

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ISSN 2409-5516

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№7(222) июль 2026

ГРНТИ 44.09.29



Тема номера

**ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ И УГЛЕРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

«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.

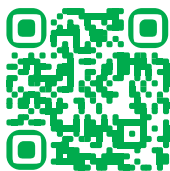
Помимо этого, компания работает в сегменте «Нефтепереработка и сбыт» на территории Республики Сербской (Босния и Герцеговина), имеет в структуре собственные проектные институты подземного и наземного обустройства нефтегазовых месторождений, а также сервисные компании.



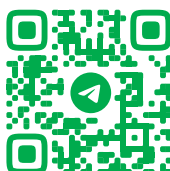
НАША КОМАНДА

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

Наш сайт



Мы в Telegram



**ЗАРЯЖАЕМ МИР
ЭНЕРГИЕЙ**





**МАКСИМАЛЬНО ОБ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**



Подписывайтесь
на канал компании
«Россети» в МАКС





ЦЭУ

ЦЕНТР ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛУГ

более

67 000 км

совокупная длина всех
трубопроводов компании



ПАО «ТРАНСНЕФТЬ» —

крупнейшая в мире
трубопроводная
компания в области
транспортировки нефти
и нефтепродуктов

123112, г. Москва,
Пресненская набережная, д. 4, стр. 2,
башня «Эволюция»
+7 (495) 950-81-78



Здесь встречи ведут к результату!

Промышленно-энергетический форум TNF —
главная площадка нефтегазовой отрасли страны

Определяем ключевые тренды
нефтегазового и энергетического
комплекса страны



Создаем прямой диалог
лидеров рынка: заказчиков
и производителей



Презентуем новейшие
технологии для повышения
эффективности отрасли

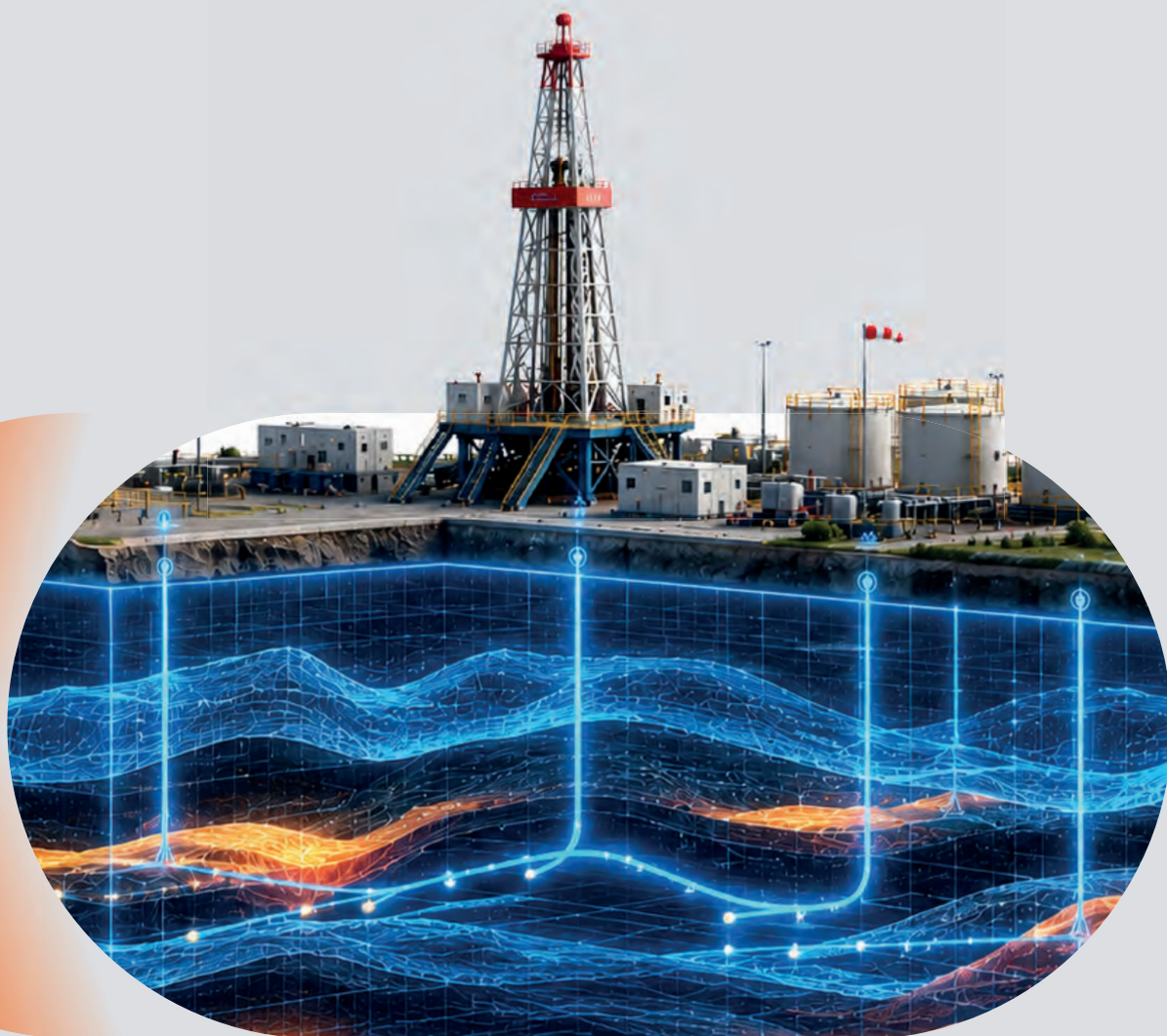




Цифровые ключи от подземного мира: история, случившаяся у реки Чоны



Сканируйте QR-код —
читайте статью





КАВКАЗСКИЙ
ИНВЕСТИЦИОННЫЙ
ФОРУМ

РОСКОНГРЕСС
Пространство доверия

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



КАВКАЗСКИЙ ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ФОРУМ

КИФ - 2026 В ЦИФРАХ:

4 700
участников

30
стран

>100
мероприятий

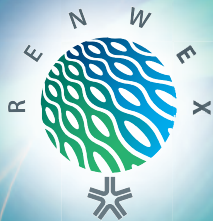
460
спикеров

53
информационных
партнера

>70
соглашений



FORUMKAVKAZ.ORG



8-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ

RENWEX

«Энергосбережение,
зеленая энергетика
и электротранспорт»

6–9 АПРЕЛЯ 2027

Россия, Москва, ВК «Тимирязев Центр»

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ



Ветроэнергетика



Солнечная энергетика



Электротранспорт и зарядная инфраструктура



Водородная энергетика



Гидроэнергетика



Биоэнергетика, биогаз и твердое биотопливо



Микрогенерация



Энерго- и ресурсосберегающие технологии

РЕКЛАМА



www.renwex.ru

12+



Организатор:

 **ЭКСПОЦЕНТР**

Содержание

Слово редакторов

- 11 В. Бушуев, А. Горшкова.** Природные аномалии энергетической безопасности

Мир

- 12 А. Миллерман.** Международный опыт взаимного страхования и возможности его имплементации в российском топливно-энергетическом комплексе

- 26 А. Мастепанов, А. Сумин, Б. Чигарев.** Энергетическая безопасность и энергетическая дипломатия Индии

Энергопереход

- 52 В. Пармон, В. Усачев, Т. Соколов, Ю. Аристович, А. Карпович, А. Власов, М. Смаль.** Водород уже плывет без нас

- 76 С. Белобородов, Е. Гашо.** Управление спросом как инструмент повышения надежности энергоснабжения в условиях неопределенности климатических прогнозов

Нефть

- 94 Е. Чернышова, А. Кожемякин, Н. Чуранова.** Оценка трудноизвлекаемых запасов по классификации SPE-PRMS: анализ критических факторов оценки в условиях геологической неопределенности

Энергетика

- 108 М. Мокшин, А. Путилов, О. Римская.** Система цифрового мониторинга экономических показателей ветроэнергоустановок для промышленности

- 120 И. Спасский.** «Россети Ленэнерго» – 140 лет надежной работы

Уголь

- 124 Л. Такайшвили, А. Корнеев, Е. Степанова.** Угольная промышленность Иркутской области – перспективы развития



УЧРЕДИТЕЛЬ

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

ИЗДАТЕЛЬ

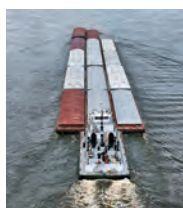
ООО «ГУ Институт
энергетической
стратегии»

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»
Л. А. Адамцевич – к. т. н., доцент,
заведующий лабораторией НИУ МГСУ
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., главный 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. Жданев, д. т. н., глава ЦКТР ТЭК
при Минэнерго России
И. А. Сайпуллаев – к. э. н., декан,
НИСИ (Узбекистан)
Д. Сяюй – к. т. н., ген. дир.
Харбинской ассоциации НТС (Китай)
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. РАЕН, д. э. н., г. н. с. АЦЭПБ ИПНГ РАН
А. С. Миллерман, д. э. н., к. т. н., вице-президент ПБ, зав. каф.
«Финансы и страхование» РАНХиГС при Президенте РФ
П. П. Праджалати – д. т. н., Энергетический университет
Пандита Диндайала (Индия)
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., науч. сотр. 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 факультета РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
С. П. Филиппов – акад. РАН, д. т. н., директор ИНЗИ РАН



Contents

Editor's column

- 11 V. Bushuev, A. Gorshkova.** Natural Anomalies of Energy Security

Word

- 12 A. Millerman.** International Experience of Mutual Insurance and Its Implementation in the Russian Fuel and Energy Sector

- 26 A. Mastepanov, A. Sumin, B. Chigarev.** India's Energy Security and Energy Diplomacy

Energy transition

- 52 V. Parmon, V. Usachev, T. Sokolov, Yu. Aristovich, A. Karpovich, A. Vlasov, M. Smal.** Hydrogen is Already Floating without Us

- 76 S. Beloborodov, E. Gasho.** Demand Management as a Tool for Improving Energy Supply Reliability in the Face of Uncertain Climate Forecasts

Oil

- 94 E. Chernyshova, A. Kozhemyakin, N. Churanova.** Assessment of Hard-to-Recover Reserves According to the SPE-PRMS Classification: Analysis of Critical Assessment Factors under Conditions of Geological Uncertainty

Energy

- 108 M. Mokshin, A. Putilov, O. Rimskaya.** Digital Monitoring System for the Economic Performance of Wind Turbines at Industrial Enterprises

- 120 I. Spassky.** Rosseti Lenenergo – 140 Years of Reliable Service

Coal

- 124 L. Takaishvili, A. Korneev, E. Stepanova.** The Coal Industry of the Irkutsk Region – Development Prospects

Главный редактор
Анна Горшкова

Научный редактор
Виталий Бушуев

Зам. главного редактора
по продвижению
Ольга Родионова

Корректор
Мария Алексеева

Фотограф
Иван Федоренко

Дизайн и верстка
Михаил Дышлюк

Адрес редакции:
125009, г. Москва,
ул. Тверская, д. 23, с. 1.
+7 (910) 463-53-57
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 № ФС 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:
25.07.2026

16+

35

ЛУКОЙЛ

ВИЗ:
совокупная
установленная
мощность
объектов —
620 мВт

МЫ СОЗДАЕМ БУДУЩЕЕ

Инвестиции
в социальную сферу
100 млрд рублей
за последние 10 лет

Наука — более
800
патентов
на разработки

Культура —
поддержка
музеев, театров,
консерваторий,
творческих
коллективов — всего
25 организаций

Чистота воздуха —
одним из первых в РФ
принял обязательство
по сокращению
эмиссии CO²
на **20%**

Конкурс
социальных
и культурных
проектов —
реализовано
10 тыс
значимых
инициатив

Биоразнообразие:
— выпущено
100 млн мальков
ценных рыб
— в год 35-летия
будет высажено
35 тысяч деревьев
по всей стране





Виталий БУШУЕВ

Научный редактор журнала

«Энергетическая политика», акад. РАЕН и РИЭ, д. т. н.



Анна ГОРШКОВА

Главный редактор журнала

«Энергетическая политика»

Природные аномалии энергетической безопасности

Несмотря на колоссальный технологический рынок, цифровизацию, роботизацию и автоматизацию, энергетика любой страны по-прежнему сильно зависит от окружающей нас природы. Аномальная жара в Европе служит лучшим доказательством этого. Экстраординарное повышение температуры и обмеление рек и водохранилищ привело к тому, что Франция вынуждена была вывести из эксплуатации 15 % своих ядерных реакторов, Румыния остановила единственную АЭС, Чехия закрыла почти все малые ГЭС, гидростанции Австрии сократили выработку более чем на 30 %, Венгрия на грани ограничений работы крупнейшей АЭС «Пакш». Не менее аномальные холода этой зимой в США также поставили под удар энергетическую систему континента. На пике холодов в центральных штатах без света оставалось более 1 млн домов.

Такие угрозы дают почву не только климатическим активистам, любителям теорий заговора и политическим антиглобалистам, но и энергетикам для пересмотра подходов к обеспечению энергетической безопасно-

сти и организации работы больших энергетических систем. Теперь понятие энергетической безопасности основывается на локализации и диверсификации источников энергии и способов ее производства. Если атомная и гидроэнергетика дает сбой, то эти мощности должны быть компенсированы солнечной, газовой и угольной генерацией. Румыния и Венгрия уже возродили электростанции на буром угле, солнечные электростанции работают на повышенных оборотах, а вот высокие цены на газ и недостаток предложения заставляют европейские компании тянуть с закачкой газа в подземные хранилища. Это поднимает резонный вопрос, что будет ждать мировой рынок этой зимой на фоне подобных аномальных перепадов погоды, снижения поставок газа и нефти с Ближнего Востока, низкой закачки газа в ПХГ и явного недостатка предложения со стороны России. Может, пора остановиться с новыми заявленными санкциями хотя бы этой зимой для обеспечения собственной энергобезопасности, так зависимой от прихоти природы?

Международный опыт взаимного страхования и возможности его имплементации в российском топливно- энергетическом комплексе

International Experience of Mutual Insurance and Its Implementation in the Russian Fuel and Energy Sector

Александр МИЛЛЕРМАН
Заведующий кафедрой «Финансы и
страхование» РАНХиГС при Президенте
Российской Федерации, вице-президент
АО «Санкт-Петербургская Международная
Товарно-сырьевая Биржа», д.э.н., к.т.н.
E-mail: al.millerman@gmail.com

Alexander MILLERMAN
Head of the Department of Finance and
Insurance, RANEP, Vice President of SPIMEX,
Doctor of Economic Sciences, Candidate of
Technical Sciences
E-mail: al.millerman@gmail.com



Нефтяной танкер в море
Источник: Depositphotos.com

Аннотация. На материале ведущих взаимных страховщиков мировой энергетики — Everen, NEIL и клубов P&I — выявлены механизмы устойчивости отраслевой взаимности: страхование «по себестоимости», ретроспективное финансирование убытков, инженерные стандарты членства, перестрахование катастрофического слоя. Предложена модель поэтапного создания отраслевого ОВС в российском ТЭК: стартовая ниша — риски, не страхуемые коммерческим рынком (атаки БПЛА, диверсии), что исключает конкуренцию со страховщиками и делает общество дополнением единой модели страхования отрасли; целевая ниша — средний слой имущественных рисков.

Ключевые слова: взаимное страхование, общество взаимного страхования, топливно-энергетический комплекс, ретроспективная премия, перестрахование, управление рисками

Abstract. Based on the leading mutuals of the global energy industry — Everen, NEIL and the P&I clubs — the article identifies the mechanisms of industry mutuality: at-cost insurance, retrospective loss funding, engineering standards of membership, and reinsurance of the catastrophic layer. A phased model of an industry mutual for the Russian fuel and energy sector is proposed: its starting niche comprises risks uninsurable in the commercial market (drone attacks, sabotage), eliminating competition with incumbent insurers and making the mutual a complement to the industry's integrated insurance model; the target configuration is the middle layer of property risks.

Keywords: mutual insurance, mutual insurance society, fuel and energy sector, retrospective premium, reinsurance, risk management

Введение

Трансформация российского страхового рынка, начавшаяся в 2022 году с закрытием доступа к международным страховым и перестраховочным емкостям, поставила перед крупнейшими отраслями отечественной экономики, прежде всего перед топливно-энергетическим комплексом (ТЭК), вопрос, который мировая энергетика решала на протяжении полутора столетий: где взять страховую защиту, когда коммерческий рынок не может или не хочет ее предоставить. Ответ, к которому раз за разом приходила зарубежная практика, удивительно традиционен: самые долговечные институты страхования энергетических рисков — не коммерческие, а взаимные. Старейшими и наиболее устойчивыми носителями энергетических рисков в мире являются именно общества взаимного страхования (ОВС): клубы взаимного страхования судовладельцев P&I, бермудское общество Everen в нефтегазо-

вом секторе, американское общество операторов атомных станций NEIL.

Российское законодательство знает такую правовую форму: взаимное страхование предусмотрено статьей 968 Гражданского кодекса Российской Федерации и специальным Федеральным законом от 29.11.2007 № 286-ФЗ «О взаимном страховании». Однако практика ее применения остается фрагментарной: по состоянию на середину 2026 года в едином государственном реестре субъектов страхового дела числятся лишь девять действующих ОВС, но компании ТЭК среди их учредителей не представлены [1]. Возникает содержательный разрыв между зрелостью зарубежных институтов взаимности и практически пустующей российской нишей; исследование его причин и путей преодоления составляет предмет настоящей статьи.

Цель статьи — на основе анализа ведущих зарубежных моделей взаимного страхования в энергетике выявить экономические механизмы, обеспечиваю-

шие их долговременную устойчивость, и предложить модель имплементации этих механизмов в российском ТЭК с учетом отечественного правового поля и структурных особенностей национального страхового рынка. Методологическую основу исследования составляет сравнительно-институциональный анализ зарубежных и российских форм организации страховой защиты. Информационной базой послужили данные ICMIF, Банка России, Международной группы клубов P&I, обществ Everen и NEIL, а также труды отечественных исследователей взаимного страхования [2, 3].

Взаимное страхование в архитектуре мирового страхового рынка

Взаимное страхование — исторически первая форма организации страховой защиты и одновременно наиболее живучая ее конструкция: страхователи объединяются, чтобы страховать друг друга без коммерческого посредника, участники общества являются одновременно его членами и его страхователями, а «прибыль

Двухконтурная конструкция «ОВС — для имущества, пул — для ответственности» сегодня стала фактическим мировым стандартом атомного страхования

страховщика» здесь отсутствует по определению. Из этой конструкции прямо следует экономическая природа взаимности. Во-первых, страхование ведется «по себестоимости»: в цене защиты нет нагрузки на прибыль и аквизицию, а излишки взносов либо возвращаются членам, либо идут в зачет будущих периодов. Во-вторых, членство в ОВС — не покупка полиса, а принятие на себя доли общего риска: при недостаточности премий убытки покрываются дополнительными взносами членов, несущих субсидиарную ответственность по страхо-



Порт Роттердам

Источник: VDW, Depositphotos.com



Погрузка танкера

Автор: Михаил Дышлюк

вым обязательствам общества. В-третьих, взаимность очень требовательна к отношениям внутри ОВС: ей нужны доверие, дисциплина и однородность участников — качества, которые легче всего складываются внутри одной отрасли, где участники хорошо понимают риски и бизнес-процессы друг друга. Именно последняя черта делает взаимное страхование естественной формой организации защиты для капиталоемких отраслей с однородными и «неудобными» для коммерческого рынка рисками, прежде всего для энергетики.

Масштаб мирового сектора взаимного страхования опровергает представление о нем как о нишевой архайке. По данным ICMIF¹, совокупная премия взаимных и кооперативных страховщиков мира превышает 1,4 трлн долл., что соответствует 26,3 % мирового страхового рынка — максимальной доле за восемь лет наблюдений, сектор объединяет свыше 4,7 тыс. организаций в 80 странах с совокупными активами порядка 10 трлн долл. [4].

Отметим, что Россия исторически принадлежала к числу стран с развитой культурой взаимности: дореволюционная прак-

Принципиальная черта конструкции сохранена: членство в ОВС — не покупка полиса, а принятие на себя доли общего риска, и именно она делает взаимность одновременно дешевой и требовательной

тика знала земское взаимное страхование, городские общества взаимного страхования от огня и отраслевые общества промышленников. Советская государственная монополия прервала эту традицию — современный российский рынок формировался с начала 1990-х годов почти исключительно в коммерческой парадигме. Тем поучительнее зарубежный опыт, к рассмотрению которого мы переходим.

¹ Международная федерация кооперативного и взаимного страхования (International Cooperative and Mutual Insurance Federation, ICMIF) — основанная в 1922 году глобальная отраслевая организация со штаб-квартирой в Великобритании, объединяющая взаимные и кооперативные страховые компании по всему миру; ведет отраслевую статистику (в том числе ежегодный обзор Global Mutual Market Share), представляет интересы сектора и содействует обмену опытом между участниками.



Перегрузка СПГ в море

Источник: Shutterstock.com

Отраслевая взаимность в мировой энергетике: институты и экономические механизмы

Самый яркий пример отраслевой взаимности в нефтегазовом секторе — бермудское общество Everen (до 2022 года — Oil In-

surance Limited, OIL), созданное в 1972 году 16 нефтяными компаниями. Главным мотивом создания такого общества стала неспособность коммерческого рынка предложить отрасли приемлемую емкость по имущественным рискам. Сегодня участниками общества являются более 60 энергетических компаний мира с совокупными застрахованными активами около 4 трлн долл. Каждый участник получает лимит до 450 млн долл. на одно событие по имуществу, контролю над скважиной, ликвидации последствий загрязнения и ряду смежных покрытий [5]. Экономика общества принципиально отлична от коммерческой: страхование предоставляется «по себестоимости», а премии рассчитываются ретроспективно — по формуле, распределяющей фактические убытки прошлых лет между участниками пропорционально их активам и убыточности. По существу, это организованное самострахование отрасли, снимающее с участников циклические колебания ставок и риск отказа коммерческого рынка от неудобного класса рисков. Условиями членства служат масштаб (активы не менее 1 млрд долл.) и инвестиционное кредитное качество, подтвержденное соответствующими рейтингами.

Второй образец дает морской сегмент энергетической логистики. Ответствен-

Танкер на погрузке у ВПУ
Источник: Shutterstock.com

**Шаг от корпоративной
взаимности к отраслевой —
к объединению рисков
конкурирующих компаний —
в России пока не сделан, тогда как
именно этот шаг в свое время
породил Everen, NEIL и клубы P&I**

ность судовладельцев перед третьими лицами, включая разливы нефти, удаление затонувшего имущества, вред экипажу, во всем мире покрывается не коммерческими страховщиками, а клубами взаимного страхования P&I (protection and indemnity), объ-

единенными в Международную группу: 13 клубов страхуют порядка 90 % мирового тоннажа и совместно финансируют убытки по ступенчатой схеме. Каждый клуб удерживает убыток до 10 млн долл., убытки от 10 до 100 млн долл. делятся между клубами через общий пул, частично перестрахованный в собственном экзитиве группы Hydra², сверх 100 млн долл. работает единая рыночная программа эксцедента убытка на 2 млрд долл., а над ней — коллективная раскладка превышения еще на 1 млрд долл. [6]. Эта конструкция, вероятно, самый совершенный в мире образец сочетания взаимности (клубы и пул), экзитивного самострахования (Hydra) и коммерческого перестрахования в одной программе. Показательно и ее происхождение: клубы родились почти два века назад из взаимного недоверия судовладельцев-конкуренентов — тех же опасений, которые сегодня удерживают российские компании от объединения рисков. Понимание необходимости преодо-

Транспортировка нефтепродуктов

Источник: Shutterstock.com



² Hydra Insurance Company Limited (Hydra) — экзитивная перестраховочная компания Международной группы клубов P&I, зарегистрированная на Бермудских островах и организованная по принципу обособленных ячеек (segregated cells) по числу клубов-участников. Через нее клубы удерживают на собственном совместном риске часть убытков пулового слоя, не передавая их на коммерческий перестраховочный рынок.



Нефтетанкеры на рейде порта

Источник: Sutterstock.com

ления этого недоверия пришло тогда, когда цена коммерческой альтернативы стала неприемлемой.

Третий образец сложился в атомной энергетике. Следуя той же логике, по которой нефтяная отрасль создала Everen, операторы атомных станций параллельно национальным страховым пулам учредили собственные общества взаимного страхования. Крупнейшим из них является американское NEIL³ — мировой лидер в страховании имущественных рисков АЭС. Оно покрывает ущерб самим станциям и расходы на ликвидацию последствий аварий на площадке, дополняя пул ANI⁴, концентрирующийся на ответственности перед третьими лицами [7]. Уточним здесь, что ANI, в отличие от NEIL, не является обществом взаимного страхования, его емкость формируется совместным андеррайтингом компаний-участников.

Двухконтурная конструкция «ОВС — для имущества, пул — для ответственности» сегодня стала фактическим мировым стан-

дартом атомного страхования. Родственный взаимности механизм встроен и в американский закон Прайса — Андерсона 1957 года, действие которого в 2024-м продлено сразу на сорок лет — до 2065 года. Суть его в следующем: сверх обязательного коммерческого страхования ответственности каждой площадки через пул ANI (500 млн долл.) при крупном ущербе владельцы 95 действующих реакторов США обязаны внести ретроспективные взносы с каждого реактора, из которых образуется в совокупности около 16,3 млрд долл. обеспечения на один инцидент [8]. Особенность этой конструкции в том, что второй уровень не требует ни бюджетных средств, ни замораживания капитала: отрасль страхует сама себя обещанием будущих взносов — тот же механизм ретроспективной премии взаимного страхования, лишь возведенный в ранг федерального закона. Печальный контрпример дает авария на АЭС «Фукусима-Дайити» 2011 года, при которой из страхового покрытия при заключении до-

³ NEIL (Nuclear Electric Insurance Limited) — американское общество взаимного страхования операторов атомных станций, основанное в 1980 году, со штаб-квартирой в г. Уилмингтон (штат Делавэр, США).

⁴ ANI (American Nuclear Insurers) — американский страховой пул, образованный в 1957 году как объединение коммерческих страховых компаний для страхования гражданской ответственности операторов ядерных объектов в рамках закона Прайса — Андерсона, штаб-квартира в г. Гластонбери (штат Коннектикут, США).



говора оказался исключенным именно реализовавшийся сценарий и компенсационную конструкцию пришлось создавать постфактум [9], но уже без какого бы то ни было участия страховщиков и ОВС.

Сопоставление трех институтов, выросших в разных сегментах энергетики и разных правовых системах, выявляет общий набор механизмов, обеспечивающих устойчивость отраслевой взаимности. Первый — страхование «по себестоимости», сглаживающее для участников рыночный цикл: члены общества не платят за подо-

рожавший в жесткой фазе страхового рынка капитал больше, чем он стоит для них самих. Второй — ретроспективное финансирование: емкость создается не крупным оплаченным капиталом, а юридически обязывающим обещанием будущих взносов участников, что позволяет начинать работу общества с фондом умеренного размера. Третий — инженерные стандарты как условие членства: взаимность немыслима без профессиональной превентивной проработки рисков и дисциплины, поэтому и Everen, и NEIL содержат собственные инженерные службы, клубы P&I — развитые сюрвейерские программы, а соблюдение установленных стандартов является условием сохранения членства. Четвертый — обязательное перестрахование катастрофического слоя: однородный отраслевой портфель лишен диверсификации: авария, типичная для отрасли, бьет по всем членам ОВС сразу, поэтому верхний слой рисков общества передают коммерческому перестраховочному рынку. Пятый — накопление отраслевой статистики убытков и андеррайтинговой экспертизы в едином центре, превращающее соответствующее ОВС в институт отраслевого знания о риске.

Начинать следует не со среднего слоя рисков, а с тех классов, которые коммерческий рынок не страхует вовсе или страхует с существенными ограничениями: рисков атак БПЛА, диверсий, иных систематических рисков



Бурение нефтяных и газовых скважин

Источник: robert_g, Depositphotos.com

Подчеркнем: ни один из перечисленных механизмов не привязан к конкретной юрисдикции — все они переносимы в любое правовое поле, где существует форма взаимного страхования, в том числе и российское.

Правовой режим и современная практика взаимного страхования в России

Российский правовой режим взаимного страхования образуют статья 968 Гражданского кодекса Российской Федерации, закон Российской Федерации от 27.11.1992 № 4015-1 «Об организации страхового дела в Российской Федерации» и специальный закон № 286-ФЗ. Действующая редакция последнего, существенно обновленная в 2021–2024 годах (изменения вступили в силу в 2025 году в два этапа), определяет ОВС как некоммерческую организацию — вид потребительского кооператива, создаваемую для взаимного страхования имущественных интересов своих членов и действующую на основании лицензии Банка России. Убытки и расходы общества покрываются страховыми премиями, а при их недостаточности — дополнительными взносами членов, которые несут субсидиарную ответственность по

страховым обязательствам общества. Реформа 2021 года распространила на ОВС требования к собственным средствам и квалификационные требования к должностным лицам, а закон от 08.08.2024 № 256-ФЗ модернизировал устройство обществ, уточнив порядок их создания, членства и осуществления страхования. Надзорные требования Банка России к страховым организациям и ОВС развиваются в едином контуре. Тем самым регулирование взаимности сближено с общим режимом страхового дела. Таким образом, аргумент о «регуляторной непол-

Устойчивость отраслевой взаимности обеспечивается воспроизводимым набором экономических механизмов: страхованием «по себестоимости», ретроспективным финансированием убытков, инженерными стандартами и т.д.

ноценности» этой формы можно считать снятым. Принципиальная черта конструкции сохранена: членство в ОВС — не покупка полиса, а принятие на себя доли общего риска, и именно она делает взаимность одновременно дешевой (нет нагрузки на прибыль и аквизицию) и требовательной (нужны доверие, дисциплина и однородность участников).

Практика, однако, разительно отстает от правовых возможностей. По состоянию на 5 июля 2026 года в едином государственном реестре субъектов страхового дела числятся девять действующих ОВС [1] — величина, несопоставимая с масштабом национальной экономики. Вместе с тем внутри этого небольшого сегмента уже появился прецедент промышленного масштаба: общество «РТ-Взаимное страхование», получившее лицензию Банка России в июне 2021 года и объединяющее более 250 организаций государственной корпорации «Ростех» [10]. Кейс примечателен тем, что воспроизводит в пределах одного корпоративного контура ту же экономическую логику, что и зарубежные отраслевые общества: объединение однородных промышленных рисков, страхование по себестоимости, удержание премии и статистики внутри периметра. Однако шаг от корпоративной взаимности к отраслевой — к объединению рисков независимых, конкурирующих компаний — в России пока не сделан, тогда как именно этот шаг в свое время породил Everen, NEIL и клубы P&I.

Между тем структурные предпосылки для такого шага в ТЭК сложились. Концентрация национальной перестраховочной емкости и удорожание защиты, сужение покрытия по систематическим рискам, потребность в страховании «неудобных» для коммерческого рынка классов — все это ниши, которые мировая практика закрывала именно взаимностью. Особо выделим класс рисков, фактически выпавших из коммерческого покрытия либо страхуемых с запретительными ограничениями, — риски терактов, диверсий и атак беспилотных летательных аппаратов: именно здесь дефицит страховой защиты предприятий ТЭК ощущается острее всего, и именно здесь новое общество не встретило бы конкуренции действующих страховщиков. Зарубежные образцы дают готовые форматы архитектуры ОВС, а российский закон — правовую форму. Не-



Нефтеналивные суда
Источник: Shutterstock.com

достаёт лишь организационного решения самих компаний отрасли.

Модель имплементации международного опыта в российском ТЭК

Механический перенос в российские реалии международных институтов невозможен, ведь они выросли из иной правовой среды, иного масштаба рынков и полуторавекового непрерывного накопления капитала и массивов данных. Однако зарубежный опыт переносится не только каналами движения капитала: институциональные образцы, экономические механизмы и стандарты свободно пересекают любые границы. Общий принцип адаптации сформулируем так: заимствовать следует не вывески, а механизмы — экономическую логику взаимности, ретроспективного финансирования и инженерной дисциплины, вырастивая на ее основе институты, соразмерные российскому рынку и находящиеся в российском правовом поле.

Ключевой вопрос проектирования — выбор стартовой ниши. Начинать следует



Нефтетанкер в проливе Босфор

Источник: Shutterstock.com

не со среднего слоя рисков как такового, а с тех классов, которые коммерческий рынок не боится вовсе или боится с существенными ограничениями: рисков атак беспилотных летательных аппаратов, диверсий, иных систематических рисков, покрытие по которым в последние годы последовательно сужается. Такой выбор решает сразу три задачи. Во-первых, вновь создаваемое общество не столкнется с конкурентным давлением действующих на рынке страховщиков: оно займет пустующую нишу и станет для рынка не соперником, а дополнением — недостающим элементом единой целостной модели страхования в ТЭК, в которой бюджеты предприятий несут франшизы, коммерческие страховщики — рыночные классы рисков, перестраховочная вертикаль — катастрофический слой, а общество — те риски, которые иначе остались бы незащищенными вовсе. Во-вторых, членство в ОВС с первого дня закрывает для компаний реальный, а не воображаемый дефицит защиты — мотивировать объединение проще всего там, где коммерческая альтернатива отсутствует. В-третьих, ровно так возникали и зарубежные образцы: Everen был создан в 1972 году не против коммерческого рынка, а вместо отказавшего рынка, и лишь затем, накопив емкость, статистику и доверие участников, расширял покрытие; тот же путь прошли клубы P&I и взаимные общества операторов атомных станций.

Целевая же конфигурация модели для российского ТЭК — общество взаимного страхования крупнейших компаний отрасли, расширяющее по мере накопления емкости и статистики покрытие от стартовой ниши к среднему слою имущественных рисков: между франшизами предприятий, которые несут их собственные бюджеты, и катастрофическим слоем, остающимся коммерческому рынку и национальной перестраховочной вертикали. Конструктивные элементы модели прямо следуют из механизмов, выявленных в разделе 2. Емкость общества формируется коллективно, с ретроспективными взносами вместо избыточного начального фонда: оплаченный капитал ограничивается регуляторным ми-

Препятствия носят не юридический, а организационный характер: необходимы взаимное доверие отраслевиков-конкурентов, готовность делиться информацией об убытках и подчиняться общим правилам

нимумом, а его экономическую функцию выполняют юридически обязывающие гарантии будущих взносов участников — по образцу формулы ретроспективного внесения премий Everen и второго уровня закона Прайса — Андерсона.

Отечественная практика уже знает конструкцию, тождественную ретроспективному финансированию: емкость Российской национальной перестраховочной компании (РНПК) лишь в малой части опирается на оплаченный деньгами капитал (около 21,3 млрд руб. [12]), а в основном — на гарантию Банка России пополнить его по мере реализации убытков; объявленный капитал компании был последовательно наращен с 71 млрд руб. при ее создании в 2016 году до 300 млрд руб. [11], а в 2022 году гарантированный Банком России капитал компании достиг 750 млрд руб. [13]. Тем самым регулятор подтвердил применимость в российском праве принципа, на котором строится и взаимность: емкость создается не привлеченным заранее капиталом, а обязательством внести его позже. Условием членства служат обязательные инженерные стандарты: единые требования к предстраховой экспертизе, превенции и раскрытию информации об убытках, что одновременно решает задачу накопления отраслевой статистики. Катастрофический слой общества в обязательном порядке перестраховывается на коммерческом рынке. Для российских условий модель особенно привлекательна тем, что позволяет создать страховую емкость, не отвле-



Танкер в Арктике
Источник: Shutterstock.com

кая капитал из инвестиционных программ компаний, и сгладить для участников ценовой цикл, острота которого в условиях концентрации национальной емкости только выросла. Сводное сопоставление зарубежных образцов и направлений их адаптации дано в табл. 1.

Препятствия на этом пути носят не юридический, а организационный характер: не-

Таблица 1. Элементы международного опыта взаимного страхования и направления их адаптации в российском ТЭК

Механизм	Зарубежный образец	Направление адаптации в российском ТЭК
Отраслевое взаимное страхование	Everen, NEIL, клубы P&I	ОВС крупнейших компаний отрасли (закон № 286-ФЗ): стартовая ниша — риски, не страхуемые коммерческим рынком (БПЛА, диверсии); целевая — средний слой имущественных рисков
Ретроспективное финансирование убытков	Премиальная формула Everen; второй уровень закона Прайса — Андерсона	Дополнительные (ретроспективные) взносы членов вместо избыточного начального фонда; гарантии будущих взносов
Инженерные стандарты как условие членства	Инженерные службы Everen и NEIL; сюрвейерские программы клубов P&I	Обязательные стандарты предстраховой экспертизы и превенции как условие членства в ОВС
Перестрахование катастрофического слоя	Программа эксцедента убытка Международной группы P&I	Обязательное перестрахование верхнего слоя ОВС на российском рынке и в национальной перестраховочной вертикали
Отраслевая статистика и экспертиза	Базы данных об убытках; андеррайтинговые центры обществ	Единая отраслевая база данных об авариях и убытках ТЭК; обмен обезличенной статистикой

Составлено автором



Погрузка СПГ

Источник: Shutterstock.com

обходимы взаимное доверие отраслевиков-конкурентов, готовность делиться информацией об убытках и подчиняться общим правилам. Следует учитывать, что выход из ОВС крупного участника способен дестабилизировать емкость, однако это компенсируется заблаговременной фиксацией его обязательств по убыткам прошлых лет. Требуется дисциплины и определение границ взаимного покрытия: систематические риски стартовой ниши (теракты, диверсии, атаки беспилотных аппаратов) должны приниматься обществом на особых условиях с выделенными фондами и агрегатными отраслевыми лимитами, соразмерными коллективной емко-

сти участников, а при масштабах ущерба, превышающих возможности отрасли, — сопрягаться с механизмами пулового типа с участием государства. Катастрофический же слой в любом случае подлежит перестрахованию — мировая практика последовательно разводит эти контуры. Наконец, история клубов P&I, родившихся из таких же опасений судовладельцев два века назад, подсказывает главное: организационные препятствия преодолеваются тогда, когда цена коммерческой альтернативы становится неприемлемой, а динамика стоимости страхования крупных промышленных рисков в России движется именно в этом направлении.



Сопровождение танкера

Источник: Nightman1965, depositphotos.com

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы. Во-первых, взаимное страхование — не архаичная, а системообразующая форма организации страховой защиты мировой энергетики: на взаимный сектор приходится более четверти мировой страховой премии, а самые устойчивые институты страхования энергетических рисков — Everen, NEIL, клубы P&I — являются обществами взаимного страхования. Во-вторых, устойчивость отраслевой взаимности обеспечивается воспроизводимым набором экономических механизмов: страхованием «по себестоимости», ретроспективным финансированием убытков, инженерными стандартами как условием членства, обязательным перестрахованием катастрофического слоя и накоплением отраслевой статистики. В-третьих, российский правовой режим после реформ 2021–2024 годов достаточен для реализации всех этих механизмов, а прецедент «РТ-Взаимного страхования» доказал работоспособность формы в промышленном масштабе; незанятой оста-

ется именно отраслевая ниша — объединение рисков независимых компаний ТЭК. В-четвертых, реалистичной моделью имплементации является поэтапное создание ОВС крупнейших компаний отрасли: стартовая ниша — риски, не страхуемые или страхуемые с существенными ограничениями коммерческим рынком (атаки беспилотных аппаратов, диверсии и иные систематические риски), что избавляет общество от конкурентного давления действующих страховщиков и встраивает его в единую целостную модель страхования ТЭК. Целевая конфигурация данной модели — средний слой имущественных рисков с ретроспективными взносами, инженерными стандартами членства и перестрахованием верхнего слоя. Препятствия к ее реализации лежат не в правовой, а в организационной плоскости — и мировой опыт свидетельствует, что они преодолимы. Заимствовать следует механизмы, а не вывески: экономическая логика взаимности универсальна, институты же должны быть выращены соразмерными российскому рынку и укорененными в российском правовом поле.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Единый государственный реестр субъектов страхового дела: по состоянию на 05.07.2026 // Банк России: сайт. URL: <https://www.cbr.ru/insurance/registers/>.
2. Турбина К. Е., Дадьков В. Н. Взаимное страхование. М.: Анкил, 2007. 344 с.
3. Логвинова И. Л. Взаимное страхование в России: особенности эволюции. М.: Финансы и статистика, 2009. 176 с.
4. Global Mutual Market Share 2024 // International Cooperative and Mutual Insurance Federation (ICMIF): сайт. URL: <https://www.icmif.org/mms-2024/>.
5. Everen Limited (formerly Oil Insurance Limited): corporate information // Everen Limited: сайт. Hamilton, Bermuda. URL: <https://everen.bm/>.
6. International Group of P&I Clubs: Pool and General Excess of Loss reinsurance programme structure, 2025/26 policy year // International Group of P&I Clubs: сайт. URL: <https://www.igpandi.org/reinsurance/>.
7. Nuclear Electric Insurance Limited (NEIL): corporate information // NEIL: сайт. URL: <https://www.my-neil.com/>.
8. Стойбер К., Шериф А., Тонхаузер В., Вец Кармона М. де Л. Справочник по ядерному праву: имплементирующее законодательство. Вена: МАГАТЭ, 2010. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1456r_Web.pdf.
9. Кожеуров Я. С. От Хиросимы до Фукусимы: международно-правовые аспекты практики государств по возмещению ядерного ущерба // Российский юридический журнал. 2014. № 5(98). С. 89–109.
10. «РТ-Взаимное страхование»: два года на защите интересов Ростеха // Государственная корпорация «Ростех»: сайт. URL: <https://rostec.ru/media/news/rt-vzaimnoe-strakhovanie-dva-goda-nazashchite-interesov-rostekha/>.
11. Банк России увеличил объявленный капитал АО «РНПК» до 300 млрд рублей: пресс-релиз, 3 марта 2022 г. // Банк России: сайт. URL: <https://www.cbr.ru/press/event/?id=12732>.
12. О компании // Российская национальная перестраховочная компания (РНПК): сайт. URL: <https://rnrc.ru/>.
13. Гарантированный Банком России капитал РНПК на текущий момент составляет 750 млрд рублей — Курицына // ИА «Финмаркет». 22.03.2022. URL: <https://www.finmarket.ru/insurance/?nt=0&id=5682366>.

Энергетическая безопасность и энергетическая дипломатия Индии

India's Energy Security and Energy Diplomacy

Алексей МАСТЕПАНОВ

Главный научный сотрудник Аналитического
центра энергетической политики
и безопасности ИПНГ РАН, д.э.н.,
профессор РГУ нефти и газа
им. И. М. Губкина, академик РАН
E-mail: amastepanov@mail.ru

Alexey MASTEPANOV

Chief Researcher of the Analytical Center of the
Energy policy and Security (Oil and Gas Research
Institute of the Russian Academy of Sciences –
OGRI RAS), Doctor of Economic Sciences,
Professor of the National University of Oil and
Gas "Gubkin University",
Academician of the Russian Academy of Natural
Sciences
E-mail: amastepanov@mail.ru

Андрей СУМИН

Ведущий научный сотрудник Аналитического
центра энергетической политики
и безопасности ИПНГ РАН, к.ю.н.
E-mail: 02.slot.cancans@icloud.com

Andrey SUMIN

Leading researcher of Analytical Center for
Energy Policy and Security (Oil and Gas Research
Institute of the Russian Academy of Sciences –
OGRI RAS), PhD in Law
E-mail: 02.slot.cancans@icloud.com

Борис ЧИГАРЕВ

Старший научный сотрудник Аналитического
центра энергетической политики
и безопасности ИПНГ РАН, к.ф.-м.н.
E-mail: bchigarev@ipng.ru

Boris CHIGAREV

Senior researcher of Analytical Center for Energy
Policy and Security (Oil and Gas Research
Institute of the Russian Academy of Sciences –
OGRI RAS), PhD in Physics and Mathematics
E-mail: bchigarev@ipng.ru

Аннотация. В статье проанализирована концепция национальной энергетической безопасности и ее отражение во внешней политике Индии. Показан генезис концепции энергетической безопасности и ее связь со становлением геополитической роли Индии на мировой арене. Приведены причины усиления геоэкономической компоненты во внешней политике страны. Рассмотрены отличительные особенности функционирования индийского ТЭК. Выполнен анализ вызовов, с которыми сталкивается индийский ТЭК в текущих условиях. Охарактеризованы существующие и намечающиеся направления энергетической дипломатии Индии. Перечислены внешние и внутренние вызовы, с которыми сталкивается Индия в обеспечении своей энергетической безопасности. Сделан акцент на российско-индийском энергетическом сотрудничестве и проанализированы его перспективы.

Ключевые слова: Индия, энергетическая безопасность, вызовы энергетической безопасности, ТЭК, геоэкономика, природный газ, электроэнергия, энергетический сектор, ископаемые углеводороды, зеленая энергетика, санкции, энергетическое сотрудничество, энергетический переход

Abstract. The article analyzes the concept of national energy security and its reflection in India's foreign policy. The genesis of the concept of energy security and its connection with the formation of India's geopolitical role on the world stage is shown. The reasons for the strengthening of the geo-economic component in the country's foreign policy are shown. The distinctive features of the functioning of the Indian fuel and energy complex are considered. The analysis of the challenges faced by the Indian fuel and energy complex in the current conditions has been carried out. The existing and emerging directions of India's energy diplomacy are described. The external and internal challenges that India faces in ensuring its energy security are listed. An emphasis is placed on Russian-Indian energy cooperation and its prospects are analyzed.

Keywords: India, energy security, energy security challenges, fuel and energy complex, geo-economics, natural gas, electricity, energy sector, fossil hydrocarbons, green energy, sanctions, energy cooperation, energy transition



Резервуары для хранения нефтепродуктов Indian Oil

Источник: Shutterstock.com

Энергетическая безопасность Индии: предпосылки формирования и концепция

Способность обеспечить энергетическую безопасность национальной экономики является на текущем этапе исторического развития ни много ни мало залогом успешного функционирования и даже выживания современного государства. Соответственно, в складывающихся в настоящий момент новых геополитических и геоэкономических реалиях энергетика становится одним из ключевых факторов внешней политики любой страны. Индия — государство с почти полуторамиллиардным населением, третий в мире потребитель энергии — являет тому яркий пример.

Господствующая в настоящее время концепция энергетической безопасности Индии сформировалась на рубеже XX–XXI веков. Окончание холодной войны привело к формированию однополярного мира, следствием которого стала глобализация. Переформатирование геополитических

реалий означало новые возможности, но одновременно и новые вызовы для национальных экономик. Появление новых технологий (таких как цифровизация) и совершенствование уже существовавших (возобновляемая энергетика) запустили процесс трансформации мировой энергетики. Процесс глобализации привел к формированию новых точек экономического роста, одной из которых стала Индия. С 1991 года индийская экономика росла в среднем на 7–8 %, при этом к 2024-му удельный вес сельскохозяйственного сектора в ВВП упал с 42 до 17 %, а сектора услуг, напротив, подскочил до 53 % [1, с. 8]. Рост производства и товарообмена, модернизация инфраструктуры и повышение благосостояния населения спровоцировали в Индии скачок спроса на энергию [2, с. 6]. По расчетам индийских экспертов, экономический рост в стране на период до 2047 года составит в среднем 7,4 % в год. При этом ожидаемый годовой прирост энергопотребления колеблется в пределах от 15,6 % в 2012 году до прогнозируемых 20,6 % в 2030-м [3, с. 219]. По обнаружен-



Нефтехимия Индии

Источник: Shutterstock.com

ному в 2021 году прогнозу МЭА, потребление электроэнергии в Индии возрастет с 1500 ТВт·ч в 2020-м до 5500 ТВт·ч в 2040 году [4, с. 3].

Реагируя на меняющиеся геополитические условия, Индия провозгласила внешнеполитическую концепцию «стратегической автономии», которая подразумевает способность действовать на мировой арене без оглядки на другие страны. Применительно к экономическому развитию стратегическая автономия отдает приоритет опоре на внутренний потенциал при одновременном развитии сотрудничества с зарубежными государствами и международными организациями, что должно способствовать превращению национальной экономики в одну из ведущих в мире. Стоит отметить, что фактически курс на стратегическую автономию был выбран еще раньше, а именно после обретения независимости Индией в 1947 году, вскоре после которого страна стала одним из ведущих участников Движения неприсоединения [3, с. 218].

Стратегическая автономия традиционно видится индийскому руководству

как основополагающее условие вхождения страны в число ведущих держав мира в будущем [3, с. 217]. Концепция стратегической автономии включает и создание мощного современного энергетического сектора. В свою очередь развитие национального ТЭК является составной частью общегосударственной программы *Viksit Bharat 2047* («Индустриально развитая Индия в 2047 году») по осуществлению широкомасштабных преобразований с конечной целью превратить Индию в одну из самых развитых стран мира к 2047 году — столетней годовщине обретения независимости. Программа *Viksit Bharat 2047* предполагает создание высокоразвитой, самодостаточной, устойчивой, инклюзивной и основанной на технологическом суверенитете экономики с объемом ВВП в 23–35 трлн долл. Условиями вхождения в число индустриально развитых экономик в Программе названы цифровизация, реформа систем государственного управления и образования на основе демократических начал, стимулирование вовлечения женщин в социально-экономические процессы,



Завод индийской компании Tata Steel

Источник: tata.com

«умная» урбанизация, создание благоприятных и устойчивых условий жизни для растущего населения страны и декарбонизация экономики в рамках энергетического перехода.

Энергетический переход в условиях современной Индии понимается как форсированное развитие возобновляемой энергетики (солнечной, ветровой и с использованием «зеленого» водорода), расширение и модернизация передающих и распределительных сетей, а также создание новых технологических решений по накоплению и хранению излишков производимой электроэнергии [5]. С другой стороны, в стране существует широкий консенсус относительно необходимости дальнейшего использования углеводородных энергоносителей. Именно использование каменного угля, нефти и природного газа способно обеспечить рост производства электроэнергии, столь необходимой энергодефицитной индийской экономике. Некоторые отрасли реального сектора экономики (такие как металлургическая, химическая, производство стройматериалов и транспорт) даже на современном этапе не в состоянии обойтись без ископаемых энергоносителей [1, с. 17]. Индия является третьим в мире производителем стали; сталелитейная отрасль — становой хребет индийской тяжелой промышленности. Спрос на сталь обеспечивает в том числе и внутренний рынок: строительная отрасль, машино- и автомобилестроение [6, с. 1], а также реализация инфраструктурных проектов. При этом затраты на энергию составляют в сталелитейном секторе Индии от 20 до 40 % себестоимости продукции [7, с. 6, 116]. К 2030 году планируется довести выплавку стали до 300 млн тонн в год, при этом Индия импортирует до 90 % необходимого для выплавки стали коксующегося угля. Технологически возможными альтернативами импортному коксующемуся углю при выплавке стали являются природный газ и водород. Но переход с угля на природный газ не снижает зависимость от импорта. Что касается водорода, то индийские эксперты указывают на существенный потенциал их страны для развертывания производства и экспорта «зеленого» водорода. Одновременно отмечается, что издержки

**Индия провозгласила
внешнеполитическую концепцию
«стратегической автономии»,
которая подразумевает
способность действовать
на мировой арене без оглядки
на другие страны с опорой на
внутренний потенциал**

на строительство производственных и экспортных мощностей, а также само производство в индийских условиях могут оказаться непомерно высокими [17].

В силу указанных соображений Нью-Дели делает ставку как на расширение использования ископаемых углеводородов, так и на рост использования ВИЭ. В 2020–2022 годах индийское правительство объявило о целом ряде крупных инвестиционных инициатив. В частности, был анонсирован план вложить около 50 млрд долл. в добычу и использование каменного угля¹. По замыслу властей, совокупная мощность угольной генерации к 2030 году должна составить 26,9 ГВт [9, с. 9]. Внимание к поддержке угольной отрасли неслучайно: на сегодняшний день Индия является вторым в мире крупнейшим потребителем каменного угля [2, с. 46], угольная генерация обеспечивает около 70 % производства электроэнергии в стране. Кроме того, на угледобычу приходится прямо или косвенно около 20 млн рабочих мест [4, с. 4]². Далее Министерство нефти и природного газа обнародовало программу строительства инфраструктуры по поставке и использованию природного газа. Предприятия государственного и частного сектора интенсифицировали деятельность по разведке и добыче природного газа на национальной территории [3]. Наконец, необходимо отметить немаловажную фискальную роль углеводородных

¹ Индия располагает запасами каменного угля совокупным оценочным объемом 150 млрд тонн [3, с. 217].

² Подробнее: Top 10 Coal-Producing States In India. URL: <https://rawalwasia.in/top-10-coal-mining-states-in-india>.

**Программа Viksit Bharat 2047
предполагает создание
высокоразвитой,
самодостаточной, устойчивой,
инклюзивной и основанной
на технологическом суверенитете
экономики с объемом ВВП
в 23–35 трлн долл.**

энергоносителей. Так, акцизы на использование каменного угля, нефти и природного газа ежегодно формируют в среднем 18,8 % доходной части государственного бюджета страны и 8,3 % бюджета индийских штатов [1, с. 11].

Отдельное место в рамках усилий правительства по модернизации ТЭК принадлежит атомной энергетике. По данным индийского Агентства по атомной энергетике, в 2023 году в стране строились АЭС совокупной мощностью 8,7 ГВт, а также было согласовано создание дополнительных 7 ГВт [9, с. 9]. В начале 2026 года было заявлено о правительственном плане по созданию к 2047 году атомной генерации совокупной мощностью 100 ГВт. Для достижения ука-

занного показателя планируется внести изменения в законодательство с целью дать возможность частным инвесторам работать в индийской атомной отрасли, а также продлить как минимум до 2035 года режим освобождения от таможенных пошлин импорта соответствующего оборудования [11]. Характеризуя атомную генерацию как «чистую» и способную тем самым облегчить энергетический переход, индийские эксперты указывают на длительность и дороговизну строительства АЭС [11]. Увеличение атомной генерации усилит и потребность в ядерном топливе для АЭС, сырье для которого придется закупать за рубежом, породив тем самым еще одну зависимость.

Как видно из сказанного, залогом успешного социально-экономического развития Индии является расширение и модернизация ТЭК, что в свою очередь предполагает увеличение импорта энергоносителей и критического сырья на длительную перспективу. Именно поэтому характерной приметой внешней политики Индии в настоящий момент является смещение фокуса с геополитических вопросов в сферу геоэкономики [3, с. 217]. Концепция «стратегической автономии» нацелена не в последнюю очередь на укрепление энергетической безопасности, на создание благоприятных условий для импорта углеводородов и на приобретение зарубежных энергетических технологий у возможно более широкого круга поставщиков [12, с. 9].

Под энергетической безопасностью индийские эксперты понимают надежное и

Источник: im-mining.com

Бхилайский металлургический завод



бесперебойное снабжение национальной экономики энергией по доступным ценам. При этом энергетическая безопасность рассматривается как неотъемлемая часть национальной безопасности [3, с. 216]. В последние годы Индия ощущает, что ее энергетическая безопасность подвергается целому ряду угроз — как военных, так и гибридных. Такими угрозами являются затянувшийся российско-украинский конфликт, застарелый конфликт на Ближнем Востоке, вспыхнувшая недавно война в Персидском заливе, растущая конкуренция за природные ресурсы, пиратство на морях и терроризм, бьющие по и без того хрупким цепочкам поставок. Соответственно, высшее политическое руководство и ведущие предпринимательские круги вынуждены то и дело адаптировать методы обеспечения национальной энергетической безопасности к постоянно меняющимся геополитическим условиям.

К настоящему моменту в Индии в целом сложился консенсус в отношении того, как на обозримую перспективу обеспечивать и укреплять энергетическую безопасность страны в условиях глобальной нестабильности [10]. Индийское руководство осуществляет двуединую стратегию, сочетающую в себе, с одной стороны, диверсификацию поставщиков энергетических ресурсов и укрепление цепочек поставок

Индия является вторым в мире крупнейшим потребителем каменного угля, угольная генерация обеспечивает около 70 % производства электроэнергии в стране, на угледобычу приходится около 20 млн рабочих мест

углеводородов из-за рубежа, а также расширение сети торговых партнеров из числа государств, являющихся ведущими экспортерами технологий и оборудования в сфере энергетики [3, с. 216]. С другой стороны, Индия прилагает усилия по использованию внутреннего потенциала в сфере производства энергии, причем особое внимание уделяется развитию возобновляемой энергетики [10]. Указанная двуединая стратегия обеспечения энергетической безопасности реализуется на практике следующим образом.

АЭС «Куданкулам»

Источник: atomic-energy.ru





Энергоблок АЭС «Куданкулам»

Источник: atomic-energy.ru

Импорт углеводородов из-за рубежа

В энергетическом балансе Индии преобладают ископаемые углеводороды. В 2023–2024 годах структура предложения первичной энергии выглядела следующим образом: каменный уголь (59,9 %), нефть (28,1 %), природный газ (7,15 %), ВИЭ (2,22 %), ядерная энергетика (1,37 %), гидроэнергетика (1,26 %) [13].

Являясь хронически энергодефицитной страной, Индия импортирует 80 % необходимых ее экономике энергоносителей. В 2024/2025 финансовом году импорт покрывал 85 % потребностей в сырой нефти и свыше 50 % — в природном газе. При этом в указанный период от 35 до 40 % сырой нефти приходилось на поставки из России, еще около 45 % сырой нефти закупалось в Западной Азии. Являясь одним из крупнейшим мировых потребителей энергоносителей, Индия занимает также четвертое место в мире по импорту СПГ. Высокая зависимость от импорта сырой нефти, природного газа и каменного угля делает страну крайне зависимой от военно-политической ситуации в регионах добычи и транспортировки энергоносителей, а также от колебаний цен на мировых энергетических рынках [3, с. 217].

Ключом к обеспечению энергетической безопасности любого государства в современных условиях является диверсификация источников поставок энергоносителей. Индия разделяет данный подход: в последние годы страна последовательно расширяла перечень регионов — поставщиков углеводородов. Поворотным моментом здесь следует считать начало вооруженного конфликта на Украине, побудившее правительство Индии взглянуть на развитие национальной энергетики с несколько иной перспективы, отличной от господствовавшей дотоле. По словам высокопоставленного индийского чиновника, в современных условиях «проблемы одной-единственной страны способны дестабилизировать весь мир» [10]. Конфликты на Украине и в других горячих точках планеты убедили руководство Индии в необходимости расширить географию импорта нефти и природного газа, а также увеличить использование внутренних энергетических ресурсов.

В настоящее время энергоносители поступают из Западной, Южной и Центральной Азии, из Африки и России [3, с. 218]. При этом энергетическое сотрудничество Индии с каждым из перечисленных регионов имеет свою специфику.

Индия и Западная Азия

Поставки из региона Западной Азии (к которому относятся Саудовская Аравия, ОАЭ, Катар и Ирак) покрывают почти 40 % потребностей Индии в сырой нефти. Перечисленные страны — экспортеры нефти являются членами ОПЕК. Нефть поступает в индийский порт Чабахар, специализирующийся именно на перевалке нефти из Западной Азии [там же].

Индия и Центральная Азия

В последнее десятилетие геэкономические интересы Нью-Дели все сильнее фокусируются на Центральном-Азиатском регионе; в индийской научной и политической терминологии по отношению к Киргизстану, Узбекистану, Казахстану, Таджикистану и Туркменистану даже стало употребляться специальное понятие «Пять Станов». Индию изначально привлекали богатые месторождения полезных ископаемых (особенно природного газа) Центральной Азии, которая к тому же находится относительно близко географически. В настоящий момент стратегическая ценность Центрально-Азиатского региона для Индии даже возрастает на фоне конфликта на Ближнем Востоке и его возможных последствий [3, с. 218]. О повышенном интересе к энергетическому сотрудничеству с ЦАР свидетельствует ряд соответствующих инициатив. В частности, с подачи индий-

ского руководства была сформулирована Политика сопряжения с Центральной Азией (Connect Central Asia Policy). В Ашхабаде было открыто региональное представительство индийского нефтегазового концерна ONGC Videsh. Кроме того, Индия инициировала инициативу CASAREM, предусматривающую объединение энергетических рынков государств Центральной и Южной Азии в единый межрегиональный энергетический рынок. Наконец, членство в Шанхайской организации сотрудничества рассматривается Нью-Дели в числе прочего как удобная площадка для взаимодействия с центральноазиатскими странами по широкому кругу вопросов, включая область энергетики [3, с. 218; 14, с. 2].

Индия и Россия

Индию с момента обретения ею независимости и Россию (как и в свое время СССР) традиционно связывает многоплановое стратегическое партнерство. В последние годы энергетическое сотрудничество между обеими странами практически выдвинулось на первый план. В 2020–2022 годах индийские компании объявили о намерении увеличить свое присутствие в российских нефтегазовых проектах «Сахалин-1» и «Сахалин-2» [10]. В 2024/2025 финансовом году от 35 до 40 % индийских закупок сырой нефти приходилось на российскую нефть [3, с. 218]. Москва также



Нефтяной терминал в порту Вишакхапатнам

Источник: Shutterstock.com

прилагает существенные усилия для расширения экономического сотрудничества с Нью-Дели. В декабре 2025 года президент России В. В. Путин совершил государственный визит в Индию, был подписан ряд документов в сфере внешней торговли. Согласно данным, которые в марте 2025 года обнародовал индийский посол в РФ В. Кумар, в 2024-м объем двусторонней торговли превысил 66 млрд долл., Россия вошла в четверку крупнейших торговых партнеров Индии (после США, Китая и ОАЭ). В структуре российского экспорта в Индию преобладают энергоносители, минеральное топливо, продукция химической промышленности, драгоценные камни и металлы. В Россию Индия поставляет химическую, фармацевтическую и сельскохозяйственную продукцию, машины, оборудование и электронику. Индия, по данным министра нефти и газа Хардипа Сингха Пури, на май 2025 года инвестировала около 16 млрд долл. в энергетические активы на территории России. В свою очередь, Россия вложила в индийские активы порядка 13 млрд долл. Инвестиции из РФ сосредоточены в аэрокосмической, оборонной, нефтегазовой и химической промышленности [15]. В качестве реакции на американские штрафные санкции по отношению к индийскому экспорту (повышенные таможенные пошлины в размере 50 %) за энергетическое сотрудничество с Россией правительство РФ расширило доступ на российский рынок для индийской фармацевтической и сельскохозяйственной продукции [3, с. 218].

Являясь хронически энергодефицитной страной, Индия импортирует 80 % необходимых ее экономике энергоносителей. В 2025 году импорт покрывал 85 % потребностей в сырой нефти и свыше 50 % – в природном газе

В начале 2026 года правительство Индии заявило о плане по созданию к 2047 году атомной генерации мощностью 100 ГВт. Для этого планируется дать возможность частным инвесторам работать в индийской атомной отрасли

После начала СВО и ввода западных санкций в отношении российского экспорта энергоносителей Индия стала закупать российские нефть и СПГ, предназначенные прежде для европейского рынка. Игнорируя требования стран Запада присоединиться к санкционной блокаде, Нью-Дели умело воспользовался падением цен на российские энергоносители вследствие сложностей с их сбытом на мировом рынке, тем самым сэкономив минимум 13 млрд долл. США. Развивая сотрудничество с Россией, Индия надеется извлечь выгоду и из ведущей роли РФ в Евразийском экономическом союзе, а также получить доступ к разработке нефтегазовых месторождений в российском секторе Арктики [14, с. 3]. Индийские эксперты рассматривают сотрудничество с Россией в сфере энергетики в качестве фактора укрепления энергетической безопасности своей страны [там же].

Индия и страны-соседи

Индия традиционно придает особое значение сотрудничеству со странами-соседями. Данный подход находит свое отражение и в сфере энергетики. По инициативе Нью-Дели в кооперации с соседними государствами реализовано в общей сложности 22 проекта в области возобновляемой энергетики. В качестве примера достаточно назвать трубопровод имени индийско-бенгальской дружбы (India-Bangladesh Friendship Pipeline, IBFP) и многофункциональный экономический коридор Бангладеш – Бутан – Индия – Непал. В 2022 финансовом году индийское прави-

тельство профинансировало проект строительства генерирующей инфраструктуры в Бутане, обязавшись также закупить 1500 МВт производимой там электроэнергии. Кроме того, Индия оказывает технологическое содействие строительству ГЭС в Непале, реализация указанного проекта к 2030 году подразумевает импорт в Индию 10 тыс. МВт электроэнергии [3, с. 218].

Индия и Африка

Крупнейшая индийская государственная нефтегазовая корпорация ONGC Videsh Ltd. реализует в общей сложности 38 проектов за рубежом, в том числе на африканском континенте. В сотрудничестве с частными компаниями корпорация ведет проектно-изыскательские работы в Нигерии, Мозамбике и Судане [там же].

Развитие возобновляемой энергетики

Вторым направлением обеспечения национальной энергетической безопасности руководство Индии видит развитие возобновляемой энергетики [16, с. 4]. Зеленый энергетический сектор призван дать импульс технологическому развитию и создать новую прослойку исследовательских и квалифици-

рованных инженерно-технических кадров. Кроме того, строительство генерирующих мощностей на базе внутренних возобновляемых ресурсов должно способствовать снижению расходов на импорт углеводородных энергоносителей [1, с. 8], уменьшить выбросы парниковых газов в атмосферу и в целом смягчить нагрузку на окружающую природную среду [3, с. 219]. Развитие возобновляемой энергетики становится для политических и предпринимательских кругов страны все более привлекательным и по мере снижения себестоимости зеленой электроэнергии за счет масштабирования генерации, а также увеличивающейся доступности технологий и оборудования. Перечисленные факторы ведут к снижению тарифов для потребителей, что в свою очередь стимулирует спрос на электричество. В 2025 году потребление электроэнергии в стране повысилось на 33 % по сравнению с 2021-м [16, с. 9]. За период с 2010-го по март 2022 года совокупная мощность объектов зеленой энергетики Индии возросла с примерно 12 до 110 ГВт, то есть почти вдесятеро [17, с. 1, 8].

В рамках стимулирования зеленой энергетики правительство Индии запустило несколько соответствующих отраслевых инициатив. К ним относятся Национальный проект в области «зеленого» водорода (National Green Hydrogen Mission,



Нефтяной терминал в порту Кочин

Источник: Shutterstock.com



Нефтехранилища компании Indian Oil

Источник: Shutterstock.com

NGHM)³, Национальный проект в области солнечной энергии (National Solar Mission, NSM)⁴ [2, с. 26], Программа по использованию солнечной энергии в сельском хозяйстве (PM KUSUM Scheme)⁵ и Программа по использованию солнечной энергии в жилищно-коммунальном секторе (PM Surya Ghar Muft Bijli Yojana)⁶ [3, с. 219]. По инициативе Министерства новой и возобновляемой энергетики идет разработка государственной программы производства солнечных панелей нового поколения и промышленных накопительных аккумуляторов повышенной емкости. Программа нацелена также на привлечение в Индию компаний — разработчиков наиболее передовых технологий с перспективой локализации производства в стране. В одном лишь 2021/2022 финансовом году правительство выделило 14,5 млрд долл. на развитие зеленой энергетики. Индийские частные финансово-промышленные конгломераты Reliance и Adani Group ассигновали суммы, эквивалентные 74,6 и 60 млрд долл. соответственно, на строительство

генерирующих мощностей и НИОКР в области зеленой энергетики [10]. Не довольствуясь национальными рамками, Нью-Дели принимает участие и в масштабных энергетических проектах с международным участием, таких как Международный солнечный альянс (International Solar Alliance) и Глобальный альянс по биотопливу (Global Biofuel Alliance) [3, с. 216].

В 2024 году в Индии вступила в силу разработанная правительственными экспертами программа стимулирования строительства морских ветропарков — VGF (сокр. от англ. viability gap funding — дотирование до уровня экономической жизнеспособности). Суть программы заключается в выделении безвозмездных дотаций на строительство морских ветропарков и сопутствующей инфраструктуры по запитыванию производимой таким образом электроэнергии в национальную распределительную сеть. Дотации выделяются с целью смягчить разницу между расходами на строительство ветропарков и ожидаемой доходностью от реализации электро-

³ Подробнее: URL: <https://nghm.mnre.gov.in>.

⁴ Подробнее: URL: <https://www.indiascienceandtechnology.gov.in/st-visions/national-mission/jawaharlal-nehru-national-solar-mission-jnsm>.

⁵ Подробнее: URL: <https://pmkusum.mnre.gov.in/#/landing>.

⁶ Подробнее: URL: <https://pm-surya-ghar.com>.



ВЭС Jaisalmer в Индии

Источник: Shutterstock.com

энергии, а также сократить сроки окупаемости затрат и выхода проектов в фазу прибыльности. Необходимо отметить, что программа VGF рассчитана исключительно на офшорную ветроэнергетику. Причин такой приоритетности две. Во-первых, географические и природно-климатические условия Индостана с его протяженной береговой линией особенно благоприятствуют развитию офшорной ветроэнергетики. Во-вторых, в силу дефицита земельных площадей и перенаселенности территории страны индийские власти намеренно делают акцент на развитии ветроэнергетики именно в прибрежных во-

дах. В указанном 2024 году правительство ассигновало около 890 млн долл. на сооружение двух пилотных проектов — ветропарков мощностью 500 МВт каждый и сопутствующей инфраструктуры у побережья штатов Гуджарат и Тамилнаду. По замыслу разработчиков данной программы, финансовая поддержка со стороны государства должна гарантировать прибыльность проектов офшорной ветроэнергетики для всех потенциальных участников и привлечь на индийский рынок располагающие соответствующими технологиями и компетенциями компании из Северной Америки, Европы и Китая [18].

Солнечная электростанция частной компании Adani

Источник: ru.ds solar.com



Перечисленные программы нацелены на стимулирование социально-экономического развития, развитие национальной технологической базы, электрификацию удаленных территорий за счет создания на местах региональных децентрализованных генерирующих и передающих мощностей, обеспечение благоприятных условий для экологически устойчивого роста в народном хозяйстве. Программы разрабатываются на длительную перспективу, что дает индийским экспертам основание подчеркивать благотворное влияние энергетической безопасности и на социальную трансформацию общества [3, с. 219]. Согласно оценкам, энергетический переход в стране — один из самых успешных в мире:

Высокая доля импорта нефти, газа и каменного угля делает Индию крайне зависимой от военно-политической ситуации в регионах добычи и транспортировки энергоносителей, а также от колебаний цен на мировых рынках

за короткий промежуток времени она заняла пятое место в мире по совокупному объему мощностей солнечной генерации и четвертое — в сфере ветроэнергетики [2, с. 6]. Индия по состоянию на сегодняшний день является одним из немногих государств, способных достичь взятых на себя обязательств в рамках Парижского соглашения по климату [17, с. 7].

Такой оптимизм подвергается критике скептиков. Оппоненты указывают, что для выполнения взятых на себя климатических обязательств к 2030 году Нью-Дели требуется инвестировать в возобновляемую энергетику 230 млрд долл. Судя по текущей динамике, страна не сумеет достичь указанного показателя. Помимо недостаточного темпа освоения ВИЭ, Индия

не торопится отказываться от использования ископаемых углеводородов. Несмотря на бурное развитие возобновляемой энергетики, удельный вес ВИЭ в индийской электрогенерации остается в целом незначительным. В 2021 году он составил чуть более 10 %, в то время как на ископаемые энергоносители приходилось свыше 70 % [2, с. 6]. Приверженцы традиционных энергоносителей ратуют за увеличение их удельного веса в национальном энергобалансе и предостерегают от излишнего увлечения зеленой энергетикой. Аргументы у них те же, что у единомышленников в других странах: нестабильность генерации на ВИЭ вследствие непредсказуемости природных стихий.

Отдельно подвергается сомнению аргумент апологетов возобновляемой энергетики сохранять получаемую на пике генерации электроэнергию в промышленных аккумуляторах-накопителях. Критики указывают, что эксплуатация такого рода аккумуляторов лишь увеличивает общую стоимость зеленой электроэнергии. В качестве отдельного весомого аргумента в пользу углеводородных энергоносителей приводят их более существенную капиталоотдачу: производство, реализация и потребление углеводородного сырья и его производных создают куда больше рабочих мест для населения и генерируют значительно больше доходов для государства, нежели аналогичные ВИЭ [10].

С недавних пор в Индии заговорили о новом феномене в развитии мировой энергетики: дискуссии о защите климата стали вдруг приобретать геополитическое измерение. По мнению индийских экспертов, указанный феномен возник с подачи западных стран, которые под эгидой борьбы с климатическими изменениями пытаются извлечь для себя разного рода преимущества за счет остального мира [1, с. 6]. Нью-Дели отвергает такого рода подход; взамен индийская энергетическая дипломатия продвигает принцип «Одна Земля, одна семья, одно будущее» (Vasudhaiv Kutumbakam) [1, с. 7].

Вызовы индийской концепции энергетической безопасности

В настоящий момент индийская концепция энергетической безопасности подвергается испытанию из-за роста глобаль-

ной нестабильности. Эти угрозы носят многоплановый характер, но объединяет их тот факт, что все они затрагивают регионы, которые уже являются поставщиками энергоносителей в Индию или рассматриваются руководством страны в качестве таковых на перспективу. Речь идет о военно-политической нестабильности в Западной Азии и Африке, складывающейся непредсказуемой ситуации в некоторых граничащих с Индией государствах, нарастающей конкуренции за источники поставок критических сырьевых товаров, скачках цен на углеводороды, санкционных войнах и задержке в реализации масштабных энергетических проектов с индийским участием. Наконец, индийские военно-политические элиты с тревогой наблюдают за реализацией Китаем своей инициативы «Один пояс — один путь», считая ее многоплановой угрозой, в том числе для стратегии обеспечения энергетической безопасности Индии [3, с. 218].

**Военно-политическая
нестабильность в Западной Азии**

Западная Азия (включая Ближний и Средний Восток) десятилетиями находится в состоянии целого ряда военных конфликтов, в которые к тому же постоянно прямо или косвенно вовлечены влиятельные державы из-за пределов региона. Как и другие



Монтаж солнечных батарей
Источник: energyconnects.com

страны — импортеры западноазиатских энергоносителей, Индия в разное время страдала из-за военно-политической нестабильности данного региона. Достаточно вспомнить застарелый арабо-израильский конфликт и спровоцированный им нефтяной кризис 1970-х годов, ирано-иракскую войну, в ходе которой уничтожалась и повреждалась нефтяная инфраструктура, нападения на танкеры, диверсии на нефте- и газодобывающих объектах в разных странах региона и, наконец, нападение США и Израиля на Иран в 2025–2026 годах. Существенный ущерб Индия понесла также



Строительство ветрогенераторов в Индии
Источник: windpowermonthly.com



Солнечные батареи
Источник: vzlet.org

из-за санкций, наложенных США на иранский нефтедобывающий сектор. Сюда же относится урон, который в ходе указанного конфликта уже нанесен нефте- и газодобыче в соседних с Ираном государствах: Катаре, ОАЭ и Саудовской Аравии [3, с. 218]. В период текущей острой фазы военно-политической нестабильности в Западной Азии, на которую приходится почти 40 % индийского импорта нефти, устоявшаяся структура импорта углеводородов в Индию подвергается особенно серьезным испытаниям [там же].

Нестабильность в индийском «ближнем зарубежье»

Второе десятилетие XXI века ознаменовалось ростом напряженности практически по всему периметру индийских рубежей. В 2021 году начались волнения в Мьянме, а в Афганистане в результате вывода войск западной коалиции к власти вернулось радикальное движение Талибан. В 2024 году на волне массовых протестов (движущей силой которых стала молодежь) в Бангладеш была вынуждена уйти в отставку настроенная дружественно к Индии премьер-министр Шейх Хасина. Наконец, в 2025-м общенациональные протесты привели к смене правительства в Непале. Перечисленные события явили собой настоящую цепочку нестабильности в индийском «ближнем зарубежье» и усилили давление на существующую концепцию энергетической безопасности страны, поскольку Индия заключила ряд соглашений в сфере энергетического сотрудничества с такими странами-соседями, как Непал и Бангладеш [3, с. 219].

Сложная ситуация на африканском континенте

С некоторых пор Индия рассматривает богатую полезными ископаемыми Африку как потенциальную альтернативу регионам — своим традиционным поставщикам энергоносителей, где по разным причинам ситуация может стать неконтролируемой. При этом именно богатые нефтью и газом африканские страны как раз не могут похвастаться внутренней стабильностью. Основных проблем здесь две. Первая: быстрый рост населения и обусловленное им усиление антропогенной нагрузки на местные экосистемы ведут к деградации окружающей среды, которая к тому же

усиливается из-за участвовавших неблагоприятных природных явлений. Второй типичной для Африки проблемой является череда приходов к власти военных режимов (в Мали, Нигере, Гвинее, Буркина-Фасо, Судане), а также межплеменные и религиозные распри в целом ряде государств. Перечисленные явления представляют собой благоприятную почву для нестабильности на длительную перспективу и не способствуют созданию мало-

Поставки из Саудовской Аравии, ОАЭ, Катара и Ирака покрывают почти 40 % потребностей Индии в нефти. Нефть поступает в индийский порт Чабахар, специализирующийся именно на перевалке сырья из Западной Азии

мально привлекательной среды для инвестиций в добычу нефти и природного газа, где горизонт планирования растягивается на десятилетия [там же].

Крах проектов строительства газопроводов в Индию

На протяжении предыдущих десятилетий индийские энергетические концерны рассматривали возможность прокладки газопроводов для поставки углеводородов из соседних регионов. Первый проект — газопровод TAPI — предусматривал строительство трубопровода из Туркменистана через Афганистан и Пакистан для долгосрочных поставок туркменского газа на индийский рынок. Второй проект — IPI — задумывался для масштабного импорта углеводородов из Ирана. Индийские политики и эксперты долгое время не могли принять окончательное решение по указанным проектам. В конечном итоге было решено отказаться от строительства обоих газопроводов, поскольку они должны были

проходить через территорию соседнего Пакистана — страны, свои противоречия с которой индийские власти посчитали непреодолимыми [там же].

Санкции США в отношении Индии

В 2025–2026 годах Вашингтон, стремясь принудить Нью-Дели прекратить закупки российской сырой нефти, обложил штрафной таможенной пошлиной в размере 50 % весь индийский экспорт в США. Данная мера была призвана нивелировать прибыль, которую Индия получала за счет закупок российской нефти со скидкой и последующей реализации выработанных из нее нефтепродуктов на внутреннем и международном рынках. Санкции нанесли серьезный ущерб индийской экономике, в особенности таким ее экспортно-ориентированным и трудоемким отраслям, как текстильная, кожевенная и ювелирная [14, с. 1]. Санкционная политика администрации президента Д. Трампа сподвигла индийское руководство критически оценить сотрудничество с США (побудив укреплять отношения с Россией и Китаем) [14, с. 2, 7] и взглянуть в новом свете на проблему усиления национальной энергетической безопасности [3, с. 219]. На состоявшемся в 2025 году в Тяньцзине саммите ШОС представители Индии, России и Китая согласовали углубление взаимодействия в сфере энергетики, региональных инвестиций, технологического сотрудничества и создание новых цепочек поставок, менее подверженных влиянию со стороны США. Были достигнуты двух- и трехсторонние догово-

Индия инициировала инициативу CASAREM, предусматривающую объединение энергетических рынков государств Центральной и Южной Азии в единый межрегиональный энергетический рынок

ренности (между Россией и Индией, между Индией и Китаем и между Россией, Индией и Китаем) об увеличении доли национальных валют во взаимной торговле и создании прямых (независимых от долларовой) систем взаиморасчетов [14, с. 2].

Китайская инициатива «Один пояс — один путь»

В 2013 году правительство КНР запустило масштабный проект «Один пояс — один путь» (One Belt One Road Initiative, OBOR). Данный экономико-инфраструктурный проект предполагает значительные китайские капиталовложения в 150 странах мира, в том числе в Южной Азии. В частности, китайские компании инвестировали средства в строительство глубоководных торговых портов Гвадар (Пакистан) и Хамбантота (Шри-Ланка). Несмотря на заверения китайского правительства в исключительно торгово-логистическом характере указанных портов, военно-политическое руководство Индии болезненно отреагировало на китайские инициативы в регионе. По мнению индийских экспертов, сооружаемые на китайские средства и силами китайских компаний глубоководные порты имеют на самом деле военное назначение и призваны в будущем стать базами ВМФ Китая, обеспечив стратегическое окружение Индии на морях в случае военного конфликта. Более того, Нью-Дели склонен воспринимать не только китайское присутствие непосредственно у своих рубежей, но и вообще весь проект OBOR в качестве стратегической угрозы в целом и как угрозу своей энергетической безопасности [3, с. 219].

Игнорируя требования стран Запада присоединиться к санкциям, Нью-Дели умело воспользовался падением цен на российские энергоносители из-за сложностей с их сбытом, тем самым сэкономя минимум 13 млрд долл.



Резервуарный парк Indian Oil на Маврикии

Источник: Shutterstock.com

Риски для возобновляемой энергетики

Проблемы с глобальными цепочками поставок вследствие военных конфликтов последнего времени поставили под угрозу не только импорт углеводородов в Индию, но и ввоз генерирующего оборудования, а также необходимых для его производства сырья и полуфабрикатов. Начавшаяся в 2020 году пандемия стала первым серьезным испытанием для глобального товарообмена; в 2022-м еще не оправившаяся от последствий «ковидных» ограничений мировая торговля испытала новый шок в виде российской СВО на Украине [17, с. 2], на которую на протяжении 2025–2026 годов наложился военный конфликт в регионе Персидского залива. Как следствие, производители поставляемых в Индию ветрогенераторов и солнечных панелей существенно повысили отпускные цены, возросла стоимость сырья для их производства, а также увеличились тарифы на морской фрахт. Эти прямые последствия глобальной нестабильности породили так называемые вторичные риски — инфляцию во всем мире и повышение процентных ставок, под которые банки кредитуют в том числе производителей оборудования для возобновляемой энергетики [17, с. 2]. Кроме того, индийские эксперты выра-

жают опасения по поводу зависимости от зарубежных (в особенности китайских) поставщиков такого рода оборудования [14, с. 3] и указывают на общую хрупкость как существующих, так и формирующихся цепочек поставок критического сырья, необходимого для производства энергетического оборудования, электроники и электромобилей [1, с. 21; 19, с. 1].

Внутренние вызовы энергетической безопасности

Перечень вызовов для энергетической безопасности Индии был бы неполным без упоминания ряда внутренних факторов, подрывающих энергетическую безопасность страны. Указанные факторы являются следствием специфики энергетического сектора Индии, который представляет собой совокупность государственных и частных предприятий. На первый взгляд, алгоритм их деятельности характеризуется удивительным единообразием: и те и другие инвестируют в расширение использования как традиционных энергоносителей, так и ВИЭ. Тем не менее на деле имеет место рассогласованность действий как государственного, так и частного сектора вследствие слабой координирующей роли управленческих органов. Как следствие, для индийского ТЭК характерно хроническое недовыполнение



Экспортный нефтяной терминал в Анголе

Источник: alamy.com

государственных планов по вводу в строй энергетической инфраструктуры. В частности, намеченное еще на 2022 год намерение правительства довести совокупную мощность зеленой энергетики до 175 ГВт осталось невыполненным. Кроме того, подписание меморандумов о взаимопонимании в реализации энергетических проектов в частном секторе также нередко не приводит к их практической реализации [10].

В целом безучастная позиция индийских регулирующих органов в сфере финансов породила еще одну типичную именно для Индии негативную тенденцию, из-за которой государственные ассигнования на развитие энергетической инфраструктуры опосредованно стимулируют скорее расширение использования углеводородных энергоносителей, в то время как ситуация на фондовом рынке подталкивает инвесторов вкладывать средства в возобновляемую энергетику. В частности, согласно обнародованному в 2021 году аналитическому обзору расположенного в Нью-Дели Центра финансовой отчетности и климатических тенденций (Centre for Financial Accountability and Climate Trends), в 2020 году 74 % совокупного объема кредитов, направленных в энергетический сектор коммерческими банками, пришлось на проекты по использованию ВИЭ. Лишь оставшиеся 26 % были предоставлены на

сооружение и реконструкцию угольных электростанций [10]. Противоположное явление наблюдалось в государственном банковском секторе: здесь большинство предоставленных кредитных средств было выделено на реализацию проектов по использованию ископаемых энергоносителей.

Несогласованность в работе государственных органов и предпринимательского сектора тормозит и расширение использования природного газа вследствие неблагоприятной динамики цен на импортный СПГ из-за глобальной нестабильности последних лет. На этот фактор индийские эксперты указывали еще до начала вооруженного конфликта на Украине. Природный газ призван постепенно замещать на индийском рынке иные разновидности энергоносителей, такие как уголь в производственном секторе и электричество (для приготовления пищи) в жилищно-коммунальном, но стоимость импортируемого СПГ не является достаточно конкурентной. Соответственно, рост потребления природного газа остается меньше прогнозных значений, в результате чего отмечается неполное использование регазификационных терминалов в портах и подведенных к ним газопроводов. Еще одним сдерживающим фактором стал рост тарифов на добываемый в стране природный газ, что также

Индийская государственная нефтегазовая корпорация ONGC реализует в общей сложности 38 проектов за рубежом, в том числе ведет проектно-исследовательские работы в Нигерии, Мозамбике и Судане

влияет на его конкурентоспособность на внутреннем рынке энергоносителей.

Пример гибкости индийской дипломатии

Отмеченная выше гибкость индийской энергетической политики и дипломатии стала одним из факторов того, что страна по объему ВВП по ППС, по данным Международного валютного фонда, поднялась с седьмого места в мире, занимаемого в 1990 году, до шестого места в 1995-м и четвертого в 2000-м. А уже с 2011 года Индия по этому показателю твердо занимает третье место в мире.

Ярким примером гибкости индийской дипломатии, когда речь идет о ключевых проблемах развития страны, являются переговоры 2025–2026 годов с представителями администрации США по вопросам тарифов и импорта российской нефти.

В основе индийской политики в этом случае лежал постулат, что Нью-Дели видит в Вашингтоне долгосрочного стратегического партнера и не может позволить дальнейшего ухудшения отношений. Индии нужны капиталы США, технологии и военное сотрудничество для сдерживания Китая и достижения целей Н. Модии по превращению страны в развитую экономику к 2047 году [20].

Одновременно Индия всеми силами демонстрировала свою стратегическую автономию. Это и встречи Н. Модии с лидерами России и Китая В. В. Путиным и Си Цзиньпином, и соглашение о свободной торговле с Европейским союзом после почти двух десятилетий переговоров, до-

стигнутое всего через несколько месяцев после заключения торгового соглашения Индии с Великобританией.

Как известно, США с весны 2025 года требовали от Индии отказаться от российской нефти. Но поскольку закупки продолжались, 30 июля Д. Трамп объявил о введении с 1 августа 2025 года 25-процентных пошлин на товары из Индии. В своей соцсети TRUTH Social американский лидер в качестве причин такого решения назвал высокие тарифы со стороны Индии, торговые барьеры и сотрудничество с Россией. Так, Трамп указал, что Нью-Дели всегда закупал большую часть своего вооружения у РФ и является крупнейшим покупателем российских энергоносителей наряду с Китаем. Кроме того, Индии вместе с Китаем и другими покупателями он пригрозил 100-процентными вторичными пошлинами, если не будет достигнуто мирное соглашение по Украине до 8 августа. Bloomberg со ссылкой на неназванные источники сообщил, что правительство Индии попросило государственные перерабатывающие предприятия подготовить план по поиску альтернативных источников нефти и определению их объема [21].

После пяти раундов переговоров между Индией и представителями администрации США стороны не достигли компромисса, и с 27 августа 2025 года Вашингтон официально ввел 50-процентные пошлины на импорт индийских товаров, обвинив Нью-Дели в «прямом и косвенном» импорте сырья из России. После чего, по данным агентства Bloomberg, президент США назвал Индию «мертвой» экономикой с вы-

Рост потребления природного газа в Индии остается меньше прогнозных значений, в результате чего отмечается неполное использование регазификационных терминалов в портах и подведенных к ним газопроводов

сокими тарифами и утверждал, что она «финансирует войну Путина на Украине, покупая российскую нефть» [20]. В самой Индии эти меры назвали «необоснованными и несправедливыми», но подчеркивали готовность к диалогу и дальнейшему поиску компромисса [22]. При этом официальная позиция Нью-Дели в отношении закупок российской нефти публично оставалась неопределенной. По факту же, судя по данным отслеживания судов, собранным агентством Bloomberg, объемы еженедельного импорта российской нефти несколько сократились лишь в первые три недели после введения пошлин (до 1,31–1,35 млн б/с против 1,47–1,64 за месяц до этого акта). Более того, уже в октябре они достигли 1,54–1,75 млн б/с, поскольку скидки на российскую нефть оставались привлекательными для потребителей.

Одновременно продолжались неофициальные переговоры и контакты между руководством двух стран. Достаточно сказать, что до конца 2025 года только между Д. Трампом и Н. Модии состоялось пять телефонных разговоров, в ходе которых стороны постепенно приближались к сделке по снижению тарифов [20]. При этом Индия сократила закупки нефти из России и переключилась на ближневосточную нефть (Саудовской Аравии и Ирака), а также стала покупать ее у США, Венесуэлы и ряда африканских стран (Ангола, Нигерия) [23].

2 февраля 2026 года Д. Трамп объявил о торговом соглашении с Н. Модии, согласно которому США снизят тарифы на индийские товары до 18 % и отменят карательную пошлину в 25 % за покупку российской нефти в обмен на прекращение Индией этого импорта. По словам Трампа, Нью-Дели согласился приобрести американские товары на сумму 500 млрд долл., перейти к закупке венесуэльской нефти и снизить тарифы на импорт из США до нуля.

Хотя премьер-министр Н. Модии подтвердил достигнутое соглашение, он не стал комментировать его конкретные детали, лишь отметив, что лидерство Трампа имеет большое значение для стабильности



Угольная ТЭС, Теланган, Индия

Источник: globalenergyprize.org

и процветания мира. И ни одна из сторон не опубликовала никаких документов, кодифицирующих соглашение [20]⁷.

Со стороны Индии все ограничилось лишь заявлением пресс-секретаря МИД Рандхира Джайсвала, который 7 февраля сказал, что энергетическая безопасность страны является «высшим приоритетом» и что Индия продолжит диверсифицировать импорт [24].

Интересно отметить ту секретность, в которой готовилась вышеописанная сделка: публично не было никаких признаков с обеих сторон о скором ее заключении, поэтому объявление Трампом о ее достижении было громом среди ясного неба даже для многих представителей администрации США. Что касается нефтяных компаний и НПЗ Индии, то они узнали о необходимости прекращения импорта российской нефти только из СМИ и вынуждены были обращаться в правительство страны за разъяснениями [25].

Российское руководство восприняло новости из Вашингтона подчеркнуто холодно. Пресс-секретарь президента Д. Песков указал, что Москва не получала от Нью-Дели никаких официальных уве-

⁷ Соответствующий исполнительный указ президент Д. Трамп подписал 6 февраля 2026 года, а Белый дом опубликовал 7 февраля. В нем говорится, что «Индия взяла на себя обязательство прекратить прямой или косвенный импорт российской нефти» и что импортные тарифы на все индийские товары могут быть повышены, если закупки возобновятся [24].

домлений о прекращении закупок нефти, и добавил, что российские власти внимательно относятся к заявлениям Д. Трампа и уважают американо-индийские отношения. Он также подчеркнул, что Россия следит за ситуацией и намерена развивать отношения с Индией «всеми возможными способами», оставаясь надежным поставщиком [26].

В начале марта Индия, в связи с обострением ситуации на энергетических рынках из-за военного конфликта на Ближнем Востоке, обратилась к США с просьбой разрешить ей временно продолжить покупку российской нефти. Вашингтон на эту просьбу ответил положительно и выдал Нью-Дели временную лицензию на 30 дней, позволяющую покупать российскую нефть, которая находится на танкерах в море. Позже, в апреле, США выдали новую генеральную лицензию со сроком действия до 16 мая текущего года.

При этом, как узнало 11 мая агентство Reuters, еще 30 апреля Индия уведомила замминистра энергетики России П. Сорокина, что не будет покупать СПГ, подпадаю-

щий под санкции США, о поставках которого стороны договорились в марте 2026 года [27].

Временное разрешение закупать российскую нефть, уже находящуюся на танкерах в море, отмечало агентство Bloomberg в начале мая, привело к тому, что «в настоящий момент импорт российской нефти в Индию идет рекордными темпами, поскольку нефтеперерабатывающие заводы работают на полную мощность до истечения срока действия нынешнего исключения» [28].

Следует также отметить, что весь импорт нефти Индия осуществляет морским путем. С этим связаны усилия индийской дипломатии в отстаивании возможности импорта нефти из России с использованием так называемого «теневого флота». Хотя объемы российской нефти на танкерах, указывающих направления своих маршрутов в Китай и Индию, продолжают в последние недели резко снижаться, объемы нефти на танкерах, которые еще не показали окончательный пункт назначения, значительно выросли, что позволяет



Терминал по приему СПГ в г. Хазира

Источник: Shutterstock.com

со временем изменить ситуацию. Танкеры часто показывают промежуточные пункты назначения, такие как Суэц или Порт-Судан, пока не окажутся далеко за Аравийским морем, в то время как некоторые так и не показывают окончательную точку даже после швартовки для разгрузки [24].

Так, объем нефти на танкерах, сигнализирующих о том, что они идут в индийские порты, составил 0,81 млн б/с за четыре недели до 10 мая 2026 года по сравнению с 1,13 млн б/с за предыдущий аналогичный период. Однако на судах, которые еще не указали конечный пункт назначения, в это же время находилось 1,77 млн б/с нефти [24].

Своеобразную оценку сложившейся ситуации дал 15 мая министр иностранных дел России С. Лавров в интервью телеканалу RT India. Он обвинил Запад в использовании нечистоплотных методов, чтобы заставить разные страны не покупать российскую нефть. По его словам, суть этих методов — «заставить всех покупать не дешевую нефть у России, а дорогие нефть и сжиженный природный газ в Соединенных Штатах». «Но этому давлению поддаются не все», — указал Лавров. Он обратил внимание на то, что «Индия твердо и неоднократно заявляла, что будет сама определять, в каких объемах и у кого закупать

энергоресурсы». «Появлялись порой слухи о том, что какой-то индийский заказчик отказался от одного танкера, перевозившего российскую нефть. Однако повторяю, что позиция Индии была четко заявлена», — подчеркнул министр [29].

Вот только хватит ли у Нью-Дели сил и дальше не поддаваться такому давлению?

14 мая 2026 года Индия, как и ряд других стран, обратилась к США с просьбой продлить действие исключения из американских санкций против РФ для продолжения поставок российской нефти, сообщил Bloomberg со ссылкой на источники [28]. Но ответа не последовало, и 16 мая действие лицензии США, которая позволяла России продавать нефть и нефтепродукты, в том числе Индии, истекло.

И только 18 мая Минфин США решил продлить на 30 дней действие лицензии, которая позволяет странам покупать российскую нефть и нефтепродукты на мировом рынке. Об этом вначале сообщил Reuters со ссылкой на источник [30]. Позже информацию подтвердил министр финансов США Скотт Бессент. «Лицензия поможет стабилизировать физический рынок сырой нефти и обеспечит поставки нефти в наиболее энергетически уязвимые страны», — написал он в соцсети X [31].



Нефтяной терминал Кочи

Источник: Shutterstock.com



Танкер на рейде Мумбаи

Источник: Shutterstock.com

Закключение

Перечисленные факты объясняют отмечающуюся в последнее время активизацию внешней политики Индии и усиление в ней геоэкономической компоненты, что особенно заметно в сфере энергетического сотрудничества с зарубежными странами. Американско-израильско-иранский конфликт ускорил наметившийся еще до его начала дрейф Индии от сложившейся за предыдущие десятилетия ориентации на регион Персидского залива как главного поставщика ископаемых углеводородов в направлении диверсификации числа регионов и стран, способных стать такими поставщиками в долгосрочной перспективе. Рост заку-

пок российских углеводородов показывает также направление, в котором эволюционирует восприятие национальной энергетической безопасности в Индии. Характерно, что ради возможности закупать большие объемы российских углеводородов по привлекательным расценкам индийское руководство не побоялось пойти на определенное обострение отношений с США и ЕС [3, с. 217]. Вместе с тем Нью-Дели посчитал необходимым для себя войти в возглавляемую США организацию QUAD [14, с. 8], созданную по инициативе Вашингтона для противодействия китайскому влиянию в Азиатско-Тихоокеанском регионе. При этом Индия — наряду с Россией и Китаем — входит также в межгосударственные объединения ШОС и БРИКС. Развивая отношения с Китаем и Россией в рамках БРИКС, поддерживая необходимый геополитический баланс в отношениях с США через членство в QUAD и открывая для себя горизонт новых возможностей со странами Центральной Азии посредством совместного членства в ШОС, Индия тем самым демонстрирует миру, каким образом она понимает свою стратегическую автономию и в каких направлениях реализует ее на практике [3, с. 218].

Индийское восприятие энергетической безопасности обладает своей спецификой. Сегодняшняя Индия — страна с колоссальной численностью населения, высокими темпами экономического роста и, как следствие, сильным дисбалансом энергопо-

Для индийского ТЭК характерно хроническое невыполнение государственных проектов по вводу в строй энергетической инфраструктуры. Так, намеченный еще на 2022 год план довести мощность «зеленой» энергетики до 175 ГВт остался на бумаге

требления и собственного производства энергии. Не располагая достаточными для удовлетворения внутренних потребностей месторождениями ископаемых углеводородов, страна традиционно импортирует большую их часть из-за рубежа. Не будет преувеличением сделать вывод, что Индия обречена на импорт больших объемов нефти и природного газа на продолжительную перспективу. Вместе с тем принятая концепция стратегической автономии во внешней политике и экономике диктует руководству страны необходимость максимально возможно разнообразить энергетический баланс с упором на внутренние ресурсы. Именно по этой причине Нью-Дели ускоренными темпами развивает возобновляемую энергетику, даже осознавая возникающую новую разновидность зависимости от зарубежных рынков — в части технологий и оборудования для зеленой энергетики [12, с. 15].

Рассмотренные тенденции развития индийского ТЭК являются предпосылками для формирования энергетической дипломатии нового формата. С одной стороны, ради расширения круга поставщиков ископаемых углеводородов Индия вынуждена заключать и поддерживать энергетическое партнерство с возможно большим количеством государств — экспортеров нефти и природного газа, иногда даже не-

взирая на санкционные угрозы со стороны таких влиятельных международных игроков, как США и Евросоюз. С другой стороны, осознавая невозможность модернизации своей экономики без содействия извне, страна стремится к технологическому партнерству с любыми государствами, располагающими соответствующими технологиями, в том числе в области возобновляемой энергетики. Такого рода двуединый подход диктуется потребностями обеспечения энергетической безопасности и находит свое отражение в энергетической дипломатии, посредством которой Нью-Дели реагирует на вызовы текущего периода исторического развития. Более того, пример Индии демонстрирует, что в нынешних условиях энергетическая безопасность как составная часть национальной безопасности все явственнее обретает черты инструмента внешней политики всякого государства.

Статья подготовлена по результатам работ, выполненных в рамках госзадания ИПНГ РАН (тема № FMME-2025_0012) «Фундаментальный базис инновационных, цифровых технологий прогноза, поиска, разведки и освоения нефтегазовых ресурсов (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования до 2030 года)».

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Chaturvedi V., et al. *India's pathway to net zero by 2070: status, challenges, and way forward* // *Environmental Research Letters*. 2024. Vol. 19, no. 11. P. 112501.
2. Shankar A., Saxena A. K., Idrani T. *Roadmap to India's 2030 Decarbonization Target* // *The Energy and Resources Institute*. July 27, 2022.
3. Pradhan T. K., Rout S. P. *The changing nature of Indian foreign policy and its implication towards energy security: Challenges and opportunities* // *International Journal of Political Science and Governance*. 2026. Vol., 8 no. 2.
4. Kaavyaa G. *Balancing Economic Growth and Emission Reductions: Policy Trade-offs in India's Power Sector Towards Achieving the 2070 Net-Zero Goal* // *Journal for Global Business and Community*. 2024. Vol. 15, no. 1.
5. Jirnal A. N., Basargi P. N. *India 2047: A Transdisciplinary Framework for Inclusive Development, Technological Sovereignty, And Equitable Growth, 2026* // *Creative Commons: site*. URL: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.
6. Dhairiyasamy R., Gabiriel D., Bunpheng W., Choon Kit Ch. *A comprehensive analysis of India's electric vehicle battery supply chain: barriers and solutions* // *Discover Sustainability*. 2024. No. 5. P. 361.
7. *Greening the Steel Sector in India Roadmap and Action Plan*, Ministry of Steel, Government of India, September 2024. URL: https://drive.google.com/file/d/1Hlw5w2iyicie00dHMTGClgXUU_P_BxVptp/view.
8. Nautiyal S. *Steel without the energy security challenge: India's green hydrogen opportunity* // *Institute for Energy Economics and Financial Analysis*. February 20, 2026. URL: <https://ieefa.org/resources/steel-without-energy-security-challenge-indias-green-hydrogen-opportunity>.
9. *Report on optimal generation mix 2030. Version 2.0*. Government of India, April 2023.

10. Rajshekhar M. Analysis: Where is India spending more, fossil fuels or renewables? // Dialogue Earth. October 18, 2022. URL: <https://dialogue.earth/en/energy/fossil-fuels-or-renewables-where-is-india-spending-more>.
11. Garg V. Union Budget 2026: Strong fiscal signals, fragmented support for India's energy transition // Institute for Energy Economics and Financial Analysis. February 4, 2026. URL: <https://ieefa.org/resources/union-budget-2026-strong-fiscal-signals-fragmented-support-india-energy-transition>.
12. Umarkar A. V. India–European Union Trade Agreement: Utility, Strategic Role, and Feasibility – A Critical Study // Advanced International Journal for Research. Vol. 7, is. 1. January–February 2026.
13. India Climate & Energy Dashboard, published by NITI Aayog, India Energy, Vasudha Foundtion, last updated: 18.02.2026.
14. Anupama K. US Tariff Policies as a Trigger for India's Strategic Realignment: Implications for Trilateral Dynamics among India, Russia and China // Knowledgeable Research (KR). 2026. Vol. 5, no. 02. URL: <https://knowledgeableresearch.com/index.php/1>.
15. Визит Путина в Индию. Особое стратегическое партнерство Москвы и Нью-Дели // Тасс: сайт. URL: <https://tass.ru/info/25805113>.
16. Garg V., Saloni S. M., Rana T. Indian States' Electricity Transition (SET) 2026. Data-driven analysis of electricity transition performance across 21 Indian states. Assessment year FY 2025 // Institute for Energy Economics and Financial Analysis, February 2026.
17. Shantanu S., Ankur S. Renewable Energy Access in India: A Project Finance Perspective. Analysing the Feasibility of Renewable Energy Projects in Light of Current Sectoral Headwinds // Institute for Energy Economics and Financial Analysis, June 2022.
18. Binit Das. Is Viability Gap Funding Sufficient to Drive India's Offshore Wind Ambitions? // Down to Earth, Published on 03 Jul 2024. URL: <https://www.downtoearth.org.in/renewable-energy/is-viability-gap-funding-enough-to-power-indias-offshore-wind-dreams>.
19. Verma B., Sikarwar S., Dasgupta S. Policy and market analysis of India's electric vehicle battery supply chain // Academia Green Energy. 2026. Vol. 3.
20. India Made Long Push With Trump Behind Scenes to Clinch US Deal // Bloomberg: site. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2026-02-04/india-made-long-push-with-trump-behind-scenes-to-clinch-us-deal>.
21. Трамп или скидки? Индийские государственные НПЗ уже неделю не закупают российскую нефть // Нефтегаз.ру: сайт. URL: <https://neftegaz.ru/news/Trading/895773-tramp-ili-skidki-indiyskie-gosudarstvennye-npz-uzhe-nedelyu-ne-zakupayut-rossiyskuyu-neft/?ysclid=mp1o9lkk44327758379>.
22. СМИ раскрыли подробности торговой сделки США и Индии // ИА «Прайм»: сайт. URL: <https://1prime.ru/20260203/indiya-867142951.html?ysclid=mp4f43uxuf636584337>.
23. Индия может сократить импорт нефти РФ, если США не продлят исключение из санкций // Нефть и Капитал: сайт. URL: https://oilcapital.ru/news/2026-05-13/indiya-mozhet-sokratit-import-nefti-rf-esli-ssha-ne-prodyat-isklyuchenie-iz-sanktsiy-5596660?is_doscroll=true.
24. Indian Imports of Russian Oil Seen Halving on US Order. By Rakesh Sharma. February 9, 2026 // Bloomberg: site. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2026-02-09/indian-imports-of-russian-oil-seen-halving-on-white-house-order>.
25. India's Refiners Seek Clarity on Russian Oil After Trump Deal // Bloomberg: site. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2026-02-03/india-s-refiners-seek-clarity-on-russian-oil-after-trump-deal>.
26. Песков указал на понимание РФ наличия у Индии других поставщиков нефтепродуктов // Известия: сайт. URL: <https://iz.ru/2036938/2026-02-04/peskov-ukazal-na-ponimanie-rf-nalichia-u-indii-drugikh-postavshchikov-nefteproduktov>.
27. Reuters узнал об отказе Индии от попавшего под санкции СПГ из России // РБК: сайт. URL: <https://www.rbc.ru/politics/11/05/2026/6a01fbda9a794738a39f6748?ysclid=mp1lhy4ak4444853255>.
28. Индия попросила США продлить разрешение на закупку нефти у РФ – СМИ // Сетевое издание X-Compliance: сайт. URL: https://x-compliance.ru/publications/sanctions/indiya-poprosila-ssha-prodlit-razreshenie-na-zakupku-nefti-u-rf-smi?utm_source=email.
29. Лавров: Запад нечистоплотными методами принуждает не покупать российскую нефть // ТАСС: сайт. URL: <https://tass.ru/politika/27392101>.
30. Reuters: США решили продлить разрешение на закупку российской нефти // Коммерсант: сайт. URL: https://www.kommersant.ru/doc/8672172?utm_source=vybor&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter.
31. Минфин США подтвердил продление лицензии на операции с российской нефтью // Коммерсант: сайт. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8672242>.

Водород уже плывет без нас

Hydrogen is Already Floating without Us

Валентин ПАРМОН
Академик РАН, председатель СО РАН,
д.х.н.

Valentin PARMON
Academician of the Russian Academy
of Sciences, Chairman of the SB RAS, Doctor
of Chemical Sciences

Владимир УСАЧЕВ
Директор Протвинского филиала
АО «НИИ НПО "Луч"» (ГК Росатом),
к.т.н.

Vladimir USACHEV
Director of the Protvinsk branch Research
Institute NPO "Luch" JSC (Rosatom State
Corporation), Candidate of Technical Sciences

Тимофей СОКОЛОВ
Инженер СПбПУ Петра Великого

Timofey SOKOLOV
Engineer, SPbPU Peter the Great

Юрий АРИСТОВИЧ
Эксперт СПбПУ Петра Великого

Yuri ARISTOVICH
Expert, SPbPU Peter the Great

Александр КАРПОВИЧ
Руководитель проектов СПбПУ Петра
Великого

Alexander Karpovich
Project manager, SPbPU Peter the Great

Артем ВЛАСОВ
Генеральный директор ООО «ПРО-КВАНТУМ»

Artem VLASOV
General Director, PRO-KVANTUM LLC

Макар СМАЛЬ
Инженер СПбПУ Петра Великого

Makar SMAL
Engineer, SPbPU Peter the Great



Танкер Аньхой на аммиаке
Источник: Depositphotos.com

Аннотация. Статья посвящена анализу современного состояния и перспектив водородных технологий в транспортном и энергетическом секторах на фоне глобального энергетического перехода. Актуальность исследования обусловлена нарастающим разрывом между темпами коммерциализации водородного транспорта в мире и степенью готовности отечественной инфраструктуры к его практическому освоению.

В работе последовательно рассматриваются мировые тенденции применения водорода в морском и речном судоходстве, международный опыт создания плавучих и подводных центров обработки данных на водородных энергоустановках, а также их потенциал в контексте развития цифровой инфраструктуры Северного морского пути. На основе анализа реализованных зарубежных проектов показано, что водородные технологии в ряде транспортных сегментов вышли за рамки экспериментальных разработок и перешли в стадию коммерческой эксплуатации [1].

Отдельное внимание уделяется пилотному проекту «Сила Энергии», разрабатываемому Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого и в разных своих частях уже вызвавшему интерес нескольких ключевых отраслевых игроков, включая, к примеру, бизнес-направление «Электромобильность» АО «ТВЭЛ» (структура ГК «Росатом») в качестве крупного производителя батарей для электротранспорта. Проект предусматривает создание первого в Российской Федерации водородного буксир-толкача с контейнерной баржей грузоподъемностью 3000 тонн на маршрутах Северо-Западного федерального округа с выходом на трассу Северного морского пути.

Делается вывод о том, что вопрос практической применимости водородных технологий в российском речном и арктическом судоходстве перешел из категории дискуссионных в категорию решаемых, а определяющим фактором становится скорость институциональной и регуляторной реакции на уже сложившиеся мировые реалии.

Ключевые слова: водородная энергетика, водородный транспорт, буксир-толкач, топливные элементы, Северный морской путь, плавучие центры обработки данных, «зеленый» водород, низкоуглеродная логистика, цифровой инжиниринг, пилотный проект

Abstract. The article is devoted to the analysis of the current state and prospects of hydrogen technologies in the transport and energy sectors against the backdrop of the global energy transition. The relevance of the study is due to the growing gap between the pace of commercialization of hydrogen transport in the world and the degree of readiness of the domestic infrastructure for its practical development.

The work consistently examines global trends in the use of hydrogen in sea and river navigation, international experience in creating floating and underwater data processing centers using hydrogen power plants, as well as their potential in the context of the development of the digital infrastructure of the Northern Sea Route. Based on an analysis of implemented foreign projects, it is shown that hydrogen technologies in a number of transport segments have gone beyond experimental development and entered the stage of commercial operation [1].

Special attention is paid to the pilot project "Power of Energy", developed by the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University and in its various parts has already aroused the interest of several key industry players, including, for example, the business direction "Electromobility" in JSC TVEL (a structure of the Rosatom State Corporation) as a large manufacturer of batteries for electric vehicles. The project provides for the creation of the first hydrogen pusher tug in the Russian Federation with a container barge with a lifting capacity of 3,000 tons on routes in the Northwestern Federal District with access to the Northern Sea Route.

It is concluded that the issue of the practical applicability of hydrogen technologies in Russian river and Arctic shipping has moved from the debatable category to the resolvable category, and the determining factor is the speed of institutional and regulatory response to already established world realities.

Keywords: hydrogen energy, hydrogen transport, pusher tug, fuel cells, Northern Sea Route, floating data centers, green hydrogen, low-carbon logistics, digital engineering, pilot project

Введение

Глобальная энергетика переживает качественный перелом, природа которого принципиально отличается от прежних технологических переходов. Если смена угля на нефть или нефти на газ представляла собой эволюционную замену одного ископаемого углеводорода другим, то современный глобальный переход в энергетике ставит под сомнение саму логику сжигания вещества как способа получения энергии. Водород в этом контексте занимает особое место, играя роль универсального энергоносителя, способного аккумулировать, транспортировать и преобразовывать химическую энергию в желаемый вид без выброса углекислого газа, токсичных продуктов сгорания или радиоактивных отходов.

Между тем отношение к водородным технологиям в широком профессиональном сообществе по-прежнему остается неоднозначным. Часть экспертов склонна рассматривать водород как отдаленную перспективу, сдерживаемую высокой стоимостью производства товарного водорода и отсутствием разветвленной инфраструктуры его использования. Настоящая статья полемизирует с подобной позицией. Мировая практика последних лет убедительно демонстрирует, что водородные технологии в ряде транспортных сегментов уже перешли от стадии опытных разработок к коммерческой эксплуатации. Тихо, без широкого общественного резонанса, но вполне результативно.

Цель настоящей статьи состоит в систематизации актуальных тенденций мирового водородного транспорта и цифровой инфраструктуры, анализе зарубежного и отечественного опыта плавучих энергетических комплексов на водороде, а также в обосновании концептуальной и экономической состоятельности пилотного проекта «Сила Энергии» как точки входа России в сегмент низкоуглеродного речного и арктического судоходства.

Методологическую основу исследования составляют анализ открытых источников: публикаций в рецензируемых изданиях, технической документации реализованных проектов, отраслевых докладов и нормативных актов, а также сравнительный анализ технико-экономических показателей рассматриваемых объектов. Отдельно исполь-

зуются материалы пояснительной записки СПбПУ по пилотному проекту и опубликованное исследование Крыловского государственного научного центра, посвященное плавучим центрам обработки данных на Северном морском пути.

Практическая значимость работы определяется тем, что ее результаты могут служить аналитической основой при проектировании водородной транспортной инфраструктуры в Северо-Западном федеральном округе, обосновании государственного финансирования пилотных водородных судовых проектов и разработке стратегий технологического суверенитета в секторе низкоуглеродного судостроения.

Непонимание мировых трендов водорода большинством

Глобальный энергетический переход, обусловленный истощением запасов ископаемого топлива и нарастающим экологическим кризисом, актуализирует поиск альтернативных источников энергии. Нефть и газ дорожают по мере того, как доступных запасов становится меньше, что делает их долгосрочное использование экономически нецелесообразным.

Возобновляемые источники энергии, в частности солнечная генерация, на первый взгляд представляются очевидной альтернативой. Комплексный анализ полного жизненного цикла выявляет ряд суще-



Солнечные батареи
Источник: Shutterstock.com

ственных противоречий. Производство фотовольтаических панелей сопряжено со значительными энергозатратами и применением токсичных химических соединений. Ко всему прочему, проблема утилизации отработавших фотоэлементов приобретает все более острый характер по мере массового распространения технологии. Согласно расчетам Национальной лаборатории возобновляемой энергетики США (NREL), стоимость переработки одной солнечной панели устойчивой мощности составляет от 20 до 30 долл. США [2, 3]. По данным Toshiba Environmental Solution, для утилизации всего объема фотовольтаических панелей, введенных в эксплуатацию в Японии к 2020 году, потребовалось бы не менее 19 лет непрерывной работы специализированных предприятий [4–6]. При этом инфраструктура утилизации критически отстает от темпов развертывания генерирующих мощностей, что ставит под сомнение реальную экологическую нейтральность солнечной энергетики.

На этом фоне водород приобретает статус стратегического химического энергоносителя. Он способен занять ключевую позицию в отраслях, где прямая электрификация технически затруднена или экономически неэффективна. Мировая практика последних лет убедительно демонстрирует переход водородных технологий из стадии экспериментальных разработок в стадию коммерческой эксплуатации.

Здесь стоит вернуться к одному распространенному возражению. В недавней

Мировая практика последних лет убедительно демонстрирует, что водородные технологии в ряде транспортных сегментов уже перешли от стадии опытных разработок к коммерческой эксплуатации

работе Аксютин О. Е. и соавторов «Метан, водород, углерод: новые рынки, новые возможности» одним из ключевых сдерживающих факторов для водородного транспорта названо отсутствие разветвленной заправочной инфраструктуры [6]. Однако этот тезис не учитывает специфику отдельных транспортных сегментов. Например, речной толкач-баржа эксплуатируется на заранее известном маршруте с фиксированными точками стоянки, что делает достаточным наличие единственного пункта bunkеровки судна топливом в порту отправления. Необходимость в разветвленной сети водородных заправочных станций в таком случае попросту отсутствует.

Примечательно и то, что рассматриваемые в настоящей статье проекты реализо-



Утилизация солнечных панелей
Источник: www.pv-magazine.com

ваны в сроки, незначительно отстающие от даты публикации указанной статьи. Это свидетельствует о том, что технологическая готовность к применению водорода на водном транспорте наступила значительно раньше, чем допускали авторы, а осторожность их оценок отражала скорее отраслевую позицию газового сектора, нежели объективное состояние технологий.

Одним из наиболее показательных примеров служит морской транспорт. В Германии был спущен на воду первый в мире буксир с нулевым углеродным следом, предназначенный для транспортировки баржи Ursus на маршруте Берлин — Гамбург [8]. Технические характеристики судна свидетельствуют о высоком уровне инженерной проработки: длина буксира составляет 20 м, ширина — 8,25 м, осадка — 1,25 м. На борту размещены шесть блоков хранения водорода массой 125 кг каждый под давлением 500 бар [9]. Запас хода буксира при комбинированном использовании топливных элементов и аккумуляторных батарей составляет до 400 км. Общий бюджет проекта — 14,6 млн евро, более половины обеспечено Федеральным министерством цифровых технологий и транспорта Германии. В реализации проекта участвовали восемь компаний, среди которых

Применение водородного электродвижения способно существенно снизить стоимость доставки грузов. КПД электродвигателей на топливных элементах значительно превосходит эффективность традиционных дизельных установок

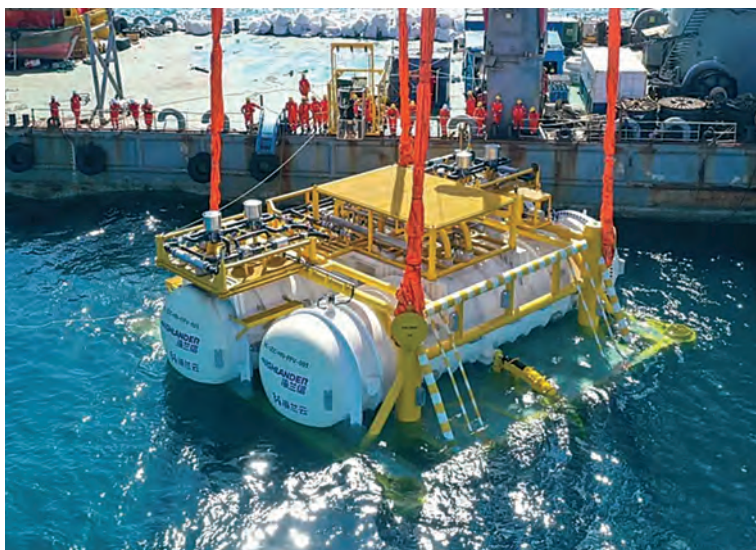
судоверфь Hermann Barthel, производитель топливных элементов Ballard Power Systems и разработчик систем накопления энергии EST-Floattech. Консорциумный характер проекта подчеркивает необходимость межотраслевой кооперации для успешного масштабирования водородных решений.

Параллельно аналогичные разработки реализуются в Китае, стремительно нара-



Буксир с нулевым углеродным следом транспортирует баржу Ursus

Источник: est-floattech.tif



Подводный дата-центр компании Highlander
Источник: nterestingengineering.com

щивающем технологический потенциал в стратегических отраслях. Верфь Jiangsu Zhenjiang Shipyards спустила на воду гибридный буксир Qing Dian Tuo 1 — первое в мире судно, в котором электродвигатели функционируют в связке с водородным источником энергии. Судно введено в эксплуатацию в порту Циндао, что свидетель-

ствует о готовности технологии к реальным промышленным условиям [10, 11].

Отдельного внимания заслуживает формирующийся спрос на электрическую энергию со стороны цифровой экономики. Экспоненциальный рост вычислительных мощностей, задействованных для обучения и эксплуатации систем искусственного интеллекта, влечет за собой стремительное увеличение энергопотребления центров обработки данных. Обеспечение их бесперебойной работы в глобальном масштабе требует принципиально иных подходов к генерации электроэнергии. В настоящее время рассматриваются два ключевых сценария, такие как развитие атомной генерации и создание распределенной водородной энергетической инфраструктуры. При этом атомная энергетика по-прежнему сталкивается с нерешенной проблемой замкнутого ядерного топливного цикла и безопасного обращения с отработавшим ядерным топливом, тогда как водородные топливные элементы уже существуют в коммерчески зрелых формах и готовы к интеграции в существующую инфраструктуру.

Мировой рынок центров обработки данных демонстрирует устойчивый рост. Выручка отрасли превысила 57 млрд



Гибридный буксир Qing Dian Tuo 1

Источник: bairdmaritime.com/

долл. США, тогда как отечественный сегмент коммерческих ЦОД за 2023 год прибавил почти треть в стоимостном выражении, достигнув отметки 117,3 млрд руб. [12]. Схожая динамика наблюдается в транспортном секторе: доля электромобилей в глобальных продажах вплотную приблизилась к двум третям, а мировой рынок автономных транспортных средств, по прогнозам, вырастет более чем в пять раз к 2030 году (с 42 до свыше 214 млрд долл. при среднегодовом темпе прироста около 22 %).

В водном транспорте показательным примером индустриального масштабирования энергетических нововведений служит китайский опыт. Станции быстрой замены аккумуляторных блоков нового поколения способны обслуживать сотни судов в сутки, а твердотельные накопители энергии, соответствующие вводимым в 2026 году национальным стандартам пожаро- и взрывобезопасности, переходят в стадию серийного производства. Все это

свидетельствует о качественном сдвиге, электрическая и водородная мобильность выходит за рамки пилотных проектов и приобретает черты полноценной отрасли.

На уровне государственной политики России ориентиры заданы распоряжением Правительства РФ № 2162-р, утвердившим концепцию развития водородной энергетики на период до 2035 года [13]. Документ предусматривает наращивание производства товарного водорода до 2 млн тонн в год к 2030-му и до 12 млн тонн в год к 2035 году с опорой на электролиз с использованием возобновляемых и атомных источников энергии. Государственная корпорация «Росатом» определена одним из ключевых операторов, ответственных в том числе за формирование водородной инфраструктуры в Арктическом регионе и организацию соответствующих грузоперевозок.

Научный дивизион «Росатома» в конце прошлого года ввел в эксплуатацию ОДУ 150 — первую в России опытно-демонст-



Гибридный электро-водородный земснаряд, Франция

Источник: Shutterstock.com



Концепт заправки водородом для маломерного флота

Источник: bairdmaritime.com

рационную установку (стенд) для отработки технологий парокислородной конверсии метана в водородсодержащую смесь [14, 15]. Ключевое участие в выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по разработке технических проектов технологического оборудования обеспечили специалисты Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ). Оборудование разрабатывалось для создаваемого в Протвинском филиале АО «НИИ НПО «ЛУЧ» (входит в научный дивизион Росатома «Наука и инновации») блочно-модульного испытательного стенда ОДУ-150.

Испытательный стенд является одним из звеньев в реализации масштабного проекта госкорпорации «Росатом» по разра-

ботке технологии крупнотоннажного производства водорода на базе атомной энерготехнологической станции (АЭС) с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором (ВТГР). Он предназначен для отработки технологии получения водорода, испытаний катализаторов, сорбентов, проверки на практике разработанных технических решений.

Совокупность рассмотренных мировых тенденций свидетельствует о формировании устойчивого вектора развития в сторону водородной энергетики как универсального решения для декарбонизации транспорта, промышленности и цифровой инфраструктуры.

Водородная революция, которую большинство не заметило

Доступных для анализа данных становится все больше: интернет-облака, промышленный интернет вещей, искусственный интеллект. Инфраструктуре хранения и обработки данных приходится расширяться. По оценке Gartner, мировые расходы на ИТ в 2024 году достигли 5,1 трлн долл., на 8 % больше, чем годом раньше, а объем сделок слияний и поглощений на рынке ЦОД поставил рекорд в 57 млрд долл. [16–18]. У классических наземных ЦОД при этом копятя структурные ограничения: например, дорогая земля в городах, большие затраты на охлаждение серверов (до 40 % всего энергопотребле-

На начальной стадии освоения водородных технологий их прямая конкурентоспособность с дизельными аналогами по совокупным затратам жизненного цикла объективно ограничена

ния объекта), долгие сроки строительства и согласований. Отсюда и интерес к другому нетрадиционному подходу, опирающемуся на плавучие и подводные дата-центры на возобновляемой энергии, в том числе на водороде.

Идея плавучего ЦОД не нова. Еще в 2008 году Google запатентовала размещение вычислительных мощностей на морских баржах с охлаждением морской водой и энергопитанием от энергии волн [19–21]. Этот патент задал методическую рамку для более поздних коммерческих разработок в США, Европе и Азии.

В Европе параллельно подрастает сегмент компактных речных ЦОД для городской среды. Французский стартап Denv-R в 2022 году представил концепцию дата-центра на реках, а в июне 2024-го запустил первый объект в Нанте [22–24]. Им стал вычислительный модуль с энергопотреблением 200 кВт в контейнере площадью 100 м² на плавучей платформе компании Geps Techno. Охлаждает его вода Луары, часть энергопотребности закрывают солнечные панели. Плюс такой схемы очевиден: не нужно отчуждать землю, а сам ЦОД можно поставить рядом с потребителями данных и сократить задержки в их пере-

Водород занимает качественно новую нишу среди возобновляемых энергоносителей, не замещая, а дополняя электрификацию там, где она технически затруднена или экономически неэффективна

даче. Сейчас компания разрабатывает офшорную версию на энергии волн, рассчитывая собрать самую экологичную сеть распределенных ЦОД в мире.

Развивается и подводный вариант. IT-компания Microsoft еще в 2014 году запатентовала погружение цилиндрического дата-центра у берегов Шотландии, а в 2015-м успешно опустила прототип Leona Philpot на дно Тихого океана в километре от берега [25–28]. Объект автономно проработал че-



Suiso Frontier — первый в мире танкер для перевозки сжиженного водорода (LH₂)

Источник: Depositphotos.com



Плавучий дата-центр компании Nautilus Data Technologies

Источник: prnewswire.com

тыре месяца. Тепло серверов отводилось теплообменниками в морскую воду, а питание шло только от возобновляемых источников (береговых ветряков, солнечных панелей и энергии приливов и волн). Подготовить такой модуль к разворачиванию удавалось примерно за 90 дней против обычных двух лет наземного строительства, а расчетный срок работы без обслуживания доходил до пяти лет.

Для России этот опыт особенно интересен в связи с Северным морским путем (СМП). Карпович, Маренич, Половинкин и Ямщиков в статье «Перспектива применения плавучих центров обработки данных на Северном морском пути в Российской Федерации» (2025) отмечают, что именно для арктической цифровой инфраструктуры плавучие ЦОД на водороде наиболее востребованы [29–50]. Речь прежде всего о проекте «Полярный экспресс» — трансарктической подводной волоконно-оптической линии длиной 12650 км между Мурманском и Владивостоком. Для реализации этого проекта вдоль всей трассы понадобятся десятки ЦОД: для геологоразведки, контроля ледовой обстановки, промышленного интернета вещей, облачных вычислений и квантовых коммуникаций на объектах нефтегаза. Строить наземные ЦОД в вечной мерзлоте дорого и

технически рискованно, тогда как плавучие комплексы можно подвести прямо к платформам и буровым, резко сократив расходы на передачу больших массивов данных.

Криогенный жидкий водород, LH_2 , обладает удельной теплотой сгорания порядка 120 МДж/кг, что делает его наиболее энергоемким из доступных химических топлив в расчете на массу топлива [51, 52]. Однако практическое использо-

Снижение капзатрат на 30–50 % и удельной стоимости водорода на 25–40 % при переходе к серии из трех-пяти судов и кластерной заправочной инфраструктуре формирует реалистичный горизонт выхода на полную окупаемость «Силы Энергии» за пять-семь лет

вание LH_2 осложняется физической особенностью молекулярного водорода, долгое время остававшейся недооцененной инженерным сообществом. При ожижении молекулярного водорода в жидкой фазе сохраняется высокотемпературное соотношение модификаций молекул водорода по их суммарному ядерному спину I , а именно 75 % ортоводорода с $I = 1$ и 25 % параводорода с $I = 0$, термодинамическое равновесие в криогенных условиях при 20 К соответствует практически 100 % параводороду. Разрыв между фактическим и равновесным составом в необработанном LH_2 приводит к медленной самопроизвольной конверсии $\text{o-H}_2 \rightarrow \text{p-H}_2$ непосредственно в баке хранения. Тепловой эффект этого перехода (~ 340 кал/моль) превышает теплоту испарения водорода (~ 228 кал/моль), вследствие чего выделяемой теплоты оказывается достаточно для интенсивного вскипания жидкости. По данным Р. А. Буянова, обсуждаемая самоконверсия в жидкой фазе подчиняется кинетике второго порядка по концентрации ортоводорода и обусловлена диполь-дипольным взаимодействием магнитных моментов ядер соседних молекул o-H_2 . На практике это выражается в потере около 18 % объема жидкости за первые сутки хранения, а через четверо суток в емкости остается не более 60 % исходного количества независимо от качества термоизоляции хранилища.

Принципиальное решение проблемы состоит в принудительном каталитическом переводе ортоводорода в параводо-

Для России водородные плавучие энергетические комплексы могут решить две стратегические задачи: декарбонизации арктического судоходства и создания цифровой инфраструктуры Севморпути

род непосредственно в процессе ожижения с одновременным отводом теплоты реакции конверсии. Орто-пара-превращение (ОПП) водорода занимает особое место среди каталитических процессов. Его ускорение достигается не химическим взаимодействием реагента с поверхностью катализатора, а физическим механизмом магнитной релаксации ядерных спинов. Неоднородное магнитное поле парамагнитных ионов катализатора нарушает связь между спиновыми и вращательными квантовыми состояниями молекулы, снимая запрет Паули на межмодификационный переход. Переход системы в термодинамически наиболее устойчивое состояние, то есть к p-H_2 , в криогенных условиях приводит к ускорению реакции, где она пропорциональна эффективному магнитному моменту парамагнитных ионов катализаторов, что определяет критерий отбора их активных компонентов. Среди испытанных соединений переходных металлов Cr^{3+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Gd^{2+} , а также ряда лантанидов. На их основе в Институте катализа СО АН СССР к 1971 году была создана серия промышленных катализаторов ИК-5.

Помимо подбора катализатора, ключевым вопросом при проектировании промышленного ожижителя является распределение реакции ОПП по температурным ступеням. Равновесная концентрация параводорода заметно возрастает лишь при температурах ниже 180 К, причем стоимость отвода единицы теплоты реакции резко увеличивается с понижением температуры. Холодильный коэффициент η па-

Неоднородное магнитное поле парамагнитных ионов катализатора нарушает связь между спиновыми и вращательными квантовыми состояниями молекулы, снимая запрет Паули на межмодификационный переход



Дата-центр компании Samsung Heavy Industries (концепт)

Источник: infernal-duck.com/

дает с 0,351 при 78 К до 0,075 при 21 К. Проведение всей конверсии на единственной низкотемпературной ступени обходится в 9,3 кВт·ч на килограмм продукта. Распределение реакции ОПП на три ступени при 78, 64 и 21–22 К с последовательным доведением концентрации $p\text{-H}_2$ до 49, 60 и ~100 % снижает этот показатель до 4,9 кВт·ч/кг. На финальной ступени для обеспечения изотермического режима протекания ОПП реактор погружается в ванну с кипящим жидким водородом, рабочее давление в реакторе поддерживается в диапазоне 1,8–3,0 бар при давлении в ванне около 0,8 бар. Отступление от изотермичности на этом этапе непосредственно ограничивает достижимую концентрацию параводорода, поскольку равновесный состав LH_2 жестко определяется локальной температурой. Это технологическая основа первого советского промышленного производства жидкого параводорода остается актуальной и при проектировании современных установок малотоннажного сжижения.

Все перечисленное и зарубежное, и отечественное говорит о том, что водородные плавающие энергокомплексы тех-

нически осуществимы и экономически оправданны. Уже достигнутые показатели (сроки строительства короче на 75 %, эксплуатационные затраты на охлаждение ниже на 40 %, энергоэффективность по PUE (Power Usage Effectiveness) — отношение общего потребления электроэнергии дата-центра к потреблению электроэнергии непосредственно ИТ-оборудованием) выше на 39 % и прямо работают на экономику пилотного проекта «Сила Энергии», который предполагает объединение водородного буксира-толкача и контейнерной баржи грузоподъемностью 3000 тонн в одну логистическую цепочку на маршруте Мурманск — Великий Новгород.

Пилотный проект «Сила Энергии» как важный этап становления водородного судоходства

Переход от теоретического осмысления водородных технологий к их практическому внедрению в отечественную транспортную

инфраструктуру находит воплощение в пилотном проекте «Сила Энергии», разрабатываемом Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого. Проект ориентирован на создание первого в Российской Федерации грузового судового состава с водородной энергетической установкой как системообразующего элемента формирующейся низкоуглеродной транспортно-логистической инфраструктуры страны. Со стороны ключевого отраслевого партнера (компания «РЭНЕРА», входящей в структуру Топливного дивизиона государственной корпорации «Росатом») подтверждена заинтересованность в сотрудничестве с ПИШ СПбПУ. Участие отраслевого партнера подобного масштаба свидетельствует о том, что проект воспринимается индустриальным сообществом как интересный и практически реализуемый.

Техническую основу проекта составляет создание водородного буксира-толкача высокого ледового класса в связке с контейнерной баржей грузоподъемностью 3000 тонн. Энергетическая архитектура судового состава предусматривает установку водородных топливных элементов, преобразующих химическую энергию водорода непосредственно в электричество для питания главных электродвигателей суммарной мощностью около 700 кВт. Такое техническое решение принципиально отличается от традиционных двигателей внутреннего сгорания. Отсутствие промежуточного цикла сгорания топлива и более высокая энергоплотность водорода обеспечивают существенно более высокий КПД энергопреобразования и полное отсутствие вредных

Пилот «Сила Энергии» выступает одновременно полигоном для отработки водородных судовых технологий и прообразом системы низкоуглеродной грузовой логистики, охватывающей речные, озерные и арктические маршруты

Проект ориентирован на создание первых в России грузовых судов с водородной энергетической установкой как системообразующего элемента низкоуглеродной транспортно-логистической инфраструктуры

выбросов в атмосферу. Топливо и энергетические модули размещаются в стандартных 20-футовых контейнерах, криогенных емкостях с жидким водородом и блоках аккумуляторных накопителей, частично на буксире, частично на барже, с организацией между ними «энергомоста» в виде системы магистральных кабелей и криокоммуникаций. В качестве резервного энергоносителя конструкция допускает использование сжиженного природного газа с применением тех же унифицированных криогенных контейнерных модулей, что минимизирует риски невозвратных инвестиций.

Производство «зеленого» водорода для нужд проекта планируется организовать децентрализованно, непосредственно в точках бункеровки вдоль маршрута, с использованием отечественных установок электролизного производства водорода. В частности, рассматривается применение установки ОДУ-150, ключевое технологическое оборудование для которой разработано Передовой инженерной школой «Цифровой инжиниринг» СПбПУ. Подобный подход устраняет необходимость в протяженной транспортной цепочке доставки водорода и снижает инфраструктурные риски, позволяя разворачивать заправочные мощности поэтапно по мере освоения маршрутной сети. Развитие практической водородной энергетики в мире уже сейчас показывает, что «зеленый» водород не всегда оправдан и с точки зрения глобальной экологии. Для нашей страны существующее инфраструктурное обеспечение природным газом дик-

тует необходимость особенно присматриваться и к «бирюзовому».

Локализация производства водородных топливных ячеек планируется на базе Санкт-Петербурга при возможном размещении части производственных мощностей на предприятии в Московской области. Наличие отечественных компетенций в производстве топливных ячеек исключает критическую зависимость от зарубежных поставок ключевых компонентов и одновременно создает экспортный потенциал готовых решений для международных рынков судовой и стационарной водородной генерации.

Направления ориентированных на проект исследований охватывают проектирование энергетических систем, расчет криогенных систем хранения водорода, разработку энергомоста между судами, цифровое моделирование режимов эксплуатации и проведение натурных морских испытаний. Принципиальной особенностью является организация непосредственно на борту судна круглогодичной плавучей лаборатории, обеспечивающей непрерывную телеметрию и обработку экспериментальных данных в реальных условиях речного и озерного плавания.

Маршрутная сеть проекта охватывает акватории рек и озер Северо-Западного федерального округа и выстроена по принципу поэтапного наращивания географии присутствия. Базовый маршрут пролегает через Санкт-Петербург, Выборг, Усть-Лугу, порт Бронка, Новую Ладугу, Великий Новгород, Петрозаводск, Архангельск и Мурманск с последующим выходом на трассу Северного морского пути.

Инфраструктурным стержнем маршрутной сети является создание сети водородных заправочных станций в малых портах вдоль трассы. В энергетическую схему интегрированы судовые аккумуляторные батареи и стационарные системы накопления энергии в портах, образующие вместе с заправочной инфраструктурой единую замкнутую энергологистическую систему. На заправочных станциях буферные аккумуляторные батареи заряжаются посредством преобразования химической энергии водорода в электричество через топливные элементы, что позволяет обеспечить буферную накопительную мощность для оперативного обслуживания судов в портовых узлах с ограниченными мощностями подключения к энергосети. Маршрут «Новый СМП» представлен на рис. 1.



Рис. 1. Продолжение СМП, подключение порта Санкт-Петербург

Представленная концепция базируется на создании сети прибрежных заправочных станций. В корпусах судов устанавливаются топливные элементы, которые преобразуют химическую энергию водорода в электрическую, обеспечивая экологически чистое движение. Маршрут следования пролегает через малые порты, которые хорошо подходят для размещения водородных заправочных станций (ВЗС). Возможные остановки судов в малых портах отмечены номерами, представленными на рис. 1:

1. Приозерск.
2. Остров Валаам.
3. Новая Ладоба.
4. Лодейное Поле.
5. Подпорожье.
6. Вознесенье.
7. Кизи.
8. Пиндуши.
9. Повенец.
10. Беломорск.
11. Острова Кузова.
12. Кемь.
13. Пертоминск.
14. Островной.
15. Полярный.

Дополнительным вектором развития водородного флота СМП служит организация судоходства из Якутска по реке Лене.

Регион богат высококонцентрированными запасами природных ресурсов, но при этом одновременно критически зависит от внешних поставок продовольствия, медикаментов и промышленных товаров. Применение водородного электродвижения на ленских маршрутах способно обеспечить существенное снижение стоимости доставки грузов. КПД электродвигателей на топливных элементах значительно превосходит эффективность традиционных дизельных установок, что при создании необходимой заправочной инфраструктуры способно сделать водород экологически предпочтительным и экономически более выгодным видом топлива для речного флота Якутии.

Стратегическое значение Северного морского пути определяется прежде всего его протяженностью. Маршрут из Санкт-Петербурга через СМП составляет около 16000 км против 23000 км через Суэцкий канал. Это обеспечивает сокращение пути примерно на 30 % с соответствующим снижением временных и топливных затрат. Россия располагает уникальным географическим преимуществом, а именно непосредственным выходом к арктической акватории на всем ее протяжении, превращающим

СМП из регионального в глобальный транзитный коридор. Интеграция водородного судоходства в инфраструктуру СМП позволяет органично совместить две государственные стратегические повестки: декарбонизацию транспортного сектора и освоение арктического транзитного потенциала. Возможная карта развития Нового СМП представлена на рис. 2.

Отдельного рассмотрения заслуживает логистическое изменение проекта, связанное с включением Великого Новгорода в качестве перегрузочного комплекса. Географическое положение города на реке Волхов, которая соединяет озеро Ильмень с Ладожским озером и далее с акваторией Финского залива, создает уникальные возможности для организации мультимодального грузового узла. Строительство контейнерного терминала на Волхове при минимальных вложениях в причальную инфраструктуру позволит обеспечить перевалку контейнерных грузов с автомобильного и железнодорожного транспорта на водный без захода в перегруженный портовый комплекс Санкт-Петербурга. Такое решение создает практические преимущества для трех ключевых товарных потоков: грузов из Московского региона, товаров из

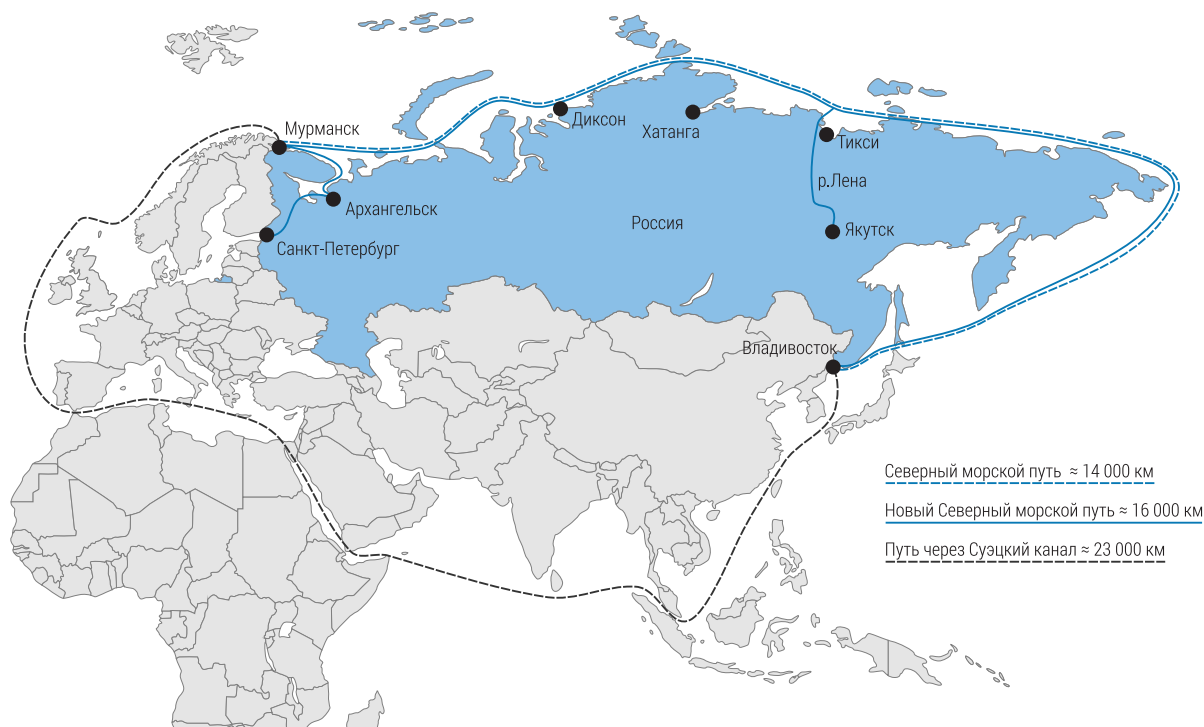


Рис. 2. Новый СМП с подключением Якутии к логистической цепочке поставок товаров

Успешная реализация проекта формирует предпосылки для серийного строительства водородных буксиров и в конечном счете для выхода России в число заметных игроков мирового рынка водородного транспорта

Республики Беларусь и транзитных потоков, которые получают возможность более короткого выхода на Северный морской путь. На базе Новгородского логистического узла также формируется отдельная контейнерная линия для доставки по маршруту Беларусь → Великий Новгород → Мурманск с дальнейшим транзитом через СМП, что существенно укрепляет грузовую базу проекта.

В силу вышеизложенного пилотный проект «Сила Энергии» выступает одновременно испытательным полигоном для отработки водородных судовых технологий в реальных эксплуатационных условиях и прообразом масштабируемой системы низкоуглеродной грузовой логистики, охватывающей речные, озерные и арктические маршруты России. Успешная реализация проекта формирует предпосылки для серийного строительства водородных буксиров, тиражирования заправочной инфраструктуры вдоль трассы СМП и в конечном счете для выхода России в число заметных игроков мирового рынка водородного транспорта.

Экономика и масштабируемость пилотного проекта «Сила Энергии»

Любой технологический проект, претендующий на системное значение, должен выдерживать проверку экономической состоятельностью. Пилотный проект

«Сила Энергии» в этом отношении представляет собой показательный пример осознанного принятия высоких стартовых затрат ради формирования долгосрочной технологической платформы. Ниже рассматриваются структура капитальных затрат проекта, логика их обоснования, механизмы государственной поддержки, траектория выхода на экономическую самодостаточность и роль управления качеством проектирования как инструмента снижения технологических рисков.

Совокупный объем капитальных вложений пилотного проекта оценивается в диапазоне от 1,2 до 2,5 млрд руб. в ценах 2026 года без учета НДС. Столь значительный разброс обусловлен принципиальным различием двух базовых сценариев реализации. Первый предполагает ремоторизацию существующего буксира с полной заменой энергетической установки, реновацией корпуса и перепланировкой надстройки под размещение лабораторного модуля. Этот вариант обеспечивает более быстрый выход на эксплуатационную стадию при несколько ограниченной конструктивной гибкости. Второй сценарий заключается в строительстве нового буксиротолкача высокого ледового класса с изначально интегрированной водородной энергетической установкой. Такой вариант предполагает более высокие стартовые инвестиции, однако обеспечивает полную конструктивную оптимизацию под целевые параметры эксплуатации и максимальную технологическую гибкость, включая конструктивную совместимость с СПГ-системой.

Государственная поддержка выступает инструментом преодоления «долины смерти» – периода между лабораторным прототипированием и коммерческой зрелостью технологии

Структура затрат по основным статьям выглядит следующим образом. Наибольшую долю формирует буксир-толкач с водородной энергетической установкой — от 1 до 2 млрд руб. в зависимости от выбранного сценария. Контейнерная баржа грузоподъемностью 3000 тонн оценивается в 100–200 млн руб., пилотный водородный заправочный комплекс в составе двух-трех станций — в 500–900 млн руб., НИОКР и сертификация на базе СПбПУ — в 250–300 млн руб. К итоговой сумме добавляется резерв в размере 10–15 % на непредвиденные расходы, охватывающие инфляционные риски, логистические издержки и возможные конструктивные корректировки по результатам испытаний.

Структура затрат на водородную энергетическую установку закономерно оказывается наиболее капиталоемкой статьей. Топливные элементы, криосистемы хранения водорода и интегрированные системы управления в совокупности формируют основной прирост стоимости водородного варианта по сравнению с дизельным или

На пилотной стадии проект убыточен и держится на господдержке, затем экономика выправляется по мере роста серии и снижения удельных затрат, а на горизонте пяти-семи лет выходит на полную операционную окупаемость

СПГ-аналогом. Это характерно для большинства водородных проектов первого поколения в мировой практике и объясняется единичным характером производства компонентов на начальном этапе. Экономические показатели представлены в табл. 1.

Таблица 1. Экономические показатели

Показатель	Оценка / эффект
Общий CAPEX пилота	2,5–4,5 млрд руб.
Покрытие за счет господдержки	до 80–100 %
Экономия OPEX vs дизель (энергия+сервис)	20–30 %
Снижение удельных CAPEX при масштабе	30–50 %
Снижение удельной стоимости водорода	25–40 % (при кластерной инфраструктуре)
Горизонт выхода на полную окупаемость	5–8 лет (при развитии инфраструктуры)



Грузовое судно с нулевыми выбросами CO₂

Источник: Depositphotos.com



Установка по производству водорода,
Московский НПЗ
Источник: «Газпром нефть»

Принципиальной особенностью организационной модели проекта является позиционирование СПбПУ как технологического интегратора всего жизненного цикла — от проектирования и модельных испытаний до сертификации, эксплуатационного сопровождения и тиражирования решений. В этой роли университет отвечает за разработку и адаптацию электролизеров и установок конверсии метана в синтез-газ, проектирование водородных заправочных станций, проведение НИОКР по судовым топливным системам и энергопотреблению, а также за формирование типовых проектов модернизации и строительства новых судов, пригодных для последующего серийного применения.

Такая модель имеет существенные преимущества перед традиционной схемой государственного заказа. Прежде всего, она обеспечивает накопление критической

массы компетенций внутри страны, формирование того, что можно обозначить как отечественную школу водородного судостроения. Кроме того, интеграторская функция университета снижает транзакционные издержки между многочисленными участниками проекта, такими как верфи, производители оборудования, портовые операторы и регуляторы. Наконец, наличие академической структуры в роли интегратора обеспечивает независимую верификацию технических решений. Это критически важно для получения классификационных свидетельств и сертификации со стороны морских регуляторов.

Реализация первого в стране водородного судового проекта неизбежно сопряжена с повышенным уровнем технологической неопределенности. Можно отметить отсутствие отработанных отечественных нормативных баз для водородных судовых систем, дефицит эксплуатационной статистики по топливным элементам в условиях речного и арктического плавания, а также высокую сложность интеграции криогенных систем хранения с судовыми энергетическими контурами. В этих условиях управление качеством проектирования приобретает системообразующий характер.

Методологической основой управления качеством в проекте служит концепция системного цифрового инжиниринга, развиваемая Передовой инженерной школой СПбПУ. Она предполагает применение технологии цифровых двойников для проектирования ключевых подсистем судна с верификацией расчетных моделей на физических стендах до начала строительства [53, 54]. Цифровой двойник — это ком-

Переход от пилотного буксира и двух-трех заправок к серии из трех-пяти судов и трех-пяти заправочных узлов обеспечивает снижение удельных капитальных затрат как минимум на 30–50 % за счет эффекта масштаба

пьютерная модель реального объекта или процесса, которая воспроизводит его состояние в различных условиях. Масштаб может быть разным: от небольшой детали до целого предприятия. Важно, что виртуальная копия может появиться раньше самого изделия — в этом заключается одна из главных особенностей цифрового «брата». Цифровой двойник позволяет смоделировать все ситуации на виртуальных испытательных стендах и полигонах. В итоге он сокращает число испытаний и сроки вывода изделия на рынок, снижает себестоимость его разработки. Символом такой компьютерной модели стал кубик Рубика: в собранном виде каждая его грань отвечает за совокупность характеристик — экономику, экологию, прочность и так далее. Это идеал, которого надо достичь в процессе виртуальной сборки кубика. Цифровая трансформация позволяет работать по 10–30 траекториям проектирования. В результате получаются 5–10 решений, которые удовлетворяют требованиям. Но на рынок выводится только одно — то, что превосходит по характеристикам заданное на старте. При этом остаются еще как минимум четыре варианта. Такой подход позволяет выявлять и устранять конструктивные несоответствия на этапе виртуального прототипирования, когда стоимость корректировки на порядки ниже, чем при переделке уже изготовленных узлов.

Цифровая платформа CML-Bench — уникальная российская разработка, сфокусированная на обеспечении проектирования и производства в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособной высокотехнологичной продукции в различных отраслях и на новых рынках.

Применение цифровой платформы CML-Bench на предприятиях российской промышленности позволяет автоматизировать процесс работы с инженерными вычислениями, существенно сокращает трудозатраты на администрирование инженерной деятельности и значительно увеличивает производительность совместной работы инженеров, что в свою очередь позволяет повысить эффективность расчетного и инженерного сопровождения процесса разработки, проведения многовариантной междисциплинарной оптимизации продукции и обеспечить ее конкурентоспособность.

**Контейнерная баржа
грузоподъемностью 3000 тонн
оценивается в 100–200 млн руб.,
пилотный водородный
заправочный комплекс в составе
двух-трех станций – в 500–900
млн, НИОКР и сертификация –
в 250–300 млн руб.**

Немаловажную роль в системе управления качеством играет бортовая лаборатория, организованная непосредственно на судне. Непрерывная телеметрия параметров работы энергетической установки в реальных эксплуатационных условиях формирует массив данных, недоступный при стендовых испытаниях. Эти данные служат основой как для оперативной корректировки режимов эксплуатации, так и для совершенствования проектных решений при строительстве последующих судов серии.

Таким образом, управление качеством проектирования в рамках «Силы Энергии» реализуется замкнутым циклом. От цифрового моделирования к физической верификации, далее к натурной эксплуатации и, наконец, с обратной связью в проект. Именно такой цикл превращает пилотный проект из единичного эксперимента в генератор тиражируемых знаний, пригодных для последующего серийного производства.

Важно отметить, что на начальной стадии освоения водородных технологий их прямая конкурентоспособность с дизельными аналогами по совокупным затратам жизненного цикла объективно ограничена. Удельная стоимость водородного топлива при мелкосерийном электролизном производстве превышает стоимость дизельного топлива, а повышенный CAPEX водородной энергетической установки не компенсируется в краткосрочной перспективе экономией на топливе. Ситуация типична для всех пер-

вопоколенческих технологий и не является специфической проблемой именно водородного судоходства. Аналогичная динамика наблюдалась при становлении рынка электромобилей, ветровой и солнечной генерации.

В этих условиях государственная поддержка выступает инструментом преодоления «долины смерти» — периода между лабораторным прототипированием и коммерческой зрелостью технологии. Структура поддержки предусматривает несколько уровней. Федеральные субсидии на НИОКР и часть инфраструктурных затрат в объеме до 70 %, региональные гранты на создание испытательных полигонов, льготное проектное финансирование через институты развития. Совокупное покрытие за счет инструментов государственной поддержки может достигать 80–100 % затрат пилотного этапа, что делает первичные инвестиции приемлемыми для университета и его промышленных партнеров.

Ключевым экономическим аргументом в пользу проекта является принципиальная изменчивость удельных затрат по мере масштабирования. На пилотной ста-

дии, когда инфраструктура (электролизеры, установки конверсии, хранилища, заправочные станции) создается в единичном исполнении, удельные капитальные затраты на единицу мощности неизбежно высоки. Переход от одного пилотного буксира и двух-трех заправочных станций к серии из трех-пяти судов и кластеру из трех-пяти заправочных узлов вдоль основных транспортных коридоров обеспечивает снижение удельных капитальных затрат как минимум на 30–50 % за счет эффекта масштаба, унификации оборудования и углубленной локализации производства.

Аналогичная динамика характерна и для операционных затрат. При росте суммарного объема потребления водорода и переходе к кластерной модели с локальным производством в портовых узлах удельная стоимость водорода снижается на 25–40 % вследствие сокращения логистических издержек доставки и повышения коэффициента использования электролизного оборудования. Это в свою очередь непосредственно улучшает экономику эксплуатации водородных судов. Выходит, что прогнозируемая экономия операционных



Пилотный катамаран Energy Observer на водородных топливных элементах

Источник: Depositphotos.com

расходов по статьям «Энергия» и «Техническое обслуживание» по сравнению с дизельными аналогами составляет 20–30 %.

Совокупность перечисленных факторов формирует траекторию экономической динамики проекта. На пилотной стадии проект убыточен и держится на господдержке, затем экономика выправляется по мере роста серии и снижения удельных затрат, а на горизонте пяти-семи лет, при последовательном развитии инфраструктуры, выходит на полную операционную окупаемость. После прохождения этого рубежа проект приобретает способность к самофинансированию дальнейшего тиражирования без критической зависимости от прямых субсидий, при сохранении мягких стимулов в форме налоговых льгот, приоритетного доступа в портовую инфраструктуру и введения «зеленых коридоров» для низкоуглеродного флота.

Помимо внутриэкономического измерения, проект несет в себе значительный экспортный потенциал. Разработанные в его рамках типовые проекты водородных буксиров, электролизные станционные решения, компактные установки конверсии природного газа и методология управления качеством водородных судовых систем представляют интерес для стран, осваивающих арктическое судоходство и речную логистику. Отечественная школа водородного судостроения на базе СПбПУ создает предпосылки, чтобы Россия выступала поставщиком готовых решений на мировом рынке водородного транспорта.

Экономическое измерение пилотного проекта «Сила Энергии» выходит далеко за рамки расчета окупаемости единичного судна. Речь идет о формировании полного технологического цикла. От исследований и проектирования до серийного производства и экспорта. Это стратегически значимый сектор, где Россия обладает одновременно научным заделом, природными ресурсами и географическими преимуществами, но пока не реализовала ни одного из них в коммерческом масштабе.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сформулировать ряд выводов, значимых в научно-аналитическом и практически-прикладном отношении.

Большую роль в управлении «Силой Энергии» играет бортовая лаборатория на судне.
Непрерывная телеметрия параметров работы энергетической установки в реальных условиях формирует массив данных, недоступный при стендовых испытаниях

Первое: водород занимает качественно иную нишу среди возобновляемых энергоносителей, не замещая, а дополняя электрификацию там, где она технически затруднена или экономически неэффективна. Анализ полного жизненного цикла солнечной генерации выявляет системное противоречие между декларируемой экологической нейтральностью и реальными затратами на утилизацию фотовольтаических панелей. Это лишний аргумент в пользу водорода как долгосрочного выбора для транспорта и промышленности.

Второе: мировая практика однозначно свидетельствует, что водородный транспорт вышел за пределы лабораторий и демонстрационных стендов. Немецкий буксир с нулевыми выбросами на маршруте Берлин — Гамбург, китайский гибридный буксир Qing Dian Tuo 1 в порту Циндао, коммерческий парк плавучих ЦОД Keppel FDCP в Сингапуре, подводный центр обработки данных у побережья Хайнаня. Все это действующие объекты, подтверждающие готовность технологии к промышленному применению. Утверждения об отсутствии инфраструктуры как непреодолимом барьере для водородного транспорта требуют существенной оговорки, потому что в сегменте регулярного речного и портового судоходства с фиксированными маршрутами этот барьер значительно ниже, чем в автомобильном транспорте общего пользования.

Третье: для России водородные плавучие энергетические комплексы представ-

ляют конкретный инструмент решения двух стратегических задач одновременно, а именно декарбонизации арктического судоходства и создания цифровой инфраструктуры Северного морского пути. Наличие собственного научного задела формирует реальную основу для технологического лидерства в этом сегменте.

Четвертое: пилотный проект «Сила Энергии», разрабатываемый СПбПУ и вызвавший заинтересованность у ключевых отраслевых компаний, включая РЭНЕРА, представляет собой системно обоснованную точку входа России в водородное судоходство. Его ценность определяется циклом от проектирования и цифрового моделирования до натурных испытаний, сертификации и тиражирования. Именно этот цикл, реализуемый через концепцию системного цифрового инжиниринга, превращает пилотный проект в генератор масштабируемых компетенций, востребованных на внутреннем рынке и в перспективе на международных рынках арктического судоходства.

Пятое: экономическая логика проекта строится на динамике удельных затрат при масштабировании. Конкурентоспособ-

ность единичного пилота относительно дизельного флота объективно ниже. Снижение капитальных затрат на 30–50 % и удельной стоимости водорода на 25–40 % при переходе к серии из трех-пяти судов и кластерной заправочной инфраструктуре формирует реалистичный горизонт выхода на полную окупаемость в пять-семь лет.

Рассмотренные факторы указывают на то, что вопрос о применимости водородных технологий в российском речном и арктическом судоходстве из категории дискуссионных перешел в категорию практически решаемых. Нерешенным остается вопрос о скорости институциональной реакции. Насколько быстро регуляторная среда, механизмы государственной поддержки и отраслевые стандарты окажутся готовы сопровождать и продвигать технологию, которая в мире уже работает, а в России пока только проектируется в инициативном порядке? Ответ на этот вопрос определит, займет ли наша страна место в числе первых и главных участников формирующегося глобального рынка водородного транспорта или вновь окажется в роли догоняющего.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Карпович А. Е., Маренич И. Е., Половинкин В. Н., Ямщиков С. А. Перспектива применения плавучих центров обработки данных на Северном морском пути в Российской Федерации // Труды Крыловского государственного научного центра. 2025. Т. 2, № 412. С. 102–114. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82487537>.
2. Beetz B., Wesoff E. Solar panel recycling in the US – a looming issue that could harm industry growth and reputation // PV Magazine USA: site. 03.12.2020. URL: <https://pv-magazine-usa.com/2020/12/03/solar-panel-recycling-in-the-us-a-looming-issue-that-could-harm-growth-and-reputation>.
3. Chowdhury M. S., Rahman K. S., Chowdhury T., Nuthammachot N., Techato K., Akhtaruzzaman M., Tiong S. K., Sopian K., Amin N. An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling // Energy Strategy Reviews. 2020. Vol. 27. P. 100431. DOI: 10.1016/j.esr.2019.100431. URL: <https://www.researchgate.net/publication/338195279>.
4. Энергофиксик. Обратная сторона производства солнечных панелей или куда девать «солнечный мусор» // Дзен: сайт. 28.06.2019. URL: <https://dzen.ru/a/XRTb0SH1GwCuocbY>.
5. Pothan R. An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling – 2020 // Now Solar: site. 30.03.2020. URL: <https://now-solar.com/2020/03/30/an-overview-of-solar-photovoltaic-panels-end-of-life-material-recycling-2020>.
6. Аксютин О. Е., Ишков А. Г., Тетеревлев П. В., Романов К. В. Метан, водород, углерод: новые рынки, новые возможности // Транспорт на альтернативном топливе. 2020. № 6(78). С. 48–59. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44321623>.
7. Ерофеев В. Л., Ерофеева Е. В., Жуков В. А., Гаврилов В. В. Перспективы водородной энергетики в судостроении // Судостроение. 2023. № 6(871). С. 33–40. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59762485>.
8. Германия спустила на воду первый в мире буксир с нулевыми выбросами CO₂ // Global Energy Prize: сайт. 02.06.2022. URL: <https://globalenergyprize.org/ru/2022/06/02/germaniya-spustila-na-vodu-pervyj-v-mire-buksir-s-nulevymi-vybrosami-co2>.

9. В Китае началось строительство первого буксира с водородным двигателем // HF Sino Power: сайт. 25.06.2024. URL: <https://ru.hf-sinopower.com/chinas-first-hydrogen-powered-tugboat-project-starts-construction>.
10. Китайская верфь спустила на воду первый в мире буксир на водородных батареях // ИА «МедиаПалуба»: сайт. 13.02.2025. URL: <https://paluba.media/news/187733>.
11. Первый в Китае водородно-электрический буксир «Водородно-электрический буксир № 1» был введен в эксплуатацию в порту Циндао, а CATL установил новый стандарт для нулевоуглеродных портов // Шанхайская биржа металлов: сайт. 09.07.2025. URL: <https://www.metal.com/ru/news-content/103418144>.
12. Карпович А. Е., Маренич И. Е., Половинкин В. Н., Ямщиков С. А. Перспектива применения плавучих центров обработки данных на Северном морском пути в Российской Федерации // Труды Крыловского государственного научного центра. 2025. Т. 2, № 412. С. 102–114.
13. Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации: распоряжение Правительства Рос. Федерации № 2162-р от 05.08.2021 // Правительство России: офиц. сайт. URL: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcV-sexl.pdf>.
14. СПбПУ, ЦКБМ и НПО «ЛУЧ» разработают технологическое оборудование для получения водорода на АЭТС с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами // Атомная энергия 2.0: сайт. 04.10.2022. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/10/04/128912>.
15. Водородные процедуры: как работает первый российский водородный перегружатель // Страна Росатом: сайт. 26.01.2026. URL: <https://strana-rosatom.ru/2026/01/26/vodorodnye-procedury-kak-rabotaet-pe/>.
16. Gartner Forecasts Worldwide IT Spending to Grow 8 % in 2024 // Gartner: site. 18.10.2023. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2023-10-18-gartner-forecasts-worldwide-it-spending-to-grow-8-percent-in-2024>.
17. Расходы на ИТ в мире превысят \$5 трлн // Коммерсант: сайт. 06.05.2024. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6687471>.
18. Google wins floating data center patent // ZDNet: site. URL: <https://www.zdnet.com/article/google-wins-floating-data-center-patent>.
19. Патент США US7525207B2. Floating data center // Google Patents. URL: <https://patents.google.com/patent/US7525207B2/en>.
20. Underwater data centers // Brightlio: site. URL: <https://brightlio.com/underwater-data-centers>.
21. Data Center Dynamics: site. URL: <https://www.datacenterdynamics.com>.
22. DENV-R Floating Data Center, Nantes // Data Center Map: site. URL: <https://www.datacentermap.com/france/nantes/denv-r-floating-data-center>.
23. DENV-R data center on water // IMTech, Institut Mines-Télécom: site. 23.10.2023. URL: <https://imtech.imt.fr/en/2023/10/23/denv-r-data-center-water>.
24. Подводный центр обработки данных // Википедия: сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Подводный_центр_обработки_данных.
25. Microsoft tests underwater data center // InfoWorld: site. URL: <https://www.infoworld.com/article/2243332/microsoft-tests-underwater-data-center-3.html>.
26. Подводные дата-центры // Хабр: сайт. URL: <https://habr.com/ru/companies/vdsina/articles/519176>.
27. Project Natick: underwater datacenter // Microsoft News: site. URL: <https://news.microsoft.com/source/features/sustainability/project-natick-underwater-data-center>.
28. Карпович А. Е., Маренич И. Е., Половинкин В. Н., Ямщиков С. А. Перспектива применения плавучих центров обработки данных на Северном морском пути в Российской Федерации // CyberLeninka: сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektiva-primeneniya-plavuchih-tsentrov-obrabotki-dannyh-na-severnom-morskom-puti-v-rossiyskoy-federatsii>.
29. О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: указ Президента Рос. Федерации № 645 от 26.10.2020: по сост. на 27.02.2023 // Президент России: офиц. сайт. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/459729>.
30. Gartner Forecasts Worldwide IT Spending to Grow 8 % in 2024 // Gartner: site. 18.10.2023. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2023-10-18-gartner-forecasts-worldwide-it-spending-to-grow-8-percent-in-2024>.
31. ЦОД (мировой рынок). Коммерческие дата-центры // TAdviser: сайт. 17.01.2025. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/СтатьяЦОД\(мировой_рынок\)_Коммерческие_дата-центры](https://www.tadviser.ru/index.php/СтатьяЦОД(мировой_рынок)_Коммерческие_дата-центры).

32. Новикова М. Рынок дата-центров: рост на фоне дефицита // Телеком-Дэйли: сайт. 06.09.2024. URL: <https://telecomdaily.ru/news/2024/09/06/rynok-data-centrov-rost-na-fone-deficita>.
33. Общая емкость рынка ЦОД в 2024 году превысит 84 000 стойко-мест // DSMedia.pro: сайт. URL: <https://dsmedia.pro/analytics/obschaja-emkost-rynka-cod-v-2024-godu-prevysit-84-000-stojko-mest>.
34. Билова Х. Будущее дата-центров // Хабр: сайт. URL: <https://habr.com/ru/companies/ua-hosting/articles/508746>.
35. Голованов В. Американская компания начинает строить дата-центры на воде в виде барж данных // Хабр: сайт. 21.08.2015. URL: <https://habr.com/ru/articles/383171>.
36. Первый в мире плавучий дата-центр наконец заработал // Хабр: сайт. 24.06.2021. URL: <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/553374>.
37. В Сингапуре одобрили строительство парка плавучих ЦОД Keppel FDCP // Хабр: сайт. 20.04.2023. URL: <https://habr.com/ru/news/730274>.
38. Фридрих Т. Покоряя моря: плавучие хранилища данных // Хабр: сайт. 17.10.2019. URL: <https://habr.com/ru/companies/ua-hosting/articles/466257>.
39. Keppel получила одобрение регулирующих органов на строительство плавучего ЦОД на водороде в Сингапуре // HPC Liquid Cooling: сайт. 26.06.2023. URL: <http://hpc-lc.ru/news/keppel-receives-regulatory-approval-to-build-floating-hydrogen-data-center-in-singapore>.
40. Swinhoe D. French startup Denv-R launches floating data center in Nantes // Data Centre Dynamics: site. 24.10.2024. URL: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/french-startup-denv-r-launches-floating-data-center-in-nantes>.
41. Фридрих Т. Leona Philpot – «подводный» способ охлаждения дата-центра от Microsoft // Хабр: сайт. 22.02.2016. URL: <https://habr.com/ru/companies/ua-hosting/articles/277703>.
42. Фридрих Т. Покоряя дно морское. Microsoft и его проект подводного ЦОД // Хабр: сайт. 29.04.2016. URL: <https://habr.com/ru/companies/ua-hosting/articles/282754>.
43. Китайская Highlander построила свой первый коммерческий подводный ЦОД UDC Hainan // Servernews: сайт. URL: <https://servernews.ru/1084524>.
44. Курбатова Н. Плавучие центры обработки данных (Floating Data Centers) как основа цифровой безопасности, хранения и развития Big Data в современных условиях: [презентация проекта] // Университет 2035: сайт. URL: <https://s3.objstor.cloud4u.com/unti-prod-people/file/presentation/project/spxuy7wcrd.pdf>.
45. Полярный экспресс. Проект строительства трансарктической магистральной подводной оптоволоконной линии связи Мурманск – Владивосток // Полярный экспресс: сайт. URL: <https://полярныйэкспресс.рф>.
46. Макарян И. А., Седов И. В. Оценка экономической эффективности масштабов получения водорода различными методами // Российский химический журнал. 2021. Т. 65, № 1. С. 62–76. DOI: 10.6060/rcj.2021651.7.
47. Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» // Росатом: офиц. сайт. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-pates.
48. Лукин Ю. Ф. Концептуальные подходы к определению внутренних границ // Арктика и Север. 2012. № 6. С. 94–109.
49. Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации: распоряжение Правительства Рос. Федерации № 2162-р от 05.08.2021 // Правительство России: офиц. сайт. URL: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcV-sexl.pdf>.
50. Шевченко А. PMPC и H2 Тех создают первый российский контейнер-цистерну для перевозки жидкого водорода // Neftgaz.RU: сайт. 18.05.2023. URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-pates.
51. Буянов Р. А., Пармон В. Н. Теоретические основы технологии и промышленное освоение производства жидкого пара-водорода в СССР // Катализ в промышленности. 2017. Т. 17, № 5. С. 390–398.
52. Исупова Л. А., Жужгов А. В., Пармон В. Н. Жидкий параводород для водородной энергетики и катализаторы низкотемпературной орто-пара-конверсии водорода // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. № 30. С. 41–46. DOI: 10.15372/KhUR2022356.
53. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench // CML-Bench: сайт. URL: <https://cml-bench.ru>.
54. Как устроены цифровые двойники и зачем они нужны // Российская газета: сайт. 28.12.2021. URL: <https://rg.ru/2021/12/28/reg-szfo/kak-ustroenu-cifrovye-dvojniki-i-zachem-oni-nuzhny.html>.

Управление спросом как инструмент повышения надежности энергоснабжения в условиях неопределенности климатических прогнозов

Demand Management as a Tool for Improving Energy Supply Reliability in the Face of Uncertain Climate Forecasts

Сергей БЕЛОБОРОДОВ
Вице-президент Некоммерческого
партнерства по содействию внедрению
энергоэффективных технологий
«Энергоэффективный город», К.Т.Н.
E-mail: 290461@bk.ru

Sergey BELOBORODOV
Vice President of the Non-profit partnership for
promoting the implementation of energy-efficient
technologies "Energy-Efficient City", Candidate of
Technical Sciences
E-mail: 290461@bk.ru

Евгений ГАШО
Профессор Национального
исследовательского университета «МЭИ»,
Д.Т.Н.
E-mail: 290461@bk.ru

Evgeny GASHO
Professor at the National Research University
Moscow Power Engineering Institute, Doctor of
Technical Sciences
E-mail: 290461@bk.ru

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые вопросы обеспечения баланса спроса и предложения электрической мощности в энергосистеме с учетом необходимости адаптации к климатическим прогнозам. Показано, что существует широкий спектр климатических прогнозов от малого ледникового периода из-за циклов снижения солнечной активности до роста средней температуры в результате антропогенного парникового эффекта. В условиях неопределенности климатических прогнозов рассмотрены механизмы управления спросом на электрическую мощность с точки зрения адаптации к климатическим изменениям. Показано, что внедрение режима «выходного дня» позволит улучшить график нагрузки гарантирующих поставщиков, снизить риски аварийных ситуаций в энергосистеме.

Ключевые слова: энергосистема, управление спросом, климатическая адаптация, режим выходного дня

Abstract. This article examines several issues related to balancing supply and demand for electric power in the power system, taking into account the need to adapt to climate forecasts. It is shown that there is a wide range of climate forecasts, from a Little Ice Age due to cycles of decreased solar activity to an increase in average temperature as a result of the anthropogenic greenhouse effect. Given the uncertainty of climate forecasts, mechanisms for managing demand for electric power are considered from the perspective of adaptation to climate change. It has been shown that the implementation of a “weekend” mode will improve the load schedule of guaranteed suppliers and reduce the risk of emergency situations in the power system.

Keywords: power system, demand response, climate adaptation, weekend mode



Автор: Михаил Дышло, ЭП

ТЭЦ, Москва

Режимно-балансовая ситуация в энергосистемах г. Москвы и Московского региона

По оперативным данным «Системного оператора», в период с декабря 2025-го по февраль 2026 года потребление электрической мощности регулярно обновляло исторические максимумы в энергосистемах г. Москвы и Московской области, г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Воронежской области, Новгородской области, Республики Татарстан, Красноярского края, Забайкальского края, Калужской энергосистеме. АО «СО ЕЭС» рассматривает низкую температуру воздуха в качестве одного из основных факторов роста потребления мощности.

В Московской энергосистеме за последние 15 лет наблюдается динамика роста потребления электрической мощности при более высоких температурах воздуха (табл. 1).

В соответствии с методическими указаниями по разработке схем теплоснабжения и схем электроснабжения расчетная температура наружного воздуха равняется температуре воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92.

Изменения средней температуры холодной пятидневки с обеспеченностью



Морозный день в Москве

Источник: Shutterstock.com

0,92 в СП «Строительная климатология», принятые в 2025 году, привели в г. Москве и Московской области к повышению расчетной температуры наружного воздуха в отопительный период с минус 26 °С до минус 23 °С (табл. 2) [1, 2]. Необходимо отметить, что в январе 2024 года среднесуточная температура наружного воздуха опускалась ниже минус 25 °С в течение нескольких дней.

Температура воздуха наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,92 в новой редакции СП «Строительная климатоло-

Таблица 1. Потребление мощности в энергосистеме г. Москвы и Московской области

№	Дата	Максимум потребления, МВт	Среднесуточная температура воздуха, °С
1	3 февраля 2026 года	21 126	–17,9
2	2 февраля 2026 года	21 106	–16,1
3	26 января 2026 года	20 423	–13,1
4	24 декабря 2025 года	19 968	–12,2
5	19 декабря 2024 года	19 880	–12,5
6	12 января 2024 года	19 766	–15,2
7	10 января 2023 года	19 243	–15,6
8	22 декабря 2021 года	19 488	–21,5
9	18 января 2021 года	18 390	–21,2
10	24 декабря 2012 года	18 052	–21,8

Таблица 2. Климатические параметры теплого и холодного периода года

Показатель	Ед. изм.	2020 год	2025 год
Температура воздуха наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,92	°С	–29	–28
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92	°С	–26	–23
Температура воздуха с обеспеченностью 0,98	°С	+26	+26



Электроснабжение Москвы

Источник: Shutterstock.com

гия» равняется минус 28 °С. Температура наиболее холодной пятидневки с вероятностью 8 % может оказаться ниже расчетной температуры отопительного периода.

Необходимо отметить, что потребление электрической мощности в отопительный период в Московской области в результате роста нагрузки на электроотопление больше, чем в г. Москве. Напротив, в лет-

ний период при высоких температурах воздуха потребление электрической мощности в г. Москве из-за роста нагрузки на электрокондиционирование больше, чем в Московской области (рис. 1).

Согласно СП 256.1325800.2016, при расчете электрических нагрузок жилых зданий, выполненных по типовым проектам, в расчете удельной электрической нагрузки не учитывают: электрическое

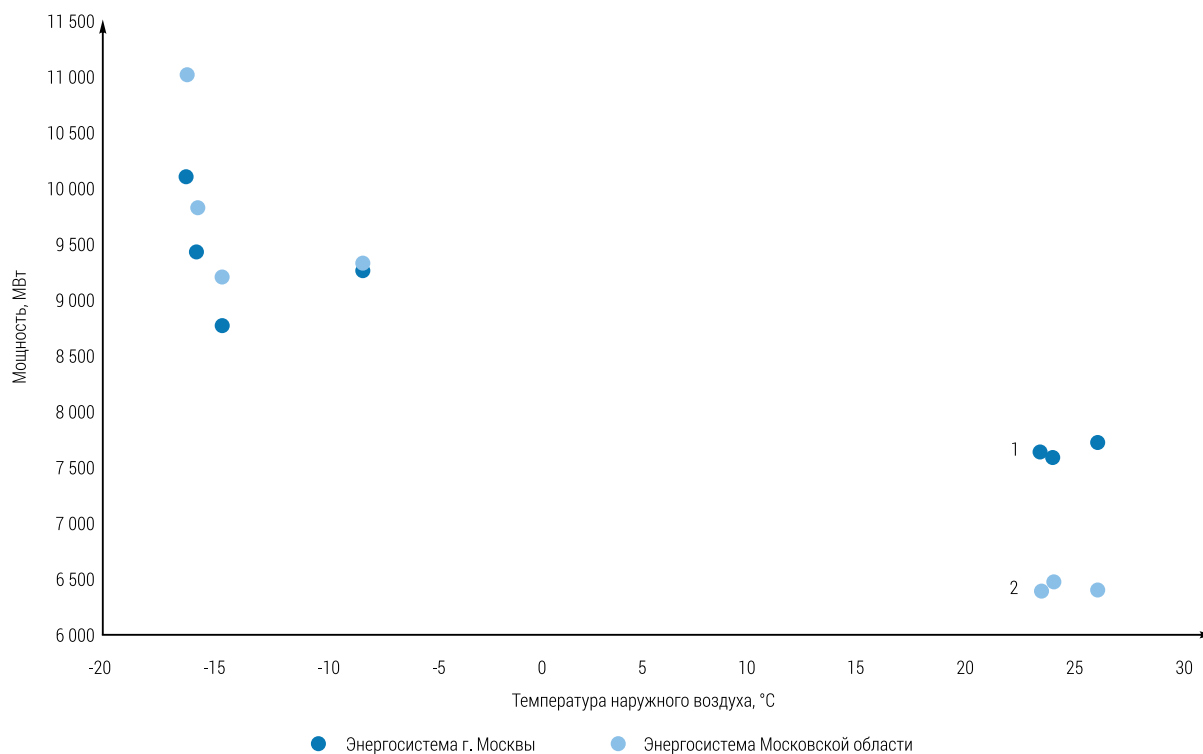


Рис. 1. Максимумы потребления электрической мощности в Московской энергосистеме (2023–2026)

отопление, электроводонагреватели, бытовые кондиционеры. Переход жителей многоквартирных домов на электроотопление для компенсации недоотпуска им тепловой энергии в систему отопления дома оказывает влияние на изменение качества и надежности электроснабжения всех потребителей, подключенных к общему питательному центру района.

Таким образом, необходимо разработать мероприятия по адаптации Московской энергосистемы к температурам наружного воздуха, которые отличаются от расчетных значений.

Климатические прогнозы

Климатические прогнозы, как правило, описывают динамику изменения средних температур, в то время как для проектиро-

вания развития энергосистемы необходим прогноз диапазона отклонения температуры от средних значений.

Климатические модели являются основным инструментом, используемым для прогнозирования будущих изменений климата в ответ на повышение уровня антропогенных парниковых газов в атмосфере. В шестом оценочном докладе международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), подготовленном в 2022 году, прогнозируется рост средних температур в зависимости от сценария объема антропогенных выбросов парниковых газов до 5 °C к концу XXI века. Климатические прогнозы выполняются с помощью следующих инструментов (табл. 3) [3]:

- интерактивный атлас МГЭИК (IPCC WGI Interactive Atlas) [4];
- Copernicus Interactive Climate Atlas (C3S Atlas) [5];

Таблица 3. Перечень инструментов климатических прогнозов [3]

Атласы	Сценарии	Временные горизонты	Уровни глобального потепления	Базовые годы
Интерактивный атлас МГЭИК [15]	SSP1-2.6 SSP2-4.5 SSP3-7.0 SSP5-8.5	2021–2040 2041–2060 2081–2100	1,5 °C 2 °C 3 °C 4 °C	1850–1900 1961–1990 1986–2005 1981–2010 1995–2014
Copernicus Interactive Climate Atlas [16]	SSP1-2.6 SSP2-4.5 SSP3-7.0 SSP5-8.5	2021–2040 2041–2060 2081–2100	1,5 °C 2 °C 3 °C 4 °C	1850–1900 1961–1990 1986–2005 1981–2010 1995–2014 1991–2020
Climate Change Knowledge Portal [17]	SSP1-1.9 SSP1-2.6 SSP2-4.5 SSP3-7.0 SSP5-8.5	2020–2039 2040–2059 2060–2079 2080–2099		1995–2014
Climate impact explorer [18]	RCP2.6 RCP4.5 RCP6.0 RCP8.5 CAT Current Policies NGFS Current Policies NGFS Net-Zero 2050 NGFS Fragmented World NGFS Nationally Determined Contributions NGFS Below 2 Degree NGFS Low Demand NGFS Delayed Transition	2030 2050 2100	1,5 °C 2 °C 2,5 °C 3 °C	1986–2006



ЛЭП зимой
Источник: Shutterstock.com



Жара в Москве
Источник: ТАСС

- Climate Change Knowledge Portal (ССКР) Всемирного банка [6];
- Climate impact explorer (CIE) [7].

Базовый период

Необходимо отметить, что в качестве базового периода во всех моделях отсутствует период с 1900 по 1960 год. В первой и второй половине XX века было два периода потепления. Потепление во второй половине может быть объяснено с точки зрения антропогенных выбросов парниковых газов, в то время как потепление в первой половине – нет. В этом смысле анома-

лия 1930–1940-х годов рассматривается как случайная [8]. В то же время наблюдается корреляция между изменением солнечной активности и потеплением в первой половине XX века (1910–1943) [9]. В докладе Департамента энергетики США указывается, что утверждения об увеличении частоты или интенсивности ураганов, торнадо, наводнений и засух не подтверждаются историческими данными США [10].

В настоящей статье в качестве примера представлены данные из доклада об аномальной жаре и интенсивности волн тепла за период с 1900 по 2020 год. Аномальная

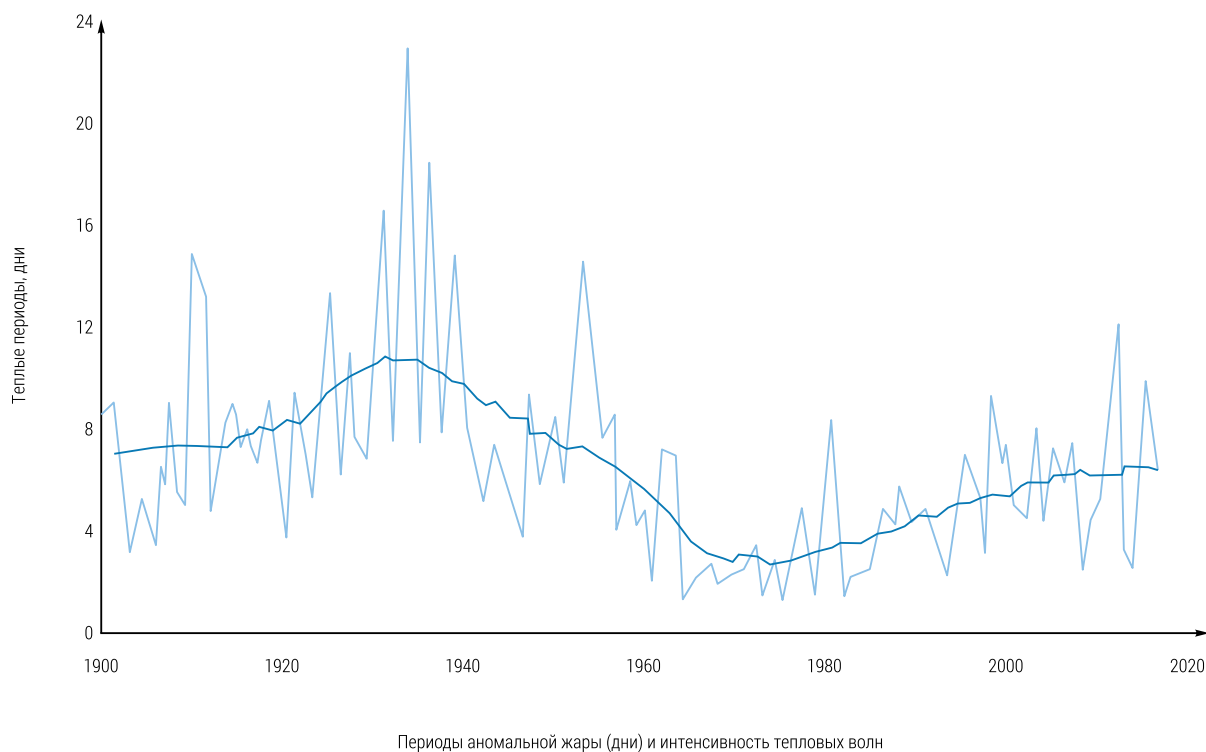


Рис. 2. Волны тепла в США с 1900 по 2020 год [10]

жара в США достигла своего пика в 1930-х годах, как и интенсивность волн тепла [10].

Таким образом, можно сделать вывод, что период с 1900 по 1960 год не вписывается в теорию о потеплении в результате роста антропогенных выбросов парниковых газов, поэтому не используется в качестве базового периода в расчетных климатических моделях.

Аномалия Северной Атлантики

Глобальный круговорот океанических течений охватывает все океаны Земли и обеспечивает глобальное перераспределение тепла и солей на планете. Этот круговорот играет ключевую роль в формировании климата и погоды. Изменения в глобальном круговороте океанических течений могут иметь серьезные последствия для климата и окружающей среды. Изменение температурных режимов, замедление или изменение направления течений может привести к изменению климата в различных регионах [11].

В случае интенсивного таяния ледников Гренландии поступившая в море пресная вода разбавит соленые воды

Потребление мощности в отопительный период больше в Московской области в результате роста нагрузки на электроотопление. В летний период при жаркой погоде потребление больше в Москве из-за роста нагрузки на кондиционирование

Лабрадорского течения, и эта вода, став менее плотной, перестанет «тонуть». Конвейер Брокера остановится, а в Европе начнется сильнейшее похолодание на много лет. Когда Гренландия перестанет таять, конвейер возобновит свою работу. В истории Земли такое уже неоднократно

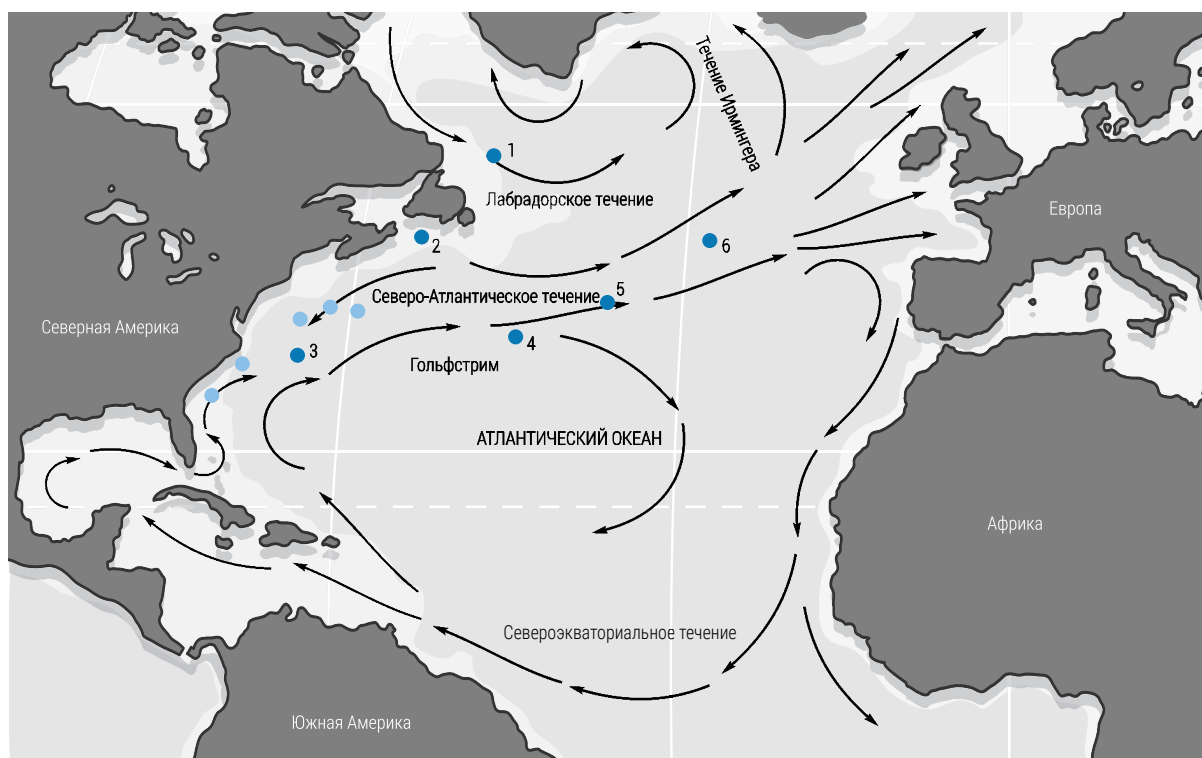


Рис. 3. Океанические течения Северной Атлантики
Источник: <https://www.researchgate.net/profile/Ahmed-Ibrahim-35>



Электростанция зимой
Источник: Shutterstock.com

случалось (17 раз за последние 50 тыс. лет [8]).

В настоящее время по результатам измерений в Северной Атлантике четко выражена холодная аномалия, являющаяся следствием уменьшения межширотного переноса тепла циркуляцией Атлантического океана в ответ на расплескивание вод

[8]. Аномалия похолодания, начавшаяся в 2015 году в Северной Атлантике, отражает сдвиг в характере океанской циркуляции, связанный с десятилетней изменчивостью в Атлантике [10].

Риски предопределенности результатов моделей

Настройка – необходимый, но деликатный аспект моделирования климата, как и любой сложной системы. Плохая настройка может привести к неточному моделированию, в то время как чрезмерная – к искусственному подведению результатов к заранее определенным выводам [10]. Климатические модели содержат эмпирические настроечные коэффициенты, через них антропогенный парниковый эффект косвенно априори закладывается в модели при их построении [12].

Данный риск упрощенно можно проиллюстрировать на примере игры «Орел и решка». Предположим, что монету бросили десять раз и все десять раз выпала решка. Какова вероятность, что в следующие десять попыток опять десять раз выпадет решка? С точки зрения теории вероятности



ЛЭП в морозный день

Источник: Shutterstock.com

возможность данного события составляет $(1/2)^{10}$, что меньше 0,1 %. Попробуем найти решение данной задачи с помощью эмпирических настроечных коэффициентов. Сформируем модель, подберем настроечные коэффициенты так, чтобы на базе первых пяти попыток (факт) можно было получить результаты, соответствующие вторым пяти попыткам (факт). Используем модель с полученными настроечными коэффициентами для прогнозирования результатов следующих десяти попыток. При таком подходе вероятность, что выпадет десять раз решка, стремится к 100 %.

Климатические модели гораздо сложнее приведенного примера, но риск предопределенности результата сохраняется.

Изменение солнечной активности

Солнечная энергия, поступающая на Землю, в 6000 раз превышает объем первичной энергии, включая ВИЭ, производимой человеком в течение года. Однако в шестом оценочном докладе МГЭИК принимается, что изменение солнечной активности не влияет на изменение климата на Земле. Изменение интегрального потока

Связывание изменения климата и экстремальных погодных явлений с выбросами CO₂ в результате деятельности человека оспаривается естественной изменчивостью климата и ограниченностью данных

солнечной радиации в 11-летнем цикле солнечной активности составляет около 0,1 % и не превышает 0,4 % во временном интервале с Маундеровского минимума до настоящего времени [8, 13].

Вместе с тем существуют и альтернативные точки зрения. Вклад солнечной активности в потепление конца XX века мо-



Зарядка электробусов, Москва

Источник: Shutterstock.com

жет быть недооценен [10]. Мировой климат за последние 1000 лет испытывал изменения, довольно точно соответствующие вариациям солнечной активности [14]. Изменения потока ультрафиолетового (УФ) излучения в 11-летнем цикле могут достигать десятков процентов, при этом изменения в видимой и инфракрасной части солнечного спектра противоположны изменениям в УФ области [13].

По данным о содержании изотопов (^{14}C в древесных кольцах, ^{10}Be в ледяных кернах, $\delta^{18}\text{O}$ в океанических отложениях), а также по историческим данным установлено, что эпохи экстремально низкой солнечной активности (минимумы Шперера (1400–1540), Маундера (1645–1715), Дальтона (1790–1830) и Глейсберга (1890–1910)) совпадали с наиболее сильными похолоданиями в Северном полушарии [13].

Ряд недавних исследований свидетельствует о приближении нового минимума солнечной активности с последующим похолоданием, аналогичным малому ледниковому периоду (рис. 4). Очередное «похолодание» на Земле может начаться в период между 2030 и 2040 годами, на ко-

торый приходится очередное совпадение циклов солнечной активности [13, 15, 16].

Совпадение циклов минимумов солнечной активности имело место примерно 26 раз за последние 10 тыс. лет [13].

Альтернативные модели климатических изменений

Истина рождается только в научном споре (дискуссии), который подчиняется определенным правилам. Одним из условий является корректность представляемых доказательств, аргументов.

К сожалению, в настоящее время в качестве доказательств верности антропогенной теории активно используются некорректные рисунки спектров излучения, приходящего и уходящего от Земли. На рисунках спектров излучения показывается, что уходящее от Земли излучение полностью поглощается в спектре поглощения CO_2 уже при текущей его концентрации в атмосфере. Следовательно, обсуждение вопроса влияния удвоения концентрации CO_2 в атмосфере на потепление теряет всякий смысл.

Естественные выбросы углекислого газа составляют около 600 млрд тонн в

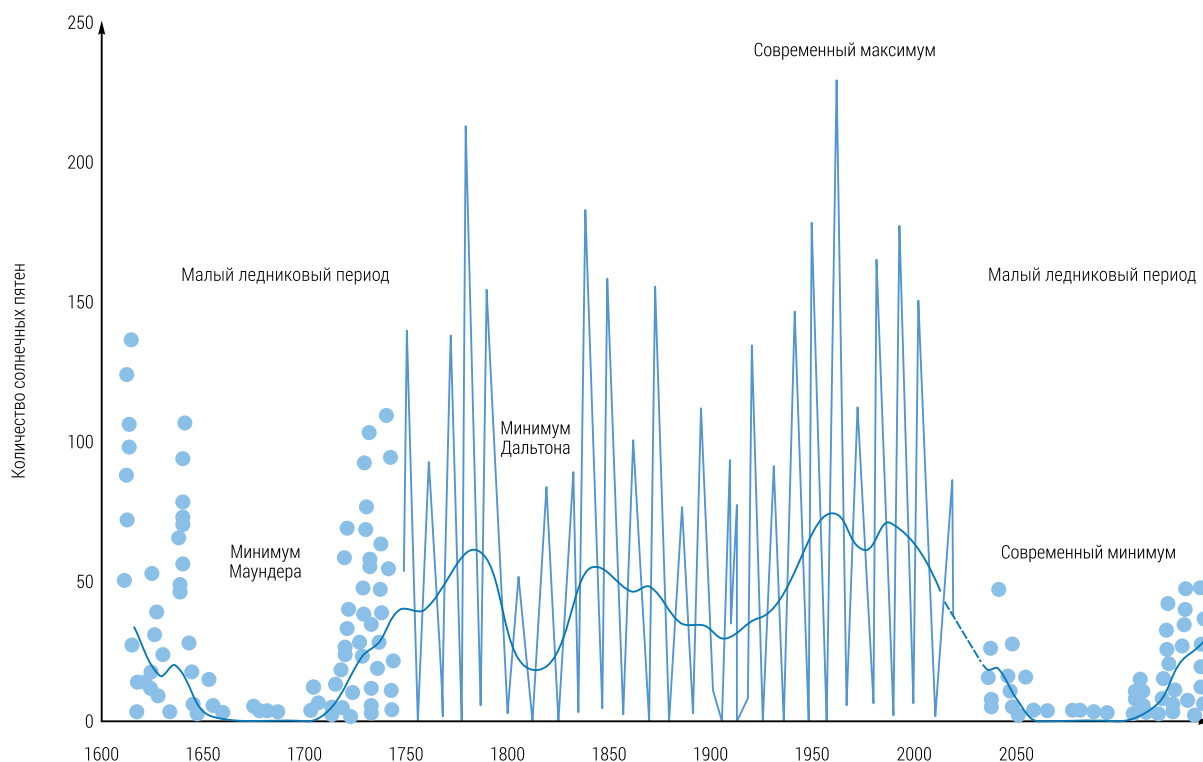


Рис. 4. Циклы солнечной активности (число пятен на Солнце)
Источник: https://en.wikipedia.org/wiki/User:Dragons_flight/Images



Строительство ЛЭП

Источник: Shutterstock.com

год. Однако годовые балансы естественных выбросов отсутствуют. Нет анализа годовых отклонений, оценки точности измерений объема естественных выбросов. Различия в оценке объема поглощения CO_2 фитопланктоном в разных источниках сравнимы с объемом антропогенных выбросов CO_2 . Объем антропогенных выбросов CO_2 может оказаться меньше ошибки измерений естественных выбросов CO_2 .

Связывание изменения климата или экстремальных погодных явлений с выбросами CO_2 в результате деятельности человека оспаривается естественной изменчивостью климата, ограниченностью данных и присущими моделям недостатками [10]. Изменение глобального облачного покрова на 1–2 % оказывает большее радиа-

ционное воздействие на климат, чем прямой радиационный эффект от удвоения выбросов CO_2 [10].

Климатическая модель, рассматривающая Солнце как единственный источник тепла на Земле, не описывает механизм выхода из ледникового периода. В недрах Земли происходят активные процессы с выделением тепла и выходом его на поверхность земной коры. При большом альбедо Земли во время ледникового периода планета могла выйти из состояния оледенения только за счет эндогенного тепла [12].

Климатическая повестка в настоящее время играет ключевую роль в развитии энергетики в мире. Существует широкий спектр мнений о причинах борьбы с антропогенными выбросами парниковых газов: от необходимости спасения жизни на Земле до попыток развитых стран ограничить экономический прогресс развивающихся стран в рамках конкурентной борьбы. Климатические прогнозы в настоящее время формируются на базе результатов расчетов одной или нескольких климатических моделей.

Управление спросом

Существует множество климатических прогнозов: от малого ледникового периода из-за циклов снижения солнечной активности до роста средней температуры в результате антропогенного парникового эффекта в диапазоне от 1 до 5 °C в зависимости от

Системным решением изменения графика нагрузки гарантирующими поставщиками является введение режима «выходного дня». Эффект для энергосистемы Москвы превысит 700 МВт при температуре воздуха минус 4°C

сценария с возможным переходом к малому ледниковому периоду в Северном полушарии в результате остановки теплых течений в Северной Атлантике. Общими во всех климатических прогнозах являются колебания (неустойчивость) климатических (погодных) условий, волны тепла и холода.

Климатические прогнозы не отменяют отопительный период в Российской Федерации. Управление спросом является одним из способов обеспечения баланса производства и потребления электрической мощности в энергосистеме. Ниже рассмотрены механизмы управления спросом.

Модель рынка «5–15»

Повышение эффективности энергосистемы за счет улучшения электрических режимов загрузки генерирующего оборудования может быть достигнуто в результате сглаживания суточного графика потребления. Двухставочная модель оптового рынка электрической энергии и мощности создала экономические стимулы для выравнивания суточного графика нагрузок, а также роста потребления электроэнергии в часы суточного минимума. Потребление электроэнергии про-

мышленными потребителями в европейской части оптового рынка в часы ночного минимума в энергосистеме примерно на 1000 МВт превышает их потребление в часы суточного максимума нагрузок в энергосистеме (рис. 5).

Снижение потребления с 07:00 связано с правилами расчета платежей потребителей за электрическую мощность, учитывающими их потребление только в плановые часы пиковой нагрузки, устанавливаемые СО ЕЭС [17].

Таким образом, потребление электрической энергии промышленными потребителями формирует базовую часть суточного графика нагрузок с ростом потребления в часы суточного минимума, улучшая режимы загрузки генерирующего оборудования электростанций. Суточная неравномерность в ЕЭС России формируется в основном суточной неравномерностью потребления гарантирующими поставщиками, которые реализуют электроэнергию населению, малому и среднему бизнесу. На рис. 5 представлены данные о суточном потреблении гарантирующих поставщиков (ГП) в европейской части оптового рынка электрической энергии и мощности.

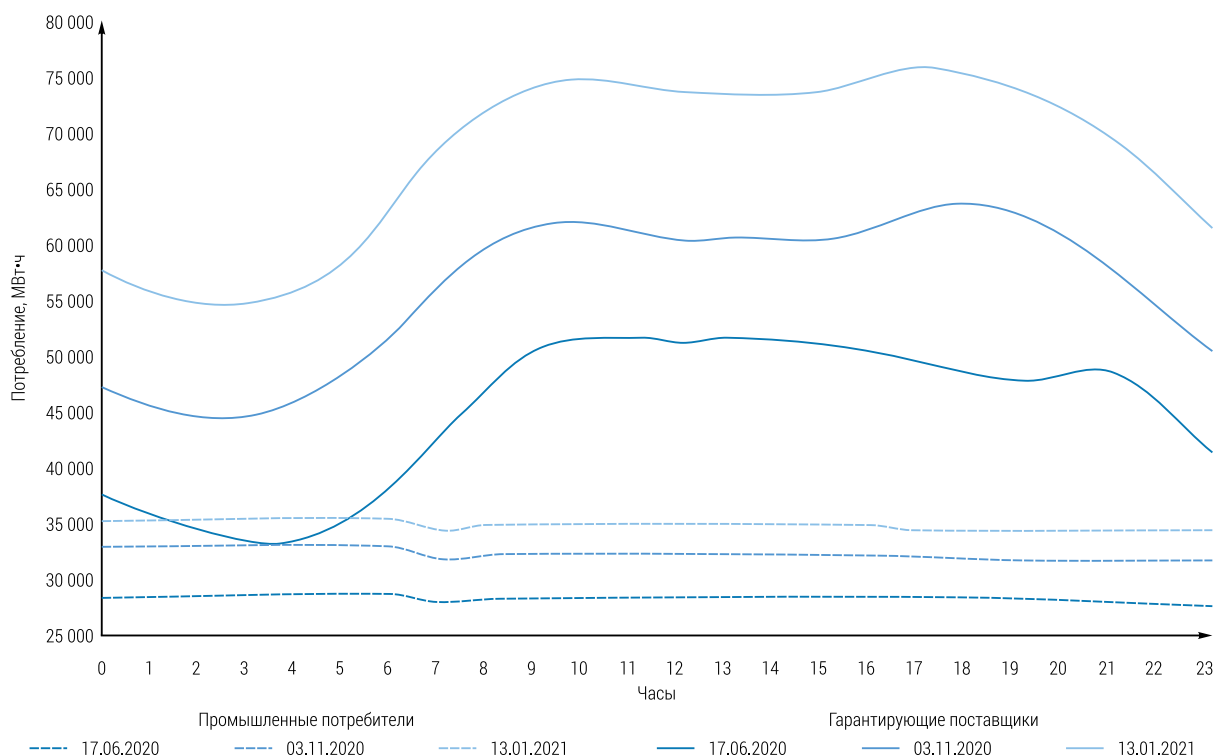


Рис 5. Потребление электроэнергии в европейской части оптового рынка

Системные услуги: управление спросом

Рынок услуг по обеспечению системной надежности (рынок системных услуг) создает источник для финансирования специфических расходов владельцев оборудования, которые не могут быть компенсированы в рамках рынка электроэнергии или мощности. Услуга по управлению изменением режима потребления электрической энергии предусматривает готовность потребителя к изменению режима потребления электрической энергии в требуемый период времени [18].

На рис. 6 представлена динамика количества и мощности заявок субъектов электроэнергетики, оказывающих услуги по управлению спросом на электрическую энергию, за период с 2019 по 2023 год.

В 2021 году были зафиксированы максимумы количества и мощности заявок субъектов электроэнергетики, оказывающих услуги по управлению спросом на электрическую энергию. Количество отобранных заявок составило 353, а суммарная мощность – 1302 МВт.

В 2023 году в целом по оптовому рынку электрической энергии и мощности



Подмосковная ТЭЦ

Источник: Shutterstock.com

Российской Федерации количество заявок сократилось до 66, а суммарная мощность снизилась до 388 МВт [19]. Графики нагрузки промышленных потребителей уже выравнены в результате внедрения двухставочной модели рынка с часовым планированием нагрузки. Дальнейшее изменение суточного графика маловероятно.



Рис. 6. Динамика количества и мощность заявок субъектов электроэнергетики, оказывающих услуги по управлению спросом на электрическую энергию, за период с 2019 по 2023 год

Таблица 4. Графики ГОПМ и ГВО, Московский регион [21, 22]

№	Сетевая компания	Очередь ограничения, МВт	
		I	X
График ограничения режима потребления электрической мощности на 2025–2026 годы			
1.	По филиалу ПАО «Россети» – Московскому предприятию магистральных электрических сетей		
	• на территории г. Москвы	1,1	10,1
	• на территории Московской области	5,1	52,9
2.	По АО «ОЭК»		
	• на территории г. Москвы	7,5	103,5
	Всего:	13,7	166,5
График временного отключения потребления на 2025–2026 годы			
3.	По филиалу ПАО «Россети» – Московскому предприятию магистральных электрических сетей		
	• на территории г. Москвы	0,4	14,2
	• на территории Московской области	3,6	200,2
4.	По АО «ОЭК»		
	• на территории г. Москвы, включая энергорайон ПС 110кВ Берсенеvская № 869 и ГЭС-1	10,8	114,0
	Всего:	14,8	328,4

У промышленных потребителей отсутствуют экономические стимулы к ценозависимому снижению потребления электрической энергии из-за особенностей технологических процессов, а также доли электрической энергии (мощности) в затратах конечной продукции. Более вероятным сценарием является ввод графиков отключения (ограничения) потребления электрической мощности промышленными потребителями с целью ликвидации угрозы аварийных ситуаций в энергосистеме.

**Графики аварийного
ограничения/отключения**

Графики ограничения потребления, аварийного и временного отключения элек-

троэнергии разрабатываются ежегодно и применяются в случае возникновения или угрозы возникновения аварийных электро-энергетических режимов.

Существуют следующие основные виды графиков ограничения и отключения [20]:

- графики ограничения потребления электрической энергии (ГОПЭ) применяются в случае возникновения дефицита топлива (падение эксплуатационных запасов топлива на электростанциях ниже десятидневной величины) или гидроресурсов;
- графики ограничения потребления электрической мощности (ГОПМ) применяются в случае возникновения угрозы нарушения баланса между производством и

Московские железные дороги

Источник: Shutterstock.com



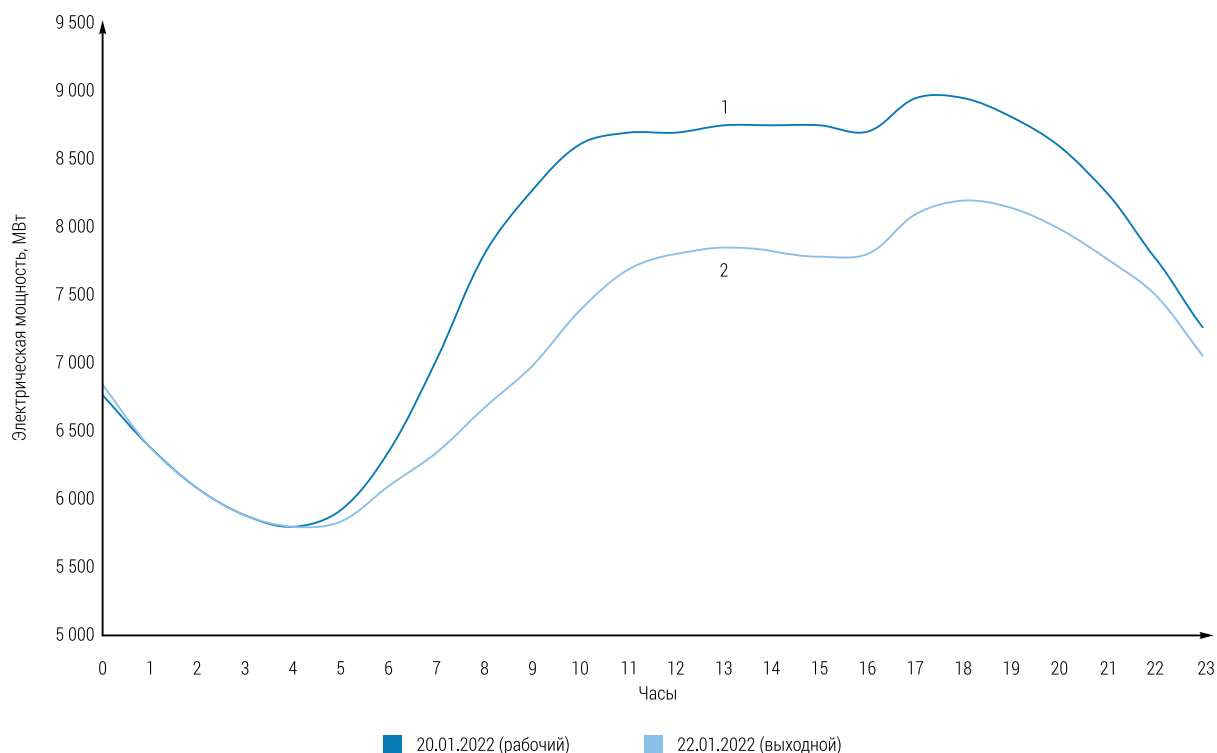


Рис. 7. Потребление электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 20 и 22 января 2022 года

потреблением электрической мощности и дефицита мощности;

- графики временного отключения потребителей электрической энергии (ГВО).

Графики ГОПМ и ГВО формируются на расчетную температуру воздуха, которая для Московской энергосистемы составляет минус 26 °С (табл. 4).

В Московской энергосистеме под ГОПМ по X очереди подпадают потребители мощностью 166,5 МВт, а под ГВО – потребители мощностью 328,4 МВт при расчетной температуре воздуха.

Режим «выходного дня»

Альтернативой отключению (ограничению) потребления промышленных потребителей является объявление режима «выходного дня». Сравнение суточных графиков потребления электрической мощности в энергосистемах г. Москвы и Московской области для рабочих и выходных дней необходимо проводить для одинаковых среднесуточных температур наружного воздуха. Для сравнения выбирались рабочие и выходные дни, расположенные максимально близко друг к другу.

Сравнение графиков потребления электрической энергии (мощности) в

энергосистеме г. Москвы в рабочие и выходные дни в 2022 году.

На рис. 7 представлен график суточного потребления электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 20 и 22 января 2022 года при температуре воздуха около минус 4 °С.

Суточные минимумы потребления электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 20 и 22 января 2022 года практически совпадают. В табл. 5 приведено сравнение графиков потребления электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 20 и 22 января 2022 года.

Потребление электрической мощности в энергосистеме г. Москвы в выходной день 22 января 2022 года составляет 91,5 % от суточного максимума в рабочий день 20 января. Требуемый регулировочный диапазон в выходной день на 24 % ниже, чем в рабочий.

Максимальная скорость изменения нагрузки на 45 % ниже в выходной день. Потребление электрической энергии в выходной день на 7,5 % ниже, чем в рабочий.

На рис. 8 представлен график суточного потребления электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 17 и 19 июля 2022 года при температуре воздуха около 18 °С.

Суточные минимумы потребления электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 17 и 19 июля 2022 года практически совпадают. В табл. 6 приведено сравнение графиков потребления электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 17 и 19 июля 2022 года.

Потребление электрической мощности в энергосистеме г. Москвы в выходной день 17 июля 2022 года составляет 89,2 % от суточного максимума в рабочий день 19 июля. Требуемый регулировочный диапазон в выходной день на 27 % ниже, чем в рабочий. Максимальная скорость изменения нагрузки на 43 % ниже в выходной день.

Таблица 5. Сравнение графиков потребления электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 20 и 22 января 2022 года

Показатель	Ед. изм.	1	2	3	4
		20.01.22 рабочий	22.01.22 выходной	1-2	2/1
Суточный максимум потребления электрической мощности	МВт	8960	8196	764	91,5 %
Суточное потребление электроэнергии	МВт·ч	186 017	172 098	13 919	92,5 %
Разность суточных максимума и минимума потребления электрической мощности	МВт	3135	2387	747	76,2 %
Максимальная скорость изменения нагрузки	МВт·ч	776	426	350	54,9 %

Таблица 6. Сравнение графиков потребления электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 17 и 19 июля 2022 года

Показатель	Ед. изм.	1	2	3	4
		20.01.22 рабочий	22.01.22 выходной	1-2	2/1
Суточный максимум потребления электрической мощности	МВт	6277	5599	678	89,2 %
Суточное потребление электроэнергии	МВт·ч	130 604	119 922	10 682	91,8 %
Разность суточных максимума и минимума потребления электрической мощности	МВт	2373	1737	637	73,2 %
Максимальная скорость изменения нагрузки	МВт·ч	612	350	262	57,2 %

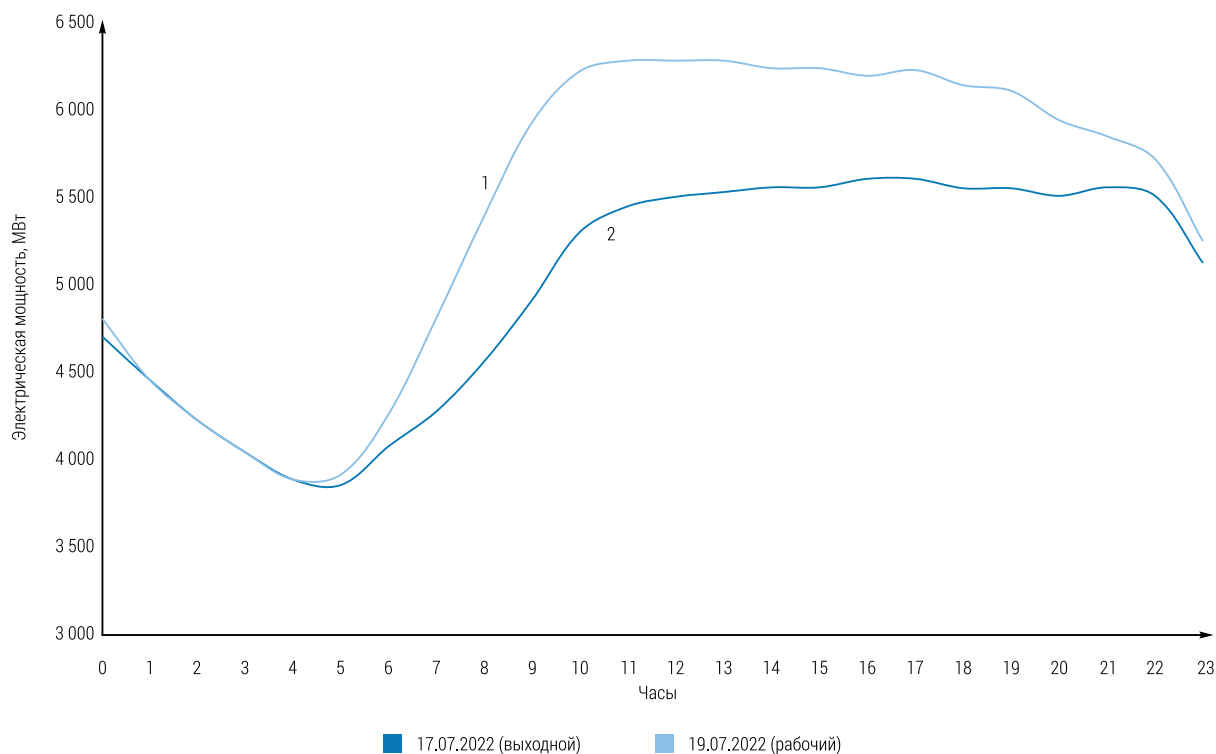


Рис. 8. Потребление электрической мощности в энергосистеме г. Москвы 17 и 19 июля 2022 года

Потребление электрической энергии в выходной день на 8,2 % ниже, чем в рабочий. Объявление режима «выходного дня» позволяет оптимизировать суточный график потребления гарантирующими поставщиками, которые реализуют электроэнергию населению, малому и среднему бизнесу.

Новогодние праздники

Потребление электрической мощности в новогодние праздники ниже, чем в рабочие и выходные дни, при одинаковых температурах воздуха. Среднесуточная температура воздуха в г. Москве ниже минус 20 °С за период с января 2015-го по февраль 2026 года была зарегистрирована 13 раз, из них десять раз (табл. 7) во время новогодних праздников, два раза в выходные и один раз в рабочий день.

Таблица 7. Среднесуточная температура воздуха в г. Москве в новогодние праздники

Январь	2017 год	2023 год	2024 год
3			–23,8
4			–25,1
5			–22,4
6	–24,5	–20,9	
7	–27,4	–21,8	–21,5
8	–25,6		
9	–21,0		

Источник: Метеостанция Москва (ВДНХ)
<http://rp5.ru/>

Холодные пятидневки со средней температурой воздуха ниже минус 20 °С за последние десять лет наблюдались в 2017 и 2024 годах во время новогодних праздников. Таким образом, новогодние праздники необходимо рассматривать как механизм управления спросом на электрическую энергию (мощность) в ЕЭС России. Целесообразно, прежде чем поднимать вопросы о сокращении продолжительности новогодних праздников, определить риски локальных и системных аварий в системах электро-, тепло-, газо- и водоснабжения.

Выводы

1. Исторический максимум потребления электрической мощности в Московской энергосистеме (21 128 МВт) был достигнут 3 февраля 2026 года при температуре наружного воздуха минус 17,9 °С, что значительно выше расчетной температуры минус 26 °С.

2. При низких температурах наружного воздуха потребление электрической мощности в Московской области из-за роста нагрузки на электроотопление примерно на 1000 МВт выше, чем в г. Москве. При высоких температурах наружного воздуха потребление электрической мощности в г. Москве из-за роста нагрузки на электрокондиционирование примерно на 1500 МВт выше, чем в Московской области.

3. Существует широкий спектр прогнозов: от потепления на 1–5 °С до малого ледникового периода в результате как снижения солнечной активности, так и остановки теплых течений в Северной Атлантике. Все климатические прогнозы предполагают значительные отклонения от средних температур в результате волн тепла и холода.

4. Климатическая модель, рассматривающая рост температуры в результате антропогенных выбросов парниковых газов, не может объяснить потепление в первой половине XX века. Климатическая модель, рассматривающая изменение климата на Земле как результат исключительно изменения солнечной активности, не может объяснить выход из ледникового периода. Климатическая модель, рассматривающая два источника энергии (энергию Солнца и эндогенную энергию Земли), может объяснить механизм выхода из ледникового периода, но требует дальнейшей разработки.

5. В условиях неопределенности климатических прогнозов управление спросом является инструментом повышения надежности энергоснабжения. Системным решением выравнивания графика нагрузки промышленных предприятий было внедрение двухставочной модели рынка с часовым планированием потребления. Системным решением изменения графика нагрузки гарантирующими поставщиками (население, малый и средний бизнес) является введение режима «выходного дня». Эффект для энергосистемы г. Москвы превысит 700 МВт при температуре наружного воздуха минус 4 °С.

6. Вклад ценозависимого потребления (рынок системных услуг) и графиков ГОПМ и ГВО значительно уступает вкладу системных решений.

7. Новогодние праздники необходимо рассматривать с точки зрения управления спросом в энергосистеме.

1. СП 131.13330.2025 «Строительная климатология», утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ № 470/пр от 8 августа 2025 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1313808224>.
2. СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ № 959/пр от 24 декабря 2020 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358>.
3. Физические климатические риски: подходы к анализу и учету в финансовом секторе. Доклад для общественных консультаций // Официальный сайт Центрального Банка России. URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/181372/Consultation_Paper_16092025.pdf.
4. IPCC WGI Interactive Atlas. URL: <https://interactive-atlas.ipcc.ch>.
5. Copernicus Interactive Climate Atlas. URL: <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>.
6. Climate Change Knowledge Portal. URL: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/russian-federation/climate-data-projections>.
7. Climate impact explorer. URL: <https://climate-impact-explorer.climateanalytics.org/impacts>.
8. Кислов А. В. Климатология с основами метеорологии: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство Московского университета, 2023. 255 с.
9. Жеребцов Г. А., Коваленко В. А., Кириченко К. Е. Роль солнечной активности в наблюдаемых изменениях климата в XX веке // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57, № 6. С. 687–695.
10. Climate Working Group (2025). A Critical Review of Impacts of Greenhouse Gas Emissions on the U.S. Climate. Washington DC: Department of Energy, July 23, 2025.
11. Карлин Л. Н., Малинин В. Н., Гордеева С. М. Изменчивость гидрофизических характеристик в Гольфстриме // Океанология. 2013. Т. 53, № 4. С. 454–462.
12. Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б. Космос и тектоника Земли как регуляторы выхода эндогенного тепла в океан // Гидрометеорология и экология. 2024. № 75. С. 207–233.
13. Шумилов О. И., Касаткина Е. А. Вековые минимумы солнечной активности в древесно-кольцевых хронологиях Кольского полуострова: что нас ожидает? // Труды Кольского научного центра РАН. 2019. Т. 10, № 8-5. С. 88–99.
14. Коваленко В. А., Жеребцов Г. А. Влияние солнечной активности на изменение климата // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 2. С. 134–138.
15. Lockwood M., et al. The persistence of solar activity indicators and the descent of the Sun into Maunder Minimum conditions // Geophys. Res. Lett. 2011. No. 38. P. L22105.
16. Abdussamatov H. I. Grand Minimum of the total solar irradiance leads to the Little Ice Age // J. Geol. Geosci. 2011. No. 2. P. 113.
17. Плановые часы пиковой нагрузки на 2020 год для территорий, отнесенных к ценовым зонам оптового рынка электрической энергии и мощности, и территорий, отнесенных к неценовым зонам оптового рынка электрической энергии и мощности // Системный оператор Единой энергетической системы: сайт. URL: https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/2020/pik_chas2020.pdf.
18. Рынок услуг по обеспечению системной надежности // Системный оператор Единой энергетической системы: сайт. URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/markets/markets-asm>.
19. Управление изменением режима потребления // Системный оператор Единой энергетической системы: сайт. URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/markets/changing-consum-patterns>.
20. Графики аварийного ограничения (ГАО) // Электросетевой проектно-инжиниринговый центр: сайт. URL: <https://epe-center.ru/sdm/aess>.
21. Графики ГОПМ и ГВО // Группа «Россети»: сайт. URL: <https://rosseti.ru/consumers/consumers-of-pjsc-rosseti/disclosure-of-information/disclosure-of-information-no.442-dated-04.05.2012>.
22. Графики ГОПМ и ГВО // Объединенная электрическая компания: сайт. URL: <https://uneco.ru/raskrytie-informaczii/raskrytie-informatsii-subektom-optovogo-i-roznychnykh-rynkov-elektroenergii/tekhnicheskoe-sostoyanie-setey/svedeniya-raskryvaemye-ezhegodno>.

Оценка трудноизвлекаемых запасов по классификации SPE-PRMS: анализ критических факторов оценки в условиях геологической неопределенности

Assessment of Hard-to-Recover Reserves According to the SPE-PRMS Classification: Analysis of Critical Assessment Factors under Conditions of Geological Uncertainty

Екатерина ЧЕРНЫШОВА
Руководитель направления Управления
разработки месторождений
ООО «ЗН НТЦ», к.э.н.
E-mail: ESChernyshova@nestro.ru

Анатолий КОЖЕМЯКИН
Заместитель начальника Управления
по разработке месторождений
АО «Зарубежнефть»
E-mail: AKozhemyakin@nestro.ru

Нина ЧУРАНОВА
Руководитель направления Управления
разработки месторождений
ООО «ЗН НТЦ»
E-mail: NChuranova@nestro.ru

Ekaterina CHERNYSHOVA
Head of Discipline, Fields Development
Department, ZN NTC LLC,
Candidate of Economic Sciences
E-mail: ESChernyshova@nestro.ru

Anatoly KOZHEMYAKIN
Deputy Head of Department, Fields Development
Department,
Zarubezhneft JSC
E-mail: AKozhemyakin@nestro.ru

Nina CHURANOVA
Head of Discipline, Fields Development
Department, ZN NTC LLC
E-mail: NChuranova@nestro.ru

Аннотация. В статье рассмотрены ключевые аспекты оценки трудноизвлекаемых запасов по международной классификации SPE-PRMS в условиях геологической неопределенности; проанализированы факторы, критически влияющие на достоверность оценки; на примере портфеля проектов АО «Зарубежнефть» показана практическая реализация методологии для сложных объектов, включая шельфовые.

Ключевые слова: SPE-PRMS, трудноизвлекаемые запасы, контрольный узел учета, проект, классификация запасов, вероятностная оценка

Abstract. The article examines the key aspects of assessing hard-to-recover reserves according to the international classification SPE-PRMS under conditions of geological uncertainty; analyzes factors that critically affect the reliability of the assessment; the practical implementation of the methodology for complex facilities, including offshore ones, is demonstrated using the example of company's project portfolio.

Key words: SPE-PRMS, hard-to-recover reserves, reference point, project, reserves and resources classification, probability method



Оценка состояния месторождения

Источник: «Зарубежнефть»

Введение

Минерально-сырьевая база углеводородного сырья Российской Федерации в последние десятилетия претерпевает закономерные изменения. Объекты с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) и простым геологическим строением постепенно вырабатываются, а доля трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) в общем балансе неуклонно растет. По оценкам Ми-

нистерства природных ресурсов и экологии РФ, около 60 % остаточных запасов нефти сегодня относятся к категории нетрадиционных либо осложненных для разработки [1]. В этих условиях задача достоверной оценки извлекаемых объемов ТРИЗ становится не просто технологической, но и стратегической: от нее зависят инвестиционная привлекательность проектов, налоговые льготы и долгосрочные планы развития компаний.

Именно поэтому все большее значение приобретают международные стандарты оценки, в первую очередь система Petroleum Resources Management System (SPE-PRMS), разработанная Обществом инженеров-нефтяников [2]. В отличие от чисто геологических подсчетов, SPE-PRMS требует рассматривать каждый проект как целостный комплекс мероприятий – от буре-

ния до подготовки, транспортировки и реализации продукции (рис. 1).

Ключевая особенность стандарта – вероятностный подход: для любого проекта должен быть определен диапазон извлекаемых запасов (P90, P50 и P10), что особенно актуально для ТРИЗ с их высокой геологической неопределенностью (рис. 2).

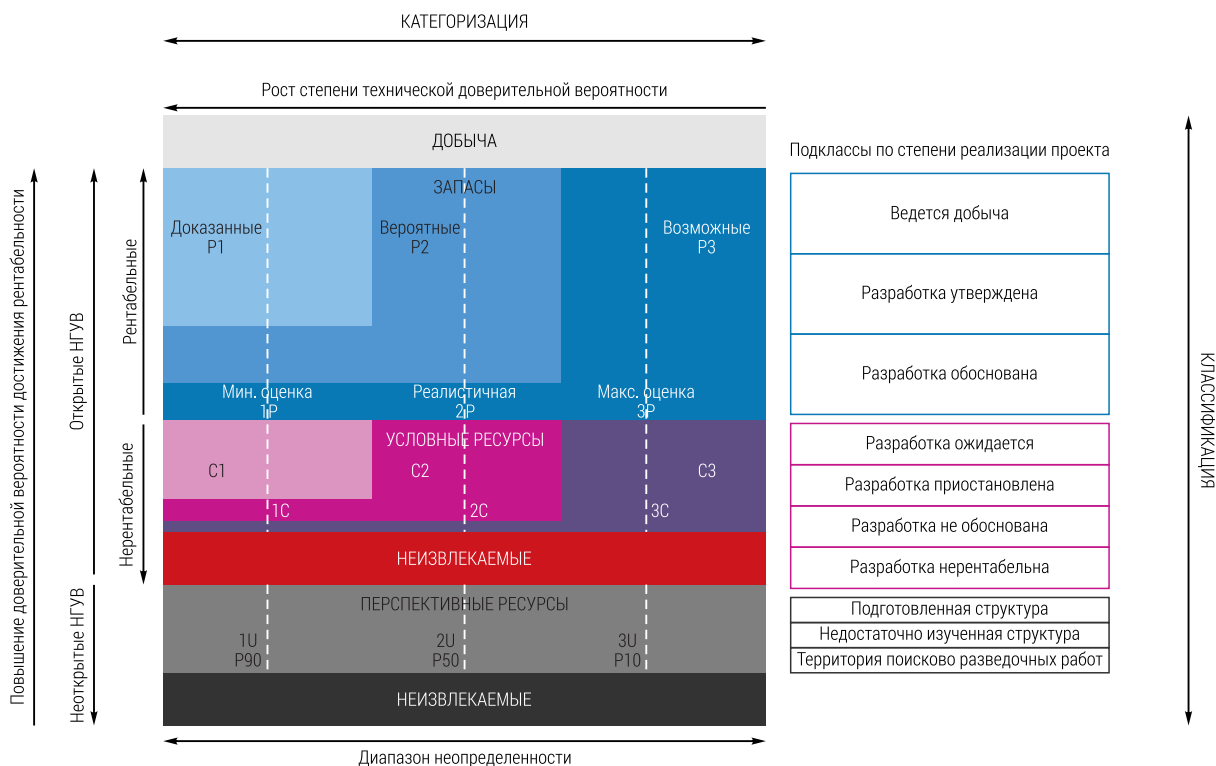


Рис. 1. Схема классификации ресурсов и подклассов в зависимости от зрелости проекта [2]



Добыча нефти на Харьгинском СРП

Источник: «Зарубежнефть»

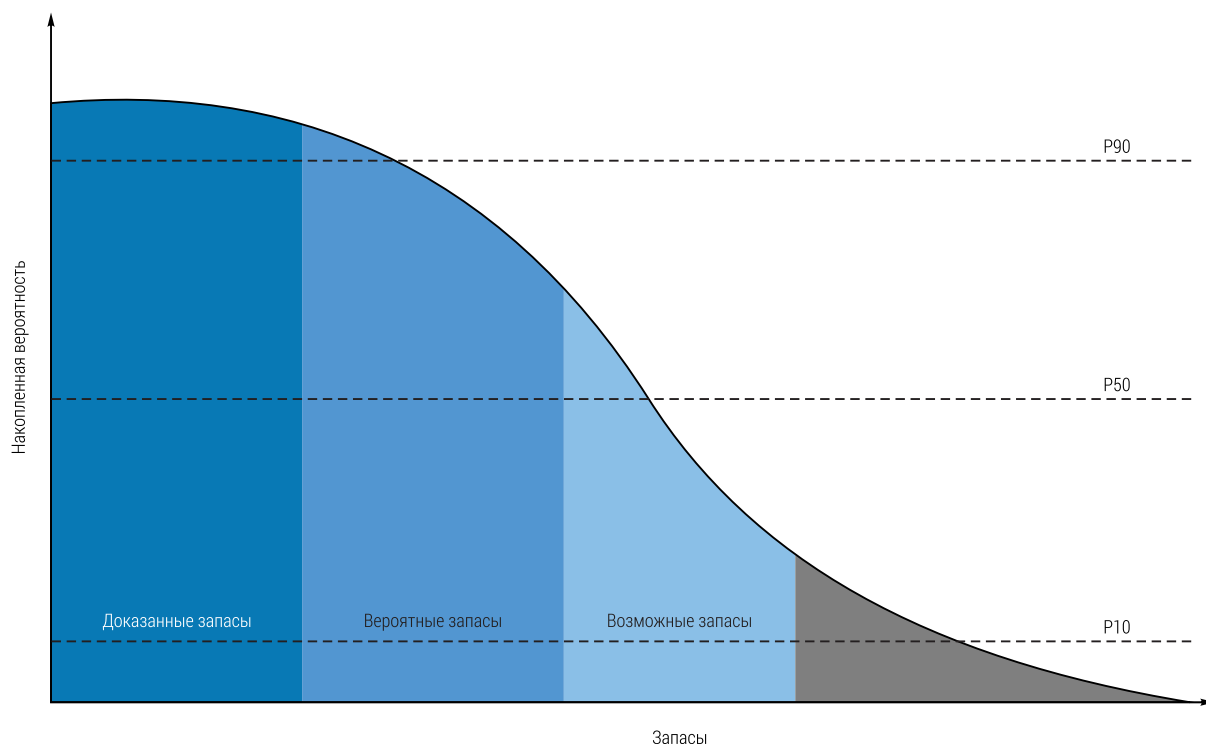


Рис. 2. Схема представления диапазона вероятностей

Согласно постановлению Правительства РФ [3], к трудноизвлекаемым относятся запасы, приуроченные к ачимовским продуктивным отложениям с проницаемостью не более $2 \cdot 10^{-3}$ мкм², сверхвязкая нефть – 10 000 мПа·с и более (в пластовых условиях), а также залежи в баженовской, абалакской, хадумской, доманиковой, кумско-керестинской свитах и некоторых других горизонтах.

По стандарту SPE-PRMS нетрадиционные ресурсы существуют в нефтяных и газовых скоплениях, которые распространены на большой территории и не имеют четко выраженного водонефтяного или газовойодяного контакта (также их называют «отложениями непрерывного типа»). Такие ресурсы невозможно извлечь с использованием традиционных проектов добычи из-за вязкости флюидов и/или проницаемости коллектора, которые препятствуют естественной мобильности. Более того, добытая нефть может потребовать дополнительной подготовки перед продажей [2].

С геологической точки зрения трудноизвлекаемость – это всегда сочетание нескольких неблагоприятных факторов: низкой емкости породы, микротрещинова-

тости вместо межгранулярной пористости, высокой вязкости нефти, аномально низкого пластового давления или, напротив, аномально высокого. Часто встречаются также тектонически экранированные зоны и литологически замещенные участки, что создает значительные неопределенности при построении трехмерных моделей.

Задача достоверной оценки извлекаемых объемов ТРИЗ становится не просто технологической, но и стратегической: от нее зависят инвестиционная привлекательность, налоговые льготы и долгосрочные планы развития проектов

Трудноизвлекаемые запасы составляют значительную часть портфеля оцениваемых объектов АО «Зарубежнефть» (рис. 3). С 2018 года компания планомерно развивала внутренний центр компетенций в области международного аудита запасов и уже к 2020-му перешла на выполнение всех оценочных процедур силами собственных подразделений (Корпоративный центр совместно с АО «ВНИИнефть», с 2024 года – ООО «ЗН НТЦ»). За пятилетний период были проведены аудиты по 30 российским активам, а также по ряду зарубежных проектов: в Узбекистане, Египте и Вьетнаме.

В корпоративной системе управления минерально-сырьевой базой АО «Зарубежнефть» к трудноизвлекаемым запасам, помимо утвержденных на законодательном уровне запасов, относятся также шельфовые проекты, характеризующиеся повышенной сложностью разработки, сопоставимой с ТРИЗ.

Такая позиция обусловлена в первую очередь технологическими и геолого-геофизическими вызовами, которые ставят шельфовые проекты в один ряд с ТРИЗ на

суше. Освоение морских месторождений требует применения целого спектра передовых инженерных решений: горизонтальные скважины большой протяженности, многостадийный гидравлический разрыв пласта, сложные системы сейсморазведки 3D и 4D, интеллектуальные системы заканчивания с возможностью дистанционного контроля и др. Также совокупность факторов радикально повышает неопределенность на всех этапах оценки шельфа. Во-первых, глубины моря достигают 1,5–3 км, что удорожает каждый метр бурения и делает любую ошибочную интерпретацию критически затратной. Во-вторых, удаленность от береговой инфраструктуры исключает возможность оперативного вмешательства в случае аварий или непредвиденных геологических осложнений. Кроме того, в морских разрезах нередко встречаются низкоомные коллекторы – пласты с аномально низким удельным электрическим сопротивлением, где стандартные методы петрофизической калибровки (например, по данным электрического каротажа) дают завышенную водонасыщенность и, как следствие, систе-

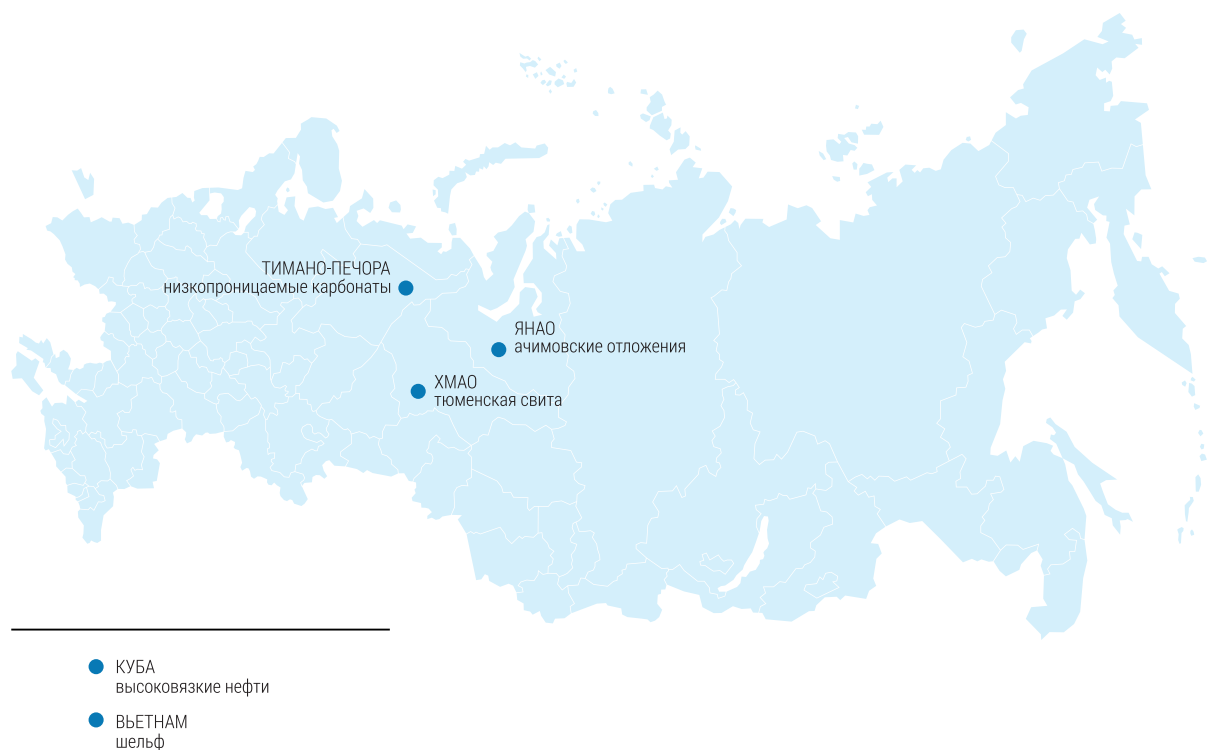


Рис. 3. Портфель проектов ТРИЗ в АО «Зарубежнефть»



Анализ работ при бурении, «Вьетсовпетро»

Источник: «Зарубежнефть»

матическое занижение нефтенасыщенных толщин. Эта проблема хорошо известна при работе с терригенными разрезами на суше, но на шельфе она усугубляется ограниченным керновым материалом и высокой стоимостью дополнительных исследований (ядерно-магнитный каротаж, микросейсмика).

Еще одним важным моментом является методологический подход АО «Зарубеж-

нефть» к аудиту по стандарту SPE-PRMS, который предполагает единую для всех проектов рамку: ключевым понятием становится не геологическая природа залежи, а «проект» как комплекс мероприятий по извлечению углеводородов с оценкой диапазона извлекаемых запасов (P90—P10). С этой точки зрения шельфовый проект с его высокой капиталоемкостью, длительными сроками окупаемости и значительной геологической неопределенностью (например, трещиноватость фундамента или литологические экраны в осадочном чехле) полностью вписывается в логику отнесения данных запасов к ТРИЗ.

С геологической точки зрения трудноизвлекаемость – это всегда сочетание нескольких неблагоприятных факторов: низкой емкости породы, микротрещиноватости, высокой вязкости нефти, аномально низкого или высокого пластового давления

Специфика оценки ТРИЗ по SPE-PRMS

Методология SPE-PRMS является единой для всех типов углеводородных активов: в ее основе лежит требование представлять для каждого проекта диапазон извлекаемых количеств, обозначаемых как P10, P50 и P90 (рис. 2). Однако при переходе от традиционных запасов к ТРИЗ появляются различия, связанные не с формой, а с глубиной проработки ключевых элементов методологии.

Проект

В терминологии SPE-PRMS под проектом понимается целенаправленный комплекс инженерных и организационных мероприятий с определенным началом и концом, результатом которого является добыча, подготовка и транспортировка сырой нефти или природного газа [2] (рис. 4).

Для традиционного месторождения с высокопроницаемыми коллекторами проект часто оказывается стандартным и повторяемым: вертикальные скважины с естественным режимом, простая система сбора, типовое обустройство. Такой проект можно описать небольшим набором параметров, а его реализация сопряжена с предсказуемыми сроками и затратами.

Совсем иная картина для трудноизвлекаемых запасов. Здесь каждый проект уникален и требует индивидуального инжиниринга. В ачимовских отложениях, например, проект обязательно включает бурение горизонтальной скважины с многостадийным гидравлическим разрывом пласта, возможно – систему поддержания пластового давления с использованием воды пониженной минерализации

или даже нагнетание газов. В баженовской свите проект может предусматривать термические методы (внутрипластовое горение или циклическую закачку пара). Для шельфовых проектов, помимо геологических осложнений (низкоомные коллекторы, низкая проницаемость, высокая неоднородность пород), также присущи инфраструктурные и логистические. Каждый такой элемент проекта вносит свой вклад в неопределенность: например, проведение операций ГРП сопряжено с такими параметрами, как свойства жидкости разрыва, пропанта, сколько стадий гидроразрыва реально провести, как быстро упадут дебиты, как часто потребуются капитальный ремонт скважин.

Именно поэтому в аудите ТРИЗ особое внимание уделяется технико-экономической части проекта: каждый переход от одной стадии к другой может поставить под вопрос экономическую целесообразность реализации всего проекта.

Вероятностный диапазон

SPE-PRMS предписывает определение диапазона величин извлекаемых ресурсов

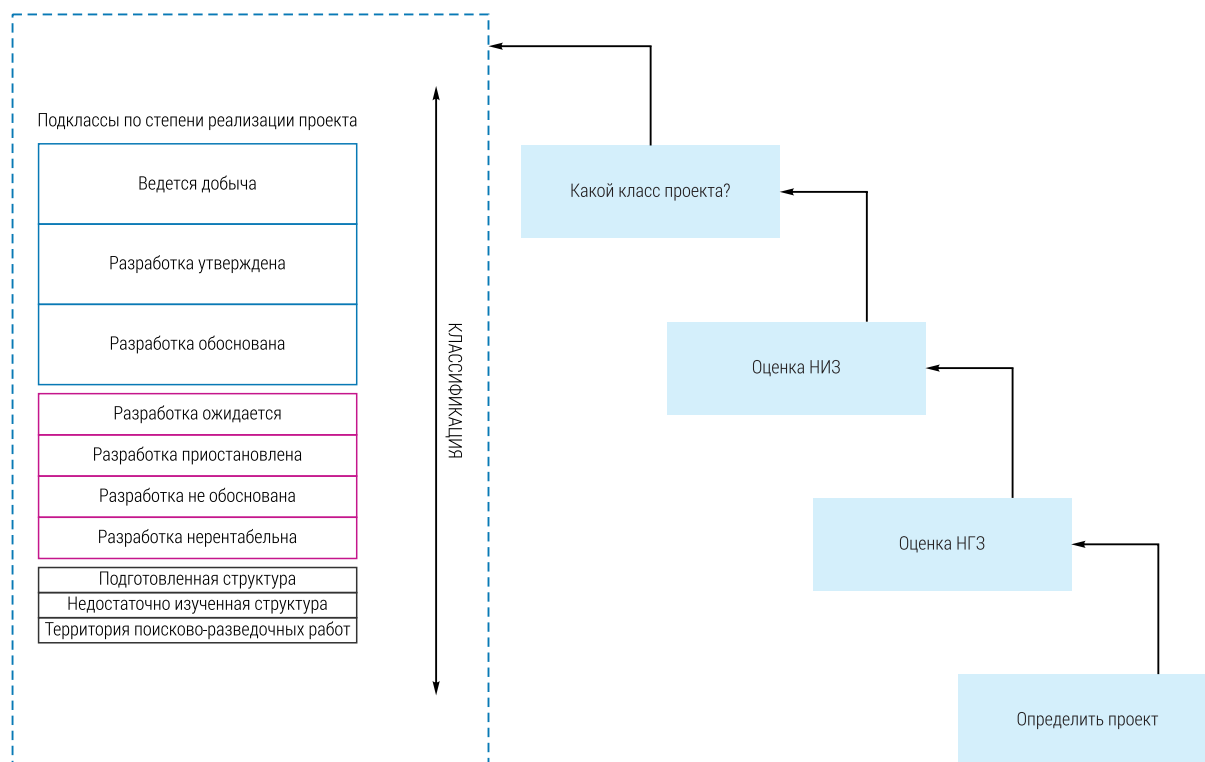


Рис. 4. Шаги для определения подкласса проекта



Добыча нефти на Харьягинском СРП

Источник: «Зарубежнефть»

для всех проектов (рис. 5). Однако диапазон различий между P90 и P10 для традиционного месторождения с нормальными фильтрационно-емкостными свойствами (пористость, проницаемость, насыщенность) может составлять 20–30 % от среднего значения P50 при наличии достаточного объема данных, тогда как для ТРИЗ

диапазон может варьироваться от 50 до 100 % и даже более.

Прогнозирование добычи для нетрадиционных коллекторов (сланцы, плотные песчаники, баженовская свита, ачимовские отложения и т.д.) является сложной задачей, так как стандартные методы оценки для пористых сред здесь не рабо-

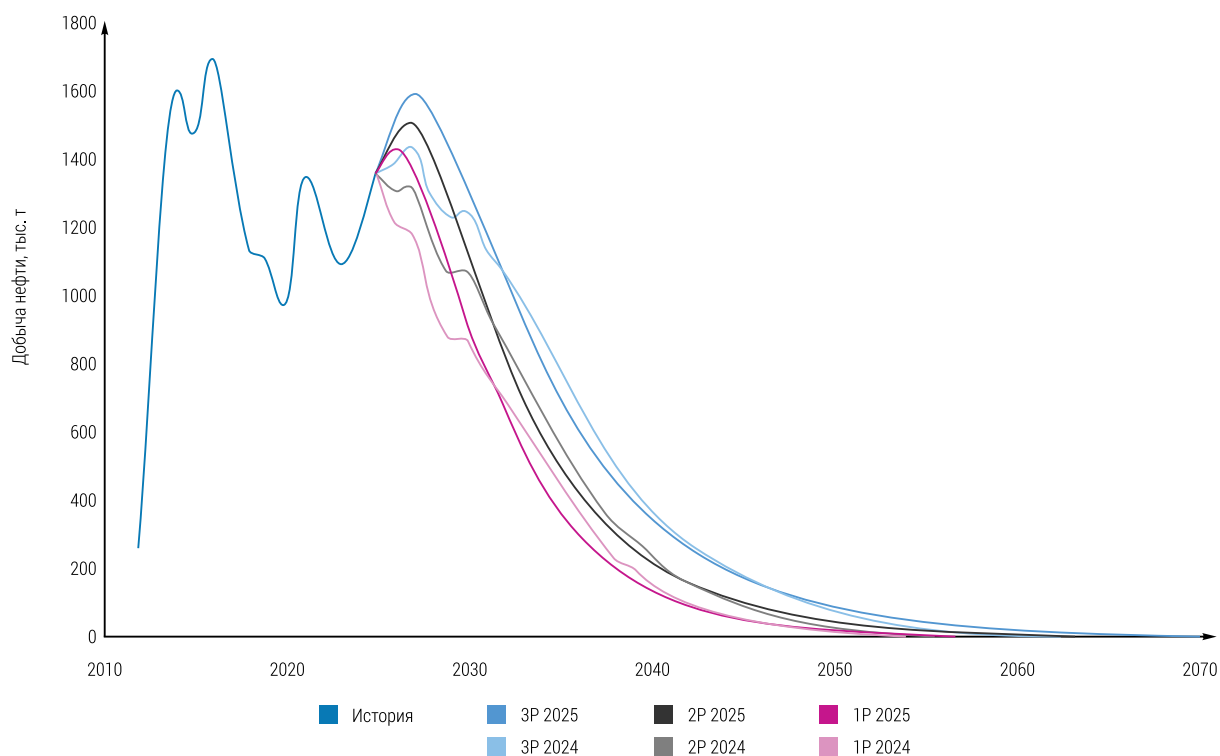


Рис. 5. Пример сопоставления уровней добычи нефтяного месторождения

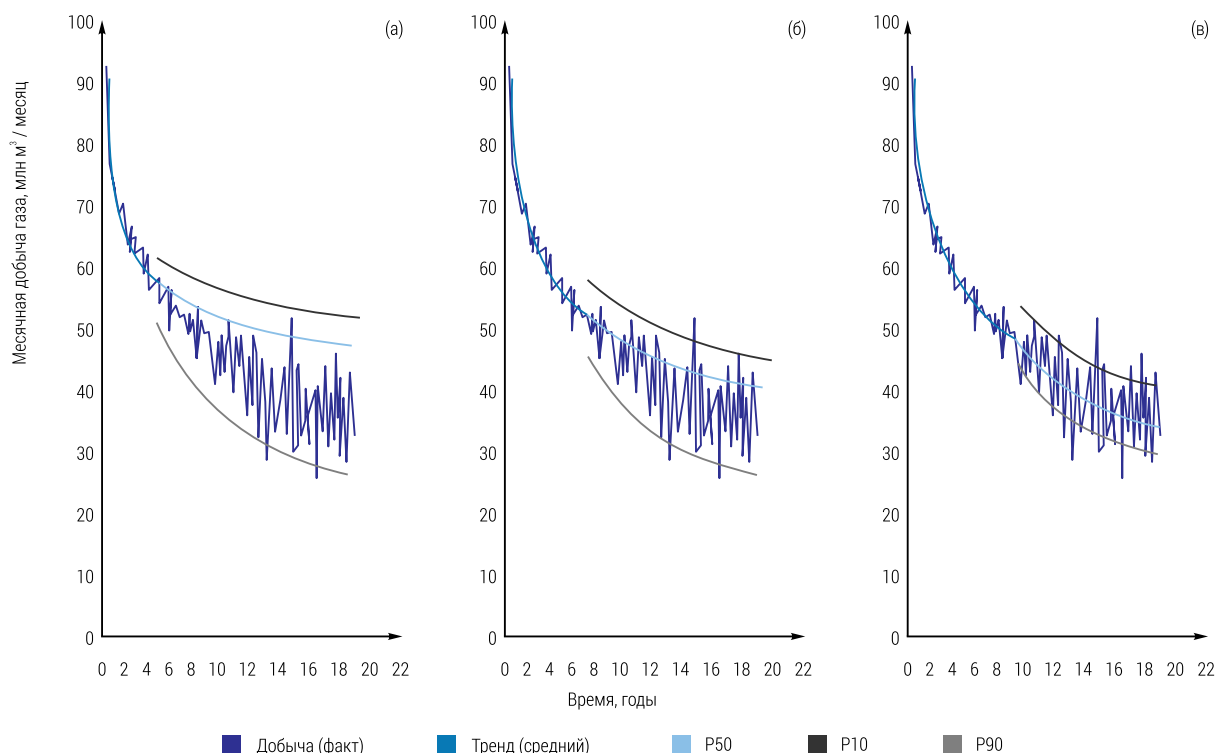


Рис. 6. Изменение прогнозной динамики добычи газового месторождения с нетрадиционным коллектором в зависимости от времени

тают. Оно базируется на гидродинамическом моделировании, учете параметров многостадийного ГРП (гидроразрыва пласта) и анализе дебита по кривым падения Decline Curve Analysis (DCA). На приведенном реальном газовом месторождении с нетрадиционным коллектором ретроспективно можно увидеть, как меняются прогнозы уровней добычи P10, P50 и P90 в зависимости от времени (рис. 6).

Для точного прогноза добычи нетрадиционных коллекторов применяются следующие наиболее распространенные подходы:

1. Модифицированные методы анализа кривых падения (Modified Declining Curve Analysis – MDCA).

Классический метод Арпса (Arps) плохо работает для нетрадиционных коллекторов, так как предполагает ранний выход на установившийся режим фильтрации, тогда как в сланцах / низкопроницаемых коллекторах годами длится линейный переходный режим притока флюида в скважину. Поэтому используют современные модификации данного метода:

- **метод растянутой экспоненты (SEPD, Stretched Exponential Production Decline):**

отлично моделирует резкое падение дебита на ранних стадиях добычи и стабилизацию на поздних. Метод основан на применении коэффициента изменчивости, который исключает завышение прогноза;

- **метод Дуонга (Duong):** разработан специально для коллекторов со сверхнизкой проницаемостью (tight газ/нефть). Идеально описывает длительный режим линейного притока к трещине ГРП;

- **модель степенной экспоненты (Power-Law Exponential):** сочетает свойства гиперболического падения на ранней стадии и экспоненциального на поздней.

2. Численное гидродинамическое моделирование (симуляторы Eclipse, tNavigator, CMG).

Применение гидродинамического моделирования является одним из ключевых инструментов для прогнозирования добычи из нетрадиционных коллекторов. Данный подход включает моделирование двойной пористости / двойной проницаемости, так называемой двойной среды, точный учет сети трещин после проведенных операций ГРП и фильтрацию в нанопорах (эффект Клинкенберга, проскальзывание газа и т.д.). Гидродинами-

Для месторождений ТРИЗ, расположенных в труднодоступных регионах добычи со слаборазвитой инфраструктурой, выбор коммерческого узла является одним из ключевых факторов, влияющих на эффективность проекта

ческое моделирование используется, когда необходим учет сложной геометрии трещин и термодинамических свойств флюида:

- **моделирование дискретных трещин (DFN):** явное задание геометрии естествен-

ных и техногенных трещин после много-стадийного ГРП;

- **композиционное моделирование:** необходимо для прогнозирования добычи конденсата и легкой нефти, где критически важно изменение фазового состояния флюида при падении пластового давления ниже давления насыщения.

3. Методы машинного обучения и Data Science (AI/ML).

Современный стандарт индустрии, нейросети (например, рекуррентные LSTM) и многочисленные алгоритмы (XGBoost, LightGBM, Random Forest) обучаются на массивах геолого-промысловых данных и дизайнах ГРП для прогнозирования профилей добычи без трудоемкого построения физических моделей [4].

4. Анализ динамики добычи (Rate Transient Analysis – RTA).

В отличие от DCA, метод RTA учитывает не только дебит, но и меняющееся забойное давление [5, 6]:

- позволяет определить **геометрические параметры трещин** (полудлину тре-



«Зарубежнефть — добыча Харьков»

Источник: «Зарубежнефть»

щины (X_f) и **простимулированный объем пласта** (Stimulated Reservoir Volume, SRV);

- помогает разделить падение дебита из-за ухудшения фильтрационных свойств и падение из-за снижения забойного давления.

Факторы, критически влияющие на точность прогноза и оценку запасов:

- динамика падения пластового давления в окрестности трещин ГРП;
- интерференция скважин (взаимное влияние трещин ГРП соседних скважин при плотной сетке бурения);
- свойства десорбции газа в нетрадиционном коллекторе и влияние сжимаемости самой породы.

Коммерческий узел учета

Одним из ключевых этапов в процессе оценки запасов по классификации PRMS является определение границ проекта: на каком этапе будет осуществляться передача продукции потребителю, каким будет вид продукции (сырье или продукт переработки), какой объем выручки будет относиться к оцениваемому проекту. При этом следует отметить, что для одного проекта может быть заключено несколько контрактов на реализацию, однако наличие конт-

ракта или инвестиционного решения с одобренным финансированием обязательно для признания ресурсов запасами по классификации SPE-PRMS.

Коммерческий узел учета – определенное место в цепочке операций по добыче и обработке углеводородов, где количество добытой продукции замеряют в определенных условиях до ее передачи потребителю (или ее использования) [2].

Для месторождений ТРИЗ, зачастую расположенных в труднодоступных регионах добычи со слаборазвитой инфраструктурой, выбор коммерческого узла является одним из ключевых факторов, влияющих на экономическую эффективность проекта и величину запасов. На начальном этапе разработки месторождения, в период отсутствия внешней инфраструктуры, продукция, как правило, продается на внутреннем рынке с последующим переходом на экспортную реализацию при завершении работ по обустройству и полномасштабному запуску актива. Это означает, что один и тот же проект в разные временные периоды может иметь два разных коммерческих узла: борт автоцистерны и точку врезки в магистральный трубопровод.

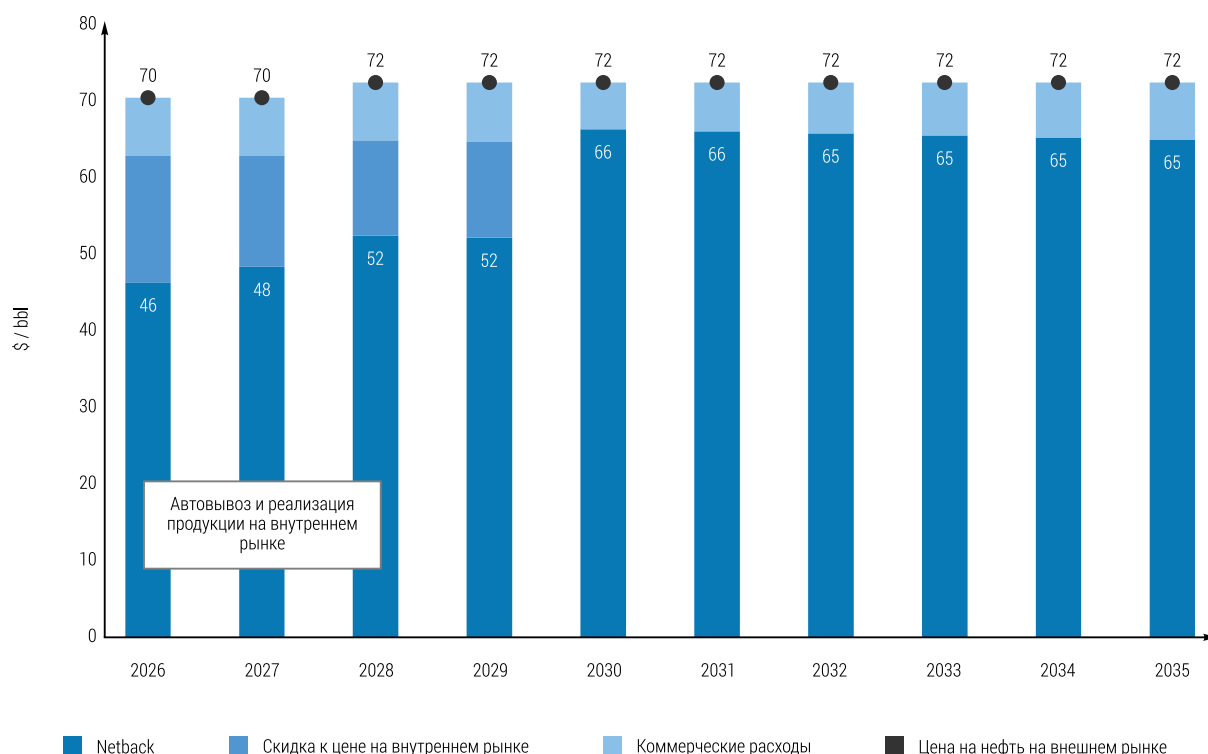


Рис. 7. Формирование цены на нефть методом Netback при различных контрольных узлах учета продукции

Цена реализации продукции в первом случае будет ниже, чем при реализации на внешнем рынке, за счет высоких затрат на транспортировку, большего дисконта к цене, сформировавшегося на внутреннем рынке, и других факторов (рис. 7). Для трудноизвлекаемых запасов с высокой себестоимостью добычи разница в 15–20 долл. за баррель может быть критической, поэтому при оценке проекта важно особое внимание уделять обоснованности года смены контрольного узла учета, поскольку задержка на один-два года может привести к нерентабельности проекта и ресурсы не будут признаны запасами по классификации SPE-PRMS.

Внешнепромысловая инфраструктура

Еще одним условием, определяющим коммерческую целесообразность проекта, является наличие обоснованных ожиданий о строительстве объектов промысловой и транспортной инфраструктуры для реализации товарной продукции потребителю.

В случае с разработкой запасов в труднодоступных и малоосвоенных регионах данный вопрос требует особого внимания при проведении оценки по классификации

SPE-PRMS: если на момент рассмотрения проекта у недропользователя не принято инвестиционное решение с одобренным финансированием, затраты на строительство объектов внешней инфраструктуры и запланированные объемы реализации продукции не могут быть учтены в составе проекта: предполагается, что продукция на всем протяжении жизненного цикла проекта будет реализовываться на внутреннем рынке посредством автовывоза.

На рис. 8 представлена динамика добычи нефти и затраты по проекту согласно планам недропользователя: в период с 2026 по 2028 год планируется строительство внешнепромыслового трубопровода, однако на момент оценки запасов по классификации SPE-PRMS договор на подключение к магистральному трубопроводу не был заключен, следовательно, отсутствует уверенность, что запланированный объем добычи будет реализован конечному потребителю, и вся разница между профилем добычи недропользователя и профилем добычи по SPE-PRMS будет отнесена к условным ресурсам до момента признания коммерческой целесообразности проекта по реализации продукции на внешнем рынке.

При разработке месторождений на шельфе наличие транспортной инфра-

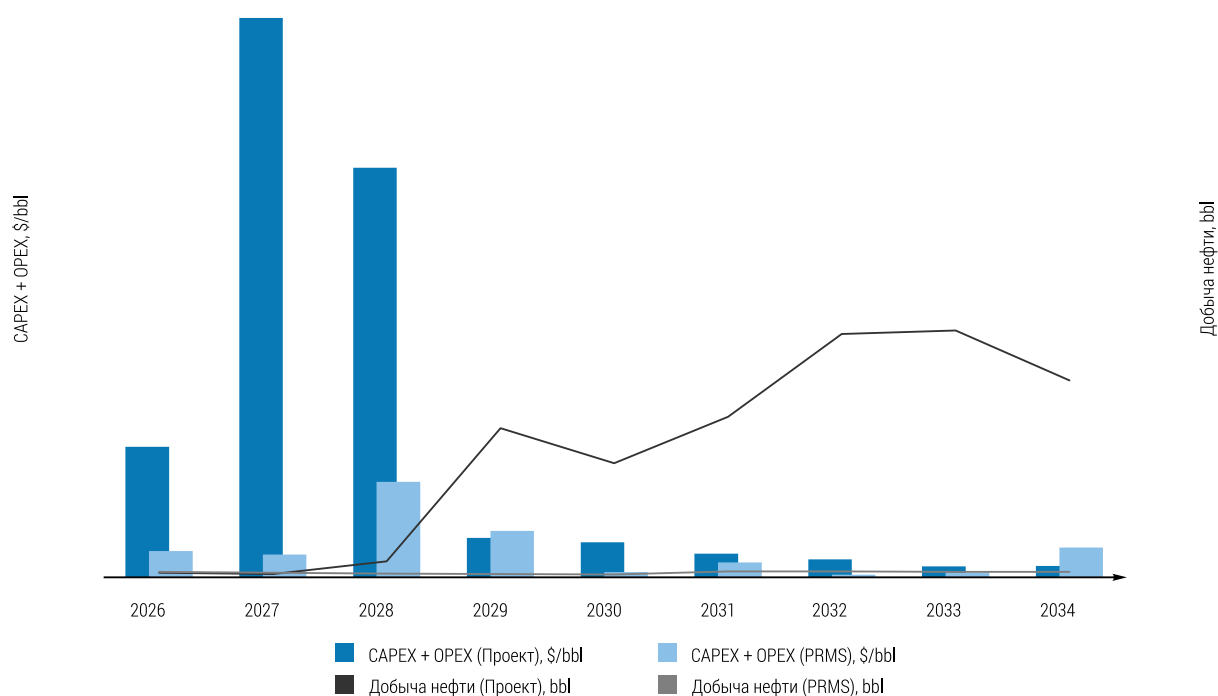


Рис. 8. Динамика добычи нефти и уровень затрат по планам недропользователя и при оценке по классификации SPE-PRMS



Добыча нефти, НАО

Источник: «Зарубежнефть»

структуры и договорных обязательств также может оказать существенное влияние на эффективность проекта и его коммерческую обоснованность. Рассмотрим пример реализации двух проектов на соседних лицензионных блоках:

- Блок 1: заключительная стадия разработки, положительный денежный поток генерируется за счет будущих поступлений от транзита продукции с Блока 2, самостоятельная разработка Блока 1 без учета транзитных платежей убыточна;
- Блок 2: не введен в разработку, прогнозируется положительный денежный поток.

Поскольку Блок 2 на момент оценки не введен в разработку, весь объем углево-

дородного сырья будет отнесен к условным ресурсам до момента эксплуатационного бурения и получения промышленного притока. Следовательно, пока не получено обоснованное подтверждение коммерческой целесообразности реализации продукции с Блока 2, транзитные платежи при расчете денежного потока Блока 1 не могут быть учтены в составе проекта, проект экономически неэффективен. Таким образом, объем углеводородов Блока 1 также будет отнесен к условным ресурсам до момента ввода в эксплуатацию Блока 2.

Для трудноизвлекаемых запасов, осваиваемых в удаленных или шельфовых регионах, транспортная инфраструктура является критическим фактором оценки по классификации SPE-PRMS. До момента, когда инвестиционное решение по строительству объектов внешнепромыслового транспорта получит документальное подтверждение с одобренным финансированием, вся продукция, зависящая от этой инфраструктуры, относится к условным ресурсам независимо от ее геологической доказанности. Данный подход обеспечивает консервативность и достоверность оценки, требуемую по классификации SPE-PRMS.

Утилизация ПНГ

При разработке трудноизвлекаемых запасов газовый фактор может вести себя нестабильно, что усложняет задачу по проектированию наземного обустройства и поиску рынка сбыта товарного объема по-

Одним из условий, определяющих коммерческую целесообразность проекта, является наличие обоснованных ожиданий о строительстве промысловой и транспортной инфраструктуры для реализации товарной продукции

**Для месторождений ТРИЗ,
расположенных в удаленных
регионах, разрыв между
технологической возможностью
утилизировать ПНГ и
экономической реализуемостью
этой инициативы может
достигать нескольких лет**

путного нефтяного газа (ПНГ). В процессе подбора оптимальных решений могут быть рассмотрены различные варианты утилизации ПНГ: от использования на собственные нужды для обеспечения промысла электроэнергией до производства продуктов переработки; либо монетизация за счет выработки электроэнергии для майнинга или организации работы Центров обработки данных (ЦОД). Однако, пока не будет принята газовая программа / инвестиционное решение по утилизации ПНГ в целях оценки запасов по классификации PRMS, объем попутного газа не может быть отнесен к запасам в связи с высокой неопределенностью как объемов товарного газа,

подлежащего утилизации, так и уровня инвестиций и цен на товарную продукцию. Для месторождений с трудноизвлекаемыми запасами, расположенных в удаленных регионах с отсутствием газотранспортной инфраструктуры, разрыв между технологической возможностью утилизировать ПНГ и экономической реализуемостью этой инициативы может достигать нескольких лет. Именно этот разрыв и является причиной, по которой даже при высокой начальной газонасыщенности пластов значительная часть углеводородного потенциала не учитывается в качестве запасов на начальном этапе разработки месторождения по классификации SPE-PRMS.

Выводы

Оценка трудноизвлекаемых запасов требует комплексного подхода с учетом всех факторов риска и специфических особенностей каждого проекта. Стандарт SPE-PRMS за счет вероятностного подхода и детального анализа технико-экономической составляющей проекта является эффективным инструментом оценки запасов с высокой геологической неопределенностью. К критическим факторам, влияющим на итоговый диапазон величин запасов, помимо физико-химических свойств флюидов и методов прогнозирования добычи, следует отнести наличие контрактных обязательств на транспортировку и

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Глава Минприроды рассказал, на сколько лет хватит нефти в России // РИА Новости. 21.05.2025. URL: <https://ria.ru/20250521/neft-2018247346.html>.
2. *Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System. Version 1.0.* ISBN 978-1-61399-983-7. Society of Petroleum Engineers, 2022. 375 p.
3. Постановление Правительства РФ от 19.09.2020 № 1499 (ред. от 02.12.2023) «Об установлении видов трудноизвлекаемых полезных ископаемых, в отношении которых право пользования участком недр может предоставляться для разработки технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565829662>.
4. Cenk Temizel, Celal Hakan Canbaz, Onder Saracoglu, et al. *Production Forecasting in Shale Reservoirs through Conventional DCA and Machine/Deep Learning Methods* // URTeC: 2878, 2020.
5. Hakki Aydin, Narendra Boppano, Mesut Yurukcu, Shuhao Liu, Cengiz Yegin, Cenk Temizel. *A Comprehensive Review of RTA/DCA Methods in Unconventional Reservoirs* // SPE-209321-MS, 2022.
6. Yuanyuan Shao, Xuri Huang, Yang Xing. *An integrated study on the sensitivity and uncertainty associated with the evaluation of stimulated reservoir volume (SRV)* // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. November 2017. Vol. 159. P. 903–914.

Система цифрового мониторинга экономических показателей ветроэнергостановок для промышленности

Digital Monitoring System for the Economic Performance of Wind Turbines at Industrial Enterprises

Михаил МОКШИН
Главный инженер проекта АЭС «Аккую»
АО «НЭПТ», соискатель ученой степени к.э.н.

Mikhail MOKSHIN
Chief engineer of the Akkuyu NPP project
at NEPT JSC, Candidate for the degree of
Candidate of Economic Sciences

Александр ПУТИЛОВ
Декан факультета бизнес-информатики
и управления комплексными системами
НИЯУ МИФИ, д.т.н., профессор

Alexander PUTILOV
Dean of the Faculty of Business Informatics
and Complex Systems Management at MEPhI,
Doctor of Technical Sciences, Professor

Ольга РИМСКАЯ
Эксперт Федерального реестра экспертов
научно-технической сферы РФ,
к.э.н., доцент

Olga RIMSKAYA
Expert in the Federal Register of Experts in the
Scientific and Technical Sphere of the Russian
Federation, Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor

Аннотация. Увеличение доли возобновляемой энергетики в энергобалансе любой страны предполагает усиление требований к качеству инвестиционных и операционных решений на промышленных предприятиях и в энергетических холдингах. Для энергообеспечения промышленности экономика энергетических поставок имеет определяющее значение. Традиционные методы технико-экономической оценки ветроэнергетических проектов часто используют усредненные климатические предпосылки и статичную структуру генерации, что снижает достоверность показателей NPV, IRR и LCOE и затрудняет риск-ориентированное управление. Цель исследования — разработка системы цифрового мониторинга экономических показателей ветроэнергетики, обеспечивающей сопоставимость расчетных и фактических значений эффективности в условиях сезонной и региональной изменчивости ветрового ресурса. Это имеет принципиальное значение для экономики промышленности в ближайшей перспективе. В статье рассмотрена модель цифрового мониторинга экономических показателей ветроэнергоустановок на основе прогнозирования ветровой активности и анализа динамики структуры выработки. Практическая апробация на расчетных примерах демонстрирует, что учет структуры ветрового режима и адаптивное управление улучшают значения ключевых метрик (в том числе снижение LCOE, рост NPV/IRR и снижение OPEX) и повышают обоснованность принятия управленческих решений.

Ключевые слова: ветроэнергетика, гибридные энергосистемы, экономическая эффективность, экономика промышленности, мониторинг, адаптивное управление, стратегическое планирование, риск-менеджмент

Abstract. The increasing share of renewable energy in any country's energy mix requires stricter requirements for the quality of investment and operational decisions at industrial enterprises and energy holding companies. Traditional methods of technical and economic assessment of wind energy projects often rely on averaged climatic assumptions and a static generation structure, which reduces the reliability of NPV, IRR, and LCOE indicators and complicates risk-based management. The objective of this study is to develop a digital monitoring system for wind energy economic indicators that ensures comparability of calculated and actual efficiency values under conditions of seasonal and regional variability of wind resources. This article examines a model for digital monitoring of wind turbine economic indicators based on wind activity forecasting and generation structure dynamics analysis. Practical testing using simulation examples demonstrates that taking into account wind regime structure and adaptive management improve key metrics (including LCOE reduction, NPV/IRR growth, and OPEX reduction) and enhance the validity of management decisions.

Key words: wind energy, hybrid energy systems, economic efficiency, monitoring, adaptive management, strategic planning, risk management

Введение

Сектор производства энергии служит основой национальной экономики и связывает различные сферы промышленности в каждом государстве.

По объему выработки электроэнергии Российская Федерация занимает одно из ведущих мест в мире, но установленная мощность ее ВИЭ-источников заметно ниже аналогичных показателей развитых стран, что выражается вкратно меньших величинах. Сводные показатели по объему потребления, производства и потребностям в электроэнергии Единой энергетической системы России представлены в табл. 1 и касаются периода с 2019 по 2025 год.

Разбивка выработки по видам генерации иллюстрирует вклад каждого типа источников в суммарный объем производства энергии. Исследование долей, приведенных в табл. 1, показывает соответствие структуры российской энергосистемы глобальным тенденциям: лидирующее место занимают ТЭС, затем идут атомные станции и гидроэлектростанции, замыкают распределение мощности источники ВИЭ.

С целью следования мировой «зеленой повестке» и задаче внедрения энергосберегающих технологий в энергетическом секторе России планируется использование гибридной энергетики в качестве энергетического перехода от традиционной генерации к генерации с высокой долей

Таблица 1. Баланс электроэнергии ЕЭС России и объемы потребности и потребления за период с 2019 по 2025 год

Наименование	Ед. изм.	ПРОГНОЗ						
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Потребление электроэнергии	млрд кВт·ч	1032,8	1050,3	1081,5	1071,5	1081,3	1093,8	1097,2
Потребность в электроэнергии	млрд кВт·ч	1042,9	1060,6	1071,8	1081,9	1091,9	1104,4	1107,8
Производство электроэнергии, всего	млрд кВт·ч	1042,9	1060,6	1071,8	1081,9	1091,9	1104,4	1107,8
ГЭС	млрд кВт·ч	153,5	170,5	170,5	170,6	170,7	170,8	170,8
АЭС	млрд кВт·ч	202,8	198,5	199,8	197,2	196,5	201,3	198,9
ТЭС	млрд кВт·ч	685,12	687,33	695,3	706,2	715,4	722,2	727,99
ВЭС, СЭС	млрд кВт·ч	1,58	4,35	6,14	7,9	9,21	10,12	10,12
Установленная мощность, всего	МВт	236828	235879	234320	235400	237031	237246	235803
ГЭС	МВт	45304	45394	45475	45525	45576	45591	45598
АЭС	МВт	30282	29282	29432	29432	30632	30832	29382
ТЭС	МВт	158840	157866	155175	155518	155401	155401	155401
ВЭС, СЭС	МВт	2401,5	3336,6	4237,4	4924,4	5422,1	5422,1	5422,1

Источник: Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2019–2025 годы



ВЭС в Северном море, Шотландия

Источник: corbis.com



Китай — лидер в развитии ветрогенерации

Источник: corbis.com

использования ВИЭ. Как показала мировая [3] и российская практика [2], подтвержденная расчетами, гибридные системы используют преимущества как традиционных, так и альтернативных — возобновляемых — источников энергии, что в целом способствует повышению экономичности работы ТЭЦ и стабильному энергоснабжению территорий.

Мировыми лидерами в области развития гибридной энергетики являются Китай, страны Европы, США и Канада. По данным международной статистики, к концу 2025 года совокупная установленная мощность мировой ветроэнергетики

превысила 1320 ГВт, а общий объем новых установок достиг рекордных 150 ГВт [14]. Приведенные показатели отражают устойчивый долгосрочный тренд: ветроэнергетика становится одним из базовых элементов мирового энергоперехода, а для промышленности — источником снижения углеродной нагрузки и диверсификации энергоснабжения.

Энергетическая стратегия России на период до 2050 года [9] предполагает развитие топливно-энергетического комплекса в условиях растущего энергопотребления, глобальных вызовов, энергоперехода и повсеместного внедрения цифровых технологий. В стратегии отмечены направления, связанные с развитием гибридных систем, которые объединяют два или более источника энергии.

**С целью внедрения
энергосберегающих технологий
в России планируется
использование гибридной
энергетики в качестве
энергетического перехода
от традиционной генерации
к генерации с большой долей ВИЭ**

Понятийный аппарат исследования

ВИЭ — возобновляемые источники чистой энергии (ветер, солнце, вода).

ВЭУ (ветроэнергетическая установка) — устройство (турбина), преобразующее кинетическую энергию ветра в электрическую.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — автоматизированная система диспетчерского контроля и сбора данных.

Используется для мониторинга параметров работы оборудования.

КИУМ — коэффициент использования установленной мощности — отношение фактической выработки электроэнергии к максимально возможной при непрерывной работе. КИУМ показывает, насколько эффективно используется установленная мощность генерирующей установки за определенный период.

СКИМ — структурный коэффициент использования мощности. СКИМ представляет собой КИУМ, рассчитанный для отдельного сезона года.

LCOE (Levelized Cost of Electricity) — уровень приведенной стоимости электроэнергии — средняя цена 1 МВт·ч с учетом всех затрат за жизненный цикл объекта.

NPV (Net Present Value) — чистый дисконтированный доход — сумма всех будущих доходов проекта, приведенных к текущему моменту.

IRR (Internal Rate of Return) — внутренняя норма доходности — ставка, при которой чистый дисконтированный доход проекта равен нулю.

Модельная методика представляет собой формализованный набор взаимосвя-

занных моделей, расчетных зависимостей и правил принятия решений, который:

- задает входные данные (климатические, технические, стоимостные);
- определяет порядок вычисления показателей;
- задает процедуры обновления и сравнения сценариев;
- формирует выходные управленческие рекомендации.

Оптовый рынок электроэнергии и мощности в России

В российской практике экономическая модель ветроэнергетических проектов формируется не только природными и техническими факторами, но и правилами функционирования оптового рынка электроэнергии и мощности, где электроэнергия и мощность рассматриваются как отдельные товары. Для ветроэнергетических объектов это означает необходимость учитывать профиль выработки, требования к поставке и вопросы балансирования, которые напрямую отражаются на выручке и операционных рисках. Именно поэтому в управлении



Анадырская ВЭС, Чукотский АО

Источник: Shutterstock.com

такими проектами важна роль цифрового мониторинга: он позволяет сопоставлять прогнозную и фактическую выработку, оперативно выявлять отклонения и снижать риск принятия решений на основе «среднего ветра».

Дополнительно на уровне регулирования действует механизм стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электроэнергии и мощности (включая правила определения цены на мощность для объектов на возобновляемых источниках энергии) [8]. В результате финансовая устойчивость ветроэнергетических проектов зависит от корректности расчетов показателей эффективности и от соблюдения экономических параметров, задаваемых нормативной базой и конкурсными процедурами. По данным отраслевой статистики, к началу 2025 года установленная мощность ветрогенерации в России составляет порядка 2,57 ГВт, что подтверждает сформированность сегмента и актуальность задач мониторинга и планирования [1].

Одновременно с ростом объемов ВИЭ-генерации усиливается проблема качества принятых управленческих решений: инвестиционные расчеты и бизнес-планы ветроэнергетических проектов по-прежнему часто опираются на «средний ветер», фиксированные коэффициенты использования установленной мощности и статичные модели выработки. На практике ветровой ресурс имеет выраженную сезонность, межгодовую изменчивость и региональ-



ВЭС в Северном море

Источник: Shutterstock.com

Сравнительные расчеты, проведенные для разных регионов, иллюстрируют, что региональная специфика ветра и социально-экономические ограничения требуют различных сценариев развития ветроэнергетики

ную специфику, что влияет на выработку, выручку, затраты, графики обслуживания, а в итоге — на NPV, IRR, LCOE и срок окупаемости. Следовательно, предприятия сталкиваются не только с технологической, но и с экономической неопределенностью, которая регулируется методами мониторинга и риск-менеджмента.

Гипотеза исследования состоит в предположении, что переход от статичных расчетов к системе цифрового мониторинга, учитывающей структуру ветрового режима и позволяющей адаптивно управлять режимами эксплуатации, обеспечивает:

1. Сопоставимость расчетных и фактических метрик эффективности.
2. Повышение обоснованности инвестиционных решений.
3. Снижение операционных затрат и/или увеличение выручки за счет управляемости режимов генерации.

Методология исследования

Мониторинг экономических показателей в контексте ветрогенерации — это регулярное обновление экономических индикаторов на основе текущих данных о выработке, доступности, простоях и затратах, с фиксацией трендов и отклонений для управленческого реагирования.

Аналогичная логика методологического каркаса для мониторинга по SCADA описывается как последовательность: обработка данных → расчет параметров → непрерывный мониторинг → анализ результатов [13].

По сути, модельная методика представляет собой «методологический каркас» (framework), где этапы обработки данных, расчета параметров и непрерывного мониторинга образуют повторяющийся цикл (рис. 1).

Для каждого модуля указаны его основные процессы:

1. Модуль загрузки и предварительной обработки данных: прием данных из

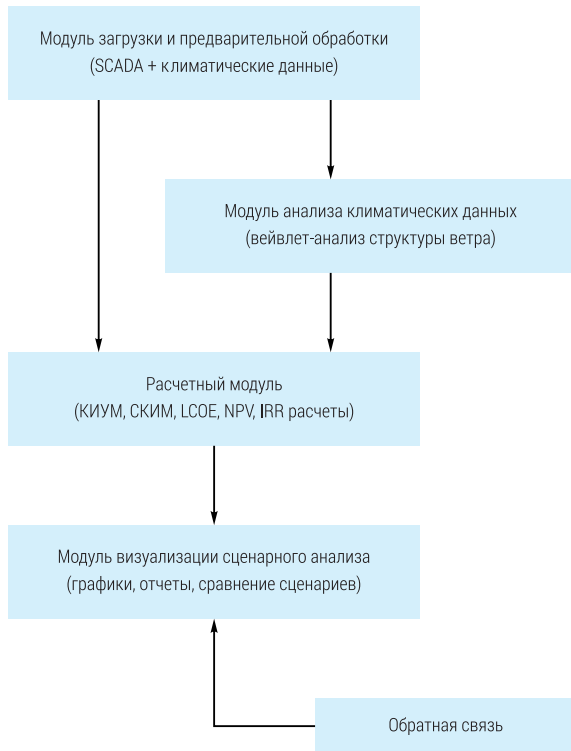


Рис. 1. Информационно-функциональная структура цифровой модели системы экономической эффективности ветроэнергетических установок

Прогнозирование ветровой активности и мощности является обязательным элементом цифрового мониторинга: прогноз заранее формирует ожидания по выработке, поддерживает планирование режимов и обслуживания

SCADA-систем и метеоархивов, удаление выбросов, заполнение пропусков (метод линейной интерполяции), синхронизация временных рядов по единичному временному шагу и нормализация.

2. Модуль анализа климатических параметров: использование вейвлет-преобразования для анализа временных рядов скорости ветра; выделение сезонных коэффициентов, амплитуд и частот колебаний.

3. Расчетный модуль: расчет КИУМ (отношение фактической выработки к максимально возможной мощности), СКИМ (КИУМ с поправкой на сезонные коэффициенты), приведенной стоимости энергии (LCOE) как отношения дисконтированных затрат (CAPEX (инвестиции) + OPEX (эксплуатация) + F (топливо)) к дисконтированному объему генерируемой энергии, чистого дисконтированного дохода (NPV) и внутренней нормы доходности (IRR).

4. Модуль визуализации и сценарного анализа: формирование графиков, таблиц, сравнительных сценариев и возможность изменения параметров пользователем с обратной передачей в расчетный модуль.

Термин «цифровая» означает, что система реализуется в виде вычислительной модели — программного контура, работающего с потоками данных (включая SCADA / метеоданные / стоимостные параметры), выполняющего автоматизированные расчеты и формирующего обновляемые показатели для принятия решений. Подходы к



Строительство ветрогенераторов в море

Источник: Shutterstock.com

информационным интерфейсам и обмену данными для ветроэлектростанций в контексте мониторинга и управления описаны в серии IEC 61400-25 [11].

SCADA-подход подчеркивает ценность continuous monitoring — зависимости рабочих параметров для поддержки обслуживания и планирования; в настоящей работе этот принцип расширен до экономических показателей. Подход, где данные эксплуатации применяются для регулярного обновления расчетных параметров и поддержки управленческих решений в течение жизненного цикла оборудования.

Обзор подходов и постановка проблемы

В прикладной литературе и отраслевых материалах для оценки эффективности проекта широко применяются показатели LCOE, NPV, IRR и срок окупаемости как базовые метрики оценки инвестиционной привлекательности объектов возобновляемой энергетики [12].

В отечественных исследованиях по ветроэнергетике детально рассматриваются во-

Ремонт морских ветрогенераторов
Источник: Shutterstock.com

просы моделирования эффективности на стадии проектирования и факторы, влияющие на финансовый результат [4, с. 80–91], а также методы прогнозирования выработки ветроэнергетических станций [6, с. 56–66].

Однако часть существующих исследований и практик имеет ограничения:

- статичность климатической предпосылки (усреднение ветровых режимов по году или периоду наблюдений);
- разрозненность расчетов (отдельно генерация, отдельно экономика, отдельно эксплуатация);
- слабая связь с управленческими циклами предприятия (план-факт анализ, KPI, бюджетирование, риск-ориентированное планирование).

Следовательно, научная и практическая проблема формулируется следующим образом: требуется система, которая объединяет климатическую изменчивость, технические параметры генерации и финансовые показатели в единый цифровой контур мониторинга и принятия решений.

Результаты исследования

Представленная в статье модельная методика формирует единый контур управленческих решений «климатические данные → генерация → экономический результат →



Монтаж ветрогенератора
Источник: rosatom-renewables.ru

управленческое действие» и опирается на ранее опубликованные результаты авторов. В работе по алгоритмическому моделированию на стадии проектирования показано, что учет реальной структуры ветрового режима и сценарное моделирование выработки повышают обоснованность расчетов и позволяют объяснять отклонения финансового результата через параметры генерации и условий площадки [4, с. 80–91]. В исследовании методов прогнозирования мощности ветроэнергостанций обоснована значимость прогноза ветровой активности

Кольская ВЭС, Мурманская область

Источник: «ЭЛ5-Энерго»





Ростовская область

Источник: Shutterstock.com

как исходной информации для мониторинга выработки и последующей экономической корректировки показателей эффективности [6, с. 56–66].

Сравнительные расчеты, проведенные для разных регионов (Ростовская область Российской Федерации и Иссык-Кульская область Кыргызской Республики), дополняют выводы и иллюстрируют, что региональная специфика ветра и социально-экономические ограничения требуют различных сценариев развития ветроэнергетики [5].

Полученные результаты можно обобщить следующим образом:

1. Показано, что использование усредненных климатических предпосылок снижает точность оценки инвестиционной привлекательности ветроэнергетических проектов. Сценарное моделирование структуры выработки на основании климатических данных повышает сопоставимость NPV, IRR и LCOE между площадками и периодами [4, с. 80–91].

2. Обоснована технико-экономическая связка «генерация → финансовый результат» как базовая схема мониторинга: финансовые метрики целесообразно рассчитывать в привязке к структуре выработки и эксплуатационным режимам, отделяя влияние климатических факторов от эксплуатационных причин отклонений [4, с. 80–91].

3. Показано, что прогнозирование ветровой активности и мощности является обязательным элементом цифрового мониторинга: прогноз заранее формирует

ожидания по выработке, поддерживает планирование режимов и обслуживания и тем самым влияет на устойчивость экономического результата [6, с. 56–66].

4. На примере сравнения Ростовской и Иссык-Кульской областей показано, что различия ландшафта, ветровых характеристик и социально-экономических ограничений требуют разных стратегий развития ветроэнергетики: для территорий с устойчивым ветровым потенциалом оправдана масштабная генерация, для территорий с ограниченными ветровыми условиями целесообразны решения, ориентированные на меньшие скорости ветра и комбинирование с другими источниками энергии [5].

5. С точки зрения риск-менеджмента методика переводит климатическую неопределенность в управляемые сценарии финансового результата. Это повышает качество внутрифирменного и стратегического планирования и упрощает сопоставление управленческих альтернатив по экономическому эффекту [4, с. 80–91; 7, с. 338–347].

В целом результаты, опубликованные в статьях авторов [4–6], формируют доказательную основу для интеграции в настоящей статье:

- экономико-климатической цифровой модели мониторинга;
- интегральной методики технико-экономической оценки и сравнения проектов;
- адаптивного контура управления режимами на основе прогноза и анализа структуры выработки.

Обсуждение

Предложенная методика решает задачу «сквозной управляемости» экономических показателей ветроэнергетики, а именно:

1. Прозрачность причин отклонений: климатическая структура ветра отделяется от эксплуатационных факторов.

2. Сопоставимость план-факт анализа: расчетные NPV/IRR/LCOE приводятся к наблюдаемым условиям.

3. Риск-ориентированное планирование: сценарии ветра превращаются в сценарии финансового результата.

4. Управление ОПЕХ: решения по режимам и обслуживанию оцениваются по экономическому эффекту.

На уровне отрасли это усиливает инвестиционную дисциплину: при росте глобального рынка ветроэнергетики предприятиям и инвесторам требуется единый инструментарий сопоставления проектов и контроля эффективности.

Гибридная возобновляемая энергетика способна внести значительный вклад в решение социальной проблемы энергообеспечения децентрализованных районов России, на долю которых приходится до 70 % территории страны с населением до 20 млн человек [1].

Научная новизна предложенного решения выражается в комплексном объединении экономико-климатического мониторинга, интегральной технико-экономической методики и алгоритма адаптивного управления режимами эксплуатации

Заключение

В настоящее время стоимость электрической энергии, получаемой из Единой энергетической системы России, для многих промышленных потребителей приближается к стоимости энергоснабжения от собственных генерирующих мощностей с учетом стоимости их строительства, что задает тренд к развитию распределенной



Три источника энергии

Источник: Shutterstock.com

генерации и уходу промышленности от централизованного энергоснабжения. Очевидный рост тарифов на электрическую и тепловую энергию приводит к тому, что предприятия-потребители задумываются о собственной генерации.

В представленном исследовании авторами достигнуты следующие результаты:

- разработан инструмент оценки и повышения эффективности хозяйственной деятельности промышленных предприятий;
- предложены решения по повышению энергетической эффективности при ис-

пользовании альтернативных источников энергии;

- сформирован цифровой инструмент внутрифирменного и стратегического планирования.

Научная новизна предложенного решения выражается в комплексном объединении экономико-климатического мониторинга, интегральной технико-экономической методики и алгоритма адаптивного управления режимами эксплуатации, что обеспечивает управляемость экономических показателей ветроэнергетики в условиях изменчивости ветрового ресурса.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ветроэнергетика в России: статистика установленной мощности (официальные отраслевые данные) // Ассоциация развития возобновляемой энергетики: сайт. URL: <https://rreda.ru>.
2. Зиновьева Е. В., Ледуховский Г. В., Шувалов С. И. Техничко-экономические показатели энергокомплекса при использовании ветроэнергетических установок для покрытия собственных нужд ТЭЦ // Вестник ИГЭУ. 2024. Вып. 5. С. 14–20. DOI 10.17588/2072-2672.2024.5.014-020.
3. Мокаев А. Р., Носков М. Ф., Курленко К. П. Перспективность использования гибридных энергетических комплексов на базе возобновляемых источников энергии // Успехи современного естествознания. 2023. № 7. С. 97–102.
4. Мокшин М. Ю., Путилов А. В. Оценка эффективности ветроэнергетики при проектировании с использованием алгоритмического моделирования // Энергетическая политика. 2023. № 12(191). С. 80–91.
5. Мокшин М. Ю., Путилов А. В. Анализ потенциала ветрогенерации в Ростовской и Исык-Кульской областях // Материалы научной конференции (сборник РИНЦ). 2025.
6. Мокшин М. Ю., Путилов А. В., Римская О. Н. Исследование методов и моделей прогнозирования мощности ветроэнергостанций // Энергетическая политика. 2025. № 2(205). С. 56–66.
7. Мокшин М. Ю., Путилов А. В., Римская О. Н. Рынок ветроэнергетики в России и за рубежом: проблемы и перспективы развития // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2024. Т. 15, № 4. С. 338–347. DOI 10.17747/2618-947X-2024-4-338-347.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 28.05.2013 № 449 (ред. от 04.04.2025) «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499023293>.
9. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.04.2025 № 908-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1312459681>.
10. GWEC. Global Wind Market Outlook 2025 (Q3 update): industry forecast raised to 150 GW for 2025. Global Wind Energy Council. 2026.
11. IEC 61400-25 (серия стандартов). Communications for monitoring and control of wind power plants. International Electrotechnical Commission.
12. IRENA. Renewable Capacity Highlights 2025. International Renewable Energy Agency. 2025.
13. SO 13374 (серия стандартов). Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation. International Organization for Standardization.
14. WWEA: мировая ветроэнергетика ускорила рост в первой половине 2025 года // Информационный портал по «зеленой» энергетике QazaqGreen. URL: <https://qazaq-green.com/news/world/3146>.

«Россети Ленэнерго» — 140 лет надежной работы



Работа сотрудников «Россети Ленэнерго»
Источник: «Россети»

Иван СПАССКИЙ
Обозреватель
«Энергетической политики»

Старейшей энергетической компании России — «Россети Ленэнерго» — 16 июля 2026 года исполнилось 140 лет. Именно в этот день в 1886 году император Александр III подписал устав «Общества электрического освещения», положив начало истории всей отечественной электроэнергетики.

В том же году инженер Василий Пашков спроектировал и открыл одну из первых в России наземных электростанций во внутреннем дворе Зимнего дворца — объект, который по сей день носит название «Электродвор». На протяжении 15 лет она оставалась крупнейшей в Европе. В 1890 году

станция переменного тока заработала в Царском селе, которое стало первым населенным пунктом в Европе с полным электрическим освещением улиц. В последующие годы были построены еще несколько электростанций.

После 1917 года предприятие было национализировано и неоднократно меняло названия. В 1920-м был утвержден план ГОЭЛРО, а 19 декабря 1926 года состоялся запуск Волховской ГЭС — одного из первых объектов плана, на тот момент самой мощной гидроэлектростанции в Европе. Производимая ею энергия передавалась в Ленинград по двум 130-километровым линиям,



Гидроэлектростанция на реке Волхов,
Ленинградская область
Источник: «Россети»



Барaban для кабеля, энергетики во время ВОВ
Источник: «Россети»



Первые ЛЭП эпохи ГОЭЛРО
Источник: «Россети»

крупнейшим в стране по протяженности. Именно тогда сформировалась ленинградская энергосистема, появились первые ЛЭП напряжением 110 кВ и диспетчерская служба. В 1932 году компания получила имя «Ленэнерго», под которым работала долгие десятилетия.

Особой страницей в истории «Ленэнерго» стал подвиг энергетиков в годы Великой Отечественной войны. Блокада Ленинграда началась в 1941 году. Именно тогда оборвалась связь Волховской ГЭС с Ленинградом. Остановились трамваи и троллейбусы, в домах исчезли электрический свет и тепло. Электроэнергии хватало

только для госпиталей и хлебозаводов. После разгрома фашистов под Волховом было принято решение о прокладке кабельных линий по дну Ладожского озера, чтобы возобновить подачу электроэнергии в осажденный город.

За 48 дней, под постоянными бомбежками и артобстрелами, специалисты «Ленэнерго» проложили пять нитей «Кабеля жизни». 23 сентября 1942 года энергетическая блокада Ленинграда была прорвана.

После Победы в Великой Отечественной войне инфраструктура была восстановлена в кратчайшие сроки, и уже к 1950 году «Ленэнерго» превысило довоенные



Один из первых советских ситуационных центров энергосистемы Ленинграда

Источник: «Россети»

показатели работы. В 1970-х полностью завершилась электрификация всех населенных пунктов Ленинградской области. Параллельно началась комплексная автоматизация процессов и внедрение телемеханизации управления — многие решения, опробованные в Ленинградской энергосистеме, впоследствии масштабировались на всю страну.

Сегодня «Россети Ленэнерго» — крупнейшая электросетевая компания Северо-

Запада. В ее структуру входят девять филиалов, а общая численность персонала составляет почти 9 тыс. человек. Производственные активы насчитывают более 33 тыс. подстанций и свыше 90 тыс. км линий электропередачи. Предприятие обеспечивает электроснабжение двух стратегически значимых регионов — Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Как отметил в июле глава Группы «Россети» Андрей Рюмин, масштаб работы ком-



Диспетчерский центр постсоветской России

Источник: «Россети»



ЛЭП Ленинградской области
Источник: «Россети»

пани постоянно растет, увеличиваются вложения в развитие энергосистемы. Планируется, что за ближайшие пять лет объем инвестиций составит почти 340 млрд руб. Это позволит создать новые высокотехнологичные подстанции, модернизировать сети и обеспечить условия для реализации мегапроектов — строительства первой в России высокоскоростной железнодорожной магистрали, курорта «Санкт-Петербург Марина» и нового разводного моста через Неву.

За последние годы «Россети Ленэнерго» возвели и модернизировали крупные распределительные подстанции и линии электропередачи, обеспечили электроснабжение жилых комплексов и предприятий, а также знаковых объектов, включая «Лахта Центр», самый высокий небоскреб в Европе, и концертный зал Государственного академического Мариинского театра.

Кроме того, генеральный директор ПАО «Россети Ленэнерго» Игорь Кузьмин в интервью Business FM заявил, что компания сосредоточится на работе по повышению



Сотрудники «Россети Ленэнерго»
Источник: «Россети»

надежности всех потребителей и созданию резерва мощности. «Мы планируем провести реконструкцию ряда центров питания в Колпинском, Адмиралтейском, Фрунзенском, Красногвардейском, Приморском районах Санкт-Петербурга. Помимо этого, мы продолжаем работу по созданию сети, которая позволяет полностью забыть о перерывах электроснабжения. Эта кропотливая работа требует серьезных вложений как в реконструкцию распределительной сети, так и в связь между центрами питания», — рассказал И. Кузьмин.

Угольная промышленность Иркутской области – перспективы развития

The Coal Industry of the Irkutsk Region – Development Prospects

Людмила ТАКАЙШВИЛИ
Старший научный сотрудник Института
систем энергетики им. Л. А. Мелентьева
СО РАН,
к.т.н.
E-mail: luci@isem.irk.ru

Ludmila TAKAISHVILI
Senior Researcher, Melentiev Energy System
Institute Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences, Candidate of Technical
Sciences
E-mail: luci@isem.irk.ru

Анатолий КОРНЕЕВ
Ведущий специалист Института систем
энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН
E-mail: korn@isem.irk.ru

Anatoly KORNEEV
Senior Researcher, Melentiev Energy System
Institute Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences
E-mail: korn@isem.irk.ru

Елена СТЕПАНОВА
Старший научный сотрудник Института
систем энергетики им. Л. А. Мелентьева
СО РАН,
к.т.н., доцент
E-mail: step@isem.irk.ru

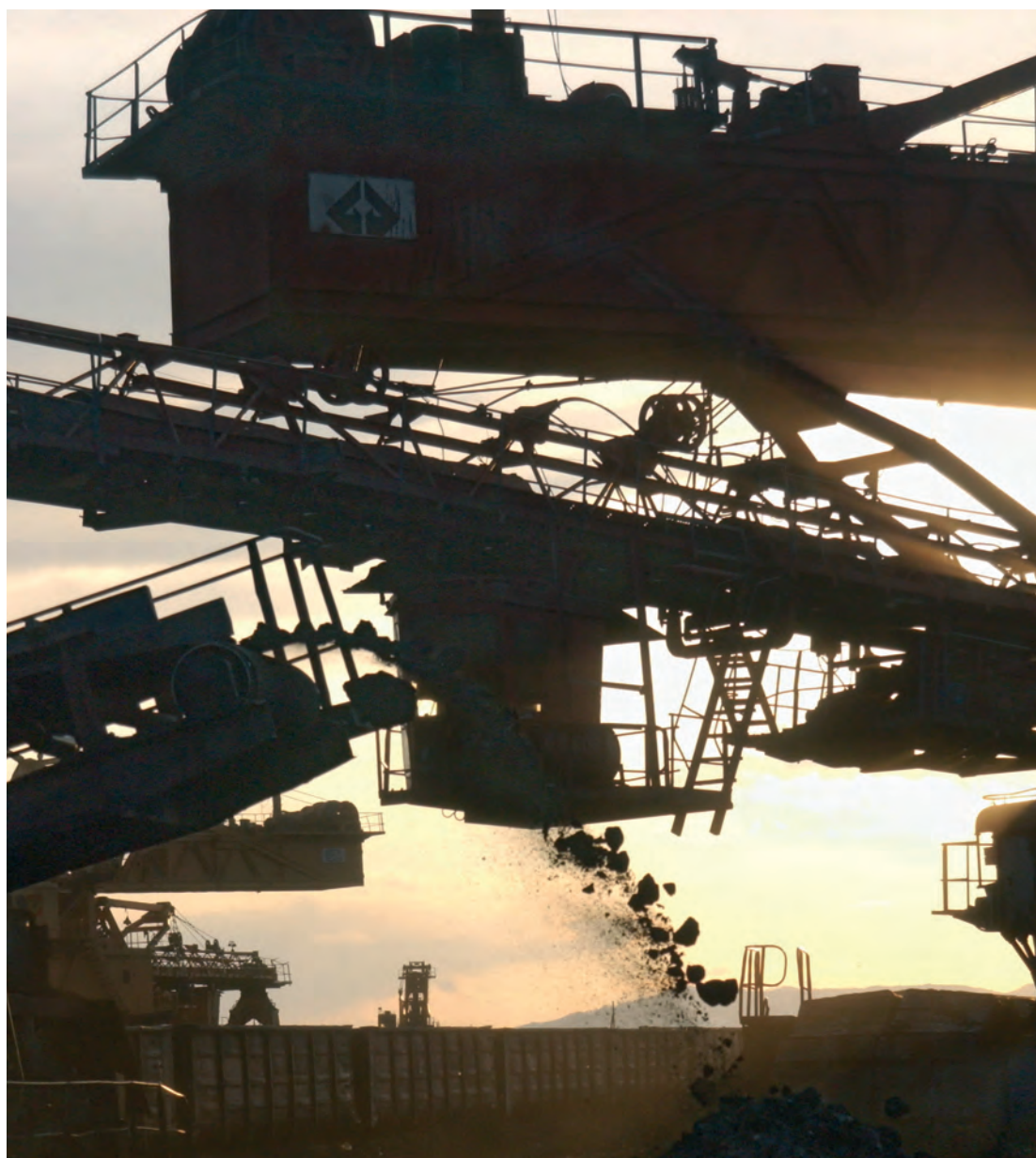
Elena STEPANOVA
Senior Researcher, Melentiev Energy System
Institute Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor
E-mail: step@isem.irk.ru

Аннотация. В статье дается характеристика современного состояния угольной отрасли Иркутской области. Рассматриваются перспективы ее развития в зависимости от сценариев и прогнозов развития экономики и энергетики области. Представлены прогнозные показатели потребления угля на территории области, поставок на внешние рынки и общей добычи. Выполнен анализ рисков, связанных с пространственным и социально-экономическим развитием отрасли, и предложены меры по их преодолению.

Ключевые слова: Иркутская область, угольная промышленность, добыча, потребление, экспорт, сценарии, прогнозы

Annotation. This article provides an overview of the current state of the coal industry. Its development prospects are examined based on scenarios and forecasts for the region's economic and energy sector development. Projected indicators for coal consumption in the region, export supplies, and total production are presented. An analysis of the risks associated with the spatial and socio-economic development of the industry was carried out, and measures to overcome them were proposed.

Key words: Irkutsk Oblast, coal industry, production, consumption, export, scenarios, forecasts



Добыча угля Источник: ТАСС

Введение

Угольная промышленность Иркутской области является одной из базовых отраслей в экономике области наряду с лесопромышленным комплексом, гидроэнергетикой, добычей полезных ископаемых, таких как золото и нефть, производством алюминия и нефтехимической продукции и др. По объему запасов угля (14,7 млрд тонн) Иркутская область занимает третье место после Кемеровской области (120,9 млрд тонн) и Красноярского края (67,9 млрд тонн), а по объемам добычи – шестое [1]. Угольная промышленность играет важную роль в формировании регионального ТЭК, она почти полностью покрывает внутренние потребности в топливе на производство тепловой и электрической энергии. Одним из препятствий развития отрасли является инфраструктурная разреженность, препятствующая освоению ресурсов не только угля, но и других полезных ископаемых. В последнее десятилетие развитие угольной отрасли было сопряжено с рядом неблагоприятных факторов, таких как снижение общих темпов экономического развития страны и региона и др. К факторам, которые будут действовать и в дальнейшем, присоединяется имеющий более политическую, чем экономическую основу курс государства по декарбонизации экономики¹.

Исходя из современного состояния и предстоящих вызовов, весьма актуальным является анализ наиболее значимых проблем перспективного развития угольной отрасли с позиций надежности энергоснабжения производственной сферы и поддержания жизнедеятельности населения и социальной стабильности.

Горизонт прогнозирования соотносится со сроками, определенными в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года².

¹ Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fW032e2yA0BhtlpyzWfHaiUa.pdf>.

² Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года URL: <http://static.government.ru/media/files/LWYfSENa10uBrrBoyLQqAAQj5eJYIA60.pdf>.



Погрузка угля
Источник: Shutterstock.com

Таблица 1. Характеристики углей Иркутского угольного бассейна

Год	Запасы на 01.01 категорий, млрд тонн		Доля в запасах РФ, %	Качество углей			Добыча, млн тонн
				Содержание, %		Теплота сгорания, МДж/кг	
	А+В+С ₁	С ₂		зола	сера		
2007	7,8	6,1	5,1	12–25,6	0,4–3,4	15,0–31,0	9,5
2015	7,6	4,6	4,6	7–15	1,5–5	17,6–22,6	10,6
2021	7,3	4,1	4	12–35	0,4–7,8	10,0–25,0	11,1
2023	7,6	4,7	4	7,0–41,0	0,3–7,8	8,0–17,0	14,5

Источник: [1]

Угольная промышленность и ее современное состояние

Ресурсы угля для развития отрасли условно можно разделить на ресурсы для внутреннего потребления, преимущественно для энергетики, и для экспорта. Обеспеченность внутреннего потребления угля его балансовыми запасами категорий А+В+С₁ является весьма высокой и составляет более 500 лет, а для востребованных марок угля экспортного качества – значительно ниже [2]. В особенности это касается промышленных запасов действующих предприятий.

Основные объемы добычи угля приходятся на крупные месторождения Иркутского угольного бассейна, расположенные вдоль железнодорожной магистрали, основной инфраструктурной артерии области: Азейское, Мугунское и Черемховское, где разработки ведутся уже более 100 лет. В первую очередь отрабатывались участки недр, лучшие по разным характеристикам. Это повлекло за собой ухудшение качественных показателей угля, добываемого в настоящее время (табл. 1).

Ухудшение теплоты сгорания и других характеристик в большей мере касается бурых углей. Анализ динамики изменения качественных характеристик угля позволяет прогнозировать дальнейшее их ухудшение. Рост объемов добычи сопровождался сокращением суммарных балансовых запасов угля и доли иркутских углей в запасах Российской Федерации.

Для угольной отрасли Иркутской области характерно наличие большого количе-

ства разобщенных предприятий малой мощности и предприятий достаточно большой мощности (либо самостоятельных, либо входящих в состав компаний), где добыча угля не является основным видом деятельности. Состав предприятий малой мощности, разрабатывающих относительно небольшие месторождения угля, нестабилен: предприятия создаются и ликвидируются по разным причинам, в том числе в связи с исчерпанием запасов месторождений. Практически все предприятия являются многопрофильными, и добыча угля представляет один из видов деятельности.

Угольная промышленность Иркутской области – это более 4 тыс. рабочих мест и более 12 тыс. человек, занятых с учетом смежных видов деятельности, связанных с добычей угля³. Основные объемы добычи приходятся на Тулунский и Черемховский муниципальные округа. При этом в Тулунском муниципальном округе доля угля в денежном выражении, по данным Росстата, в позиции «Отгружено товаров собственного производства...» составляет свыше 80 %⁴, что свидетельствует о жесткой зависимости социально-экономического состояния округа от функционирования угледобывающих предприятий.

Добыча угля в Иркутской области имеет тенденцию к росту (табл. 1), обусловленную в основном ростом экспортных поставок [3]. Поставки на экспорт с 2015 года к 2023-му возросли почти в 3 раза и составили в общем объеме поставок угля 21 % [3]⁵. Основными потребителями иркутских преимущественно бурых углей являются

³ Федеральная служба государственной статистики. Среднегодовая численность работников организаций с 2017 года по видам экономической деятельности. URL: <https://38.rosstat.gov.ru/folder/173488>.

⁴ Федеральная служба государственной статистики. Показатели, характеризующие состояние экономики и социальной сферы муниципального образования. URL: https://rosstat.gov.ru/scripts/db_inet2/passport/pass.aspx?base=munst25&r=25638000.

⁵ Формы статистической отчетности «Остатки, поступление и расход топлива» РФ за соответствующие годы.



Экспорт угля

Источник: ТАСС

объекты энергетики области. На экспорт поставляются каменные угли малых месторождений и обогащенный каменный уголь Черемховского месторождения. Импортёрами иркутских углей являются Китай (от 50 % и более объемов экспорта), Тайвань, Япония, Южная Корея и другие страны Тихоокеанского региона.

В потреблении топлива в области доля угля составляет около 80 % (в отличие от России в целом, где эта доля не превышает 20 %⁶).

Преимущественно благодаря углю, добытому в области (местному), население и социально-экономическая деятельность области обеспечиваются теплоэнергией от ТЭЦ и котельных. Несмотря на то, что около 70 % выработки электроэнергии обеспечивают ГЭС Иркутской области, ТЭЦ играют очень важную роль, компенсируя колебания выработки электроэнергии ГЭС,

обусловленные климатическими факторами.

Стабильное развитие угольной отрасли Иркутской области обеспечивалось ростом поставок на внешний рынок и устойчивым внутренним спросом на местные угли. Среднегодовые темпы роста инвестиций за рассматриваемый период (табл. 2) составляли 111 %, благодаря чему неуклонно росла добыча угля и связанные с ней финансовые показатели. Валовой выпуск продукции увеличился почти в 2,5 раза, а его среднегодовые темпы роста составили 113,8 %, в то время как по выпуску продукции в целом по Иркутской области этот показатель составлял всего 102,6 %. Стабильно росли доходы в угледобыче, среднегодовой темп роста валовой прибыли был также на уровне темпа роста валового выпуска продукции.

Таблица 2. Динамика основных финансовых показателей по итогам деятельности угольной промышленности Иркутской области, млрд руб.

Показатель*	Год					2023/2016
	2016	2020	2021	2022	2023	
Инвестиции	0,83	0,82	2,6	1,1	1,7	2,08
Выпуск продукции	14,6	25,2	30,9	32,6	36,1	2,46
Валовая добавленная стоимость	7,3	12,7	15,5	16,3	18,0	2,47
Валовая прибыль	5,1	8,8	10,7	11,3	12,5	2,47

* Стоимостные показатели приведены в сопоставимых ценах 2023 года.

Источники: Регионы России. Социально-экономические показатели. 2025: статистический сборник. Росстат. М., 2025. 1035 с.; Показатели системы национальных счетов Иркутской области. 2024: статистический сборник. Иркутстат. Иркутск, 2025. 37 с.

⁶ ИМИСС. Расход условного топлива на электростанции и котельной, по видам топлива. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/62004>.

В условиях предстоящей мировой трансформации структуры потребления и добычи энергетических ресурсов, связанной с процессами декарбонизации в энергетике и другими факторами, дальнейшее развитие угольной отрасли может быть сопряжено с рядом объективных рисков и высокой неопределенностью будущего экономического развития области.

Сценарии и прогнозы развития экономики, энергетики Иркутской области

Прогнозирование развития угольной промышленности основано на сценарном подходе, позволяющем учитывать неопределенность будущих условий через вариативные сочетания ключевых факторов, включая возможности замещения угольного топлива, ресурсную обеспеченность, требования надежности энергоснабжения и логистические ограничения. В качестве основных выбраны два сценария развития экономики и энергетики Иркутской области: консервативный и инновационный (табл. 3), согласованные с правительственными прогнозами социально-экономического развития региона. Оценка макроэкономических показателей на период с 2036 по 2050 год выполнена в увязке с долгосрочными прогнозами развития страны, сформированными с учетом современных вызовов и перспектив.

Консервативный сценарий предполагает сохранение существующей модели развития с опорой на экстенсивный рост добывающей промышленности и металлургии. Газификация региона остается на низком уровне, вследствие чего потребности в топливе для генерации тепла и электроэнергии покрываются преимуще-

Развитие угледобычи в Иркутской области обусловлено наличием значительных запасов, стабильностью спроса в энергетике, отработанной схемой поставок и отсутствием зависимости от импорта

ственно углем. Среднегодовые темпы роста валового регионального продукта (ВРП) составляют около 102,5 %. К 2050 году прогнозируется сокращение численности населения относительно уровня 2022 года при увеличении общей жилой площади на 48 %, включая индивидуальное

Таблица 3. Основные перспективные социально-экономические показатели развития Иркутской области

Показатель	Ед. изм.	Год					
		Факт	Оценка	Прогноз			
		2022	2025	2030	2033	2036	2050
Консервативный сценарий							
ВРП в ценах 2022 года	млрд руб.	2356,8	2449	2786	3002	3221	4778
Среднегодовой индекс ВРП	%	104,3	102,0	102,8	102,5	102,4	102,9
Численность населения	тыс. чел.	2353,9	2304,5	2238	2188	2139	2040
Общая жилая площадь	млн м²	62,0	65	71	74	77	92
Инновационный сценарий							
ВРП в ценах 2022 года	млрд руб.	2356,8	2490	2968	3278	3617	6390
Среднегодовой индекс ВРП	%	104,3	103,5	103,6	103,2	103,0	104,0
Численность населения	тыс. чел.	2353,9	2315,0	2390	2395	2400	2440
Общая жилая площадь	млн м²	62,0	66	72	79	85	117

Источник⁷: [4]; оценки авторов

⁷ Стратегия социально-экономического развития Иркутской области на период до 2036 года, утв. законом Иркутской области от 10 января 2022 года № 15-ОЗ; Прогноз социально-экономического развития Иркутской области на 2025 год и плановый период 2026 и 2027 годов.

жилье, что требует не только электроотопления, но и обеспечения энергией за счет использования других видов топлива, в том числе угля, а в перспективе газа.

Инновационный сценарий предусматривает реализацию заданных приоритетных направлений развития области:

- модернизацию существующих и строительство новых промышленных предприятий на новой технологической основе;
- обеспечение устойчивого экономического роста;
- проведение широкой газификации потребителей энергоресурсов в регионе, а также переход на технологии с низким уровнем выбросов парниковых газов.

Среднегодовые темпы роста ВРП по инновационному сценарию составят при-

мерно 103,5 %. Сценарий характеризуется ростом населения области. Общая жилая площадь к 2050 году возрастает почти в 2 раза (табл. 3), что влечет за собой значительное увеличение расхода топлива. По данному сценарию, предусматривающему широкую газификацию области, уголь в значительной мере будет замещаться газом. Более дорогое газовое топливо приведет к увеличению издержек, тарифов, валового выпуска продукции, валовой добавленной стоимости в электроэнергетике и, соответственно, к увеличению ВРП. В 2036 году ВРП возрастет в 1,6, а к 2050-му – в 2,8 раза.

На основании прогноза перспектив социально-экономического развития Иркутской области (табл. 2) выполнен прогноз энергопотребления (табл. 4).

Таблица 4. Прогноз конечного потребления по видам энергетических ресурсов

Показатель	Год			
	Факт	Прогноз		
	2022	2030	2036	2050
Консервативный сценарий				
Энергопотребление, всего, тыс. т у.т.	18885	25248	25667	30363
Уголь	370	380	398	415
Газ	3049	6520	6027	8053
Нефтепродукты	3411	3430	3669	3771
Прочее топливо	315	301	285	248
Электрическая энергия	6680	9162	9461	11572
Тепловая энергия	5058	5454	5827	6305
Инновационный сценарий				
Энергопотребление, всего, тыс. т у.т.	18885	27793	32196	37237
Уголь	370	392	405	394
Газ	3049	7418	10105	11340
Нефтепродукты	3411	3501	3744	3849
Прочее топливо	315	297	280	241
Электрическая энергия	6680	10386	11403	14031
Тепловая энергия	5058	5800	6259	7382

Разрез «Черемховуголь», Иркутская область

Источник: invest.admcher.ru



В обоих сценариях рост выработки электрической и тепловой энергии обеспечивается: на электростанциях – за счет имеющегося резерва электрической и тепловой мощности на некоторых ТЭС Иркутской области, модернизации существующего оборудования и ввода новых энергоблоков; в конечном потреблении топлива – за счет роста потребления газа при относительно стабильном потреблении угля.

Прогноз потребности в угле

В соответствии с социально-экономическими сценариями развития области и прогнозом энергопотребления получена потребность в угле (табл. 5).

Прогнозирование потребления угля ТЭС Иркутской области проводилось для каждой электростанции в соответствии с требуемыми электрическими и тепловыми нагрузками. Так как потребность в энергии возрастает к 2050 году в обоих сценариях, для ее покрытия рассматривались варианты задействования имеющегося резерва электрической и тепловой мощности на ряде ТЭС, возможности модернизации оборудования, в том числе мероприятия, повышающие КПД установок и обеспечи-

Уголь останется основным видом топлива Иркутской области, потребление которого может быть квалифицировано как «неотвратимое и вынужденное» в целях обеспечения энергетической безопасности региона

вающие некоторое сокращение расхода топлива, вводов новых конденсационных энергоблоков, строительства на территории ТЭЦ водогрейных котлов, покрывающих дефицит тепловой энергии в населенных пунктах. Несмотря на отсутствие в настоящее время в директивных документах планирования⁹ вариантов строительства новой угольной ТЭС, такие варианты тоже анализировались, так как нельзя исключать возможность корректировки документов в связи с гипотетической ситуа-

Таблица 5. Прогноз потребности в угле, млн т у.т.

Показатель	Год			
	Факт	Прогноз		
	2022	2030	2036	2050
Консервативный сценарий				
Потребление, всего, в том числе:	8,75	13,66	16,88	20,70
ТЭС	7,62	12,55	15,74	19,65
Котельные	0,76	0,72	0,74	0,64
Конечное потребление	0,37	0,38	0,40	0,41
Инновационный сценарий				
Потребление, всего, в том числе:	8,75	15,47	9,84	11,05
ТЭС	7,62	14,28	8,96	10,08
Котельные	0,76	0,80	0,47	0,58
Конечное потребление	0,37	0,39	0,40	0,39

Источник: расчеты авторов⁸

⁸ Распоряжение губернатора Иркутской области от 22 декабря 2025 года № 500-р «Об основных положениях результатов научно-исследовательской работы "Энергетическая стратегия Иркутской области на период до 2036 года с целевым видением на перспективу до 2050 года" и признании утратившими силу отдельных распоряжений Правительства Иркутской области». URL: <https://www.ogirk.ru/pravo/archives/law/379219>.

⁹ Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации № 4153-р от 30.12.2024; Схема и программа развития электроэнергетических систем России на 2025–2030 годы, утв. приказом Минэнерго России № 2328 от 29.11.2024.

цией глубокого дефицита электрической энергии в области. Кроме того, параметры реализации проекта АЭС в Иркутской области будут уточнены при актуализации Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2042 года, с учетом возможных альтернативных решений, предусматривающих сооружение генерирующего оборудования другого типа.

При прогнозировании потребления угля также учитывалась следующая информация. На ТЭС Иркутской области сжигаются угольные смеси, в состав которых входит от одного до семи марок угля с преобладанием бурых углей – до 80 %. Среди углей, добываемых в Иркутской области, преобладает мугунский (35 %), примерно равные доли (15–17 %) приходятся на азейский (бурый) и черемховский (каменный). Предусмотрена также возможность замены угля Азейского месторождения, запасы которого ограничены, на угли Мугунского месторождения. Около 21 % в структуре потребления занимают привозные бурые угли из Красноярского края.

Рост потребления угля в консервативном сценарии к 2030 году и далее обусловлен вводом энергоблоков угольных

**Несмотря на то, что около 70 %
выработки электроэнергии
Иркутской области обеспечивают
ГЭС, ТЭЦ играют очень важную
роль, компенсируя колебания
выработки электроэнергии на
гидростанциях**

ТЭЦ и сооружением угольной ТЭЦ. Сокращение потребления угля в инновационном сценарии за пределами 2030 года предполагается за счет ввода в эксплуатацию газовых ТЭЦ и перевода некоторых котельных и блоков электростанций на газ – при условии появления ресурсов газа для развития энергетики. Соответственно, доля угля в обеспечении ТЭЦ топливом сократится с 80 % в 2036 году до 40 % к 2050-му. Доля угля в конечном

Транспортировка угля по железной дороге

Автор: Михаил Дышлюк, ЭП





Добыча угля. Тулун, Иркутская область

Источник: vnedra.ru

энергопотреблении составляла в 2022 году 2 %. К 2050-му эта доля снизится в консервативном сценарии до 1,4 %, в инновационном – до 1,1 %. Что будет происходить в основном за счет замещения угля газом, прежде всего для отопительных нужд населения.

Рассматривался также вариант строительства АЭС на территории области. По важнейшим сравнительным критериям он не является конкурентоспособным проектом относительно угольной генерации. Инвестиционные затраты на кВт мощности АЭС превышают аналогичный показатель по ТЭС в 2–4 раза, сроки строительства –

в 2–3 раза, себестоимость производимой на них электрической энергии находится примерно на одном уровне. Кроме того, атомная станция в высокосейсмичной природно-байкальской зоне может нести гораздо большую относительно ТЭС экологическую угрозу.

Прогноз ввоза (импорта) углей

В настоящее время действующие угледобывающие предприятия области полностью могли бы обеспечить внутренние потребности в твердом топливе, но на электростанции северных районов области по экономическим и технологическим причинам завозятся бурые угли из Красноярского края, в небольшом количестве на котельные и прочим потребителям – каменные угли из других регионов при сокращении их доли к 2050 году.

В консервативном сценарии ввоз угля из Красноярского края в период с 2036 по 2050 год возрастет на 1,1 млн тонн, или на 30 %, по сравнению с 2022 годом. Сокращение ввоза угля в инновационном сценарии к 2036 году связано с переводом на газ отдельных ТЭЦ. Последующий незначительный рост ввоза угля обусловлен вводом новых угольных блоков на существующих электростанциях.

Сложная геополитическая ситуация привела к высокой зависимости угольной отрасли от импорта оборудования и запасных частей, что сказалось на старении основных фондов и росте себестоимости добычи

Добыча угля

Объемы добычи для поставок на внутренний рынок рассчитывались исходя из прогнозируемых объемов потребления в области и поставок в регионы России, которые для всех сценариев остаются в перспективе примерно на уровне 2022 года (рис. 1). Оценка возможной добычи для экспорта угля выполнена с учетом производственных мощностей предприятий, обеспеченности запасами угля действующих предприятий, планов крупных компаний по увеличению объемов экспорта, компенсирующих выбытие мощностей малых предприятий. Потенциальные возможности экспорта иркутских углей составляют, по данным угольных компаний, более 40 млн тонн. В прогнозе экспорта представлена оценка возможных объемов вывоза с учетом ограничений транспортной инфраструктуры. Инновационный сценарий учитывает возможность ввода в эксплуатацию нового предприятия на Вознесенском угольном месторождении. В этом сценарии объемы экспорта возрастут по сравнению с 2022 годом к 2050-му на 3,8 млн тонн, а в консервативном – на 0,4 млн тонн. Учитывались также перспективы развития переработки угля на

Внедрение очистки угля перед сжиганием на ТЭЦ позволяет стабилизировать качество, снизить транспортные расходы, уменьшить износ оборудования, продлить его ресурс, повысить тепловую мощность и сократить долю балласта

существующей Касьяновской обогатительной фабрике, преимущественно для экспортных поставок.

Основной рост добычи угля приходится на Мугунское бурогольное месторождение: в консервативном сценарии он увеличится к 2050 году на 21,1 млн тонн, а в инновационном – на 10,7 млн тонн по сравнению с 2022 годом, что связано с ростом потребления угля на электростанциях.

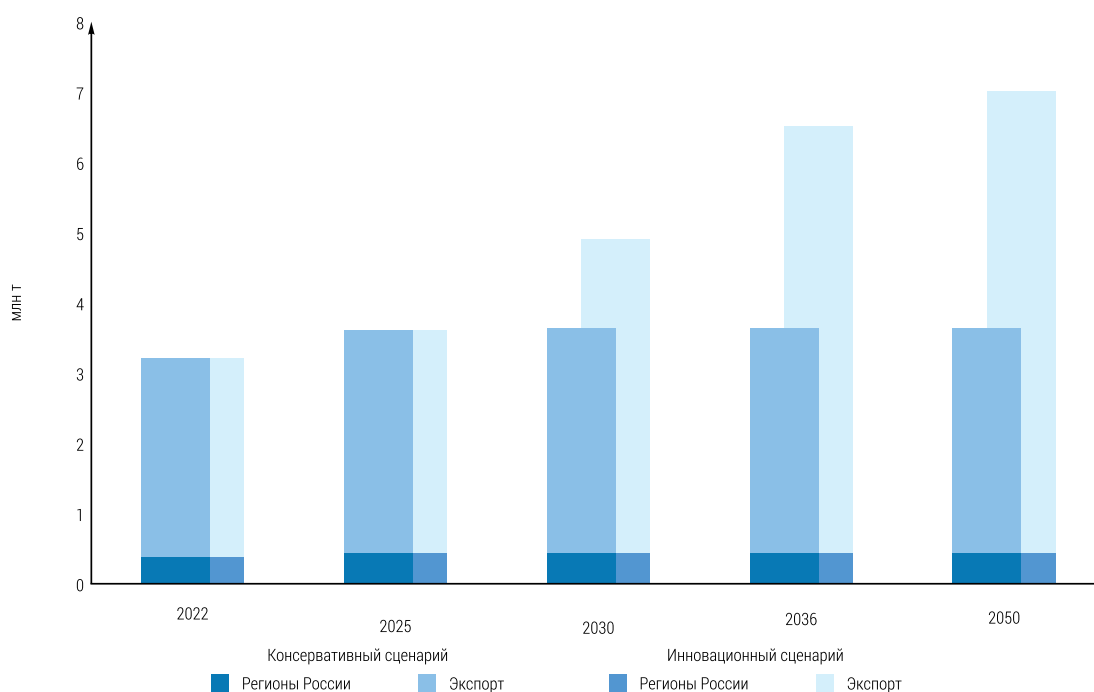


Рис. 1. Вывоз угля за пределы области

Сокращение объемов добычи в инновационном сценарии к 2036 году по сравнению с 2030-м происходит за счет снижения добычи также на Мугунском месторождении. Рост объемов добычи каменного угля в консервативном и инновационном сценариях к 2050 году на 1,7 млн и 3,4 млн тонн соответственно связан с развитием угледобычи на Черемховском и Вознесенском месторождениях, ориентированных на экспорт угля (рис. 2). Для 2025 года дана оценка возможных объемов добычи.

Потребность в буром угле для энергетики области в обоих сценариях должна покрываться преимущественно за счет роста добычи на Мугунском месторождении при сохранении объемов добычи на Азейском на уровне 2022 года. Потребность в каменном угле для внутреннего потребления и экспорта обеспечивается главным образом разработкой месторождений Головинское, Вознесенское, Жеронское, Тарасовское и Голуметская площадь, а также, в меньшей степени, прочих месторождений. Для покрытия перспективной потребности ТЭЦ области недостаточно существующих промышленных запасов распределенного фонда. Восполнение востребованных объемов добычи возможно за счет геологораз-

ведочных работ, направленных на перевод балансовых запасов месторождений в разрабатываемые и подготовленные к освоению промышленные. При отсутствии такой возможности для отдельных предприятий добыча прекращается по отработке запасов, что учитывается в прогнозных сценариях.

Проблемы, риски и меры по их преодолению

Развитие угольной отрасли в долгосрочной перспективе сопряжено с комплексом взаимосвязанных проблем, обусловленных как внутренними факторами (усложнение горно-геологических условий, дефицит кадров, износ основных фондов), так и внешними вызовами (сложная геополитическая ситуация, изменение конъюнктуры мировых энергетических рынков, политика декарбонизации, транспортные ограничения).

Условия отработки месторождений – горно-геологические, гидрологические (высокая обводненность, многолетняя мерзлота) – усложняются с отработкой наиболее привлекательных участков ме-

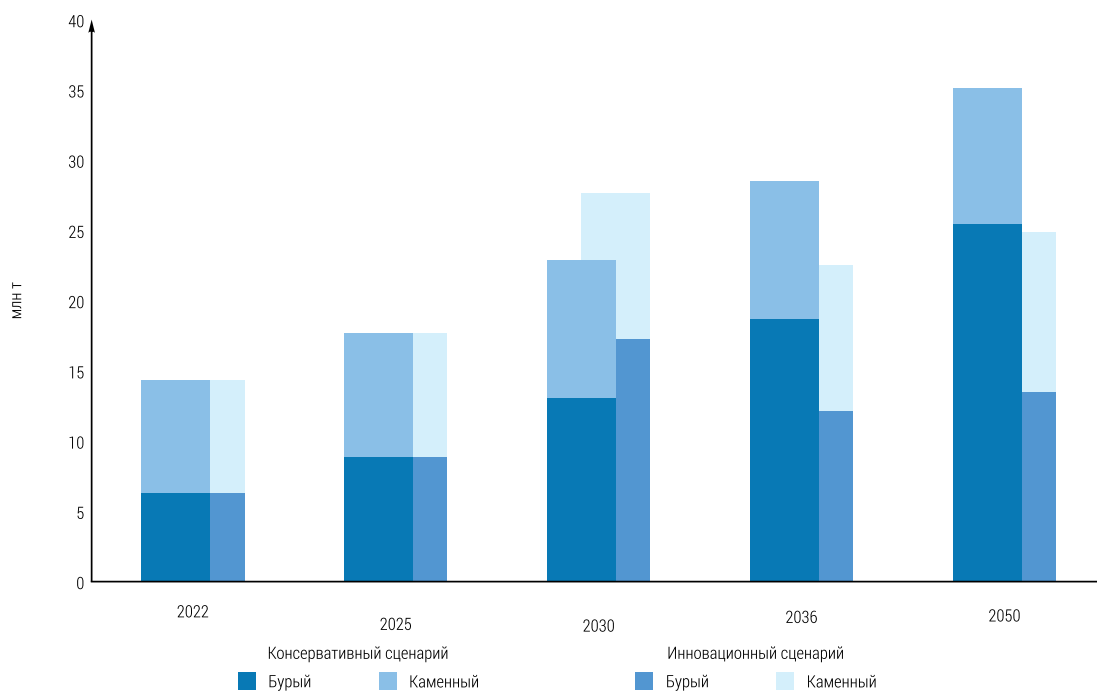


Рис. 2. Прогноз добычи угля по видам



Доставка угля Северным завозом

Источник: Depositphotos.com

сторождений, что влечет не только ухудшение качественных показателей, но и рост себестоимости добычи. Как показывают оценки экспертов, потеря мощности на 0,15 КПД приходится на каждый процент золы низкосортного топлива. Это влечет за собой потребность в дополнительном топливе, кроме того, остановку для ремонта оборудования дополнительно на 65 часов в год, рост расхода электроэнергии на собственные нужды и повышение капитальных затрат [5]. Дополнительные расходы находят отражение в себестоимости производства кВт·ч энергии. Могут ли эти затраты быть исключены при использовании обогащенного энергетического угля с учетом экологической составляющей? Ответ на этот вопрос можно получить только на основе комплексных расчетов, охватывающих все стадии жизненного цикла: добычу, обогащение, транспортировку, сжигание, утилизацию отходов и рекультивацию нарушенных земель с учетом социальных и экологических факторов. Внедрение очистки угля перед сжиганием на ТЭЦ позволяет стабилизировать качество топлива, снизить транспортные расходы, уменьшить коррозионный и эрозионный износ оборудования, продлить его ресурс, повысить тепловую мощность и сократить долю балласта [6]. Показательно, что

страны – импортеры российского угля ориентированы на приобретение высококачественного, преимущественно переработанного топлива либо рядового угля, соответствующего международным стандартам. Использование обогащенного угля представляет собой наиболее перспективное направление развития угольной энергетики, в том числе в силу того, что отечественное машиностроение пока не обеспечивает потребности отрасли в оборудовании для инновационных технологий сжигания.



Добыча угля открытым способом

Источник: Depositphotos.com



Иркутский уголь
Источник: leaducation.ru

Сложная геополитическая ситуация привела к высокой зависимости угольной отрасли от импорта оборудования и запасных частей [7–9], что сказалось на старении основных фондов и росте себестоимости добычи. На себестоимость добычи повлияли также рост цен на основные материалы, увеличение стоимости подрядных работ, удорожание заемных средств, лизинговых и других платежей, в том числе из-за возросшей ключевой ставки ЦБ относительно среднего уровня ставки 2021 года.

Проблемы обеспечения кадрами связаны с ростом потребности в угле (в 1,7 раза по инновационному сценарию и в 2,5 раза по консервативному) и требуют увеличения численности персонала не только в угольной отрасли, но и в социальной сфере, обеспечивающей достойный уровень жизни работникам и их семьям. В условиях уже сложившегося кадрового дефицита возрастает риск необеспеченности отрасли трудовыми ресурсами [8]. Стратегическими направлениями преодоления кадрового дефицита являются развитие сотрудничества с образовательными учреждениями и внедрение инновационных технологий, позволяющих сократить потребность в персонале [9].

Политика декарбонизации экономики диктует необходимость перевода на газ объектов энергетики, что нашло отражение в инновационном сценарии. Для внутреннего рынка угля при значительном снижении уровней добычи с 2030 года к 2036-му (почти на 5 млн тонн) могут возникнуть социально-экономические проблемы в угледобывающих регионах, обусловленные за-

висимостью от одной отрасли, рисками закрытия предприятий, ростом безработицы и другими негативными аспектами. Возможность учета данного риска, в особенности в моногородах Иркутской области Черемхово и Тулун, дает предварительная диверсификация экономики районов угледобычи с учетом международного опыта [10] и адаптации его к российским условиям.

На международном рынке угля конкуренцию иркутскому сырью составляли угли Кемеровской и Новосибирской областей, Хабаровского края, Якутии и Хакасии, а также монгольский и австралийский уголь, импорт которого в Китай возобновлен [11]. При доле КНР в экспорте иркутских углей от 50 % и более доля их в общем импорте в Китай составляла всего 3–4 % [2]. Учитывая интенсивное развитие в стране альтернативной энергетики, велик риск отказа от импорта иркутских углей.

Сокращение добычи диктует необходимость поиска альтернативных направлений использования угля, не только в качестве энергетического топлива. Иркутская область обладает значительными запасами углей, пригодных для глубокой переработки с получением жидкого топлива, сорбентов, активных углей и высококалорийного газа. Сокращение добычи может коснуться преимущественно Мугунского месторождения (бурый уголь марки 3Б), пригодного для производства газогенераторного газа в газогенераторах стационарного типа [12]. Развитие чистых угольных технологий должно базироваться на базе газогенераторов с газификацией в потоке

На международном рынке конкуренцию иркутскому сырью составляют угли Кемеровской и Новосибирской областей, Хабаровского края, Якутии и Хакасии, а также монгольский и австралийский уголь, импорт которого в Китай возобновлен



Добыча угля. Иркутская область

Источник: Corbis.com

в составе парогазовых установок с внутрицикловой газификацией для выработки электроэнергии и совместного производства водорода, метанола и других синтетических продуктов [13].

Проблемы транспортировки угля, связанные с недостаточной мощностью железных дорог, несовершенством технологий перевозки угля, конкуренцией с другими экспортерами угля и приоритетными грузами [14], возникают при благоприятных международных условиях для экспорта иркутских углей. Существуют также риски для развития экспорта угля, связанные с тарифной политикой ОАО «РЖД», экспортными пошлинами и новыми импортными пошлинами в некоторых странах [15].

Экологические проблемы угледобычи обусловлены высоким уровнем загрязнения природной среды в районах разработки месторождений и невыполнением планов рекультивации нарушенных земель. Для решения данных проблем необходимы разработка технологий и законодательных мер для рационального недропользования и рекультивации земель в соответствии с указом Президента № 8.

Большинство обозначенных проблем являются общими и для других регионов России, где угольная отрасль играет существенную роль в развитии экономики.

Заключение

Факторами, способствующими развитию угледобычи в Иркутской области, являются наличие значительных балансовых запасов угля, стабильность спроса на угольную продукцию для нужд энергетики, отработанная схема поставок угля, резервы мощностей действующих предприятий и отсутствие импортозависимости в угольной энергетике. Систематизация и детальный анализ рисков выявили значительное их влияние на развитие угольной промышленности Иркутской области в перспективе, а также возможности их ослабления при выполнении определенных мероприятий. Анализ вариантов энергоснабжения включал рассмотрение сооружения новой угольной ТЭЦ либо АЭС, что является необходимым и обоснованным решением, направленным на обеспечение энергетической безопасности региона и его устойчивое социально-экономическое развитие. Угольная отрасль Иркутской области благодаря значительному преобладанию поставок на внутренний рынок является малочувствительной к логистическим и внешнеэкономическим рискам, которым подвержены экспортнозависимые угольные регионы. Ограниченные возможности перехода с угольного на газовое топливо в теплогенерации в ближайшей и более отдаленной перспективе и низкий ресурсный потенциал для масштабного

развития возобновляемой энергетики не будут оказывать значительное влияние на уровень добычи угля. Учитывая ограниченные возможности использования ресурсов газа для развития энергетики в ближайшей и более отдаленной перспективе и низкий ресурсный потенциал для масштабного развития возобновляемой энергетики, уголь останется основным видом топлива, потребление которого может быть квалифицировано как «неотвратимое и вынужденное» в целях обеспечения энергетической

безопасности региона и надежности электро- и теплоснабжения. Полученные результаты могут быть использованы при актуализации документов стратегического планирования развития энергетики Иркутской области и формировании региональной топливно-экологической политики.

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2026-0014 и № FWEU-2026-0010) программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2030 годы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Государственные доклады «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации» за 2001, 2015, 2021, 2023 гг. // Документы Минприроды России. Министерство природных ресурсов Российской Федерации: сайт. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady.
2. Такайшвили Л. Н. Анализ обеспеченности запасами угля регионов России // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 120-летию доктора географических наук, профессора В. А. Кротова, «Связь времен – региональная наука и индустриальное освоение Восточной Сибири». Сибирское отделение Российской академии наук, институт географии им. В. Б. Сочавы, Иркутское областное отделение русского географического общества. Иркутск, 2025. С. 141–145.
3. Таможенная статистика внешней торговли РФ // CustomsOnline. 2023. URL: https://customsonline.ru/search_ts.html.
4. Иркутская область в цифрах. Краткий статистический сборник. Иркутскстат, 2023. 32 с.
5. Хамзина Т. Состояние и проблемы качества энергетических углей для угольных ТЭС // Глобус. 2022. № 2(71). С. 146–147.
6. Kostovic M., Simovic I., Kostovic N., Pantelic N. Coal cleaning before combustion – practice and experience in Serbia // *Underground Mining Engineering*. 2022. No. 41. P. 23–30. URL: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0354-2904/2022/0354-29042241023K.pdf>.
7. Грабский А. А., Рожков А. А. Механизм стимулирования импортозамещения горного оборудования // *Proceedings of Higher Educational Establishments: Geology and Exploration*. 2024. Т. 66(3). С. 127–136. DOI: 10.32454/0016-7762-2024-66-3-127-136.
8. Горлатова Т., Петрова Т. Управление персоналом угольной отрасли в период кризиса // *Энергетическая политика*. 2025. № 8(211). С. 62–73. DOI: 10.46920/2409-5516_2025_08211_62.
9. Самсонов А. А., Меньшикова О. И., Тихонова Е. А., Пашин Н. П. Модели партнерства бизнеса и образования в горнодобывающей отрасли для подготовки квалифицированных кадров // *Креативная экономика*. 2024. Т. 18, № 12. С. 3575–3590. DOI: 10.18334/ce.18.12.122511.
10. *Handbook on Economic Diversification for Coal Regions in Transition. A guide for strategy development – evidence based and participatory*. URL: <https://www.jetknowledge.org/knowledge/handbook-economic-diversification-coal-regions-transition>.
11. *China to Lift Restrictions on Australian Coal Imports*. URL: <https://www.china-briefing.com/news/china-to-lift-restrictions-on-australian-coal-imports>.
12. Области применения угля // Росуголь: сайт. URL: <http://www.roscoal.ru/content/press-center/informaciya-dlya-vas/oblasti-primeneniya-uglya>.
13. Козлов А. Н. Обзор современных тенденций развития технологий газификации твердых топлив // *Известия РАН. Энергетика*. 2021. № 1. С. 130–148. DOI: 10.31857/S000233102101008827.
14. Такайшвили Л. Н. Восточный полигон железных дорог России для экспорта российского угля, перспективы развития и ограничения // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2023. Т. 333, № 12. С. 15–28. DOI: 10.18799/24131830/2022/3/3598.
15. *Coal 2024 Analysis and forecast to 2027*. IEA. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a1ee7b75-d555-49b6-b580-17d64ccc8365/Coal2024.pdf>.

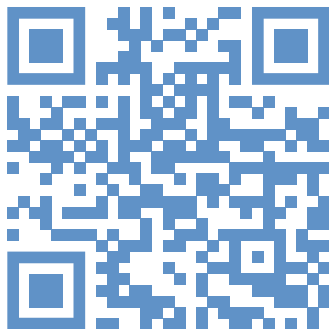
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2409-5516

РГАСНТИ 44.09.29

БОЛЬШЕ ИНТЕРЕСНЫХ
НОВОСТЕЙ И АНАЛИТИКИ
В КАНАЛЕ МАХ



@ЭнергоПоле



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № 04-323631 от 15.07.2025. Журнал «Энергетическая политика» входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

16+

РЕКЛАМА

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА



Оформить подписку на журнал «Энергетическая политика» можно напрямую у издателя ООО «ГУ ИЭС». По вопросам подписки обращаться по адресу energypolicyjournal@yandex.ru. В каждом номере – аналитические обзоры, авторские колонки, материалы научного и научно-прикладного характера.

Будь в курсе основных направлений развития ТЭК!

energy-policy.ru

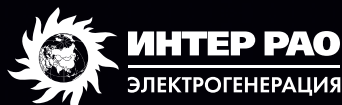
Уважаемые авторы! С требованиями к оформлению и отправке статей, а также с правилами рецензирования вы можете ознакомиться по ссылке:

<https://energy-policy.ru/redakcziya/>



НАШИ ПАРТНЕРЫ

 ПРОМСЫРЬЕИМПОРТ





**Российская
Энергетическая
Неделя 2026**



РОСКОНГРЕСС
Пространство доверия

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

ЦВЗ «Манеж»

ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ТЭК

Гостиный двор



МОСКВА, РОССИЯ



14-16 ОКТЯБРЯ 2026 г.



Подробнее на сайте

Реклама

6+