поставок газа для промышленности, охарактеризованы особенности в регионе. Информация отражена в таблице 1. Таблица предоставляет подробный обзор этих изменений, а также указывает на наиболее пострадавшие сектора.

Страны Балтийского региона уже начали принимать адаптационные меры и оценивать перспективы энергетической трансформации. Сокращение поставок российского газа побудило страны Европы ускорить поиск и внедрение альтернативных источников энергии. Одной из ключевых мер стала диверсификация поставок за счет увеличения импорта сжиженного природного газа (СПГ). Литва, Польша и Германия в 2022–2023 гг. активно инвестировали в строительство СПГ-терминалов. Терминал в Клайпеде стал важным элементом энергетической безопасности Литвы, обеспечивая значительную часть потребностей страны в газе [4].

Параллельно развивается использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечная и ветровая энергии. В Германии в 2022 г. доля ВИЭ

в общем энергобалансе достигла 46%. В Латвии и Эстонии программы субсидирования малых электростанций на биогазе способствовали снижению зависимости от импорта газа [2]. Страны региона будут вынуждены ускорить переход на возобновляемые источники энергии, чтобы снизить зависимость от импорта ископаемых видов топлива. Исследование, опубликованное в журнале *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, показывает, что инвестиции в «зеленую» энергетику могут создать новые рабочие места и способствовать устойчивому экономическому росту [8], однако переход потребует времени и значительных финансовых ресурсов.

Энергетический кризис может спровоцировать увеличение уровня инноваций в области энергосбережения и повышения энергоэффективности. По данным исследования, опубликованного в *Journal of Cleaner Production*, компании, сталкивающиеся с высокими энергетическими затратами, начинают активнее внедрять технологии, направленные на снижение потребления энергии [9].

Энергосбережение также стало ключевым направлением для промышленности,



Порт Клайпеда, Литва
Источник: cont.ws

особенно в энергоемких секторах. В Германии внедрение технологий рекуперации тепла и переход на более энергоэффективное оборудование позволили сократить энергопотребление на 15–20% в 2022 г. [3]. Польша активно развивает технологии замещения природного газа водородом в металлургии, что также способствует снижению углеродного следа [4]. Важное значение имеет модернизация инфраструктуры, в последние годы внедряются интеллектуальные энергосистемы, которые оптимизируют распределение энергии между объектами и снижают потери в сетях [5].

Переход на устойчивые источники энергии возможен благодаря разработке региональных стратегий. Страны Балтийского региона и Восточной Европы разработали стратегические программы по энергетической трансформации. Литва в своей «Стратегии национальной энергетики 2050» поставила цель полностью отказаться от ископаемого топлива к середине века, а также удвоить объемы производства энергии из возобновляемых источников [8]. Существуют прогнозы, что к 2035 г. ветровая и солнечная энергии станут основой электроснабжения Европы, обеспечивая 70–80% выработки электроэнергии. Для достижения этого целевого показателя, в период 2025–2035 гг. совокупный прирост «зеленых» мощностей должен составлять 100–165 ГВт ежегодно, в то время как в 2010–2020 гг. этот показатель составлял в среднем 24 ГВт в год. При этом мощность ветровых электростанций к 2035 г. вырастет в 4 раза,

достигнув 800 ГВт, а солнечных электростанций – увеличится в 5–9 раз, достигнув 800–1400 ГВт [10].

В процессе анализа научной литературы была отмечена закономерность, которая заключается в том, что к вопросу внедрения ВИЭ страны приходят, в основном, в период сложных политико-экономических ситуаций и кризисов. Например, одним из направлений выхода из энергетического кризиса в 1970-х гг. было именно использование ВИЭ. Как раз в этот период миру стала известна аббревиатура ВИЭ. Но по причине стабилизации была определена нецелесообразность широкого развития данного направления, а сейчас, в период очередного энергетического кризиса, вопрос вновь стал актуальным. Можно сделать вывод, что развитие ВИЭ – это необходимая мера для диверсификации [11]. И судя по тому, что сейчас данный вид источников получает широкое применение, стоит согласиться, что более сильное влияние на развитие ВИЭ оказывает риск, связанный с геополитической ситуацией, а не неопределенность на рынке нефти или беспокойство за дефицит нефти и газа в будущем, хотя не стоит игнорировать и иные факторы [12].

Несколько лет работ по решению проблем энергетического сектора, адаптации региональных программ и привлечение инвестиций дали некоторые результаты. Например, энергетическая трансформация позволила уменьшить зависимость от традиционных поставщиков газа, включая Россию, что частично укрепило их энергетическую независимость. Например, строительство СПГ-терминалов в Польше и Литве обеспечило значительную диверсификацию поставок газа, позволяя импортировать СПГ из США, Катара и других

В 2025 г. спрос на газ в Европе вырастет примерно на 2% в годовом исчислении, что еще больше увеличит нагрузку на предложение, поскольку он остается примерно на 17% ниже среднего уровня

Таблица 1. Последствия сокращения поставок газа для промышленности

Источник: составлена автором по [3, 5, 9]

Аспект	Описание	Особенности в регионе
Металлургия	Снижение объемов производства из-за роста цен на газ и необходимости сокращения энергозатрат	Польша и страны Балтии снизили объемы производства стали на 20–30% из-за удорожания энергоресурсов
Химическая промышленность	Резкое увеличение себестоимости продукции, особенно удобрений и других химических соединений	В Германии и Польше производство аммиака упало на 40%, многие заводы временно приостановили работу
Машиностроение	Активное снижение объемов производства	Машиностроительный сектор Германии сообщил о снижении производства на 6,8% за первые 10 месяцев 2024 г., при этом ожидается дальнейшее снижение на 2% в 2025 г.
Производство электроэнергии	Увеличение затрат на производство электроэнергии на газовых электростанциях, переход на уголь и ВИЭ	В Латвии, Литве и Эстонии газовые электростанции стали нерентабельными, увеличились доли биогаза и ВИЭ
Снижение производства	Сокращение выпуска продукции в энергоемких отраслях, замедление экономического роста	Германия потеряла около 1,5% ВВП в 2022 г. из-за кризиса в промышленности, Польша – 0,8%
Рост себестоимости продукции	Удорожание продукции из-за повышения стоимости энергоносителей и сырья	В химической промышленности затраты увеличились на 30–50%, что привело к росту цен на конечную продукцию
Увеличение цен	Рост цен на энергозависимые продукты: удобрения, металлы, строительные материалы	В регионе инфляция достигла рекордных уровней: в Литве и Латвии – около 20% в 2022 г.
Рост безработицы	Закрывание энергоемких производств привело к потере рабочих мест в металлургии и химии	В странах Балтии и Польше безработица в промышленности увеличилась на 5–7% в 2022 г.
Снижение конкурентоспособности	Увеличение издержек производства ослабило позиции предприятий на мировом рынке	Германия потеряла значительную долю экспорта удобрений, Польша – стали, Латвия – продукции электроэнергетики

стран [1]. Но в данном случае важным элементом энергетической трансформации стало международное сотрудничество. Европейский союз (ЕС) укрепил взаимодействие с США, Катаром и Норвегией, обеспечивая долгосрочные поставки газа. Программа REPowerEU, разработанная Европейской комиссией, включает инвестиции в развитие СПГ-инфраструктуры, интеграцию европейских энергетических систем и ускорение перехода к ВИЭ [11]. Но такой способ диверсификации нельзя считать полностью подходящим, потому что факт зависимости от других государств и риск новых проблем из-за геополитических изменений имеет место быть.

Расширение использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) снизило зависимость от импорта углеводородов. В Германии доля ВИЭ в производстве электроэнергии достигла 46% в 2022 г., что стало важным шагом на пути к энергетической безопасности [11].

Кроме того, усилилось сотрудничество в рамках энергетических альянсов, таких как Международное энергетическое агентство (IEA), что позволило скоординировать действия стран по снижению зависимости от импорта углеводородов [4].

Помимо этого, для энергетического перехода, стабильности и роста показателей в промышленном секторе Балтийского региона существует и развивается организация ВЕМIP. Альянс предполагает сотрудничество между Данией, Германией, Эстонией, Латвией, Литвой, Польшей, Финляндией и Швецией. В последние годы ВЕМIP принимает ряд новых программ и инициатив, направленных на развитие энергетической инфраструктуры, улучшение межсистемной связи и переход на более устойчивые источники энергии.

Сокращение доступности газа в Германии на 10% может привести к снижению промышленного производства, особенно в таких секторах, как химическая промышленность, потребляющая 14% газа в стране



Плавающий СПГ-терминал Exceleerate Energy Exemplar
Источник: tradewindnews.com

Исследовав меры, принимаемые странами региона для адаптации к изменившимся условиям, можно сделать вывод, что они не просто реагируют на вызовы, а активно формируют новые стратегии, направленные на создание устойчивой и безопасной энергетической системы. Эти меры могут стать основой для долгосрочного экономического роста и улучшения энергетической безопасности, что, в свою очередь, позволит им более эффективно справляться с будущими вызовами в области энергетики.

К основным направлениям программ и инициатив для развития энергетической структуры относятся: развитие инфраструктуры, в виде увеличения объемов интерконнекторов между странами и реализация проектов по строительству терминалов для приёма СПГ, устойчивое развитие и возобновляемые источники энергии, энергетическая безопасность, которая нацелена на разработку механизмов для обеспечения надежности поставок энергии в условиях кризисов и снижения зависимости от одного поставщика, снижение углеводородных выбросов, улучшения межгосударственного сотрудничества, а так же инвестиции и финансирование [2]. Описанные направления программ и инициатив для развития энергетической структуры можно назвать промежуточным результатом исследования, который может оказаться полезным для дальнейших исследований.

В результате анализа влияния сокращения поставок газа на промышленность Европы было установлено, что падение

поставок российского газа в 2022 г. оказало существенное влияние на ключевые отрасли экономики. Наибольшее влияние испытали металлургия, машиностроение и химическая промышленность, что привело к значительному сокращению производства в этих секторах. В ответ на кризис, страны региона ускорили переход на альтернативные источники энергии, такие как сжиженный природный газ (СПГ) и возобновляемые источники энергии. Одновременно наблюдается тенденция к снижению зависимости от газа с внедрением энергосберегающих технологий и модернизацией промышленной инфраструктуры.

Выделенные в процессе исследования, основные направления программ и инициатив для развития энергетической структуры можно применить для подготовки стратегий России для укрепления позиций в энергетическом секторе Балтийского региона. Можно попробовать сформулировать пути укрепления энергетических позиций России в Балтийском регионе и на международной арене:

1. Гибкая ценовая политика, альтернативные маршруты и источники поставок энергоресурсов, чтобы продавать газ в Европу. В конце 2024 г. Владимир Путин подчеркнул, что Россия всегда выступала за поставки газа в Европу и всегда выступала за деполитизацию вопросов экономического характера.

2. Развитие связей с ключевыми странами-поставщиками газа.
3. Развитие экологически чистых технологий и проектов в сфере ВИЭ, предложение инвестиций [11].
4. Участие в региональных форумах, инициативах и государственно-частных партнерствах в области энергетической инфраструктуры может создать дополнительные возможности для влияния.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать предположение, что сокращение поставок российского газа в страны Балтийского региона может привести к увеличению энергетической независимости этих стран, однако Россия будет активно использовать свои возможности и рычаги давления, чтобы сохранить свое влияние в глобальной энергетической отрасли.

Исследование подтверждает, что изменения в поставках газа оказали глубокое влияние на промышленность стран Балтийского региона, однако также открыли новые возможности для перехода к более устойчивой и диверсифицированной энергетической системе. Важно продолжать мониторинг ситуации и развивать стратегии, направленные на улучшение энергетической безопасности и устойчивого развития в условиях изменяющегося мирового порядка.

Использованные источники

1. International Energy Agency. *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA, 2023. – 550 p.
2. Lithuanian Ministry of Energy. *Klaipeda LNG Terminal Overview*. Vilnius: Ministry of Energy, 2023. – 45 p.
3. European Council. *EU Gas Supply: Infographic* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/eu-gas-supply/> (дата обращения: 25.11.2024).
4. European Commission. *Commission and Member States confirm no gas supply concerns in the New Year* [Электронный ресурс]. URL: https://energy.ec.europa.eu/news/commission-and-member-states-confirm-no-gas-supply-concerns-new-year-2025-01-02_en (дата обращения: 01.01.2025).
5. Eurostat. *Industrial production down by 0.1% in euro area and unchanged in the EU* [Электронный ресурс]. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-euro-indicators/w/4-14082024-ВР> (дата обращения: 01.01.2025).
6. Argus Media. *Официальный сайт* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.argusmedia.com/ru> (дата обращения: 25.11.2024).
7. Dmitry B. Kuvalin, Yury A. Shcherbanin *The Adaptation of Russian Regions' Economies to the Rupture of Relations With Europe: the Case of Baltic Sea Ports // Baltic Region*. 2023. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-adaptation-of-russian-regions-economies-to-the-rupture-of-relations-with-europe-the-case-of-baltic-sea-ports> (дата обращения: 25.11.2024).
8. López A., et al. *Renewable energy investments and job creation: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023. Т. 169. P. 112–125.
9. Zhang, Y., et al. *Energy efficiency innovations in manufacturing: Challenges and opportunities // Y. Zhang, et al. // Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 367. P. 132–145.
10. International Energy Agency. *Gas Market Report, Q4 2023*. Paris: IEA, 2023.
11. Российское энергетическое агентство (РЭА) Минэнерго России. *Возобновляемая энергетика в России и мире // РЭА Минэнерго России*. – М.: РЭА Минэнерго России, 2022.
12. Любарская М. А., Меркушева В. С. *Влияние геополитических рисков на внедрение инноваций в энергетике // ЭВ*. 2023. №1 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-geopoliticheskikh-riskov-na-vnedreniye-innovatsiy-v-energetike> (дата обращения: 25.11.2024).

Концепция развития научно-технологического суверенитета электроэнергетической экосистемы региона

The concept of the development of scientific and technological sovereignty of the regional electric power ecosystem

Анастасия АБРАМОВА

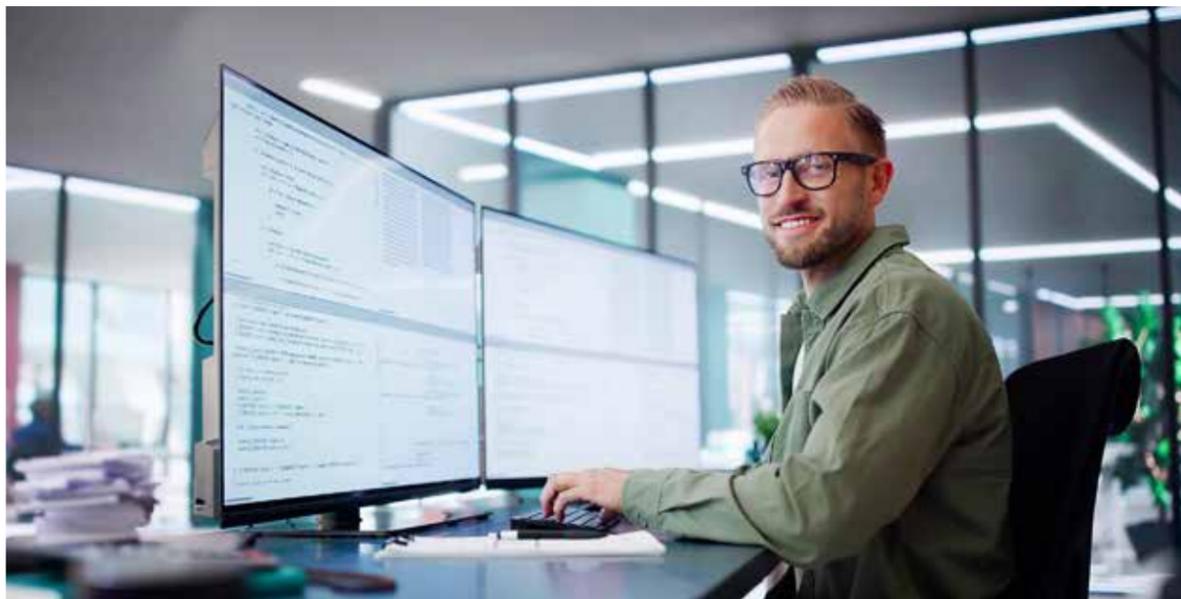
Доцент кафедры экономики производства Института управления, экономики и финансов Казанского (Приволжского) федерального университета, к. э. н., ведущий специалист отдела организации и развития бережливого производства Управления АО «Сетевая компания»
E-mail: abramova19191@rambler.ru

Anastasia ABRAMOVA

Docent of the Institute of Management, Economics and Finance of the Kazan (Volga Region) Federal University, Cand. Sci. (Econ), leading specialist of the department of organization and development of lean production Management of JSC «Grid company»
E-mail: abramova19191@rambler.ru

Разработка российского ПО

Источник: AndreyPopov / depositphotos.com



Аннотация. В настоящей статье позиционирована важность развития научно-технологического суверенитета в электроэнергетике, как фундаментальной отрасли экономики. Показаны комплементарные технологии опережающего развития: содействие развитию региональных электроэнергетических экосистем; разработка, применение и коммерциализация субъектами электроэнергетической экосистемы инновационных технологий (продуктов); формирование культуры технологического предпринимательства и навыков созидательной деятельности у экономически активного населения и подрастающего поколения. Приведены определение и обобщенное описание организационной структуры электроэнергетической экосистемы региона, дорожная карта ее устойчивого развития, система сквозной подготовки трудовых ресурсов в области применения технологий бережливого производства.

Ключевые слова: электроэнергетическая экосистема региона, устойчивое развитие электроэнергетики, научно-технологический суверенитет, бережливое производство, культура технологического предпринимательства.

Abstract. This article presents the author's vision of the concept of the development of scientific and technological sovereignty in the electric power industry. Complementary technologies of advanced development of the industry are shown: promoting the development of regional electric power ecosystems; development, application and commercialization of innovative technologies (products) by subjects of the electric power ecosystem; fostering a culture of technological entrepreneurship and creative skills among the economically active population and the younger generation. The article provides a definition and description of the organizational structure of the electric power ecosystem, a roadmap for its sustainable development, a system of end-to-end training of labor resources in the field of lean production.

Keywords: regional electric power ecosystem, sustainable development of the electric power industry, scientific and technological sovereignty, lean production, culture of technological entrepreneurship.

В настоящий момент мы живем в эпоху трансформации общемирового мироустройства, и перед нашей страной стоит задача возрождения научно-технологического суверенитета как одного из ключевых факторов национальной безопасности. Данная задача приоритетна для фундаментальной электроэнергетической отрасли экономики: должны быть полностью обеспечены растущие потребности экономики, в том числе в новую сетевую эпоху развития технологий ИИ [1].

В текущий момент организации основной производственной цепочки электроэнергетического комплекса России (генерирующие, электросетевые, энергосбытовые компании) находятся на этапе зрелости кривой жизненного цикла развития и в совокупности инерционно продолжают обеспечивать устойчивое функционирование комплекса за счет накопленного потенциала в области всех организационных элементов. Данный этап характеризуется наличием сформированных, устоявшихся

и формализованных производственных процессов, которые закреплены стандартизированными процедурами (рис. 1). При этом электроэнергетические организации обладают конкурентными преимуществами в виде неиспользованного (и/или нераскрытого) потенциала по всем видам ресурсов. Имеющийся потенциал возможно превратить в коммерческие продукты и, таким образом, обеспечить капитализацию организаций.

Точка развития традиционных субъектов электроэнергетического комплекса России на концептуальной кривой жизненного цикла иллюстрирует, что по прошествии этапа зрелости ожидаются этапы дестабилизации поступательного устойчивого развития, которые, с учетом текущих внутренних отраслевых и внешнеполитических вызовов, могут быть молниеносными. Поэтому организациями электроэнергетического комплекса уже сейчас востребованы эффективные технологии опережающего развития (рис. 2).

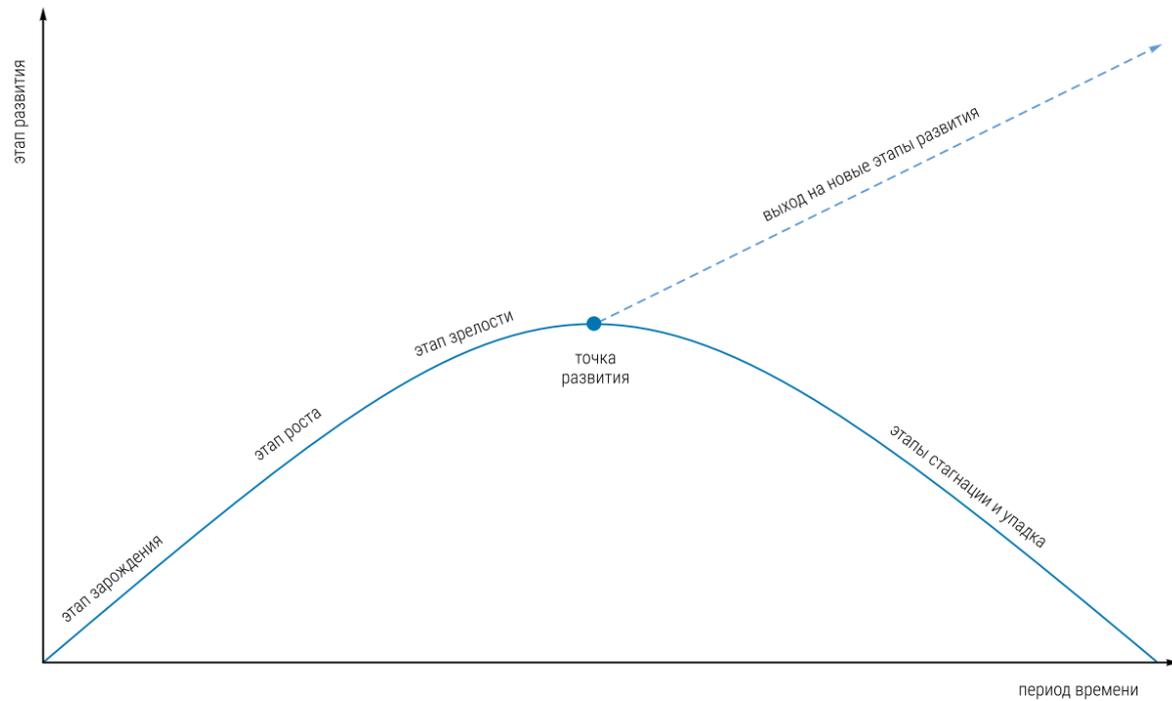


Рис. 1. Точка развития традиционных субъектов электроэнергетического комплекса России на концептуальной кривой жизненного цикла

Источник: составлено автором по [3]

Первая технология

Содействие развитию территориальных электроэнергетических кластеров¹, которые в условиях индустрии 4.0, перспективного перехода в индустрию 5.0 и четвертого энергоперехода, с учетом ESG-трансформации приобретают формат инновационно-ориентированных экосистем с новыми элементами (рис. 3).

Представленная на рис. 3 обобщенная схема функционирования региональной электроэнергетической экосистемы сформирована с точки зрения системного подхода и учитывает как традиционные элементы (объекты централизованной генерации, технологическую и коммерческую инфраструктуру отрасли, потребителей электроэнергии), так и новые, востребованные и получающие стремительное развитие элементы:

- объекты распределенной генерации, в том числе с использованием ВИЭ;
- умные виртуальные электростанции, координирующие уровни потребления и выработки электроэнергии по результатам анализа информационных данных;
- потребителей-просьюмеров, генерирующих электроэнергию и осуществляющих выдачу энергии в электрическую сеть;
- объекты инфраструктуры для электромобилей.

Наблюдается тенденция диверсификации деятельности электроэнергетических организаций в формате развития дополнительных видов бизнеса, в том числе:

- выход на смежные рынки коммунальных услуг;
- продажа, установка и обслуживание электроэнергетической инфраструктуры, обучение и консалтинг в предметных областях имеющихся компетенций и пр. [5, 6, 7].

Таким образом, региональная электроэнергетическая экосистема представляет собой сосредоточенную в рамках территории региона совокупность социально-экономических элементов, осуществля-

¹ Территориальный электроэнергетический кластер представляет собой сконцентрированную в границах соответствующей территории группу организаций, обеспечивающих синергетический эффект от регулярного эффективного взаимодействия в сфере социально-экономических отношений, возникающих в процессе непрерывного электроэнергетического производства как для субъектов самого кластера, так и для территории присутствия в целом (в том числе: поставщиков материально-технических ресурсов и услуг, научно-исследовательские, образовательные, социальные и регулирующие инфраструктурные организации) [4].

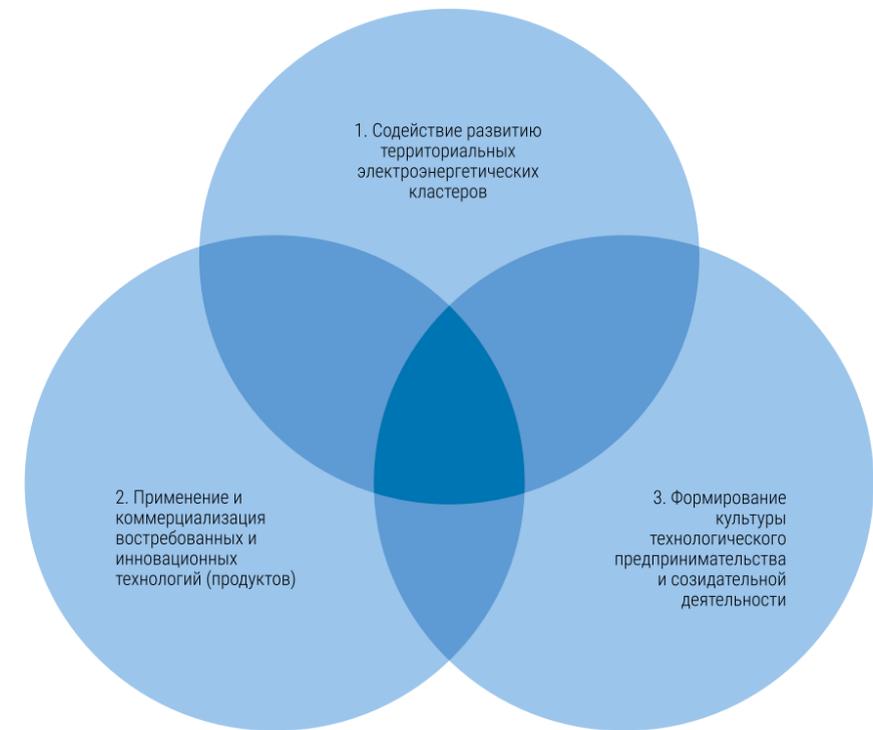


Рис. 2. Комплементарные технологии концепции развития научно-технологического суверенитета электроэнергетической экосистемы региона

Источник: составлено автором

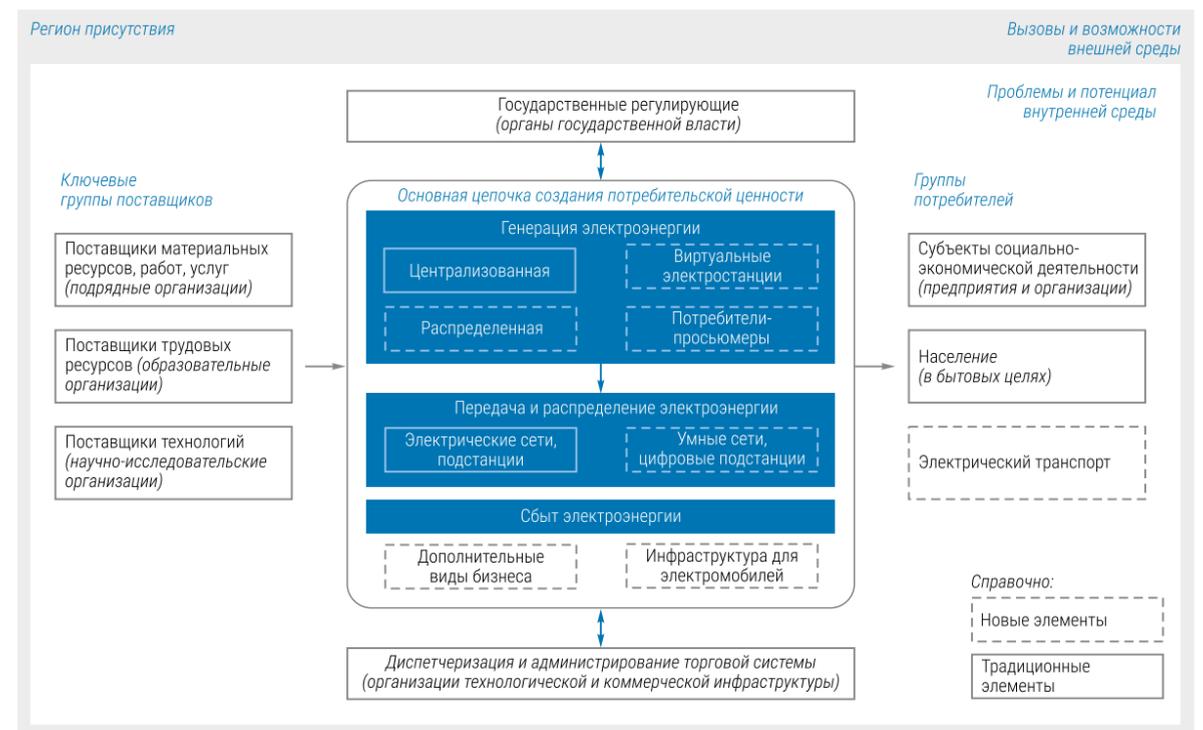


Рис. 3. Обобщенная организационная схема функционирования региональной электроэнергетической экосистемы России

Источник: составлено автором

ющих инновационно-ориентированное взаимодействие на основании единых ценностей и согласованных целевых ориентиров работы для обеспечения устойчивого развития самой системы и территории присутствия в целом. Субъектами электроэнергетической экосистемы являются: поставщики материально-технических ресурсов и услуг, организации основного электроэнергетического производства (генерирующие, электросетевые и энергосбытовые), потребители, регулирующие, инфраструктурные, научно-образовательные, социальные и смежнотраслевые организации.

Развитие территориальных электроэнергетических экосистем как эволюционной формы кластеров [8], обеспечит воспроизводство всей цепочки продукции основного электроэнергетического производства и необходимых для этого материально-технических и иных видов ресурсов в рамках территории присутствия и государственных границ. Это способствует приобретению возможности качественного импортозамещения, что сейчас востребовано особенно остро в целях достижения научно-технологического суверенитета в электроэнергетике и появлению иных положительных синергетических эффектов, характерных для кластерных образований.

Устойчивое функционирование электроэнергетической экосистемы невозможно без обеспечения качественного взаимодействия входящих в нее субъектов. Поэтому в условиях деятельности организаций электроэнергетического комплекса как самостоятельных юридических лиц [9], необходимо обеспечить эффективное управление взаимодействием и интегрированным развитием субъектов электроэнергетической экосистемы, которое

По прошествии этапа зрелости ожидаются этапы дестабилизации поступательного устойчивого развития, которые, с учетом внутренних и внешнеполитических вызовов, могут быть молниеносными



Анализ данных технологий производства водорода
Источник: Scharfsinn / depositphotos.com

должно предусматривать координационно-распорядительные, методологические, аналитические и правовые механизмы регулирования.

Вторая технология

Суть данной технологии – разработка, применение и коммерциализация востребованных и инновационных технологий (продуктов) посредством интенсификации инвестиционно-инновационной деятельности субъектами электроэнергетической экосистемы. Предметами реализации данного направления являются:

- новые технологии (продукты) из внешней среды (по результатам их изучения и адаптации);
- разработанные и усовершенствованные средства производства (оборудование, машины, инструменты и пр.);
- технологические знания (в виде секретов производства);
- информационные технологии (в виде программных продуктов, корпоративных баз данных, разработок в области искусственного интеллекта);
- фундаментальные ориентированные на практику знания (в виде обучающих и консалтинговых программ).

Данный аспект находится в сфере действующих стратегических приоритетов развития России и региональной политики:

- 1) Стратегия научно-технологического развития РФ до 2030 г. содержит целевые значения в области наращивания исследовательской и инновационной деятельности организаций;
- 2) Послание Раиса Республики Татарстан Государственному Совету на 2025 г. позиционирует задачу развития технологических инноваций субъектами региональной экономики.

Прежде всего, это касается критически важных и сквозных технологий и направлений развития, в том числе направления «Технологизация электроэнергетики, повышение энергоресурсоэффективности и энергосбережения» [10, 11].

В целях содействия разработке, применению и коммерциализации востребованных и инновационных технологий (продуктов) должно быть сформировано системное видение вызовов, проблем, возможностей и потенциала развития электроэнергетической экосистемы региона и осуществлена грамотная постановка приоритетных предметных проектов развития. Целесообразно использовать укрупненную дорожную карту устойчивого развития электроэнергетической экосистемы региона, которая включает следующие этапы:

1. Описание актуальной организационно-управленческой структуры электроэнергетической экосистемы.

ЛЭП

Источник: stetsik / depositphotos.com



Суть технологии – разработка и применение инновационных технологий путем интенсификации инвестиционно-инновационной деятельности субъектами электроэнергетической экосистемы

2. Формирование экспертной рабочей группы – субъекта управления реализацией стратегии – с включением представителей субъектов электроэнергетической экосистемы и органов государственной/региональной власти, в том числе определение механизмов взаимодействия и правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности.
3. Опрос экспертов субъектов электроэнергетической экосистемы региона в части имеющихся проблем в области устойчивого развития, востребованных материально-технических ресурсов, технологий и компетенций, способствующих достижению научно-технологического суверенитета. В данном случае необходима полная картина с привлечением к опросу всех субъектов электроэнергетической экосистемы в целях последующего проведения анализа и выбора целесообразных для воспроизводства материально-технических ресурсов и технологий.
 4. Выбор целесообразных для воспроизводства материально-технических ресурсов и технологий посредством проведения экспертного опроса с ранжированием по критериям:
 - степени необходимости;
 - возможности (способности и сроков) воспроизводства;
 - эффективности с учетом ESG-принципов устойчивого развития.
 5. Формулировка набора согласованных предметных проектов развития электроэнергетической экосистемы с учетом ESG-трансформации посредством проведения экспертных стратегических сессий, в том числе:

Ученые и эксперты должны быть вовлечены в реализацию проектов воспроизводства востребованных и инновационных технологий за счет стимулирования изобретательской и созидательной деятельности

- постановка темы, цели и предмета реализации проектов развития;
- выбор источников формирования материально-технических ресурсов и технологий и технологии их воссоздания;
- формирование укрупненных дорожных карт, отражающих способы и сроки реализации проектов развития;
- определение пилотных объектов для реализации проектов развития;
- назначение руководителей и необходимого состава участников проектов развития.

Новокуйбышевский НПЗ



Источник: cstprom.ru

6. Разработка и утверждение проектной документации, в том числе:
 - разработка тактических детализированных планов реализации проектов развития, планового экономического и качественного эффектов;
 - поиск источников финансирования реализации проектов развития,
 - фиксация условий и порядка правовой защиты результатов реализации проектов развития в проектной документации.
7. Реализация проектов развития, дальнейшее тиражирование и/или коммерциализация технологий (продуктов) с использованием принципа «бережливый стартап» [11, 12]:
 - мониторинг планов реализации проектов развития со стороны субъекта управления реализацией стратегии и их превентивная актуализация;
 - получение целевого результата, его апробирование на пилотных объектах (адаптационных площадках) и модификация с целью улучшения (при необходимости);



Цифровой анализ месторождения

Источник: «Зарубежнефть»

- формализация (стандартизация посредством разработки документов) и правовая защита результатов проекта (закрепление прав на технологии посредством патентования, депонирования, введение условий в договорные обязательства);
- коммерциализация технологий (оперативный вывод на рынок базовой модификации, анализ и выявление потребностей рынка путем получения обратной связи от потребителей, оперативная повторная модификация (до продвинутых версий с дополнительными опциями), оперативный вывод на рынок продвинутой версии и т. д.).

Качественная инициация и реализация приоритетных предметных проектов научно-технологического развития электроэнергетической экосистемы региона обусловлена необходимостью углубления интеграции науки, образования и производства. Во-первых, ученые и ведущие эксперты должны быть вовлечены в реализацию проектов воспроизводства востребованных и инновационных

технологий за счет введения механизмов стимулирования изобретательской и созидательной деятельности. Во-вторых, существующие выявляемые практические проблемы и создаваемые в результате реализации проектов технологические практические знания должны дополнять фундаментальные образовательные программы учебных заведений и быть позиционированы молодым исследователям. Данный аспект позволит обеспечить подготовку качественных трудовых ресурсов для субъектов электроэнергетической экосистемы.

Источником финансирования (софинансирования) инициатив в области разработки приоритетных технологий и проектов развития могут выступать государственные и региональные фонды

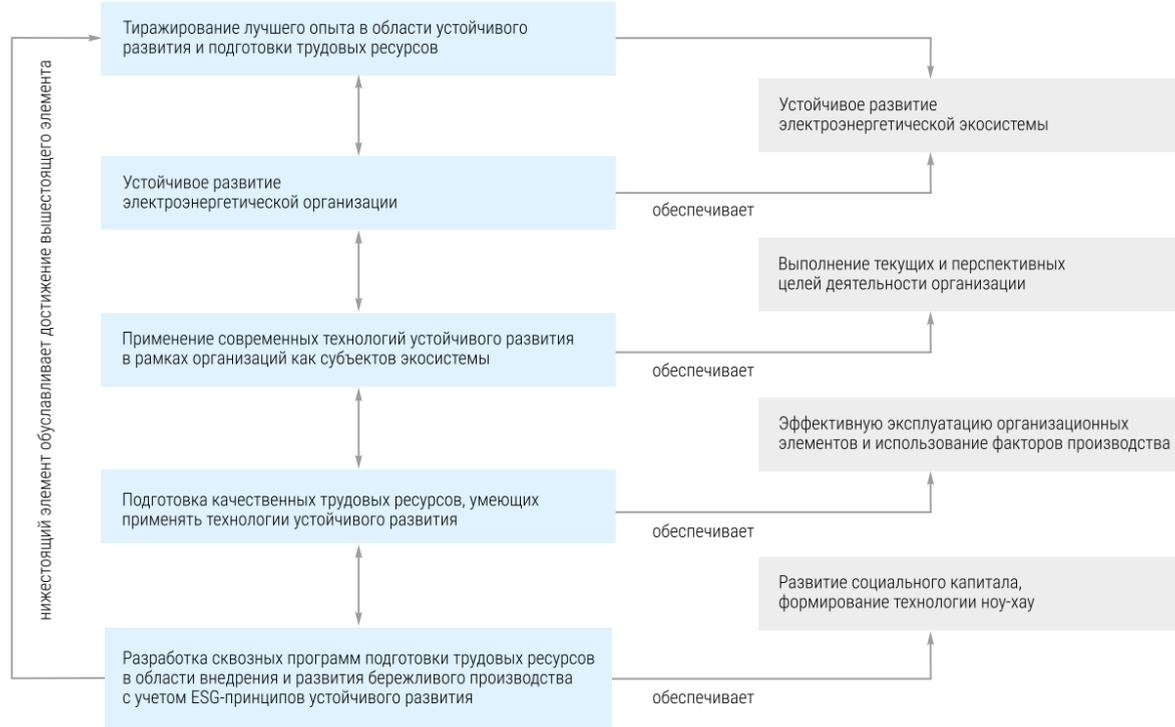


Рис. 4. Устойчивое развитие электроэнергетической экосистемы на основании разработки системы сквозной подготовки работников в области применения элементов бережливого производства

Источник:
составлено автором

Источником финансирования (софинансирования) инициатив в области разработки приоритетных технологий и проектов развития могут выступать государственные и региональные фонды, которыми ежегодно выделяется существенное количество грантов. Они могут быть привлечены в целях решения приоритетных проблем и достижения устойчивого развития электроэнергетической экосистемы региона.

Третья технология

Третья технология осуществляет формирование культуры технологического предпринимательства и созидательной деятельности. Научно-технологический суверенитет региона определяется способностью региона воспроизводить или привлекать талантливых специалистов и уметь встраивать таких людей в «тело» отраслевых корпораций.

Существенное значение для эффективной реализации проектов развития имеет воспитание трудовых ресурсов, которые будут способны заниматься созидательной деятельностью, и доведение их до желаемого результата. Формирование способно-

стей работников электроэнергетической отрасли к постановке и решению проблем и перспективных направлений развития, изобретательской активности в области разработки и использования передовых производственных технологий может быть осуществлено на основании использования технологии «Бережливое производство»² [13]. Этим обусловлена необходимость разработки и внедрения системы сквозной подготовки трудовых ресурсов в области технологий бережливого производства.

Применительно к электроэнергетическому комплексу разработка системы сквозной подготовки трудовых ресурсов (рис. 4) соответствует приоритетным направлениям региональной научно-технологической политики³:

- способствует воспитанию культуры энергоресурсоэффективности

² Бережливое производство – эффективная технология управления организацией, обеспечивающая ее устойчивое развитие посредством непрерывного улучшения организационных элементов по результатам их исследования, анализа, устранения потерь, выявления потенциала, разработки и реализации оптимизационных мероприятий с учетом требований минимизации производственных потерь и максимизации ценности процессов для их потребителей [3].

³ Государственная программа Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» (п. 2.2. положения).

и энергосбережения, а также укреплению российской социокультурной идентичности;

- создание условий для гармоничной и созидательной самореализации социально ответственного и патриотичного гражданина.

Систему сквозной подготовки трудовых ресурсов в области применения элементов бережливого производства для электроэнергетических организаций целесообразно разработать по 3 направлениям: внутрикорпоративное обучение, обучение субъектов электроэнергетической экосистемы, обучение будущего экономически активного населения (детей и подростков) для воспитания культуры применения элементов бережливого производства. При этом программы подготовки должны быть сформированы на основании идентичных приоритетам развития государства и субъектов отрасли ценностных целевых ориентиров.

В целом реализация вышеназванных комплементарных технологий концепции обуславливает возможность выхода на новые уровни устойчивого развития электроэнергетической экосистемы региона, и способствует постепенному достижению научно-технологического суверенитета по-

средством воссоздания необходимых технологий и фундаментальных практических знаний в рамках углубленной интеграции государства, образования, науки и производства, для всех участников сетевого взаимодействия.



Цифровое проектирование зданий в Microsoft HoloLens 2
Источник: sapr.ru

Использованные источники

1. Gartner Predicts Power Shortages Will Restrict 40% of AI Data Centers By 2027. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-11-12-gartner-predicts-power-shortages-will-restrict-40-percent-of-ai-data-centers-by-20270> (дата обращения: 08.12.2024).
2. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 г. № 1523-р (ред. от 28.02.2024 г.) «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г.».
3. Ахметшина А. Р., Абрамова А. В. Механизм устойчивого развития субъектов электроэнергетического комплекса РФ на основании применения интегрированной модели бережливого производства и концепции ESG-управления // *Экономические науки*. 2023. № 228. С. 16–22. DOI 10.14451/1.228.16.
4. Вишнякова О. Н. Структура энергетического кластера: организационно-управленческий аспект / О. Н. Вишнякова, А. В. Абрамова // *Энергетика Татарстана*. 2010. № 1(17). С. 64–71.
5. Дополнительные услуги // «Россети Московский регион». URL: <https://rossetimr.ru/client/services/?ysclid=m4b9vwrdah689655104> (дата обращения: 29.11.2024).
6. Дополнительные услуги // АО «Сетевая компания». URL: <https://gridcom-rt.ru/potrebityam/dop-uslugi/> (дата обращения: 01.12.2024).
7. Услуги для физических лиц // АО «Мосэнергосбыт». URL: <https://www.mosenergosbyt.ru/individuals/services/pricelist.php> (дата обращения: 05.12.2024).
8. Титова Н. Ю., Зиглина В. Е. Различия и сходства понятий «промышленные кластеры» и «промышленные экосистемы» // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика*. 2021. № 3. С. 7–16. DOI: 10.24143/2073-5537-2021-3-7-16.
9. Федеральный закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».
10. Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-р «Об утверждении концепции технологического развития на период до 2030 г.».
11. Рустам Минниханов обратился с посланием Государственному Совету Республики Татарстан // *Единый Портал органов государственной власти и местного самоуправления «Официальный Татарстан»*. URL: <https://tatarstan.ru/index.htm/news/2346541.htm?ysclid=m2iz2rl5f6490237007> (дата обращения: 12.10.2024).
12. Рис Э. Бизнес с нуля: Метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели. Издательство «Альпина Паблишер», 2014. – 286 с.
13. Ахметшина А. Р., Абрамова А. В. Концепция научного управления устойчивым развитием субъектов современной отечественной экономики // *Управленческие науки*. 2024. Т. 14. № 3. С. 6–20. DOI: 10.26794/2304-022X-2024-14-3-6-20. EDN: PZTKLK.

Потенциал использования индустриальных и коммунальных отходов в ТЭК России

Potential for the use of industrial and municipal waste in the fuel and energy sector of Russia

Ксения ВЕРШИНИНА

Доцент Исследовательской школы физики
высокоэнергетических процессов,
к. ф.-м. н., НИТПУ
E-mail: vershininaks@tpu.ru

Кристина ПАУШКИНА

Инженер-исследователь Исследовательской
школы физики высокоэнергетических
процессов, НИТПУ
E-mail: kkp1@tpu.ru

Павел СТРИЖАК

Профессор, д. ф.-м. н., профессор Научно-обра-
зовательного центра И.Н. Бутакова, заведующий
лабораторией тепломассопереноса, НИТПУ
E-mail: pavelspa@tpu.ru

Андрей ТУГОВ

Профессор, д. т. н., заведующий отделением
парогенераторов и топочных устройств,
Всероссийский дважды ордена Трудового
Красного Знамени теплотехнический
научно-исследовательский институт
E-mail: ANTugov@vti.ru

Ksenia VERSHININA

Associate Professor, Candidate of Physical
and Mathematical Sciences, Research School
of Physics of High-Energy Processes, National
Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: vershininaks@tpu.ru

Kristina PAUSHKINA

Research engineer of Research School
of Physics of High-Energy Processes,
National Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: kkp1@tpu.ru

Pavel STRIZHAK

Professor, Doctor of Physical and Mathematical Scienc-
es, Professor of I. N. Butakov Scientific and Educational
Center, Head of Heat and Mass Transfer Laboratory,
National Research Tomsk Polytechnic University
E-mail: pavelspa@tpu.ru

Andrey TUGOV

Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the
Department of Steam Generators and Furnace Devices,
All-Russia Thermal Engineering Institute
E-mail: ANTugov@vti.ru

Аннотация. В статье проанализирован потенциал использования индустриальных и коммунальных отходов в топливно-энергетическом секторе России. Выделены объемы и темпы образования, существующие методы обращения с отходами, а также перспективные технологии утилизации. Обоснована необходимость перехода к экономике замкнутого цикла и внедрению передовых технологий энергетической утилизации отходов. Особое внимание уделяется композиционным топливам на основе отходов, их составу, свойствам и перспективам их применения.

Ключевые слова: индустриальные отходы, коммунальные отходы, энергетическая утилизация отходов, композиционные топлива, топливно-энергетический сектор.

Abstract. The article explores the potential for utilizing industrial and municipal waste in Russia's fuel. The volumes of formation, existing methods of waste management, and promising recycling technologies were analyzed. The need for a transition to a closed-loop economy and the introduction of advanced technologies for energy recycling of waste was substantiated. Particular attention is paid to composite fuels based on waste, their composition, properties, and prospects for their use.

Keywords: industrial waste, municipal waste, waste-to-energy, composite fuels, fuel and energy sector.



**В 2023 г. около 3,3 млн
т ТКО или лишь 8%
от общего количества
было направлено на
утилизацию, в том
числе для повторного
использования**

Введение

Проблема утилизации индустриальных и коммунальных отходов является одной из наиболее актуальных в современном мире [1]. Ежегодный рост объемов производства и накопления отходов ведет к загрязнению почвы, воды и воздуха, снижению качества жизни людей, усугублению экономических проблем. По данным Международного энергетического агентства (IEA) [2], около 20% ежегодных мировых выбросов метана (71×10^6 т), связанных с деятельностью человека, приходится на процессы естественного разложения накопленных отходов. Выбросы метана, как газа с наибольшим парниковым потен-

циалом, наносят экологический и экономический ущерб, делая практически невозможным достижение целей ООН в области устойчивого развития [3]. С ростом урбанизации и индустриализации темпы формирования отходов достигли внушительных масштабов. Ежегодно в мире образуется около 20 млрд т отходов [4]. Ожидается, что к 2050 г. этот объем увеличится до 46 млрд т [4]. Из них на сегодняшний день 2 млрд т составляют твердые бытовые или коммунальные отходы, и по прогнозам, к 2050 г. этот объем увеличится до 3,4 млрд т [5]. Большую же часть составляют промышленные отходы, которые в ряде случаев являются побочными продуктами и не имеют дальнейшего применения по назначению [6]. Непереработанные отходы при открытом складировании могут выделять токсичные соединения, опасные для человека и окружающей среды. Можно утверждать, что огромные объемы накопленных отходов на сегодняшний день представляют одну из наиболее существенных угроз, с которыми сталкивается человечество.

Номенклатура индустриальных и коммунальных отходов в России

Промышленные отходы. По данным Росприроднадзора [7], в 2023 г. в России произведено 9,3 млрд т отходов, что

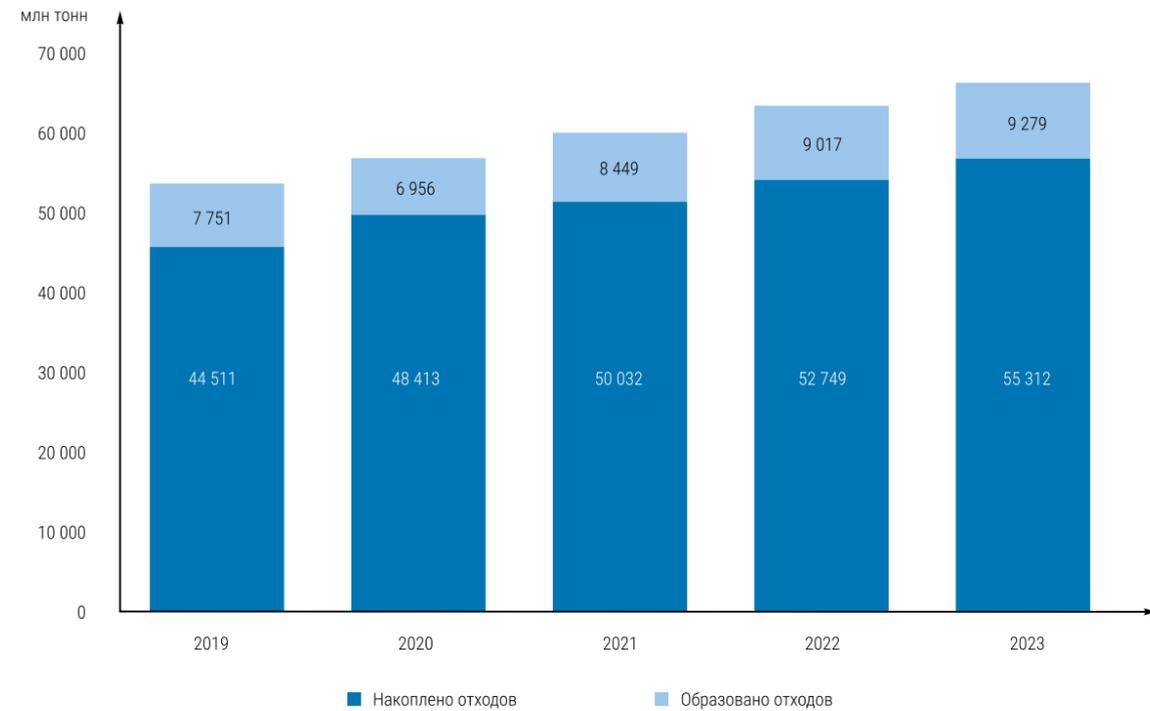


Рис. 1. Динамика изменения объема образования и накопления отходов производства и потребления в Российской Федерации [8]

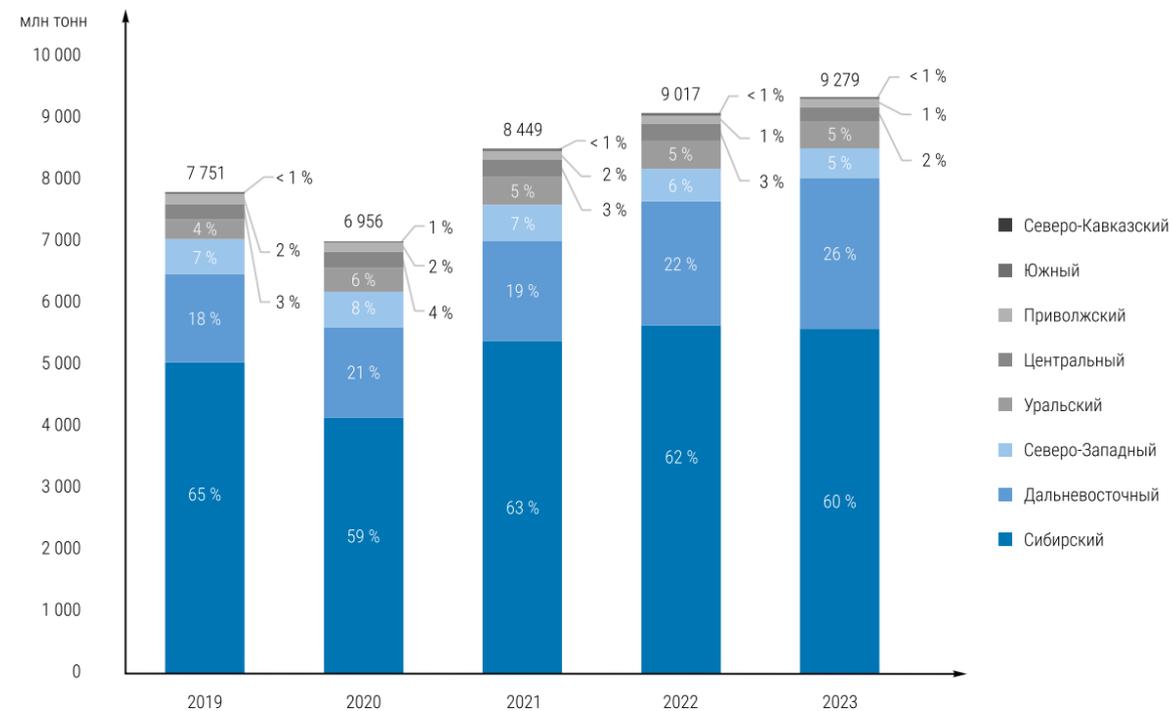


Рис. 2. Распределение объема образования отходов производства и потребления в разрезе федеральных округов Российской Федерации [8]

на 2,9% больше, чем в 2022 г., из которых отходы потребления (ТКО и ОСВ) составляют менее 1%. К настоящему времени на территории России уже накоплено более 55 млрд т отходов, и каждый год это количество прирастает примерно на 5% [8].

Около 97% всех отходов Российской Федерации составляют отходы от добычи твердых и жидких полезных ископаемых [7, 8]. Согласно территориальному распределению, основная часть отходов образу-

ется в Сибирском федеральном округе [8]. Исходную угольную породу промывают водой для удаления мелкодисперсных фракций (5–15% от исходного количества угля). Это снижает уровень загрязнения окружающей среды угольной пылью при транспортировке угля в открытых железнодорожных составах, а также снижает пожарную опасность твердого топлива при взаимодействии с окружающей средой. После промывки угля, жидкость, содержащая мелкодисперсные частицы, отстаивается



Рис. 3. Применяемые в Российской Федерации мероприятия по обращению с отходами производства и потребления [10]

ется в Сибирском федеральном округе [8]. Образование отходов на территории Кемеровской области составляет 44% от всего количества промышленных отходов в России [8]. Это обусловлено наибольшим вкладом отходов угледобычи и углеобогащения, а также золошлаковыми остатками, образующимися на угольных ТЭС.

С точки зрения использования в топливно-энергетическом секторе, наибольший интерес представляют отходы углеобогащения, которые являются побочным продуктом этого процесса. При подготовке добытого угля к транспортировке на дальние расстояния в направлении потребите-

ля выполняется его обогащение. Исходную угольную породу промывают водой для удаления мелкодисперсных фракций (5–15% от исходного количества угля). Это снижает уровень загрязнения окружающей среды угольной пылью при транспортировке угля в открытых железнодорожных составах, а также снижает пожарную опасность твердого топлива при взаимодействии с окружающей средой. После промывки угля, жидкость, содержащая мелкодисперсные частицы, отстаивается

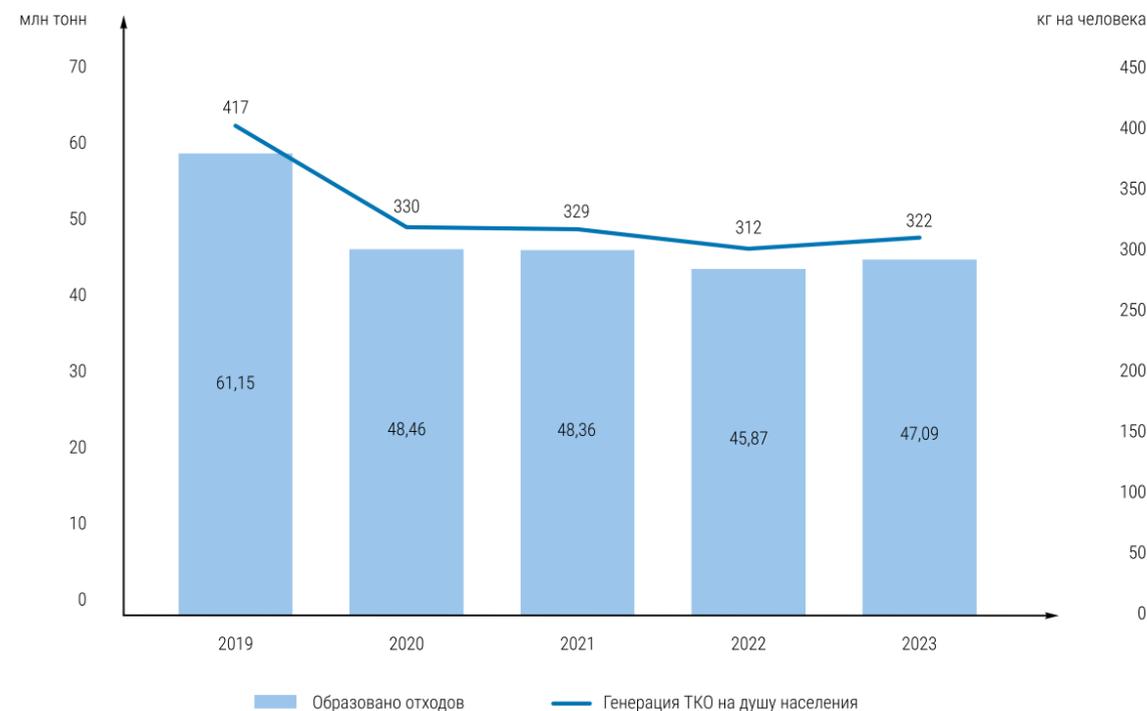
в резервуарах. Эти частицы размерами до 80 мкм оседают на дно резервуара. Верхний слой воды откачивается для повторного использования, а жидкий осадок пропускается через пресс-фильтры для удаления излишней жидкости. Влажный остаток представляет фильтр кек. Массовая концентрация воды в нем составляет около 40%. На углеобогащательных фабриках фильтр кек складывается на полигонах.

Ежегодно в мире образуется около 20 млрд т отходов. К 2050 г. этот объем увеличится до 46 млрд. На сегодня 2 млрд т составляют твердые отходы, к 2050 г. этот объем увеличится до 3,4 млрд т

годным увеличением примерно на 4 млн т [8]. Тем не менее их негативное влияние на окружающую среду велико. Большие площади загрязняются не только вследствие складирования фильтров кека, но и мелкодисперсной пылью под действием ветра [9].

В 2023 г. уровень утилизации отходов производства и потребления (использование отходов для производства, их возврат в производственный цикл) составил 3,95 млрд т (38%), остальная часть отходов отправлена на захоронение или размещена на открытых полигонах для временного хранения [8].

Рис. 4. Динамика изменения объема образования и накопления ТКО в Российской Федерации [8]



По итогам инвентаризации 2017 г. на территории Российской Федерации зарегистрировано около 15 тыс. санкционированных объектов размещения отходов, занимающих территорию общей площадью практически 4 млн га, и эта территория ежегодно продолжала увеличиваться на 300–400 тыс. га [11]. На конец 2023 г. общее количество объектов размещения отходов практически не изменилось, но определяющая их часть перешла в категорию несанкционированных свалок. По данным Росприроднадзора государственный реестр объектов размещения отходов содержит 4 043 объекта размещения отходов [12], а также 10 227 несанкционированных свалок [13].

Полигоны промышленных отходов отчуждают огромные площади земельных участков, в результате чего происходит нарушение земельного покрова, почвы и ландшафта [14]. Кроме того, отходы, например, угольной промышленности, не только пожароопасны, но и содержат кислотообразующие вещества, тяжелые металлы и другие опасные для окружающей среды элементы, которые под интенсивным физико-химическим воздействием природных факторов (воздуха, воды, солнечной энергии) становятся источниками комплексного загрязнения окружающей

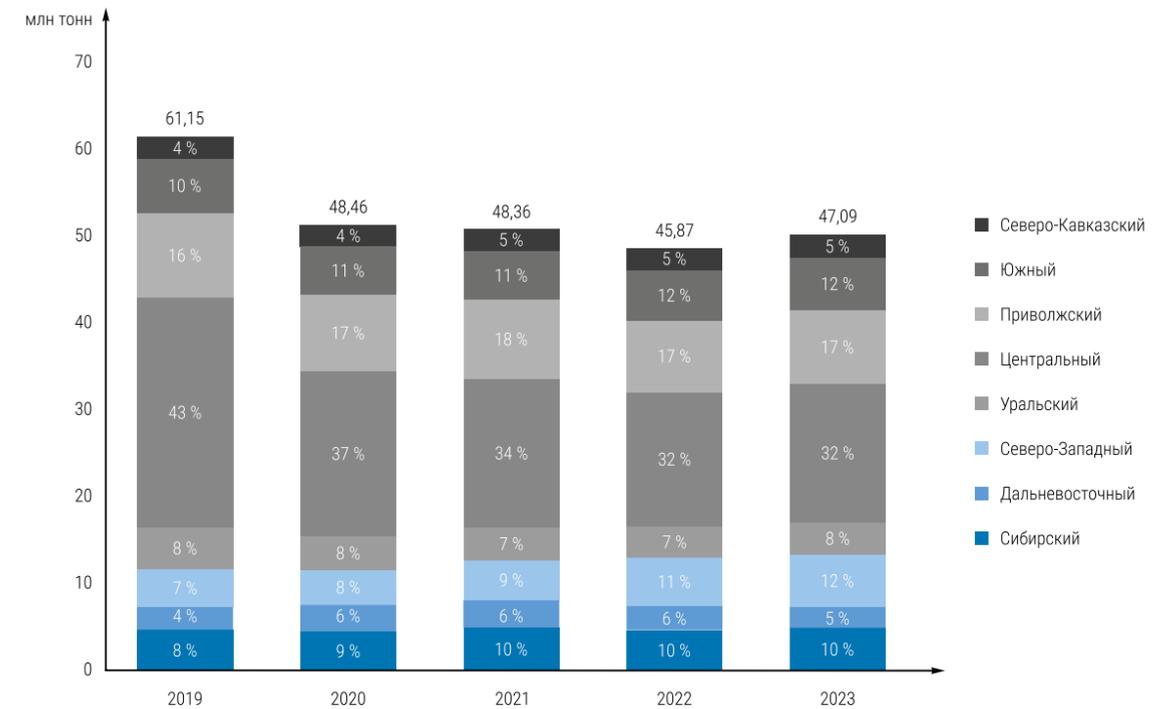


Рис. 5. Распределение объема образования ТКО в разрезе федеральных округов Российской Федерации [8]

среды [15]. Отходы угледобычи и углеобогащения в виде пыли ведут к загрязнению атмосферы и водоемов. Отходы, содержащие отработанные масла и нефтепродукты, являются токсичными. Наиболее опасными воздействиями от хранения нефтяных отходов на окружающую среду являются: усиление парникового эффекта, появление кислотных дождей, снижение качества воды, загрязнение грунтовых вод [16]. Один литр отработанного масла может загрязнить около 7 млн литров грунтовых вод [17]. Загрязнение водоемов нефтепродуктами ведет к уменьшению растворенного кислорода и является причиной смерти многих видов водных организмов. Загрязнение грунта углеводородами делает невозможным его дальнейшее использование для сельскохозяйственных целей [17].

Твердые коммунальные отходы. В 2023 г. на территории Российской Федерации объем производства твердых коммунальных отходов (ТКО) составил 47,09 млн т, что на 3% больше показателей 2022 г. [8]. Лидирующим по образованию ТКО традиционно стал Центральный федеральный округ по причине наибольшей численности населения – 32% от общероссийского объема образования ТКО [8].

В 2023 г. около 3,3 млн т ТКО (8% от общего количества) было направлено на утилизацию, в том числе для повторного использования [8]. Около 1,3 млн т ТКО (3%) передано на обезвреживание и уничтожение, в том числе путем сжигания. Основная доля отходов – 38,1 млн т (89%) – поступила на полигоны для захоронения.

Чрезвычайно низкие показатели утилизации ТКО объясняются слабым развитием системы обращения с отходами, и, несмотря на начатую в 2019 г. реформу, ситуация в этой сфере пока остается неблагоприятной [18]. В 2024 г. в России функционировали лишь 262 объек-

Около 97% всех отходов России составляют отходы от добычи полезных ископаемых. Основная часть отходов образуется в Сибирском ФО. При этом 44% всех отходов образуется в Кемеровской области

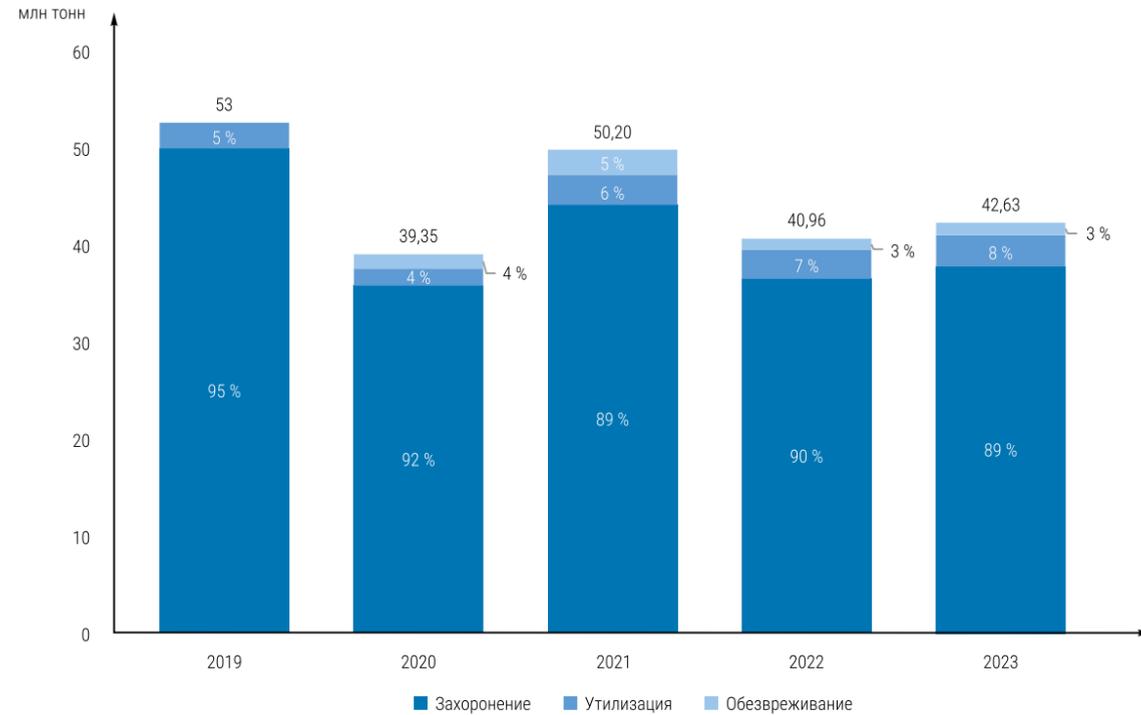


Рис. 6. Динамика реализации мероприятий по обращению с ТКО в Российской Федерации [8]

та по переработке ТКО [18]. На 2023 г. общее количество учтенных объектов захоронения ТКО составляло 865 [19]. Количество накопленных отходов на этих объектах составляет 354 млн т.

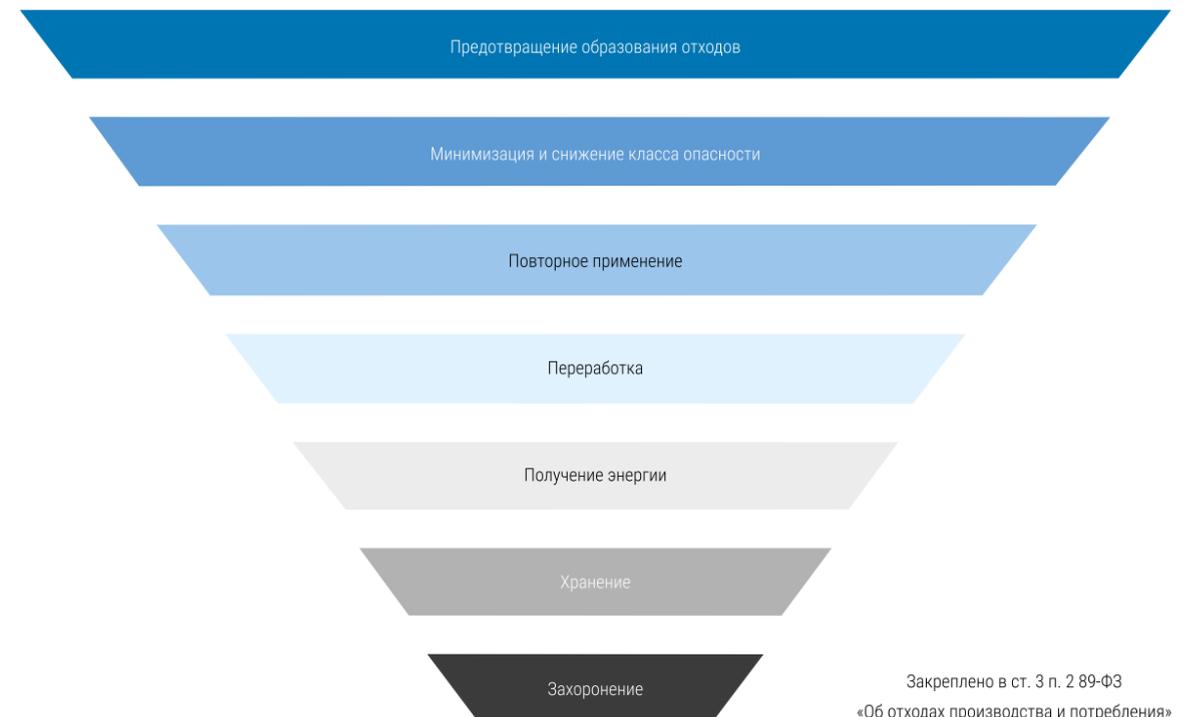
В результате проведенной инвентаризации свалок ТКО [20] и анализа полученной информации установлено, что в России подавляющее большинство полигонов – свалки, которые не отвечают действующим санитарным нормам. Практически все существующие свалки в России организованы стихийно, не имеют проектной и конструкторской документации (за исключением новых полигонов, по-

строенных после 2000 г.). Территории свалок не обвалованы, санитарно-защитная зона не организована, технология складирования не соблюдается (отсутствует или недостаточно ведется пересыпка инертным материалом, производится недостаточное уплотнение отходов), не подготовлено водонепроницаемое основание, отсутствуют противофильтрационные экраны, не ведется сбор и очистка фильтрата, не предусмотрен отвод дождевых вод, не организован сбор свалочного газа, регулярно происходят самовозгорания отходов [20]. Подавляющее большинство свалок не имеют систем мониторинга, не ведется контроль за состоянием подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха, почвы. Большинство свалок переполнено и подлежит закрытию. Они представляют большую экологическую опасность, и в структуре *Waste Management* рассматриваются как уже накопленный за предыдущие годы экологический ущерб. Специализированные полигоны, санкционированные и незаконные свалки ТКО занимают огромные территории общей площадью более 50 тыс. га [20]. Полигонное хранение переработанных отходов характеризуется следующими негативными факторами [21]:

- распространение опасных для здоровья людей веществ и микрофлоры на большой территории, в том числе через попадание их в атмосферный воздух, грунтовые воды;
- образование диоксинов при возгорании;
- низкие экономические показатели с учетом экологических рисков, стоимости земли и содержания полигона.

Низкий уровень развития системы обращения с отходами в России не соответствует основам государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 г. [22]. Поэтому сейчас актуальной задачей является внедрение мероприятий, которые позволят перейти от модели складирования отходов к модели их максимальной переработки, повторного использования и утилизации, в том числе термическим способом. Наряду с этим одним из приоритетов является минимизация вредного воздействия уже накопленных отходов на окружающую среду. Направления государственной политики в области обращения с отходами являются приоритетными в последовательности, показанной на рис. 7.

Рис. 7. Иерархия методов обращения с отходами [10]



Закреплено в ст. 3 п. 2 89-ФЗ
«Об отходах производства и потребления»

Количество отходов углеобогащения относительно невелико – около 183 млн т, что составляет менее 0,5% всех промышленных отходов. Однако ежегодно оно растет примерно на 4 млн т

Технологии вовлечения отходов в ТЭК

Согласно мировому опыту, отказ от складирования и захоронения отходов требует реализации в среднесрочной перспективе в 20–30 лет промежуточного этапа – энергетической утилизации отходов с выработкой в основном тепловой и иногда электрической энергии [23]. Такие мероприятия позволят снизить темпы ежегодного прироста объемов промышленных и коммунальных отходов, а в некоторых случаях частично или полностью утилизировать уже накопленные ранее отходы, которые непригодны для повторного применения. Таким образом, актуальной задачей является разработка мероприятий для использования промышленных отходов и ТКО с целью снижения загрузки полигонов и улучшения экологической обстановки в окрестностях этих объектов. Как правило, такие задачи решаются путем прямого сжигания отходов с выработкой тепловой энергии [24]. Основными компонентами ТКО в России являются [25, 26]:

- бумага и картон в количестве 15–38% от общего объема отходов;

- органические отходы (включая пищевые) – 24–35%;
- полимеры – 4–13%;
- стекло – 5–13%;
- металл – 3–5%;
- текстиль – 3–5%;
- древесина – 1–10%;
- резина – 1–3%.

То есть содержание энергетических фракций (картон, бумага, дерево, текстиль, полимерные отходы) составляет более 80% от общего объема твердых коммунальных отходов.

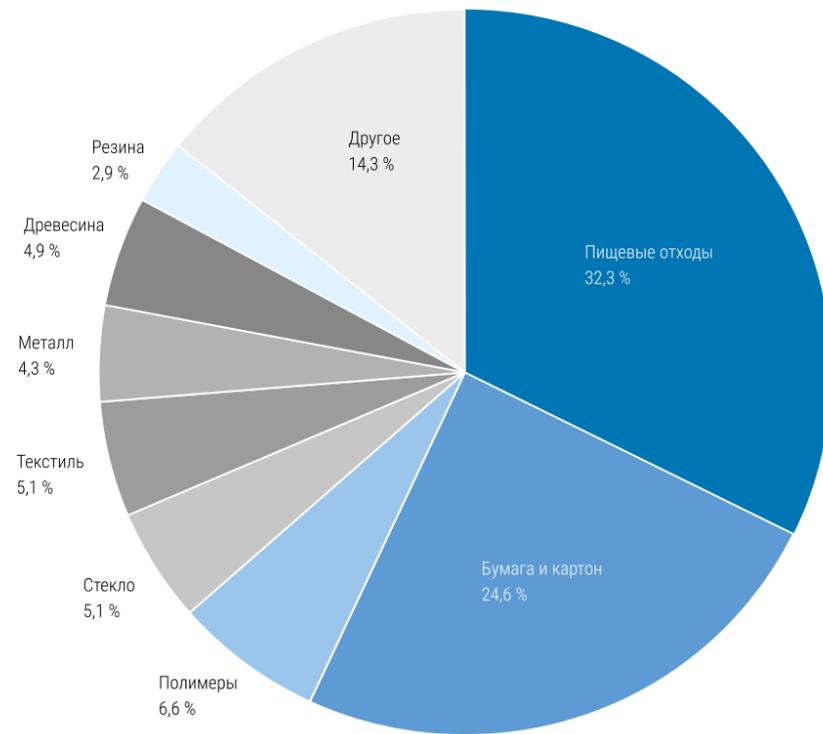


Рис. 8. Усредненный морфологический состав ТКО в России [25, 26]

Мировой опыт производства энергии из отходов на примере развитых стран Европы и Азии показывает успешное внедрение объектов по энергоутилизации отходов в инфраструктуру городов и экономику страны [24]. В рамках проектов *Waste-to-Energy* (отходы в энергию), во всем мире количество введенных в эксплуатацию заводов энергоутилизации отходов для генерации тепла и электричества уже превысило 2500 объектов [24]. Некоторые европейские страны за счет применения технологии получения энергии из отходов, не пригодных к вторичному обороту, уже практически полностью отказались от полигонного захоронения [27].

В России, также как и в Китае, энергоутилизация рассматривается как один из основных способов управления отходами, не пригодными к вторичной переработке [28]. Утвержденная распоряжением Правительства РФ от 25.01.2018 г. № 84-р Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г. рассматривает сжигание горючих не утилизируемых отходов, а также энергетическое использование

биомассы, в качестве перспективных методов утилизации. В России энергопотенциал только ТКО оценивается на уровне 1,5 ГВт. В Китае установленная электрическая мощность предприятий для энергетической утилизации отходов уже в 2023 г. превысила 13 ГВт [27].

Один из примеров реализации упомянутого постановления Правительства РФ – строительство в рамках проекта госкорпорации «Ростех» «Энергия из отходов» 5 заводов для термической переработки ТКО с отпуском энергии: 4 – в Подмоскovie и 1 – в Татарстане [29]. Заводы нацелены на безопасную энер-

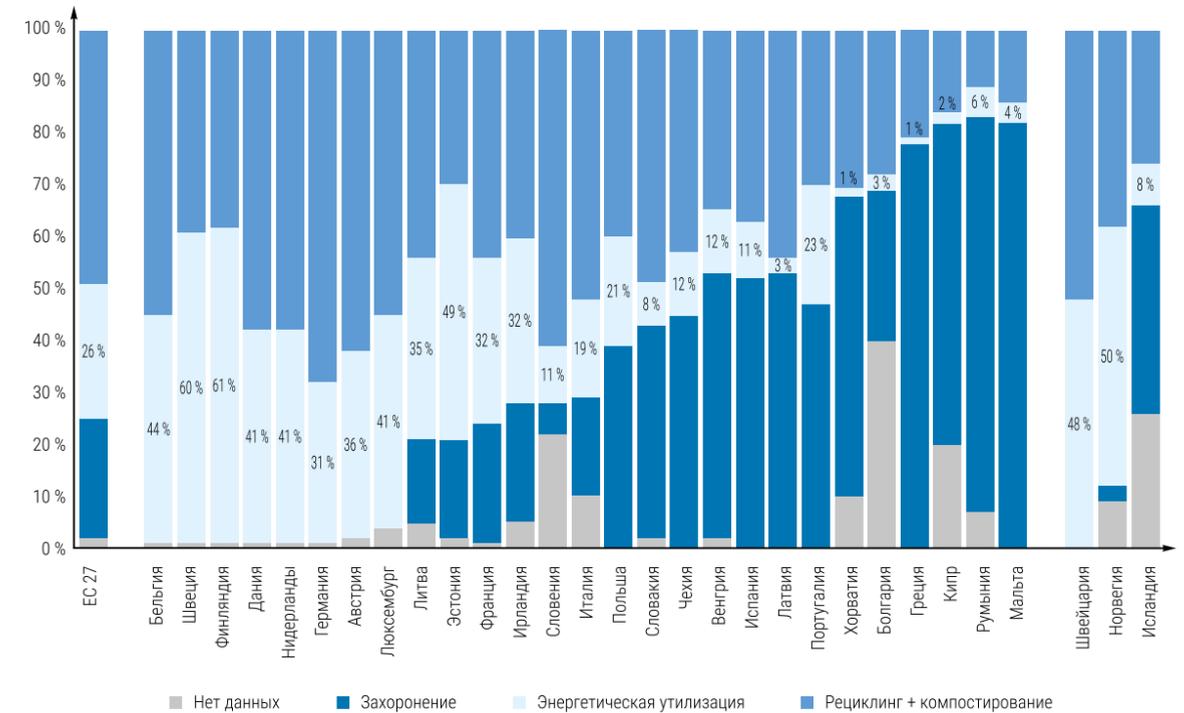


Рис. 9. Управление ТКО в странах Европы [27]

гетическую утилизацию ТКО, прошедших сортировку, и отбор полезных фракций, с последующим применением технологии высокотемпературного сжигания на подвижной колосниковой решетке (максимальная температура в топке 1260 °С) для производства электроэнергии. Целевые показатели 5 заводов – ежегодная утилизация 3350 тыс. т отходов с суммарной выработкой 2380 млн кВт·ч электроэнергии [30]. Пуск первого завода в Московской области (в Воскресенском районе) в промышленную эксплуатацию намечен на этот год (в феврале успешно завершилось 72-часовое комплексное опробование завода), 3 других планируются в 2026–2027 гг.

Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г.» определены целевые показатели и задачи, выполнение которых характеризует достижение национальной цели «Экологическое благополучие». Одним из них является формирование экономики замкнутого цикла и вовлечение в хозяйственный оборот не менее 25% отходов производства и потребления

в качестве вторичных ресурсов и сырья. Большое значение в рамках научно-технологического развития будет иметь разработка энергосберегающих технологий глубокой переработки минерального и техногенного сырья всех видов, технологий экологически безопасной утилизации отходов с получением ценных продуктов, экологически безопасного обезвреживания токсикантов и сжигания горючих не утилизируемых отходов, энергетического использования биомассы, переработки твердых топлив с комплексным использованием минеральной части.

В 2023 г. уровень утилизации отходов в России составил 3,95 млрд т или 38%, остальная часть отходов отправлена на захоронение или размещена на открытых полигонах для временного хранения

Концепция использования отходов в составе композиционных топлив

Зачастую отходы имеют ряд существенных недостатков, которые не позволяют использовать их как самостоятельное топливо. Основными ограничителями являются [31, 32]:

- высокая зольность и влажность;
- опасные примеси и соединения (например, соединения серы и азота);
- низкая теплота сгорания и малая реакционная способность, негативно влияющие на стабильность, инерционность зажигания и полноту выгорания топлива.

Перечисленные особенности характерны для многих видов отходов [31, 32], поэтому способы предварительной обработки для них оправданы – например, применение сушки, торрефикации и пиролиза низкосортного сырья для получения вторичных топлив с улучшенными характеристиками [33, 34].

Помимо предварительной обработки отходов перед сжиганием, большое исследовательское внимание в последние годы получает способ комбинирования разных компонентов для получения комплекса полезных эффектов, выражающихся, например, в росте теплоты сгорания или снижении выбросов при горении [32]. Сочетание разных отходов может быть экономически и технологически перспективно не только на этапе сжигания, но и в процессе транспортировки и хранения топлива [35]. Следует отметить, что смешивание разных видов топлива применяется давно, и наиболее традиционным вариантом можно считать совместное сжигание угля и древе-

Чрезвычайно низкие показатели утилизации ТКО объясняются слабым развитием системы обращения с отходами, и, несмотря на реформу 2019 г., ситуация в этой сфере пока остается неблагоприятной



Мусоросжигающая ТЭС Tyseley в Бирмингеме, Англия
Источник: wikipedia.org

сины (опилок, щепы), реализуемое на протяжении многих лет преимущественно в частных домохозяйствах. Масштабирование этого подхода выполняется во многих странах (например, Китае, Индонезии, ЕС [36]) на более мощных промышленных котлах. Использование биомассы в качестве дополнительного компонента топлива основными целями имеет экономию на закупке угля и диверсификацию топливной базы с параллельной полезной утилизацией растительных отходов [31]. Кроме этого, в зависимости от качества угольного топлива и характеристик биомассы, может быть улучшена реакционная способность топлива, и снижены выбросы оксидов серы и азота. Совместное сжигание угля и древесных отходов в котлах с колосниковыми решетками может быть реализовано без кардинальных изменений технологического процесса и больших капитальных вложений, а возврат к обычному сжиганию угля в случае перебоев поставки биомассы – не затруднен [37]. Перечисленные особенности играют важную роль для объектов, располагающихся в удаленных от газовой магистрали регионах с продолжительным отопительным сезоном. Несмотря на это, существует необходимость корректировки условий работы оборудования и учет важных факторов, которые могут существенно осложнить эксплуатацию котлов разных типов, обеспечивающих сжигание композиционных топлив.

Для топлив с примесями биомассы и отходов актуален вопрос контроля кинетических параметров горения при изменениях нагрузки [36]. Большое количество известных результатов лабораторных экспериментов, пилотных и полупромышленных испытаний (например, [38, 39]) показывают, что интегральные характеристики процессов зажигания и горения композиционных топлив неаддитивны относительно свойств отдельных компонентов. Этот фактор в условиях достаточно нестабильных свойств низкосортного сырья имеет важное значение для промышленных объектов и, безусловно, вызовет необходимость тщательного обоснования выбора оборудования, планирования и проектирования систем автоматизированного управления процессами для эффективного динамического отклика на внешние и внутренние возмущения в системе, особенно для котлов без буферного элемента в виде барабана.

Другая проблема – шлакование [40]. Биомасса является шлакоустойчивым топливом, так как имеет достаточно низкие температуры плавления зольного остатка, что вызывает налипание расплавленных минеральных соединений на стенки котла [41]. Золошлаковые отложения внутри топки котла представляют серьезную проблему. Они интенсифицируют разрушение металла, что грозит возникновением аварийных ситуаций. Кроме этого, шлак характеризуется относительно низкой теплопроводностью, поэтому интенсивность передачи энергии теплоносителю через загрязненные поверхности существенно снижается [42]. Это приводит к росту температуры уходящих дымовых газов сверх проектных значений, снижению эффективности котла. Возможны нарушения аэродинамического режима со стороны дымовых газов вследствие уменьшения просвета в пучках труб теплообменников. В этой связи основными инструментами регулирования скорости шлакования являются выбор и поддержание стабильной температуры горения, при которых плавление твердого зольного остатка не происходит. Это достаточно сложная задача, требующая не только знаний химического состава компонентов топливной смеси, но и дополнительных оценок шлакоустойчивости готового топлива и учета особенностей горения в конкретных установках (в частности, температурных профилей) [40].

Больше всего для сжигания смесей разного состава подходят котлы с кипящим слоем [43]. Они зарекомендовали себя как установки с низкой чувствительностью к свойствам топлива, его гранулометрическому составу и теплоте сгорания [43, 44]. В мощных котлах с кипящим слоем можно сжигать даже высоковлажные отходы [45]. При этом температура слоя должна быть строго ограничена – не выше 900 °С. Это во многом обусловлено проблемой шлакования. Рост температуры спровоцирует интенсивное плавление золы с последующим налипанием на решетки и стенки, что полностью заблокирует работу котла и вызовет необходимость останова тех-



Мусоросжигающая электростанция Sharjah
Источник: go-green.ae

нологического процесса, являющимся крайне неблагоприятной процедурой для котлов высокой мощности. Поэтому механизмы достоверной оценки динамики шлакования внутритопочных поверхностей при сжигании композиционных топлив на основе отходов и биомассы являются предметом перспективных исследований, необходимых для обеспечения безопасной и длительной работы котлов.

Одним из способов сделать обращение с низкосортным топливом более удобным является его пеллетирование. Такой подход позволяет получать топливо с заданными значениями влажности и теплоты сгорания, размерами частиц и непосредственно самих пеллет [46]. Пеллетирование

в определенной степени можно считать путем к стандартизации энергетического использования твердых отходов, а также расширению возможностей для более эффективной транспортировки, хранения, подачи топлива в котел и настройки систем автоматизации соответствующих процессов на небольших котельных. В частных домохозяйствах топливные брикеты достаточно распространены и реализуется их коммерческий сбыт [46]. В этой связи можно отметить, что брикетированное топливо потенциально более приемлемо для частных отопительных целей, поскольку обеспечивает удобство хранения и достаточно медленное горение [47]. Для промышлен-



Мусорный полигон «Царево»
Источник: gjs-nws.ru

ных объектов с организованной системой очистки дымовых газов и удаления шлака и золы интерес представляют смесевые пеллеты, подготовленные не только из древесных отходов, но и из других компонентов – угольного шлама, торфа, сельскохозяйственных остатков (масличные жмыхи, отходы пивоварения и др.). Себестоимость таких пеллет невысока и в большей степени определяется затратами на транспортировку сырья и его предварительную обработку. Полученный после грануляции продукт достаточно удобно транспортировать (поскольку у пеллет насыпная плотность возрастает многократно, а влажность понижена в сравнении с исходным сырьем) и хранить в топливных цехах для

последующего сжигания. Вероятно, что при таком сценарии процесс подготовки сырья и производства пеллет будет реализовываться на отдельных предприятиях, не входящих в энергогенерирующий комплекс. При возникающих преимуществах сохраняется проблема шлакования, поэтому низкосортные пеллеты можно сжигать масштабно только в определенном температурном диапазоне. При этом может обостриться проблема неполного сгорания пеллет. Исследования (например, [48]) показывают, что при недостаточно высокой температуре горения (обычно такой считается температура до 1000 °С) вследствие повышенной плотности пеллет и спекания золы не обеспечивается полное выгорание органической части топлива. Как следствие, возрастает концентрация СО в дымовых газах, снижается эффективность генерации энергии.

Для производства пеллет особенно важны некоторые физические свойства компонентов [46], например, гидрофобность, пористость, гигроскопичность. Пеллеты должны быть достаточно прочными, устойчивыми к повышенной влажности и перепадам температуры, а также способными сохранять упругие свойства при хранении. На сегодняшний день широкий класс исследований сосредоточен на определении параметров грануляции, возможностях использования функциональных добавок, улучшающих свойства, а также подбор соотношения основных компонентов для получения целевых механических характеристик. Пока опубликовано достаточно мало результатов исследований, которые бы объединяли вопросы производства пеллет из смесевых отходов и показателей их зажигания и горения, включая анализ твердых и газообразных продуктов реакции. Анализ разработок в области пеллетированных многокомпонентных топлив из отходов показывает, что основной областью применения являются небольшие камеры сгорания и котлы с возможностью ворошения слоя топлива и беспрепятственного удаления золы. С точки зрения технико-экономической целесообразности наиболее оправдано производство пеллет из агропромышленных отходов в регионах с развитым животноводством и сельским хозяйством (Белгородская область, Краснодарский край, Ростовская область и др.) [49]. Большая компонентная база предоставляет возможности для оптимизации

рецептур, методов производства, хранения, транспортировки и сжигания агропеллет.

Результаты лабораторных экспериментов и пилотных испытаний [50] показали, что при совместном сжигании некоторых видов отходов и альтернативных топливных смесей удельные выбросы оксидов серы и азота могут быть значительно меньше, чем при горении основных энергетических топлив – угля или мазута. Это снижение основано на особенностях химического состава компонентов (например, повышенного содержания щелочных и щелочноземельных металлов, высокой влажности), что определяет протекание реакций десульфурации, а также снижение температуры горения, влияющее на химию и кинетику окисления. Несмотря на это, значимой проблемой остается слабая изученность детального состава продуктов сгорания топливных смесей [51]. Для частных домохозяйств и небольших котельных это имеет важное значение при отсутствии современных систем контроля состава и очистки дымовых газов. При нагреве смеси органических компонентов, помимо SO_x и NO, могут выделяться различные соединения (особенно в низкотемпературном диапазоне) – HCl, HF, полициклические ароматические углеводороды, фталаты, фенолы, алкилфенолы, тяжелые металлы. Такие компоненты могут образовываться как при горении пластика, твердых коммунальных отходов, так и растительных

Нефтешлам
Источник: playbookpro.ru



Актуальной задачей является внедрение мероприятий, которые позволят перейти от модели складирования отходов к модели их максимальной переработки, повторного использования и утилизации

компонентов и угля. Воздействие этих соединений на здоровье человека считается опасным, некоторые последствия еще не изучены. Идентификация в дымовых газах невозможна с применением газоанализаторов. Для исследования необходимы достаточно сложные лабораторные испытания с применением газовой хроматографии и масс-спектрометрии с последующим анализом на соответствие значениям предельно допустимых концентраций [52].

Помимо древесных отходов и различной биомассы, существуют доминирующие в структуре промышленных отходов России компоненты – нефтешламы и отходы углепереработки [8]. Их накопленные объемы и темпы производства в сравнении с бытовыми и растительными отходами многократно выше (около 97% отходов в РФ приходится на угле- и нефтедобывающие предприятия). Использование этих отходов как топлива для сжигания представляется одним из путей, обеспечивающих повышенные скорости утилизации. Существуют и другие методы утилизации шламов [53]: биологическая обработка, механическое разделение и экстракция растворителями, выделение очищенных фракций различными физико-химическими методами. Соответствующие технологии активно исследуются, но с точки зрения потенциальных объемов переработки, сложности и стоимости процессов, не являются высокопроизводительными [53]. Прямое сжигание смесевых топлив на основе угольных и нефтяных шламов может представлять максимальный интерес для объектов энергетики, расположенных в регионах добычи соответствующих ресурсов, а также в непосредственной близости к месторождениям угля и нефти и к предприятиям их переработки.

Отказ от захоронения требует реализации в перспективе 20–30 лет промежуточного этапа – энергетической утилизации отходов с выработкой в основном тепловой и электрической энергии

Сжигание нефтешламов является экономичной технологией их утилизации с получением тепловой энергии, подходящей даже для рекуперации тяжелых нефтесодержащих отложений [54]. Однако имеется ряд эксплуатационных проблем, ограничивающих сжигание нефтешламов [55, 56]. Многие исследования по сжиганию и газификации нефтешламов указывают, что в исходном состоянии такое сырье можно использовать преимущественно в крупных установках слоевого сжигания или вращающихся печах [56, 57]. Сжигание в топках факельного типа не всегда возможно по причине высокой вязкости и минерализации, обводненности и низкой реакционной способности нефтяных отходов [55, 56]. Несмотря на это, из-за широкого распространения установок факельного и вихревого сжиганий топлива, целесообразна адаптация нефтешламов для этого оборудования. Обозначенная задача может быть решена путем модификации состава топлива. Подготовка многокомпонентных топлив на основе нефтешламов является достаточно экономичным и синергетически перспективным подходом. Твердые растительные компоненты нерационально использовать в сочетании с нефтешламами, поскольку они усугубят проблему высокой вязкости топлива [58]. Более перспективны жидкие высокорекреационные добавки: дизельное топливо, спирты и эфиры. Эти компоненты не являются отходами и увеличивают стоимость топлива, но при ограниченной доле (5–10%) могут обеспечить значительное снижение вязкости, рост теплоты сгорания и реакционной способности топливной смеси. Полученные составы можно распылять, обеспечивая высокую полноту выгорания [58].

Среди широкой номенклатуры угольных отходов наиболее пригодными для энергетического применения являются отходы флотации углеобогатительных фабрик – угольные шламы, представляющие смесь воды, мелких частиц угля и негорючих примесей [59]. Такое сырье является в своем исходном состоянии основой подготовки топливной суспензии, которую можно распылять в камере сгорания (типичный диапазон содержания влаги в суспензии 35–50%) [59]. Для угольных шламов характерны нестабильное зажигание и пониженная полнота выгорания в так называемых «низкотемпературных режимах» [60]. Поэтому их целесообразно комбинировать с жидкими высокорекреационными компонентами (например, отработанными маслами, дизельным топливом, эфирами, смолами) для повышения скорости зажигания, температуры горения и теплоты сгорания смеси, повышения качества выгорания компонентов. Суспензии, являясь гетерогенным топливом, могут расслаиваться на отдельные фракции при длительном хранении. Это является одной из эксплуатационных проблем, которая решается достаточно простыми средствами [60] – введением стабилизаторов и использованием резервуаров, оснащенных смешивающими устройствами. В зависимости от используемой рецептуры смеси, проблема стабильности может не проявляться на протяжении нескольких дней хранения. В частности, не-

Мусоросжигающий завод в Воскресенске
Источник: dzen.ru



Угольный отвал АО «УК Кузбассразрезголь»
Источник: kuzbasseco.ru

которые угольные шламы высокостабильны за счет наличия в них поверхностно-активных веществ, применяемых при флотации угля. Помимо этого, использование масел также стабилизирует смесь. Возникает другая сложность – значительный рост вязкости при добавлении масел [60]. Таким образом, для использования многокомпонентной топливной суспензии необходим поиск оптимума между ее вязкостными характеристиками, седиментационной стабильностью и энергетическими свойствами [61].

Стабильное по углу раскрытия факела, размерам и скоростям движения элементов спрея распыление смесей на основе угольных или нефтяных шламов является важнейшим этапом для обеспечения повышенных показателей горения [62]. Этот этап считается одним из наиболее уязвимых для всего процесса, поскольку распыление непроектных жидких и суспензионных топлив требует индивидуальной настройки параметров работы форсунок, их размещения, способов подачи вторичного воздуха [62]. Кроме этого, сама конструкция форсунок должна быть максимально надежной для предотвращения эрозии каналов и обеспечения продолжительной работы [63]. Стандартные решения пока отсутствуют, и для каждого объекта необходимы опытно-промышленные испытания, лабораторные исследования и расчеты геометрии форсунок. Многие

исследования (например, [64]) подтверждают высокую степень исследовательской сложности этой области и указывают на многофакторность процесса: давление впрыска, температура, свойства топлива, геометрия и угол расположения форсунки, турбулентные явления в жидкой и газовой фазах влияют на целый ряд показателей – дисперсность распыления, распределение размеров капель в ядре и на периферии потока, скорость капель, характеристики вторичного дробления капель и др. Поиск оптимальных настроек впрыска топливной смеси очень важен, поскольку качественное распыление положительно влияет на смешивание капель топлива с воздухом, способствует вторичным эффектам (например, микровзрывному дроблению капель), увеличивает полноту выгорания топлива, повышая эффективность работы энергетической установки.

Топливные смеси на основе угольного шлама или нефтешлама и других промышленных отходов, безусловно, не предназначены для использования в частных домохозяйствах. Для их приготовления и сжигания нужна инфраструктура с размещением на территории энергопредприятия дополнительного оборудования [65]: резервуаров для хранения компонентов, гомогенизаторов, отапливаемых складских помещений, насосного оборудования, систем фильтрации топлива и установок для очистки дымовых газов. Несмотря на необходимые инвестиции и большой объем результатов лабораторных и опытно-промышленных испытаний, технологии прямого сжигания низкосортных смесевых топлив являются оправданными не только для решения экологических проблем утилизации отходов, но и с точки зрения положительного потенциала рентабельности – многие технико-экономические исследования (например, [37, 66]) этот аспект подтверждают.

Стратегия совместного использования промышленных и коммунальных отходов путем сжигания с выработкой энергии

В [67, 68] представлена стратегия совместной утилизации соседними регионами промышленных и коммунальных отходов путем сжигания в составе ком-

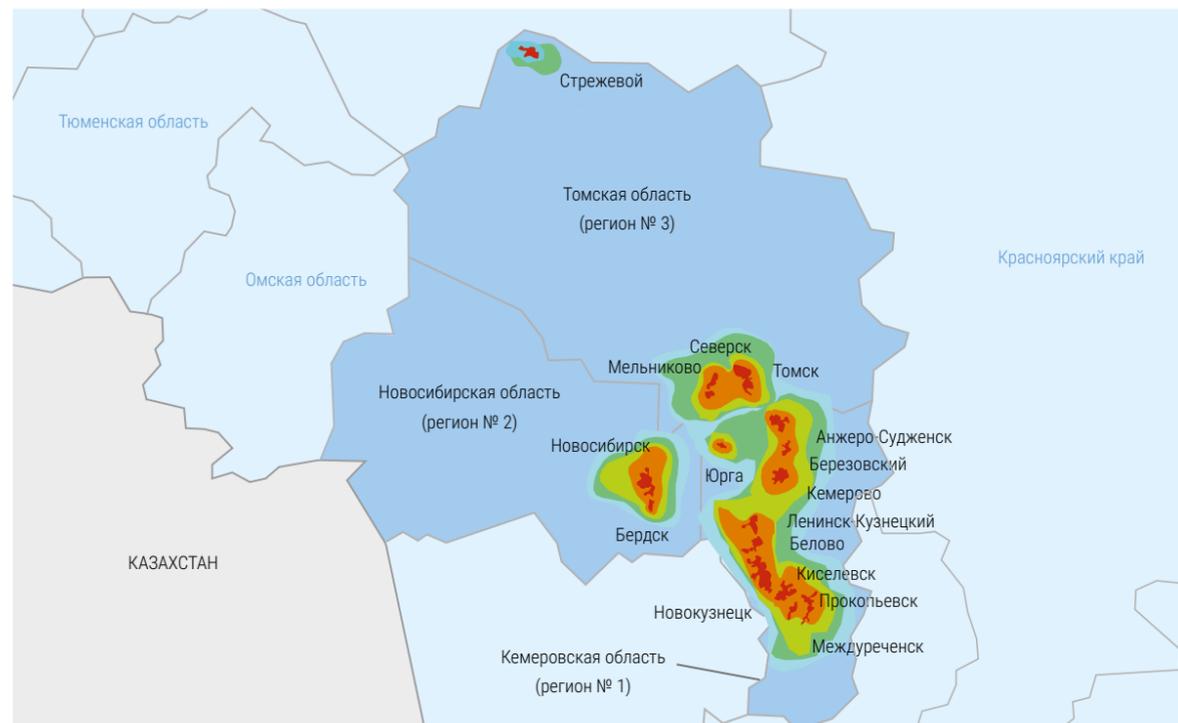
Характеристика	Кемеровская обл. (регион № 1)	Новосибирская обл. (регион № 2)	Томская обл. (регион № 3)	Суммарное значение
Накоплено ТКО, тонн	$54 \cdot 10^6$	$70 \cdot 10^6$	$21 \cdot 10^6$	$145 \cdot 10^6$
Ежегодный объем производства ТКО, тонн/год	$0,9 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$
Накоплено фильтров кека, тонн	$368,6 \cdot 10^6$	$5,8 \cdot 10^6$	–	$374,4 \cdot 10^6$
Ежегодный объем производства фильтров кека, тонн/год	$8,1 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^6$	–	$8,5 \cdot 10^6$
Накоплено жидких горючих отходов, тонн	–	$97,3 \cdot 10^3$	$2219,4 \cdot 10^3$	$2316,7 \cdot 10^3$
Ежегодный объем производства жидких горючих отходов, тонн/год	$0,5 \cdot 10^3$	$0,7 \cdot 10^3$	$11,5 \cdot 10^3$	$12,7 \cdot 10^3$

Таблица 1. Статистика накопленных и ежегодно производимых отходов в 3 рассмотренных регионах [67, 68]

позиционных жидких топлив на местных тепловых электрических станциях. Реализация на практике такой стратегии, с одной стороны, снизит негативное воздействие отходов на окружающую среду, с другой стороны, уменьшит потребление угольного топлива для производства тепла и электричества. Основные положения стратегии разработаны на примере 3 соседних регионов, расположенных на территории Сибирского Федерального округа: Кемеровская (регион № 1), Новосибирская (регион № 2), Томская (регион № 3) области. Эти регионы являются типичным примером модели взаимодействия сырьевого и промышленного секторов экономики. Как пра-

вило, для большинства стран с развитым сырьевым сектором экономики (в первую очередь из-за добычи ископаемого топлива) характерна тенденция, когда регионы, в которых ведется добыча ископаемого топлива, окружают другие регионы с высоким уровнем промышленного и социального развития. Такое соседство создает благоприятные условия, с одной стороны, для увеличения объемов добычи ископаемого топлива (в данном примере регион № 1 – добыча твердых углеводородов, регион № 3 – добыча жидких углеводородов), с другой стороны, для развития промышленных предприятий и, соответственно, увеличения численности населения (в дан-

Рис. 10. Расположение источников образования промышленных и коммунальных отходов [67, 68]



ном примере регион № 2). В таких условиях для регионов с развитым сырьевым сектором экономики, например, за счет добычи и экспорта угля и нефти, одной из основных проблем является снижение негативного воздействия на окружающую среду углеобогачительных фабрик и нефтеперерабатывающих предприятий за счет складирования горючих твердых и жидких отходов на промышленных площадках (полигонах). Для регионов с высоким уровнем промышленного и социального развития одной из основных проблем является переработка и утилизация некоторых компонентов ТКО, ежегодный объем производства которых сопоставим по масштабам с объемом (миллионы тонн в год) промышленных отходов крупных угле- и нефтеперерабатывающих предприятий.

По данным [67, 68], к 2017 г. в 3 рассмотренных регионах суммарно накоплено (хранится на полигонах) $145 \cdot 10^6$ т ТКО, $374,4 \cdot 10^6$ т фильтров кека, $2,3 \cdot 10^6$ т горючих жидкостей (отработанных масел, горючих отходов нефтедобычи и нефтепереработки).

Стратегия совместной утилизации промышленных и коммунальных отходов путем сжигания в составе композиционных топлив предполагает перевод 3 крупных угольных ТЭС (как минимум по одной в каждом из 3 регионов) на композиционное жидкое топливо из накопленных и ежегодно производимых отходов углеобогащения (или низкокачественного угля), ТКО, отработанных масел (или горючих отходов нефтедобычи и нефтепереработки). Тепловая и электрическая энергии будут генерироваться этими ТЭС в полном объеме в результате сжигания компози-

Опыт стран Европы и Азии по производству энергии из отходов показывает успешное внедрение объектов по энергоутилизации отходов в инфраструктуру городов и экономику страны

ционного жидкого топлива. Приготовление топливных суспензий и их транспортировка до потребителей предполагает строительство соответствующих заводов и трубопроводов.

По оценкам [67, 68], в течение 25 лет реализации перспективной стратегии обращения с отходами тремя ТЭС в зависимости от состава топлива будет суммарно утилизировано: $(130-260) \cdot 10^6$ т фильтров кека – отхода углеобогащения; $(25-38) \cdot 10^6$ т – ТКО; до $19 \cdot 10^6$ т – отработанных масел. Предлагаемые мероприятия для 3 соседних регионов Российской Федерации позволят полностью решить проблему утилизации накопленных отработанных масел, жидких горючих отходов нефтедобычи и нефтепереработки, а также проблему утилизации ежегодно производимых отходов углеобогащения. Добавление в состав композиционных топлив горючих фракций ТКО позволит существенно снизить объем отходов, вывозимых на полигонное захоронение.

Таблица 2. Расход композиционного топлива и его компонентов

	Период ТЭС	В течение 1 года				В течение 25 лет			
		№ 1	№ 2	№ 3	Итого	№ 1	№ 2	№ 3	Итого
	Полученная тепловая энергия от сжигания угля в топке котла, Дж ($\times 10^{16}$)	3,5	7,9	0,9	12,3	87,5	197,5	22,5	307,5
	Потребление угля, т ($\times 10^6$)	1,64	3,69	0,42	5,75	40,89	92,29	10,51	143,69
Расход топлива, т ($\times 10^6$)	I группа:	2,94	6,63	0,76	10,33	73,45	165,79	18,89	258,13
	Фильтр кека 90%	2,65	5,97	0,68	9,3	66,1	149,21	17	232,31
	ТКО 10%	0,29	0,66	0,08	1,03	7,35	16,58	1,89	25,82
	II группа:	2,68	6,06	0,69	9,43	67,1	151,45	17,25	235,8
	Фильтр кека 80%	2,14	4,85	0,55	7,54	53,68	121,16	13,8	188,64
	ТКО 20%	0,54	1,21	0,14	1,89	13,42	30,29	3,45	47,16
	III группа:	2,14	4,83	0,55	7,52	53,47	120,69	13,75	187,91
	Фильтр кека 70%	1,5	3,38	0,39	5,27	37,43	84,48	9,63	131,54
	ТКО 20%	0,43	0,97	0,11	1,51	10,69	24,14	2,75	37,58
	Масло 10%	0,21	0,48	0,06	0,75	5,35	12,07	1,38	18,8

Положительный экономический эффект с учетом модернизации систем топливоподачи трех ТЭС и строительства единой топливоподогревающей площадки составит от 5,7 до 6,9 млрд долл. или 65–78%, соответственно, от основных затрат при функционировании трех ТЭС в течение 25 лет на угле [67, 68]. Это объясняется определяющим значением (85–95%) топливной составляющей (приобретение энергоресурсов) в типичной структуре итоговых затрат и стоимостью энергоресурсов, которая отличается в 2,5–3,5 раза для угля и композиционного топлива из отходов (в пересчете на единицу энергии, выделяющейся при сжигании топлива).

Мусоросжигающий завод в Дании
Источник: dutchscenery / depositphotos.com



Заключение

Создание топливных смесей на основе отходов имеет высокий потенциал для извлечения энергии, особенно при использовании местных сырьевых ресурсов. Несмотря на большое количество работ по данной тематике, еще многие аспекты не изучены комплексно. Наибольший потенциал для энергетической утилизации, в особенности, сжигания, имеют отходы деревообработки, нефтяные и угольные шламы. На сегодняшний день накоплен большой объем знаний по термической конверсии множества компонентов, однако каждое исследование, как правило, затрагивает только несколько основных вопросов с выборочными составами топлив. Актуальным вопросом остается поиск оптимумов составов композиционных топлив, который предполагает варьирование соотношений компонентов и внешних условий с последующим получением данных о реактивности топлива, кинетических константах, а также целый комплекс сведений о физико-химических свойствах топлив. С учетом разнообразия критериев оптимальности на всех технологических стадиях объем необходимых исследований возрастает многократно. Систематизированная научная основа постепенно формируется, но это достаточно долгий процесс, определяемый не только исследовательскими возможностями, но и запросами экологического и социального характеров. Проблемными областями композиционных топлив являются: шлакование, коррозионные явления, нестабильность зажигания и горения, возможная токсичность продуктов горения, в некоторых случаях – сложность расплынения. Но, несмотря на большое количество факторов, имеющих значение как для режимных показателей работы, так и для долгосрочной эксплуатации, при корректировке условий технологического процесса можно добиться приемлемых показателей качества работы установки. В области определения эффективных функциональных добавок к топливам активно ведутся исследования, что создает дополнительные возможности для оптимизации термической утилизации отходов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Соглашение № 075-15-2024-543.



Свалка в Гонконге на Новых территориях

Источник: forbes.com

Использованные источники

1. *United Nations Environment Programme. Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste - Turning rubbish into a resource. – Nairobi: United Nations Environment Programme, 2024. – 116 p.*
2. *International Energy Agency (IEA). Global Methane Tracker – 2024 Version (Last updated: 19 March 2024) [Электронный ресурс] // IEA – Methane Tracker. 2024. P. 41. – URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/methane-tracker> (дата обращения: 25.02.2025).*
3. *United Nations. Resolution adopted by the General Assembly on 6 July 2017. A/RES/71/313. Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development. 2019. P. 31.*
4. *Maalouf A., Mavropoulos A. Re-assessing global municipal solid waste generation // Waste Management and Research. – SAGE Publications Ltd, 2023. V. 41, № 4. P. 936–947.*
5. *Lama N. The World has a Waste Problem. Here's How to Fix It [Электронный ресурс] // International Finance Corporation (IFC) World Bank Group. 2024. – URL: <https://www.ifc.org/en/blogs/2024/the-world-has-a-waste-problem> (дата обращения: 25.02.2025).*
6. *Matthews G. Industrial Waste Facts [Электронный ресурс] // BusinessWaste.co.uk. 2024. – URL: <https://www.businesswaste.co.uk/your-waste/industrial-waste-disposal/industrial-waste-facts/> (дата обращения: 25.02.2025).*
7. *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 г. Проект государственного доклада. – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. – 707 с.*
8. *Росприроднадзор. Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления за 2023 г. [Электронный ресурс]. 2024. – URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 06.02.2025).*
9. *Иванков С.И., Троицкий А.В., Скобелев К.Д. Современные тенденции создания технологии переработки и утилизации отходов обогащения горно-обогатительной отрасли // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2021. № 2. С. 2–39.*
10. *Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ (ред. от 26.12.2024 г.) «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс] // Собрание законодательства РФ, 29.06.1998 г., № 26, ст. 3009. Собрание законодательства РФ, 2024. С. 90. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591>.*
11. *Стратегия экологической безопасности России на период до 2025 г. (Утв. Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176). 2017. С. 15.*
12. *Доклад о деятельности Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2023 г. 2024. – 158 с.*

13. Росприроднадзор. Информация по несанкционированным свалкам отходов на 2023 г. [Электронный ресурс]. 2024. – URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/unauthorized-landfill/> (дата обращения: 12.02.2025).
14. Тагаева Т.О., Гильмундинов В.М., Казанцева Л.К. Проблема накопления отходов в отраслях добывающей промышленности РФ // Журнал «ЭКО». 2019. Т. 49. № 9. С. 117–131.
15. Дмитриевич Т.Б., Евгеньевич М.С. Проблема отходов угледобывающей промышленности на примере восточного Донбасса и направления её решения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). ООО «Горная книга», 2013. № 2. С. 356–361.
16. Владимирова В.А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. Центр стратегических исследований гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2014. Т. 4, № 1. С. 217–229.
17. Никонов А.Н., Потапова С.О. Нефтяная промышленность как один из серьезных загрязнителей окружающей среды // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. № 9. С. 666–673.
18. Пресс-служба Минприроды России. Сегодня в России работает 262 мусороперерабатывающих завода, ещё 29 появится до конца года. [Электронный ресурс]. 2024. – URL: [https://www.mnr.gov.ru/press/news/segodnya_v_rossii_rabotaet_262_musoropererabatyvayushchikh_zavoda_eshchye_29_poyavitsya_do_kontsa_go/](https://www.mnr.gov.ru/press/news/segodnya_v_rossii_rabotaet_262_musoropererabatyvayushchikh_zavoda_eshchye_29_poyavitsya_do_konca_goda/) (дата обращения: 12.02.2025).
19. Росприроднадзор. Государственный реестр объектов размещения отходов [Электронный ресурс]. 2024. – URL: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/> (дата обращения: 13.02.2025).
20. Волюшкина Е.П., Зайцева Т.Н. Инвентаризация полигонов и свалок ТБО в России и оценка их метанового потенциала // Экология и промышленность России. 2010. № 1. С. 30–32.
21. Лускин Г.Г. Проблемы полигонного захоронения отходов // Твёрдые бытовые отходы. 2011. Т. 63. № 9. С. 36–37.
22. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 г. (утв. Президентом РФ 30.04.2012 г.) [Электронный ресурс]. 2012. С. 10. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902369004> (дата обращения: 13.02.2025).
23. Малышевский А.Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России. – Москва, 2012. – 40 с.
24. «РТ-Инвест». Мусор, прощай: что такое энергоутилизация отходов? [Электронный ресурс] // 2024. – URL: <https://rostec.ru/media/news/musor-proshchay-cto-takoe-energoutilizatsiya-otkhodov/#start> (дата обращения: 01.03.2025).
25. Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е., Сомова Т.Н. Оценка морфологического состава отходов на объектах накопленного вреда окружающей среде, представляющих собой санкционированные свалки/полигоны ТКО, расположенные в Арктической зоне Российской Федерации // Экология урбанизированных территорий. 2023. № 4. С. 53–57.
26. Российский экологический оператор (РЭО). Названа доля полигонных отходов для переработки [Электронный ресурс]. 2021. – URL: <https://reo.ru/tpost/a7jahzpj21-nazvana-dolya-poligonnih-otkhodov-dlya-pe> (дата обращения: 13.02.2025).
27. Тугов А.Н. Энергетическая утилизация ТКО: мировой и отечественный опыт (обзор) // Теплоэнергетика. – ООО «Объединённая редакция», 2022. № 12. С. 5–22.
28. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г.» // Собрание законодательства РФ, 13.05.2024 г., № 20, ст. 2584. 2024.
29. «РТ-Инвест». Энергичная утилизация: как превратить отходы в энергию? [Электронный ресурс] // 2020. – URL: <https://rostec.ru/media/news/energichnaya-utilizatsiya-kak-prevratit-otkhody-v-energiyu/#start> (дата обращения: 01.03.2025).
30. «РТ-Инвест». «Энергия из отходов». Мусоросжигательный завод [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.w2e.ru/> (дата обращения: 18.02.2025).
31. Liu H., Wang Y., Zhao S., Hu H., Cao C., Li A., Yu Y., Yao H. Review on the Current Status of the Co-combustion Technology of Organic Solid Waste (OSW) and Coal in China // Energy & Fuels. American Chemical Society, 2020. V. 34, № 12. P. 15448–15487.
32. Лурий В.Г., Кост Л.А. Горючие отходы и некондиционное топливо – сырьевой ресурс малой энергетики // Химия твердого топлива. 2019. № 6. С. 65–70.
33. Wang S., Cheng M., Xie M., Yang Y., Liu T., Zhou T., Cen Q., Liu Z., Li B. From waste to energy: Comprehensive understanding of the thermal-chemical utilization techniques for waste tire recycling // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2025. V. 211. P. 115354.
34. Asaad S.M., Inayat A., Ghenai C., Shanableh A. Integration of waste heat recovery with biomass thermal conversion processes: A review // Process Safety and Environmental Protection. 2024. V. 192. P. 567–579.
35. Nikhom R., Suppalakpanya K., Nikhom S., Siriphan T. Combustion properties improvement and economic evaluation of charcoal briquettes from mixed agricultural waste biomass // Biomass Conversion and Biorefinery. 2025. V. 15, № 3. P. 4477–4487.
36. Nevalainen H., Jegoroff M., Saastamoinen J., Tourunen A., Jäntti T., Kettunen A., Johnsson F., Niklasson F. Firing of coal and biomass and their mixtures in 50kW and 12MW circulating fluidized beds – Phenomenon study and comparison of scales // Fuel. 2007. V. 86, № 14. P. 2043–2051.
37. Mo W., Du K., Sun Y., Guo M., Zhou C., You M., Xu J., Jiang L., Wang Y., Su S., Hu S., Xiang J. Technical-economic-environmental analysis of biomass direct and indirect co-firing in pulverized coal boiler in China // Journal of Cleaner Production. 2023. V. 426. P. 139119.
38. Xinjie L., Shihong Z., Xincheng W., Jinai S., Xiong Z., Xianhua W., Haiping Y., Hanping C. Co-combustion of wheat straw and camphor wood with coal slime: Thermal behaviour, kinetics, and gaseous pollutant emission characteristics // Energy. Pergamon, 2021. V. 234. P. 121292.
39. Dorokhov V., Kuznetsov G., Paushkina K., Strizhak P. Kinetics of thermal oxidation of coals, industrial wastes, and their mixtures // Powder Technology. 2025. V. 454. P. 120712.

40. Hariana, Putra H.P., Prabowo, Hilmawan E., Darmawan A., Mochida K., Aziz M. Theoretical and experimental investigation of ash-related problems during coal co-firing with different types of biomass in a pulverized coal-fired boiler // Energy. 2023. V. 269. P. 126784.
41. Wang L., Ma Z., Zhao C., Zhou J., Wang H., Li G., Zhou N. New Problems of Boiler Corrosion after Coupling Combustion of Coal and Biomass and Anti-Corrosion Technologies // Journal of Renewable Materials. 2024. V. 12, № 4. P. 799–814.
42. Park H.Y., Lee J.E., Kim H.H., Park S., Baek S.H., Ye I., Ryu C. Thermal resistance by slagging and its relationship with ash properties for six coal blends in a commercial coal-fired boiler // Fuel. Elsevier, 2019. V. 235. P. 1377–1386.
43. Cahyo N., Sulistiyowati D., Rahmanta M.A., Felani M.I., Soleh M., Paryanto P., Prisantoko A., Hariana H. A techno-economic and environmental analysis of co-firing implementation using coal and wood bark blend at circulating fluidized bed boiler // International Journal of Renewable Energy Development. 2024. V. 13, № 4. P. 726–735.
44. Neubacher F.P. Waste-to-Energy: Fluidized Bed Technology BT – Renewable Energy Systems / Kaltschmitt M. New York, NY: Springer New York, 2013. P. 1640–1662.
45. Suksankraisorn K., Patumsawad S., Fungtamman B. Combustion studies of high moisture content waste in a fluidised bed // Waste Management. 2003. V. 23, № 5. P. 433–439.
46. Pradhan P., Mahajani S.M., Arora A. Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review // Fuel Processing Technology. Elsevier, 2018. V. 181. P. 215–232.
47. Syrtsova E.A., Ivantsova E.D., Miskiv A.S., Zander E. V., Pyzhev A.I. Costs of Coal Abatement for Residential Heating to Reduce Urban Air Pollution in Asian Russia: Evidence from Krasnoyarsk // Energies. 2024. V. 17, № 3. P. 640.
48. Das S., Sarkar P.K., Mahapatra S. Single particle combustion studies of coal/biomass fuel mixtures // Energy. 2021. V. 217. P. 119329.
49. Регионы России. Социально-экономические показатели. Статистический сборник. Федеральная служба государственной статистики, 2024. – 1081 с.
50. Huang J., Zhang J., Feng Y., Yellezuome D., Zhang Z., Zhao R., Chen T., Wu J. Thermal conversion property and NO emission characteristics of oxy-fuel co-combustion of biomass and semicoke // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2023. V. 148, № 24. P. 14109–14121.
51. Kuye A., Kumar P. A review of the physicochemical characteristics of ultrafine particle emissions from domestic solid fuel combustion during cooking and heating // Science of The Total Environment. 2023. V. 886. P. 163747.
52. Zhao X., Zhu W., Huang J., Li M., Gong M. Emission characteristics of PCDD/Fs, PAHs and PCBs during the combustion of sludge-coal water slurry // Journal of the Energy Institute. Elsevier B.V., 2015. V. 88, № 2. P. 105–111.
53. Hui K., Tang J., Lu H., Xi B., Qu C., Li J. Status and prospect of oil recovery from oily sludge: A review // Arabian Journal of Chemistry. The Authors, 2020. V. 13, № 8. P. 6523–6543.
54. He Y., Wang Z., Wang J. Investigation of pyrolytic characteristics of three oily sludges with focus on properties of oil product // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Elsevier, 2023. V. 174. P. 106114.
55. Gan Z., Zhao C., Li Y., Chen G., Song Z., Zhang Z., Ran W. Experimental investigation on smoldering combustion for oil sludge treatment: Influence of key parameters and product analysis // Fuel. 2022. V. 316. P. 123354.
56. Wan G., Sun L., Xu L., Lin L. Emission of nitrogen/sulfur pollutants and migration of heavy metals during combustion of oily sludge from the oil refining process in fluidized bed // Journal of the Energy Institute. 2024. V. 112. P. 101476.
57. Zhou L., Jiang X., Liu J. Characteristics of oily sludge combustion in circulating fluidized beds // Journal of Hazardous Materials. 2009. V. 170, № 1. P. 175–179.
58. Vershinina K., Dorokhov V., Romanov D., Strizhak P. Oil sludge fuel mixtures with additives of fossil and biomass origin: Energy and operational parameters // Energy. 2025. V. 316. P. 134643.
59. Meng Z., Yang Z., Yin Z., Li Y., Song X., Zhao J., Wu W. Effects of coal slime on the slurry ability of a semi-coke water slurry // Powder Technology. Elsevier B.V., 2020. V. 359. P. 261–267.
60. Romanov D.S., Dorokhov V. V., Vershinina K.Y., Strizhak P.A. Stabilized fuel slurries based on fine coal slime: Rheology, combustion and feasibility study // Fuel. Elsevier, 2024. V. 356. P. 129560.
61. Siddique M.F., Selim M.Y.E., Elgendi M., Ghannam M.T. A review on slurry-based fuels for engines and furnaces: Preparation, stability, emission characteristics and applications // International Journal of Thermofluids. 2024. V. 22. P. 100610.
62. Kuznetsov G., Podgornaya E., Strizhak P., Volkov R. Impact of atomizer design on slurry fuel atomization behavior // Physics of Fluids. 2024. V. 36, № 10. P. 107166.
63. Jianxin D., Zeliang D., Dongling Y. Erosion wear mechanisms of coal-water-slurry (CWS) ceramic nozzles in industry boilers // Materials Science and Engineering: A. 2006. V. 417, № 1. P. 1–7.
64. Minakov A. V., Shebeleva A.A., Strizhak P.A., Chernetskiy M.Y., Volkov R.S. Study of the Weber number impact on secondary breakup of droplets of coal water slurries containing petrochemicals // Fuel. 2019. V. 254. P. 115606.
65. Kurgankina M.A., Nyashina G.S., Strizhak P.A. Prospects of thermal power plants switching from traditional fuels to coal-water slurries containing petrochemicals // Science of the Total Environment. Elsevier B.V., 2019. V. 671. P. 568–577.
66. Nawaz Z., Ali U. Techno-economic evaluation of different operating scenarios for indigenous and imported coal blends and biomass co-firing on supercritical coal fired power plant performance // Energy. 2020. V. 212. P. 118721.
67. Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Paushkina K.K., Shabardin D.P. The main elements of a strategy for combined utilization of industrial and municipal waste from neighboring regions by burning it as part of composite fuels // Energies. MDPI AG, 2018. V. 11, № 10. P. 2534.
68. Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Paushkina K.K. Switching Coal-Fired Thermal Power Plant to Composite Fuel for Recovering Industrial and Municipal Waste: Combustion Characteristics, Emissions, and Economic Effect // Energies. MDPI AG, 2020. V. 13, № 1. P. 259.

Способы решения проблем выхода из строя электронагревателей технологического газа установки утилизации сероводорода

Methods for solving problems of failure of electric heaters of process gas in a hydrogen sulfide gas recovery plant

Денис МАЛЫШЕВ

Оператор технологических установок

6 разряда (старший оператор смены) установки утилизации сероводородного газа и производства гранулированной серы

E-mail: denisa140189@gmail.com

Denis MALYSHEV

Operator of technological units

of the 6th category (senior shift operator) of the installation Hydrogen sulfide gas utilization and granulated sulfur production

E-mail: denisa140189@gmail.com

Ачинский НПЗ «Роснефть»

Источник: hamachi-soft.ru



Аннотация. В статье приводится описание часто встречающейся проблемы установок утилизации сероводородного газа, которые используют электрические нагреватели технологического газа на каталитической ступени технологического процесса получения элементарной серы. Проблемой является частое перегорание ТЭН в технологических электронагревателях. Вне зависимости от их производителя. Описываются причины, вытекающие последствия, а также способы их решения, взятые на основе практического опыта и личных наработок автора. В настоящее время эти решения успешно реализованы и показывают отличные результаты.

Ключевые слова: H_2S , электронагреватель, электрический ТЭН, каталитическая ступень, сероводородный газ, технологический газ, техническая сера, метод Клауса.

Abstract. The article describes a common problem of hydrogen sulfide gas utilization plants that use electric heaters of process gas at the catalytic stage of the technological process of obtaining elemental sulfur. The problem is the frequent burnout of the heating element in the technological electric heaters. Regardless of their manufacturer. The causes, consequences, and solutions based on the practical experience and personal developments of the author are described. At present, these solutions have been successfully implemented and show excellent results.

Keywords: H_2S , electric heater, electric heating element, catalytic stage, hydrogen sulfide gas, process gas, technical sulfur, Claus method.



Электронагреватель является важной и дорогостоящей частью технологии, его поломка крайне негативна для процесса нефтепереработки

в технологических реакторах и позволяет получить более высокий выход жидкой серы. Поэтому электронагреватели являются важной и к тому же дорогостоящей частью технологического оборудования.

Существует проблема в частом выходе из строя ТЭН в электронагревателях при аварийной или плановой остановке технологического процесса. Это становится причиной частых простоев и существенных затрат на закупку, доставку, установку и демонтаж-монтаж данного технологического оборудования. Стоимость каждого электронагревателя составляет более 1,5 млн руб. Затраты на доставку и демонтаж-монтаж составляют сотни тыс. руб. Простой установки УСГиПГС влечет за собой сброс сероводородного газа на сжигание в факельное хозяйство предприятия, где он смешивается с топливным газом из заводской сети и подается на сжигание на факелах. Такой способ не обеспечивает полного сжигания сероводородного газа и значительная часть его выбрасывается в воздух, что приводит к загрязнению атмосферы и окружающей среды, а так же штрафам для компании со стороны экологического надзора.

Причины проблемы

Можно выделить 2 основные причины данной проблемы:

Введение

В настоящее время в нефтепереработке широко используются установки утилизации сероводородного газа и производства гранулированной серы по методу Клауса, в который входит термическая ступень и трехступенчатая каталитическая часть получения жидкой технической серы. На каталитической ступени технологического процесса часто используются электронагреватели для подогрева технологического (сероводородного) газа, что улучшает реакцию окисления газа

1. Несовершенная система блокировок и сигнализации, которая не предусматривает изменение параметров работы электронагревателей при аварийной остановке. Во время нормальной работы установки электронагреватели работают в автоматическом режиме нагрева технологического газа, поддерживая заданную температуру (200–450 °С). При аварийной остановке прекращается подача сероводородного газа на установку, что

на её регулировку. Сера независимо от нагрузки ТЭН горит, выделяя большое количество теплоты, которое приводит к перегоранию. Технологическому персоналу приходится подавать азот в данный технологический участок установки, который связан с реакторным блоком, для тушения возгорания и снижения температуры. Подача азота предусмотрена исключительно в аварийных случаях на примере вышеуказанного. Но азот



Завод «Щекиноазот» по производству серной кислоты

Источник: autosprite.ru

приводит к резкому прекращению теплосъёма с электронагревателей и быстрому увеличению температуры в электронагревателях. Увеличение температуры в электронагревателях выше технологических норм (450 °С) приводит к реакции возгорания в них остатков серы, соответственно и в газовом тракте, что ведёт к ещё более быстрому увеличению температуры. Автоматика, работающая на снижение нагрузки на ТЭН, не справляется со скоростью увеличения температуры и впоследствии, после возгорания остатков серы, уже не влияет

пагубно влияет на дальнейшую работу установки и эффективность работы катализатора реакторного блока, контактируя с серой образует негативные химические соединения и вязкую структуру. Вся описанная ситуация приводит к дальнейшему снижению эффективности работы реакторов, снижению проходимости в трубопроводах и технологическом оборудовании, помимо перегорания электронагревателей. Это является причиной дорогостоящего ремонта и замены оборудования, быстрого износа катализатора реакторов и его

замены, увеличивает простой установки для выполнения данных работ.

2. Избыточное накопление элементарной серы после термической ступени процесса на стенках трубопроводов газового тракта установки, в том числе в электронагревателях за время эксплуатации установки между плановыми остановками на ремонт и очистку оборудования. После накопления серы на стенках трубопроводов и оборудования во время аварийной или плановой остановки установки, её работа переводится с сжигания сероводородного газа на топливный газ в котлах-утилизаторах. Переход на топливный газ осуществляется для поддержания рабочих температур в системе после аварийной остановки установки и очистки системы газового тракта от остатков серы за время эксплуатации, а также перед полной плановой остановкой. В случае если в трубопроводах и аппаратах отложилось большое количество серы – происходит резкое возрастание температуры в газовом тракте, в том числе и электронагревателях, за счёт возгорания серы, при взаимодействии с кислородом в технологическом воздухе, подаваемом на сжигание вместе с топливным газом в котлы-утилизаторы. Тем самым резкое увеличение температуры в газовом тракте и в электронагревателях влечёт за собой перегорание ТЭН.

Факторы, влияющие на избыточное отложение элементарной серы в системе:

- основным фактором является неправильное выдерживание соотношения сероводородный газ-технологический воздух при их сжигании в котлах-утилизаторах;
- второстепенным и усиливающим фактором является нарушение целостности теплоизоляционного слоя на трубопроводах и оборудовании газового тракта, что снижает температуру технологического газа и увеличивает выпадение элементарной серы в системе;
- немаловажным фактором является периодическое снижение нагрузок сероводородного газа до минимальных значений, что приводит к снижению давления и расхода технологического газа в системе

газового тракта, замедлению потока среды, снижению температуры газа в трубопроводах и аппаратах. Это выражается в увеличении выпадения элементарной серы в системе, особенно в местах изменения направления потока среды (обводы, колена и т. д.) также является усиливающим фактором основного.

Предпосылки проблемы и методы её устранения зачастую не описываются в технологическом регламенте установок.

Методы устранения проблем из практического опыта

1. Изменение логики работы электронагревателей в системе блокировок и противоаварийной защиты обо-

НПЗ

Источник: vichie81 / depositphotos.com



Существует проблема частых поломок ТЭН в электронагревателях при аварийной или плановой остановке технологического процесса. Стоимость каждого электронагревателя составляет более 1,5 млн руб.

рудования установки. Это характеризуется в переводе работы электронагревателей на ручной режим работы и отключение нагрузки ТЭН после аварийной остановки установок и автоматическом закрытии отсекаелей сероводородного газа. Описывается это автоматическим отключением электронагревателей, которое срабатывает после сигнала АСУТП о закрытии аварийных отсечных клапанов (по блокировке) на линии сероводородного газа, подающих сырьё на установку. Отключение электронагревателей пре-

дотвращает возгорание серы от повышения температуры выше норм (200–450 °С) и перегорание ТЭН, выход из строя без последствий на их дальнейшее качество работы и установки в целом. Это также исключает подачу азота и последствий, вытекающих из этого даже при второстепенных проблемах, таких как нарушение целостности теплоизоляционного слоя трубопроводов и аппаратов.

2. Правильное выдерживание параметров стехиометрии (соотношение объёмов газа и воздуха в топке котлов-утилизаторов) при работе установки на сероводородном газе. Норма соотношения «сероводородный газ – технологический воздух» составляет от 1:2 до 1:3, но является довольно условной и требует более конкретных величин вплоть до тысячных долей. Поэтому необходимо систематически следить за анализом концентрации сероводородного газа (96–99,9%), а также примесей углеводородов (не более 3,9%). Данная концентрация обеспечивает стабильность горения смеси газа и воздуха и устойчивость опти-

Ачинский НПЗ «Роснефти»

Источник: osoran.com / depositphotos.com



Ачинский НПЗ «Роснефти»

Источник: csprut.ru / depositphotos.com

мальных температур (1300–1350 °С) в топке котлов-утилизаторов. Более приемлемым является соотношение от 1:2,400 до 1:2,500 для получения нужных температур. Также немаловажным фактором становятся показания поточного газоанализатора хвостовых газов с установки, которые напрямую зависят от стехиометрии. С его помощью выполняется мониторинг количества объёма сероводородного газа, диоксида серы и их разницы, которая высчитывается по формуле $H_2S - 2SO_2$ и должна стремиться к нулю (± 0). Норма сероводородного газа по регламенту составляет от 0 до 0,25% об., что также является размытой и условной. Наилучшим диапазоном являются показания от 0 до 0,050% об, но они не всегда приводят показания разницы сероводородного газа и диоксида серы к нулю из-за неидеальности процесса, сырья и условий. В то же время показания концентрации сероводородного газа являются наиболее приоритетными для технического процесса и состояния оборудования. При выдерживании

данных параметров обеспечивается оптимальная конверсия сероводородного газа в серу на термической ступени процесса. Это сопровождается большим количеством выхода серы из сероводородного газа и меньшим его количеством в технологическом газе после термической стадии, что в свою очередь снижает выпадение серы в газовом тракте и электронагревателях в том числе.

Также категорически нельзя допускать возникновения вторичных и усиливающих факторов:

Практически доказано: соблюдение вышеуказанных методик на 90% снижает вероятность перегорания электронагревателей по причине повышения температуры в системе технологической установки



Котел-утилизатор

Источник: angtu.ru

1. Снижение нагрузок сероводородного газа, зависящего от правильности ведения технологического процесса десорбции сероводородного газа из аминсодержащего раствора на блоке регенерации, служащего абсорбентом в процессе удаления серы из нефтепродуктов. Тем самым выполнять постоянный контроль за работой блока регенерации аминсодержащего раствора. В случае снижения насыщаемости раствора и выхода сероводородного газа необходимо приостановить работу установки на нагрузках, близких к минимальным значениям (ниже $250 \text{ м}^3/\text{ч}$) и выполнить перевод котлов-утилизаторов на сжигание топливного газа, тем самым не создавать накопление серы в газовом тракте при нагрузках, близких к минимальным.
2. Нарушение целостности теплоизоляционного слоя оборудования и трубопроводов установки. Для этого необходимо постоянно контролировать его состояние и при необходимости в кратчайшие сроки принимать меры по устранению недостатков.

Если при работе установки на сероводородном газе не выполнялись вышесказанные условия, то с большей степенью вероятности избыток серы, отложенный на стенках, начинает возгораться при переводе установки с сероводородного газа на топливный, с последующим резким увеличением температур в газовом тракте, в том числе и электронагревателях. Причиной является высокая температура среды ($1300\text{--}1400 \text{ }^\circ\text{C}$ в топке котлов-утилизаторов) с повышенным содержанием кислорода, так как соотношение «топливный газ – технологический воздух» составляет 1:5–1:8 (норма технологического регламента). Это соотношение находится в достаточно широком диапазоне и точно не регламентируется. Оптимальным соотношением на начальном этапе должно быть 1:4–1:4,5 при нормальной плотности топливного газа от 0,7 до $1 \text{ кг}/\text{м}^3$, что обеспечивает максимально низкое содержание кислорода и более плавное, стабильное выдерживание температур в газовом тракте в пределах норм технологического режима. После устранения причин краткосрочной остановки сжигания сероводородного газа, выполняется обратный переход установки на его утилизацию и получение серы. При плановой остановке установки целью является максимальное

удаление серы по всему контуру технологического тракта за счёт потока среды топливного газа и технологического воздуха, сжигаемого в топке котлов-утилизаторов, сопровождающегося большим выделением тепла, за счёт чего остатки серы в жидком состоянии удаляются из системы. При выполнении данной технологической операции очень важно следить за температурами газового тракта. При резком увеличении температур, даже в определённом участке технологической схемы, необходимо до минимума снизить соотношение газа к воздуху (1:5). В случае отсутствия изменений снизить до 1:4,5, вопреки требованиям технологического регламента. Практически доказано, что это максимально эффективно влияет на снижение реакции резкого возрастания температур без вреда для технологического процесса. Вытеснение остатков серы проводится не менее, чем в течение 48 часов. В противном случае неудалённые, остывшие после останова установки остатки серы создадут затруднение или вовсе отсутствие проходимости потока среды в газовом тракте. Поэтому при стабилизации температур при минимальной стехиометрии (через 15–20 часов) необходимо плавно повышать количество технологического воздуха, увеличивая концентрацию кислорода и объём потока среды от 1:5 до 1:6 ещё на 10–15 часов. При достижении температур в газовом тракте близко к максимальным снизить количество воздуха. При тенденции понижения температур увеличить количество воздуха. Оставшиеся 10–15 часов вытеснения остатков серы соотношение должно достигать близкого к максимальному значению (1:6,5–1:8). В период работы установки на топливном газе электронагреватели в обязательном порядке работают в ручном режиме регулировки с нагрузкой в 20–30% в первые 10–15 часов, и при увеличении температур выше норм они снижаются до минимальных значений 0–10%. В оставшееся время нагрузка увеличивается до 50–70% при снижении температур в газовом тракте. Работа в автоматическом режиме категорически не рекомендуется из-за нестабильности температурного режима и скорости регулировки нагрузки электрона-

Использованные источники

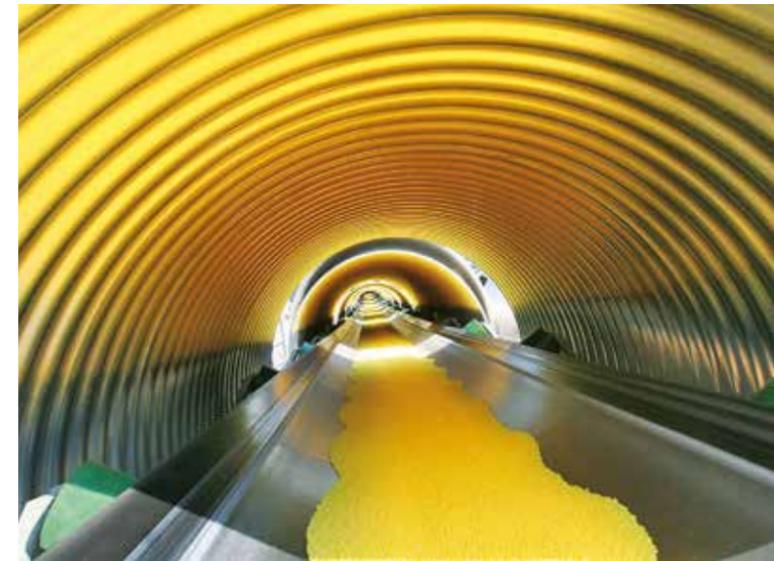
1. *Технология переработки сернистого природного газа: Справочник / Под ред. к. т. н. А.И. Афанасьева. М.: Недра, 1993.*
2. *Химия печи Клауса. P. Clark, директор по науке, Alberta Sulphur Research Ltd, Sulphur. № 285, 2003.*
3. *Технологический регламент АО «АНПЗ ВНК» «Установки утилизации сероводородного газа и производства гранулированной серы». № П1-02.02 СП-303 ТР-004 2007.*

гревателей, что приводит к перегреву ТЭН и выходу их из строя.

Практически доказано: соблюдение вышесказанных методик на 90% снижает вероятность перегорания электронагревателей по причине повышения температуры в системе технологической установки.

Результаты

Вышесказанные изменения в установках, методиках контроля и ведения технологического режима успешно применяются в работе установки. Они получены, опробованы и доказаны опытным путем и личными наработками автора, что характеризуется в следующих показателях:



Отгрузка гранулированной серы

Источник: gazprom.ru

1. Повышение времени эксплуатации электронагревателей в 5 раз.
2. Снижение затрат на закупку и замену оборудования на 20% (в денежном эквиваленте более 35 000 000 руб.).
3. Уменьшение времени простоя установки УСГиПГС на 30% в год.
4. Возрастание эффективности работы установки.



6-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ

RENWEX

«Энергосбережение,
зеленая энергетика
и электротранспорт»

22–24 АПРЕЛЯ 2025

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

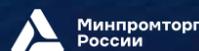
-  Ветроэнергетика
-  Солнечная энергетика
-  Электротранспорт и зарядная инфраструктура
-  Водородная энергетика
-  Гидроэнергетика
-  Биоэнергетика, биогаз и твердое биотопливо
-  Микрогенерация
-  Энерго- и ресурсосберегающие технологии

12+



www.renwex.ru

Организатор:



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2409-5516

РГАСНТИ 44.09.29

БОЛЬШЕ ИНТЕРЕСНЫХ НОВОСТЕЙ И АНАЛИТИКИ В НАШЕМ ТЕЛЕГРАМ-КАНАЛЕ



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

16+

РЕКЛАМА



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА



НАШИ ПАРТНЕРЫ

Оформить подписку на журнал «Энергетическая политика» на 2025 год можно напрямую у издателя ООО «ГУ ИЭС». По вопросам подписки звонить по телефону +7 903 733 72 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





ISSN 2409-5516



2409 5518

Источник фото на обложке:
ООО «Транснефть»