

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ISSN 2409-5516

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ  
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№2(205), февраль 2025

РГАСНТИ 44.09.29



Тема номера

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РОССИЙСКОГО ТЭК**



Инфраструктурная  
основа экономики  
страны



ROSSETI\_OFFICIAL

Подписывайтесь через  
приложение Telegram  
или QR-код



ROSSETI.RU



**Петербургская  
Биржа**

Ежегодный  
Международный  
Форум



# БИРЖЕВОЙ ТОВАРНЫЙ РЫНОК '25

Опубликована программа Форума

Форум состоится **27 марта**  
в Москве на площадке Конгресс-центра ЦМТ  
(Краснопресненская наб., д. 12, Центр  
международной торговли, подъезд 4)

В рамках деловой программы выступят  
более 50 спикеров:

- руководители федеральных органов исполнительной и законодательной власти (Минэнерго, Минприроды, Минсельхоза, ФАС России, Банка России, Федерального Собрания РФ);
- главы субъектов Российской Федерации;
- руководители крупнейших корпораций, российских и иностранных компаний, ведущих бирж и инфраструктурных организаций рынков ЕАЭС.

Традиционно пройдут тематические сессии, посвященные отдельным товарным рынкам, встречи со СМИ, пресс-конференции, встречи представителей бизнес-сообществ.

Программа, условия участия и регистрация по ссылке

<https://spimex.com/forum/>



ДО ВСТРЕЧИ НА ГЛАВНОМ БИРЖЕВОМ  
МЕРОПРИЯТИИ ДЛЯ ТОВАРНЫХ РЫНКОВ!





РОССИЙСКИЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ

**РМЭФ**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ

**9-11 АПРЕЛЯ 2025**

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
**ЭНЕРГЕТИКА И  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ПРАВИТЕЛЬСТВО  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
**ЭКСПОФОРУМ**  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1

ENERGYFORUM.RU  
rief@expoforum.ru  
+7 (812) 240 40 40, доб. 2626



ENERGETIKA-RESTEC.RU  
visit@energetika-restec.ru  
+7 (812) 320 63 63, доб. 743



18+

@ENERGYFORUMSPB  
САМАЯ АКТУАЛЬНАЯ  
ИНФОРМАЦИЯ О РМЭФ -  
В TELEGRAM-КАНАЛЕ!



6-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И ФОРУМ

**RENWEX**

«Энергосбережение,  
зеленая энергетика  
и электротранспорт»

ТЕПЕРЬ  
В АПРЕЛЕ!

**22-24 АПРЕЛЯ 2025**

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

### КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

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

12+  
Реклама



[www.renwex.ru](http://www.renwex.ru)

Организатор



Под патронатом



# Содержание

## Слово редакторов

- 7 **В. Бушуев, А. Горшкова.** Политика смыслов и экономика настроений

## Нефть

- 8 **А. Мастепанов.** О внешних факторах, определяющих развитие нефтегазового сектора России в 2025 г.

## Мир

- 22 **А. Ишков, К. Романов, Е. Колошкин, Д. Неретин, А. Теребнев, В. Голушко, В. Самсонова, К. Романовская.** Оценка углеродного следа международных поставок природного газа в Китай
- 36 **О. Мамедов.** Вызовы развития энергетики Средней Азии

## Газ

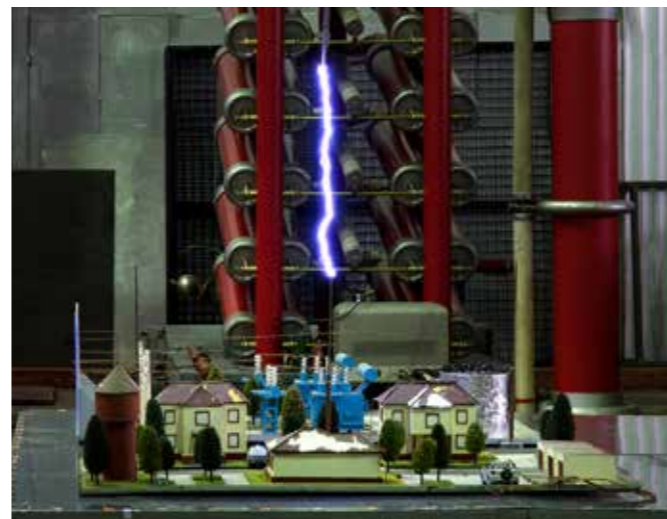
- 46 **Д. Атаев, А. Гимаева.** Методы и подходы в борьбе с образованием гидратов в нефтегазовых трубопроводах

## Энергетика

- 56 **М. Мокшин, А. Путилов, О. Римская.** Исследование методов и моделей прогнозирования мощности ветроэнергостанций

## Технологии

- 68 **Е. Гальцов, А. Венедиктов, Е. Тоичкин, В. Курицин, Д. Турчановский, М. Васюк.** Построение цифровой платформы NESTRO DATA АО «Зарубежнефть» с использованием корпоративного хранилища данных
- 76 **В. Карасевич, Ю. Васильев.** Применение ВИЭ и водорода на вышках сотовой связи для автономного низкоуглеродного энергоснабжения
- 82 **И. Немчинов.** Предпосылки создания всероссийского института сертификации энергетического оборудования для укрепления технологического суверенитета РФ



# Contents

## Editor's column

- 7 **V. Bushuev, A. Gorshkova.** Politics of Meanings and Economics of Sentiment

## Oil

- 8 **A. Mastepanov.** On some external factors determining the development of the oil and gas sector of Russia in 2025

## World

- 22 **A. Ishkov, K. Romanov, E. Koloshkin, D. Neretin, A. Terebnev, V. Golushko, V. Samsonova, K. Romanovskaya.** Assessing the carbon footprint of international natural gas supply to China
- 36 **O. Mamedov.** Challenges for energy development in Central Asia

## Gas

- 46 **D. Ataev, A. Gimaeva.** Methods and approaches in control of gas hydrates formation in oil and gas pipelines

## Energy

- 56 **M. Mokshin, A. Putilov, O. Rimskaya.** Research of methods and models for forecasting the capacity of wind power plants

## Technologies

- 68 **E. Galtsov, A. Venediktov, E. Toichkin, V. Kuritsin, D. Turchanovsky, M. Vasyuk.** Construction of the digital platform of the NESTRO DATA of Zarubezhneft JSC using the corporate data warehouse
- 76 **V. Karasevich, Yu. Vasiliev.** Application of renewable energy and hydrogen at cell towers for autonomous low-carbon energy supply
- 82 **I. Nemchinov.** Prerequisites for the creation of an all-Russian institute for certification of energy equipment to strengthen the technological sovereignty of the Russia

### УЧРЕДИТЕЛЬ

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

### ИЗДАТЕЛЬ

ООО «ГУ Институт энергетической стратегии»

### НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**В. В. Бушуев** – д. т. н., проф., г. н. с. ОИВТ РАН  
**Е. О. Адамов** – д. т. н., науч. рук. АО «НИКИЭТ»  
**В. М. Батенин** – член-корр. РАН, д. т. н., проф.  
**П. П. Безруких** – д. т. н., проф. НИУ МЭИ  
**В. И. Богоявленский** – член-корр. РАН, д. т. н., проф., г. н. с. ИПНГ РАН  
**А. И. Громов** – к. г. н., гл. директор по энергетическому направлению Фонда «ИЭФ»  
**А. Н. Дмитриевский** – акад. РАН, д. г.-м. н., научный руководитель ИПНГ РАН  
**С. А. Добролюбов** – акад. РАН, д. г. н., проф., декан географического факультета МГУ

**О. В. Жданев** – д. т. н., ЦКТР ТЭК  
**М. Ч. Залиханов** – акад. РАН, д. г. н., проф., зав. ЦГиЧС КБГУ  
**В. М. Капустин** – д. т. н., проф., зав. кафедрой РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина  
**В. А. Крюков** – акад. РАН, д. э. н., директор ИЭОПП СО РАН  
**А. И. Кулапин** – д. х. н., ген. директор ФГБУ «РЭА» Минэнерго России  
**В. Г. Мартынов** – к. г.-м. н., д. э. н., проф., ректор РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина  
**А. М. Мастепанов** – акад. РАН, д. э. н., г. н. с. АЦЭПБ ИПНГ РАН  
**Н. Л. Новиков** – д. т. н., проф., зам. науч. рук. АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

**В. И. Рачков** – член-корр. РАН, д. т. н., проф.  
**П. Ю. Сорокин** – первый зам. министра энергетики РФ  
**Д. А. Соловьев** – к. ф.-м. н., научный сотрудник Института океанологии РАН  
**В. А. Стеников** – акад. РАН, д. т. н., проф., директор ИСЭ им. Мелентьева СО РАН  
**Е. А. Телегина** – член-корр. РАН, д. э. н., проф., декан фак-та РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина  
**С. П. Филиппов** – акад. РАН, д. т. н., директор ИНЭИ РАН  
**А. Б. Яновский** – д. э. н., к. т. н.

**Главный редактор**  
Анна Горшкова

**Научный редактор**  
Виталий Бушуев

**Зам. главного редактора по продвижению**  
Виолетта Локтева

**Корректор**  
Роман Павловский

**Фотограф**  
Иван Федоренко

**Дизайн и верстка**  
Роман Павловский

**Адрес редакции:**  
1125009, г. Москва, Дегтярный переулок, 9  
+79104635357  
anna.gorshik@yandex.ru

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

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

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

При перепечатке ссылка на издание обязательна

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

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов

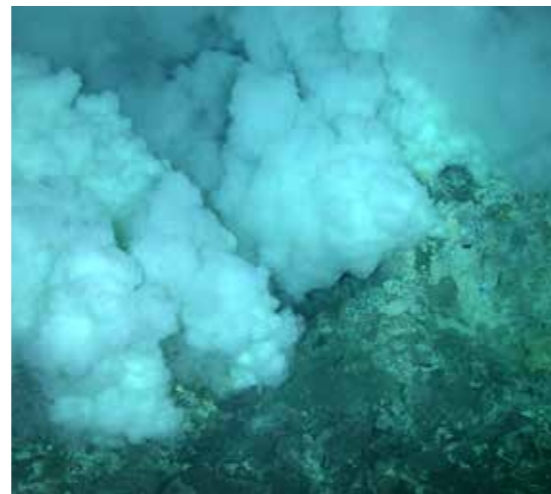
Редакция не имеет возможности вступать в переписку, рецензировать и возвращать не заказанные ею рукописи и иллюстрации

Тираж 1000 экземпляров  
Периодичность выхода 12 раз в год  
Цена свободная

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

Подписано в печать: 25.02.2025

16+



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



Анна ГОРШКОВА  
Главный редактор журнала  
«Энергетическая политика»

## Политика смыслов и экономика настроений

Избрание Дональда Трампа внесло серьезную сумятицу в хрупкое политическое равновесие, торжествовавшее последние 2 года, которое предполагало наличие общемирового врага в лице России, борющихся с ней с помощью санкций развитых стран, экономических бенефициаров ситуации в лице Китая и Индии и сочувствующего тем или другим стран третьего мира.

Трамп перевернул все с ног на голову, отказавшись от военной помощи Украине, инициировав переговоры с Россией и устроив торговую войну не только с Китаем, но и со своими соседями: Канадой и Мексикой.

Сейчас трудно угадать основные цели политики настроений нового президента США. Возможно, он пытается, с одной сто-

роны, противостоять экономическому и политическому становлениям Китая, разрушая альянс с Россией, а с другой стороны – вернуть политическую и экономическую гегемонию США на фоне слабеющей Европы.

Остается открытым вопрос: а выдержит ли американская экономика такую «трампаномнику», не приведут ли тарифы на товары из Китая, Канады и Мексики к росту инфляции внутри США, ухудшению экономических показателей и неоправданному разгону производства вдогонку Китая?

Пока понятно одно: несмотря на бурные политические переговоры России и США, экономические санкции в ближайшее время сняты не будут. А значит, России придется идти на уступки без прочной экономической базы.

# О внешних факторах, определяющих развитие нефтегазового сектора России в 2025 г.

## On some external factors determining the development of the oil and gas sector of Russia in 2025

Алексей МАСТЕПАНОВ

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

Alexey MASTEPANOV

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

Теневые танкеры в Персидском заливе

Источник: Tim Rue Bloomberg



Аннотация. В статье детально исследуются 2 основных внешних фактора, определяющих развитие нефтегазового сектора российской экономики в предстоящий период – снижение доминирования США в мире и антироссийские санкции США и их союзников. Показано, что их действие в той или иной форме и степени будет много лет оказывать влияние на нефтегазовый комплекс России. Неопределенность с их развитием будет даже выше, чем в прошлом году, учитывая характер и особенности мировоззрения новой администрации США на глобальные проблемы и возможности их решения.

*Ключевые слова:* факторы развития мировой энергетики, Россия, нефтегазовый комплекс, санкции, снижение доминирования США в мире.

Abstract. The article examines in detail two main external factors that determine the development of the oil and gas sector of the Russian economy in the coming period – the decline of US dominance in the world and anti-Russian sanctions of the US and its allies. It is shown that their action in one form or another and to what extent will affect the oil and gas complex of Russia for many years, that the uncertainty with their development will be even higher than last year, given the nature and features of the worldview of the new US administration on global problems and the possibilities of their solution.

*Keywords:* factors of development of world energy, Russia, oil and gas complex, sanctions, reduction of US dominance in the world.

# //

**В последние 10 лет средние показатели темпов роста в США были ниже 2%, и со II кв. 2000 г. никогда не достигали уровня 5%**

### Введение

Исследования, проведенные нами в предыдущие годы, показали, что в последние десятилетия определяющими факторами развития мировой энергетики всё в большей мере становятся не экономические, а политические и геополитические факторы. Именно под их воздействием формируется новая архитектура мировой экономики и международных отношений, начинается возврат к политике баланса

сил и силового давления, а на пути международного энергетического сотрудничества возникают многочисленные барьеры [1]. Растёт и инструментарий реализации политических и геополитических факторов – различные санкции, квоты, запреты, ограничения и другие подобные меры.

Но если США, вводя санкции по политическим мотивам, одновременно преследуют и получение экономических выгод для своего государства (причём, зачастую именно экономические выгоды и преимущества лежат в основе решений о принятии таких санкций, прикрываемых политическими лозунгами), то их союзники, и в первую очередь страны ЕС, вводят подобные меры вопреки своим собственным экономическим интересам. И ярчайший пример таких мер – отказ от российских энергоресурсов, который привёл к резкому росту цен как на сами эти энергоносители, так и на производимую из них продукцию.

Исследования, проведенные нами в рамках выполнения научных тем 122022800270–0 (ФММЕ-2022–0004) и «Фундаментальный базис инновационных и цифровых технологий прогноза, поиска, разведки и освоения углеводородных ресурсов (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования до 2030 г.)», показали, что на предстоящее развитие нефтегазового комплекса, как и всей эко-



Неожиданное похолодание в Европе

Источник: VINCENZO PINTO Getty Images / sfchronicle.com

номики России, значительное воздействие будет оказывать целый ряд событий и тенденций, лежащих далеко за пределами ТЭК, которые зародились либо получили развитие в 2024 г. Самые яркие примеры этого – военные действия на Украине, которые получили дальнейшее развитие, подогреваемые усилиями ряда стран Запада и грозящие всему миру дальнейшими потрясениями, и беспрецедентное санкционное давление на Россию.

Но и без украинских событий и санкционного прессы прошедший год был «богат» на глобальные вызовы. Это и эскалация

**Только за период с 21 февраля 2022 г. по 19 февраля 2025 г. против России было введено суммарно 18 420 санкций со стороны 60 стран мира. И масштабы санкций постоянно расширяются**

международной напряжённости, и гуманитарные, природные и техногенные катастрофы в разных регионах мира и другие подобные события. Кроме того, прошедший год был годом геополитической, экономической и экологической неопределённости. Он был насыщен международными конфликтами и связанными с ними глобальной и региональной нестабильностями, которые сопровождалась милитаризацией мировой политики. Мир продолжало лихорадить, и в этой исторической мясорубке рушились многие казавшиеся незыблемыми правилами и сценарии. Как отметила 19 декабря 2024 г. телеведущая ВГТРК Александра Суворова, модератор программы «Итоги года с Владимиром Путиным», сейчас такое ощущение, что мир либо уже сошёл с ума, либо сходит, потому что конфликтный потенциал во всех точках мира фактически сейчас зашкаливает [2].

В то же самое время, в части общей оценки итогов ушедшего 2024 г. можно согласиться с Ф. А. Лукьяновым, главным редактором журнала «Россия в глобальной политике»: – «Политические противоречия и стратегическая конкуренция делают всё, чтобы прервать всеобщую взаимосвязь. Санкционная вакханалия и превращение

мировой резервной валюты в оружие всё более массового поражения, кажется, не оставляют шанса сохранить интегрированную систему. Но она не даёт. Демонтаж правил эпохи глобализации не ведёт к распаду мира на части. Это, пожалуй, главный вывод из уходящего года. Глобализация, как она была задумана в конце прошлого – начале нынешнего веков, закончилась, но взаимосвязанность мира не прерывают ни пандемия, ни войны» [3].

И вполне естественно, что многие из событий 2022–2024 гг. в области экономики и международных отношений – глобальных вызовов современности, будут в той или иной степени не один год сказываться как на развитии нефтегазового комплекса России, так и на перспективах развития российской политики и экономики в целом. Скажутся они на степени и формах участия России в международных отношениях и её вовлечённости в процессы формирования мировой экономики, на всей глобальной экономике и энергетике.

Основные из этих вызовов кратко рассмотрены нами в [4]<sup>1</sup>. В данной статье

<sup>1</sup> Климатическая составляющая основных факторов, определяющих развитие нефтегазового сектора российской экономики в 2025 г., включая проблемы энергоперехода, подробно рассмотрена в [5].

рассмотрим два из них – снижение доминирования США в мире и антироссийские санкции.

## Снижение доминирования США в мире

Значительная часть экспертов единодушна в том, что в наступившем году продолжится снижение доминирования США в мире: и в экономике, и в международной торговле, и в политике.

Соединенные Штаты являются крупнейшей экономикой в мире, занимая 1 место по номинальному ВВП и 2 место по ВВП по паритету покупательной способности (ППС). По предварительным оценкам Международного валютного фонда (World Economic Outlook – МВФ) и журнала World Economics Research, удельный вес США в мировом номинальном ВВП в 2024 г. составлял 26,4%, а в ВВП по ППС – 12,6% [6, 7]. Тем не менее в последние 2 десятилетия, как и во многих других развитых странах, темпы роста экономики США снижаются. Если в 1950-х и 1960-х гг. средние темпы роста были выше 4%, то в 1970-х и 1980-х гг. они снизились примерно до 3%. В последние

Капитолий в США

Источник: gary718 / depositphotos.com



	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023
ВВП – номинал, %	25	33,3	25,9	24,5	30,3	27,3	22,6	24,2	24,9	24,7
ВВП по ППС, %	21,3	22,1	21,5	19,7	20,2	19	16,7	16,3	16	15,6
Госдолг в % к ВВП (по состоянию на 1 января соотв. года)	25,5	35,3	40,9	47,7	33,7	35,8	60,6	72,2	98,6	96

Таблица 1. Удельный вес США в мировой экономике (по номиналу и ППС) и государственного федерального долга США в ВВП страны

Источники: [11] по данным World Bank, [12] по данным МВФ и [13] по данным Congressional Budget Office

10 лет средние показатели темпов роста были ниже 2%, и со II кв. 2000 г. никогда не достигали уровня 5% [8]. Одновременно высокими темпами растёт государственный федеральный долг США – как в абсолютном размере, так и в процентах к ВВП страны (таблица 1).

Соответственно, с каждым годом происходит снижение доминирования США в мире (рис. 1, таблица 1). Подобная нисходящая динамика значений США и других государств коллективного Запада в мировом объёме ВВП показывает, что они во главе с США уже не способны быть мировыми экономическими лидерами и уступают государствам, которые не так давно были либо их колониями, либо полностью зависели от них. Подобная тенденция, по оценкам специалистов, будет развиваться и дальше.

Причем, тенденции снижения доминирования США в мире и роста их государственного долга просматривались уже давно. Так, по оценкам PwC, сделанным ещё в феврале 2017 г., в 21 веке будут доминировать развивающиеся экономики. В результате к 2050 г. экономика США даже по ППС опустится с 1 на 3 место, уступив Китаю и Индии, а доля США и ЕС в глобальном ВВП по ППС снизится, соответственно, до 12% и 9%, тогда как Китая – вырастет до 20%, а Индии – до 15% [9]. По оценкам же World Economics Research (Лондон), сделанным в декабре 2024 г., доля США в мировом ВВП по ППС составит 11,7% уже к 2030 г. [7].

Что же касается государственного долга США, то он, согласно оценкам бюджетного управления Конгресса США (The Congressional Budget Office), сделанным

Рис. 1. Динамика доли США в мировой экономике: 1960–2019 гг.

Источник: [10] по данным World Bank

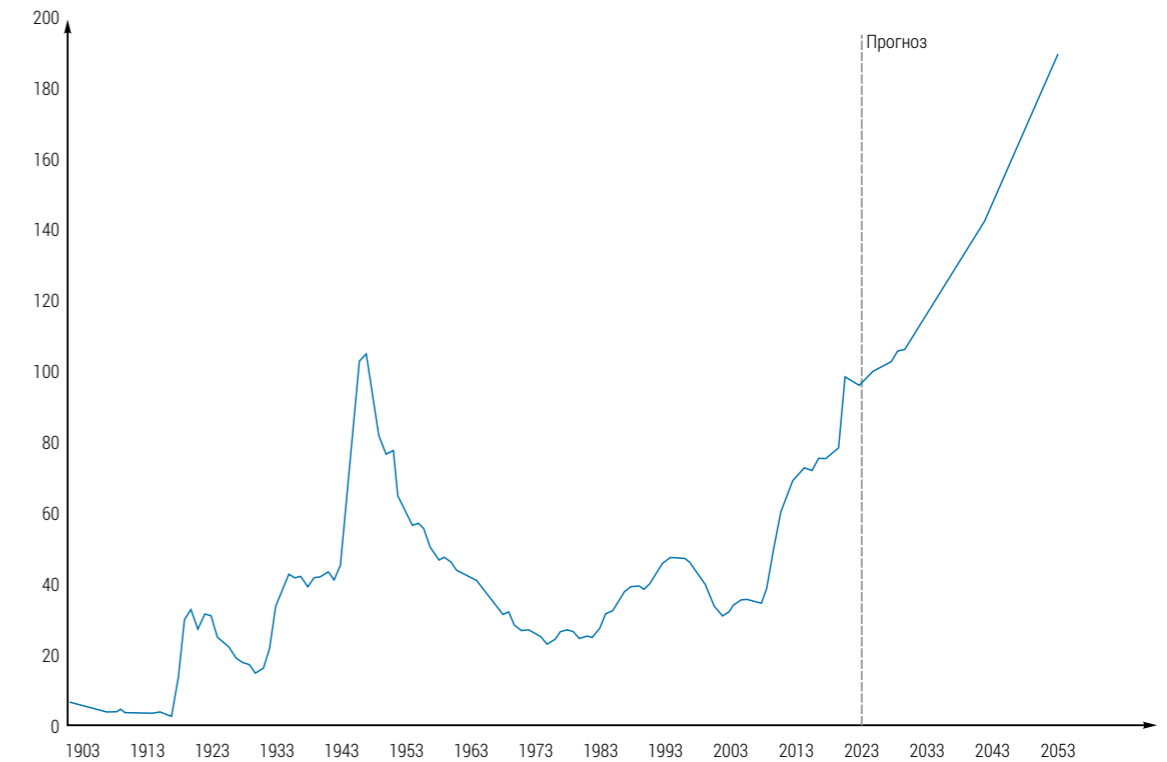
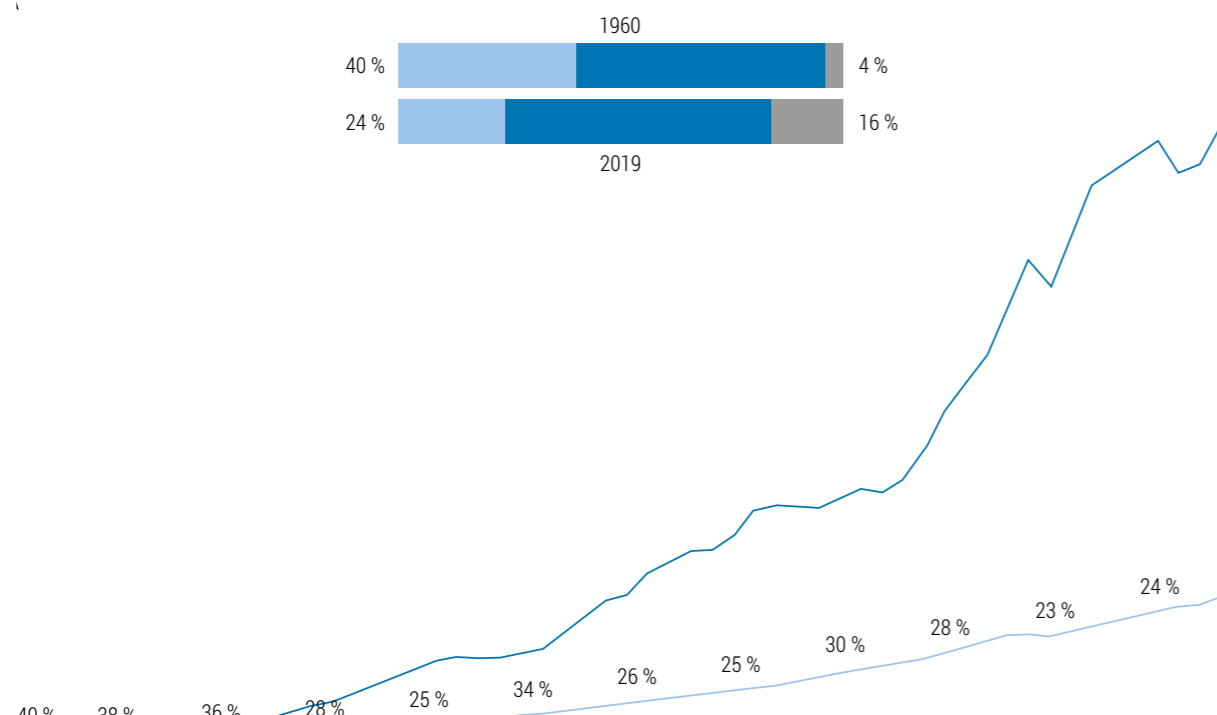


Рис. 2. Государственный федеральный долг США, 1900–2053 гг.

Источник: бюджетное управление Конгресса США [14]

в феврале 2023 г., будет увеличиваться с каждым годом и достигнет 118,2% ВВП в 2033 г., достигнув исторического максимума. Прогнозируется, что в последующие 2 десятилетия растущий дефицит приведёт к ещё большему росту федерального долга, до 195% ВВП в 2053 г. (рис. 2) [14].

В январе 2005 г. бюджетное управление Конгресса США опубликовало новые оценки роста государственного долга: он вырастет со 100% ВВП в 2025 г. (2024 г. – 97,8%) до 118% в 2035 г., превысив предыдущий максимум в 106% ВВП в 1946 г. [15]

Однако, как подчеркнул Президент России В. В. Путин, выступая 16 декабря 2024 г. на расширенном заседании коллегии Минобороны РФ, «мы видим, что действующая администрация США, практически весь коллективный Запад не оставляют попыток сохранить своё глобальное доминирование, продолжают навязывать мировому сообществу свои так называемые правила, которые при этом раз за разом меняют, передёргивая так, как им это удобно. Собственно говоря, есть только одно стабильное правило: никаких правил для тех, кто это делает, для тех, кто считает себя во главе всего мира, тех, кто считает

себя представителями Господа на земле, хотя сами в Господа не верят» [16].

В итоге, как отметил главный исполнительный директор ПАО «НК «Роснефть» И. И. Сечин в своём ключевом докладе «Прощание с иллюзиями. Мировая энергетика в ловушке Фукидида» на XVII Веронском Евразийском экономическом форуме 5 декабря 2024 г., «сегодня, пользуясь своим статусом мирового гегемона, США делают главную ставку на создание особых условий для своей экономики за счет других участников рынка, в том числе своих союзников. Последствия такой политики США мы видим как в Ев-

**Деграция основ цивилизованных взаимоотношений между странами дошла до того, что сейчас для введения новых санкций даже не требуется выдвигать обвинение и доказывать вину**

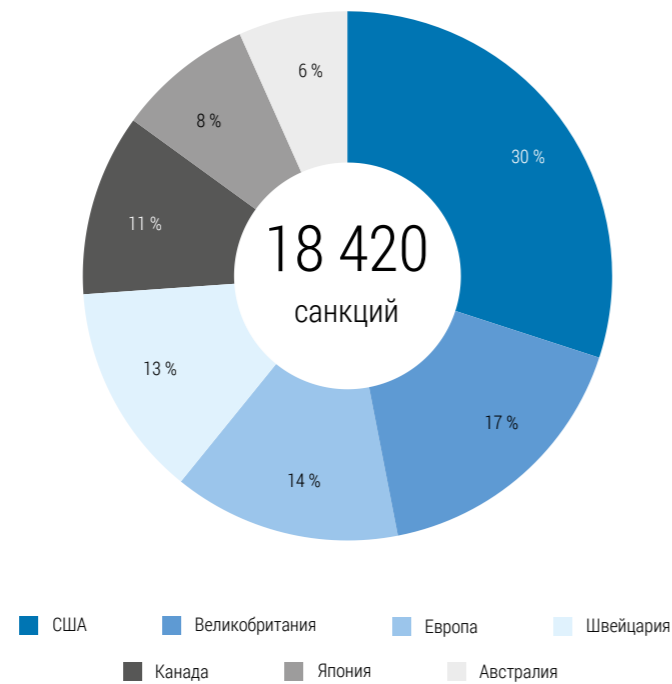


Рис. 3. Санкции в отношении российских физических и юридических лиц по инициаторам

ропе, так и в развивающихся странах. Сознательно обостряются и создаются конфликты на Ближнем и Среднем Востоке, Украине, в Латинской Америке и Азиатско-Тихоокеанском регионе. Эта ситуация была давно описана крупнейшим древнегреческим историком Фукидидом, считающимся одним из основателей исторической науки. В своём труде «История Пелопонесской войны» он описал классическую ловушку: страх гегемона перед возникновением альтернативных глобальных центров силы неизбежно приводит к войне с ними. Эта война уже началась. На разных театрах она развивается по-разному. Где-то горячая, а где-то гибридная: в сфере технологий, климата, финансов, торговли и культуры. К сожалению, сегодня мировая энергетика не является исключением. Она стала одной из целей и инструментом этой гибридной войны<sup>2</sup>. Одним из основных инструментов этой войны – экономической борьбы США и их партнёров против конкурентов, стали санкции – рестрикции, основная цель которых – сдерживание экономического роста этих самых конкурентов.

### Антироссийские санкции США и их союзников

В прошедшем году существенно ужесточились антироссийские санкции, которые охватывают в настоящее время практически все сферы российской экономики – финансовую, энергетическую, технологическую, транспортно-логистическую и др.

Только за период с 21 февраля 2022 г. по 19 февраля 2025 г., по данным X-Compliance, против России было введено 18 420 санкций западных стран [18]. И масштабы санкций постоянно расширяются. С начала СВО санкции против России ввели более 60 стран. В числе основных инициаторов этих санкций – США, ЕС, Великобритания, Япония, Швейцария, Австралия и Канада (рис. 3).

В списки внесены тысячи лиц и объектов: физические лица и организации, морские и воздушные суда, товары<sup>3</sup>. Одним из главных направлений санкций в сфере энергетики стал отказ от импорта российских энергоносителей или его сокращение.

Так, в ноябре 2024 г. Минфин США наложил санкции на 52 кредитные ор-

ганизации, включая Газпромбанк, через который осуществляется оплата европейскими странами российского трубопроводного газа. 4 декабря 2024 г. Министерство финансов США в очередной раз расширило санкционные списки по РФ, внеся в них 5 физических и 5 юридических лиц. В списки попали организации из США, Таиланда, Великобритании, ОАЭ, а также компания, имеющая представительства в Лондоне, Москве, Риге, Сингапуре и Стамбуле. И в 2025 г., при всех возможных поворотах в российско-американских отношениях, санкционная политика США будет продолжаться, поскольку, как отметил министр иностранных дел РФ С. В. Лавров, у нас есть полное понимание того, что в США существует двухпартийный консенсус в отношении России. Этот консенсус не дружественный, а, прямо скажем, русофобский. Независимо от партийной принадлежности правящая элита будет продвигать свою линию на то, чтобы Россия как конкурент была всячески ослаблена [20].

Деградикация основ цивилизованных взаимоотношений между странами дошла до того, что сейчас для введения новых санкций даже не требуется выдвигать обвинение и доказывать вину, что противоречит базовым принципам международного права. Более того, контакты с санкционными лицами автоматически приравниваются к совершению преступления.

Владимир Путин и Си Цзиньпин  
Источник: Сергей Карпухин / ТАСС



<sup>2</sup> Полный текст доклада И. И. Сечина опубликован на сайте ПАО «НК Роснефть» [17].

<sup>3</sup> Подробнее об этом см. на x-compliance.ru [18]. Полная информация о введенных санкциях в отношении Российской Федерации дана на сайте ТПП России [19].

## Антироссийский санкционный пресс в ближайшие десятилетия будет только усиливаться. Происходить это будет как в результате новых рестрикций, так и в силу оптимизации санкционных механизмов

Кроме санкций, введенных на государственном уровне, значительное влияние на экономику России оказывают решения крупных международных компаний о сокращении или приостановке деятельности на территории нашей страны. Иностранные корпорации из стран, которые ввели официальные санкции, и из третьих стран, не присоединившихся к санкциям, прекращают сотрудничество с российскими компаниями и организациями, боясь также попасть под вторичные санкции. По данным исследователей из Йельского университета, около 1 тыс. западных компаний обязались прекратить или сократить свою деятельность в России [21].

Безусловно, все эти санкции наносят существенный ущерб российской экономике, в том числе и её энергетическому сектору. Но главной своей цели – «разорвать экономику России в клочья» – они не достигли. «С экономикой в целом в России ситуация обстоит нормально, устойчиво. Мы развиваемся, несмотря ни на что, несмотря ни на какие внешние угрозы и попытки воздействия на нас», – охарактеризовал их действие Президент России В. В. Путин, подводя итоги прошедшего года [2].

Как уже было отмечено нами год назад, антироссийский санкционный пресс в ближайшие десятилетия, по крайней мере, до середины века, будет только усиливаться. И происходить это будет как в результате новых рестрикций, так и в силу совершенствования самих санкционных механизмов, закрывающих возможные «лазейки» обхода уже принятых санкций [22]. Значительная часть всех этих санкций и ограничений напрямую или косвенно касается и будет касаться деятельности российского нефтегазового комплекса.

## Снижение цен на российскую нефть в сочетании с сокращением объёмов экспорта привело к тому, что валовая стоимость её экспорта снизилась примерно на 380 млн долл., или на 28%, до 990 млн

Уже 10 января 2025 г. Министерство финансов США ввело дополнительные антироссийские санкции, которые сами американцы назвали самым масштабным ударом по российскому энергетическому сектору: «Сегодня Министерство финансов США приняло радикальные меры для выполнения обязательства G7 по сокращению доходов России от энергоносителей, включая блокирование двух крупных российских производителей нефти. Сегодняшние действия также вводят санкции в отношении беспрецедентного количества нефтевозов, многие из которых входят в состав «теневого флота», непрозрачных трейдеров российской нефти, базирующихся в России поставщиков нефтесервисных услуг и российских энергетических чиновников», – отмечено в пресс-релизе Минфина США [23].

Кроме непосредственно нефтегазовых компаний – ПАО «Газпром нефть» и ПАО «Сургутнефтегаз», в санкционный список вошли [23]:

- их дочерние предприятия (20 – «Газпром нефти» и 8 – «Сургутнефтегаз»);
- многие контрагенты российских нефтяников (трейдеры, страховщики, перевозчики, участвующие в экспорте сырья, причем не только из России, но и из Гонконга и ОАЭ);
- страховые компании СПАО «Ингосстрах» и Группа «АльфаСтрахование», которые только в 2024 г. получили аккредитацию для работы в Индии;
- больше 30 нефтесервисных компаний, в том числе ООО «РН-ванкор» – оператор флагманского проекта ПАО «НК «Роснефть» «Восток-ойл» и ООО «РусГазАльянс» – оператор разработки Парусового,

Северо-Парусового и Семаковского месторождений в ЯНАО;

- судоходные компании и суда – ПАО «Совкомфлот» и её 69 судов (включая 54 танкера для перевозки нефти и нефтепродуктов и 4 танкера СПГ), АО «Роснефтефлот» и её 13 судов, ООО «Газпромнефть Марин Бункер» и её 10 судов, 4 других компании и их 9 судов.

Пострадали от новых американских санкций и предприятия других отраслей России, в том числе и газовый бизнес [23]. Кроме СПГ-танкеров, в санкционный список попали среднетоннажные заводы по сжижению природного газа «Газпром СПГ Портовая» и «Криогаз-Высоцк».

Среди предприятий из других отраслей в санкционном пакете оказались ОАО «Кузбассразрезуголь», угледобывающий ГОК «Денисовский» в Якутии, АО «Лискинский завод монтажных заготовок» и другие компании.

Кроме того, теперь сам факт работы в энергетическом секторе России – в настоящее время или в прошлом – является достаточным поводом для попадания в санкционный список США.

Отрицательно скажется на нефтегазовом секторе России и запрет американским нефтесервисным компаниям работать в нашей стране. В первую очередь это коснется деятельности важнейшего игрока на этом рынке – американской компании Schlumberger.

НПЗ в Индии

Источник: [economictimes.indiatimes.com](http://economictimes.indiatimes.com)

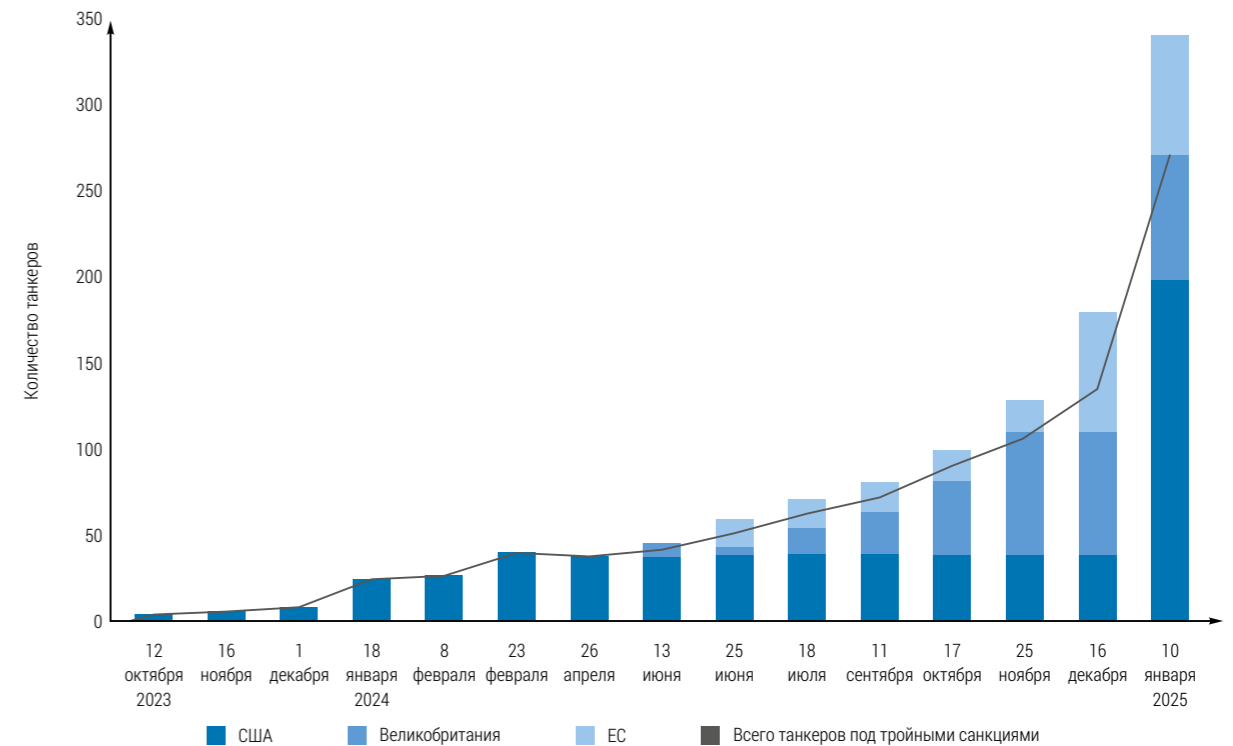


Рис. 4. Количество российских танкеров, находящихся под санкциями США и их союзников

Источник: [32]

15 января 2025 г. Государственный департамент США ввел новые санкции в отношении более чем 150 юридических и физических лиц в соответствии с административным указом (Executive Order – E.O.) 14024, в том числе в отношении широкого круга компаний оборонной промышленности России и тех, кто поддерживает её военно-промышленную базу. «Сегодняшние санкции также распространяются на десятки компаний во многих странах, которые продолжают поддерживать усилия России по уклонению от санкций США, особенно в КНР, которая остается крупнейшим поставщиком товаров двойного назначения и пособником уклонения от санкций в поддержку военных усилий России», – отмечается в соответствующем пресс-релизе Минфина США. И добавляется: «Сегодняшние действия подрывают способность Кремля обойти наши санкции и получить доступ к товарам, необходимым для создания оружия для войны в Украине» [24].

Не хотят отставать от США и их европейские союзники. В частности, новый состав Европейской комиссии – высшего органа исполнительной власти Европейского союза, утверждённый Европейским

парламентом 27 ноября 2024 г., показал, что она уже в 2025 г. намерена сделать гораздо больше для ужесточения таких санкций. Так, Дэн Йоргенсен, бывший датский министр по вопросам климата, который стал комиссаром по энергетике и жилищному строительству и сейчас руководит энергетической политикой ЕС, выступая 5 ноября 2024 г. на слушаниях в Европарламенте, пообещал в I кв. 2025 г. представить дорожную карту поэтапного отказа от энергетической зависимости от России. «В первые 100 дней я представлю план, как ускорить прекращение нашей зависимости от российского газа до 2027 г.», – сказал он [25]. В этом плане/дорожной карте, как считают аналитики, судя по всему, будет оговариваться отказ не только от российского СПГ, но и от ядерного топлива [26].

Кроме того, в ближайшие месяцы в силу вступят новые ограничения ЕС на реэкспорт российского СПГ, принятые в рамках предыдущего пакета санкций. Это означает, что страны ЕС будут блокировать перепродажу природного газа, проходящего через их порты, что создаст логистическую проблему для судовозов России [26].

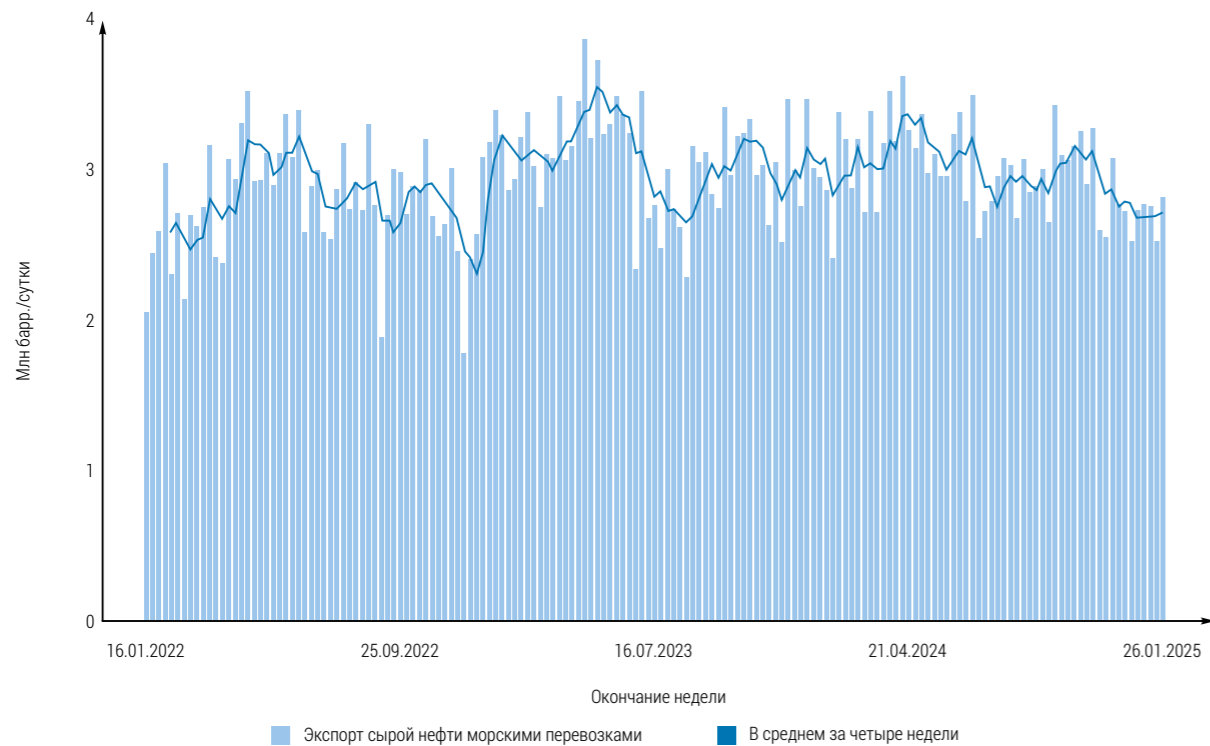


Рис. 5. Морские перевозки нефти из России в 2022–2025 гг.

Источник: [34] по данным отслеживания судов, осуществляемого агентством Bloomberg

Новыми санкциями и высокими тарифами на всё, что Россия продает Соединённым Штатам и различным другим странам-участницам, пригрозил Президент США Д. Трамп в своей соцсети Truth Social 22 января 2025 г., если Москва откажется от заключения сделки по Украине [27]. В тот же день он заявил, что считает вероятным дальнейшее ужесточение санкций США против РФ, если Москва не пойдёт на переговоры по урегулированию на Украине [28].

Сообщения о первых последствиях новых американских санкций появились

### Новые санкции, нацеленные на российскую цепочку поставок нефти, привели к резкому росту затрат на фрахт не только теневых судов, но и танкеров, не затронутых санкциями США

менее чем через 3 дня после их оглашения. Уже 13 января агентства Reuters и Bloomberg отметили, что 65 танкеров, которые везли российскую нефть, остановились, не дойдя до мест назначения, в водах РФ, КНР и Сингапура, что Индия также прекращает торговлю с подсанкционными российскими компаниями, и не будет принимать нефтяные танкеры, попавшие в американские санкционные списки [29, 30]. А таких танкеров много. По имеющимся данным, если считать танкера, ограничения на которые одновременно наложили Великобритания, США и ЕС – 270 судов в сумме. Если учитывать те, которые попали под санкции как минимум одной страны или ЕС, – почти 350 (рис. 4). Кроме того, российскую нефть перевозит и большое количество танкеров так называемого «теневого» флота<sup>4</sup>. Их использование в целях обхода санкций является давно укоренившейся практикой для подсанкционных стран, особенно Ирана, Венесуэлы, а в последнее время и России. Выше, при цитировании пресс-релиза Минфина США от 10 января

<sup>4</sup> Напомним, что «теневого» флот позволяет России продавать свою нефть по цене выше установленного G7 потолка в 60 долл. за барр.

2025 г., упоминалось введение санкций в отношении беспрецедентного количества нефтяных танкеров, многие из которых входят в состав «теневого» флота. И действительно, их точное общее количество никто не знает. В Lloyd's List Intelligence подсчитали, что активный «теневого» флот, перевозящий иранскую, российскую и венесуэльскую нефть, насчитывает около 670 танкеров, из которых 250–300 задействованы в перевозке российской нефти. Аналитики «БКС-экспресса» оценивают теневого флота в 800 кораблей. В S&P Global насчитали около 889 судов общим дедевитом больше 111 млн т, которые могли перевозить нефть и нефтепродукты из России [29, 31]. Поэтому вполне естественно, что рассмотренные выше санкции США могут ударить по экспортным поставкам российской нефти достаточно сильно.

По данным аналитической компании Kpler, последние санкции США нацелены на танкеры, которые перевозят около 42% морского экспорта нефти из России, в первую очередь в Китай и Индию [33]. При этом судам, попавшим под санкции, по словам высокопоставленного индийского чиновника, не будет разрешено разгружаться в индийских портах, а индийские

банки будут требовать сертификаты происхождения нефти, чтобы гарантировать, что она не поступает от поставщиков, находящихся под санкциями [30].

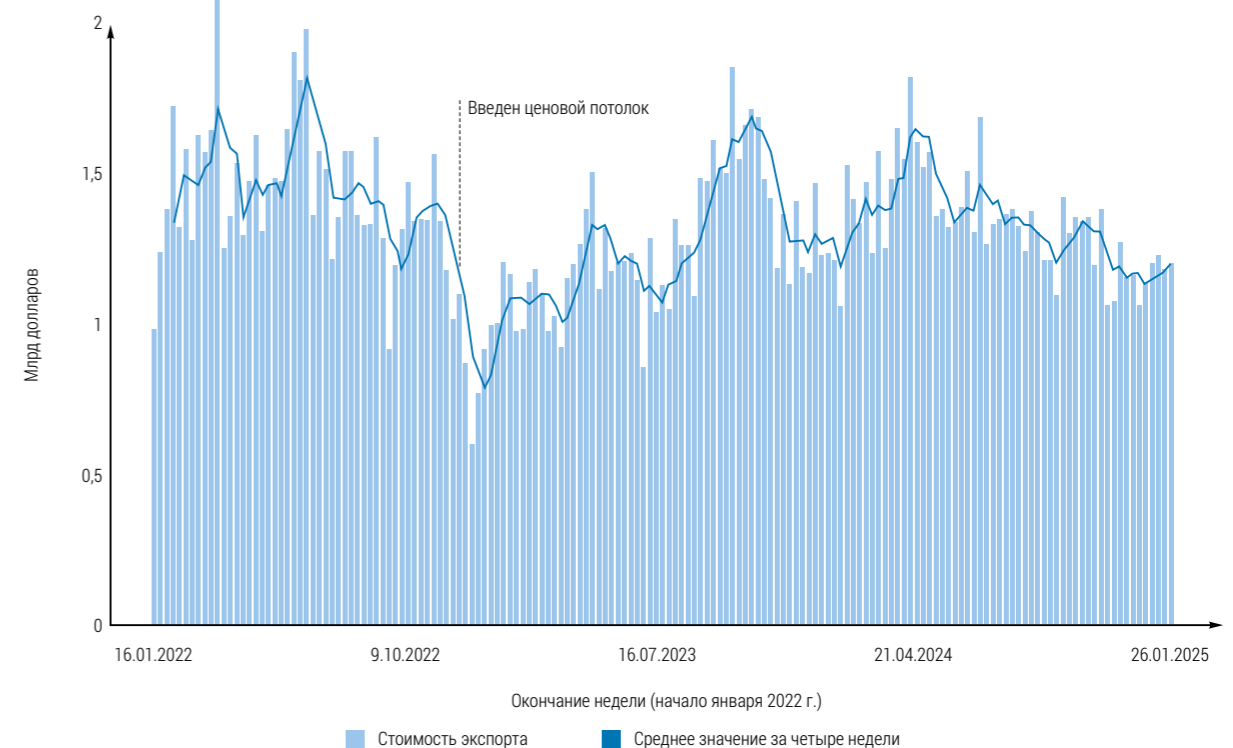
К тому же, по данным трейдеров, новые санкции, нацеленные на российскую цепочку поставок нефти, привели к резкому росту затрат на фрахт танкеров, и не затронутых санкциями США [33].

Как ожидают в руководстве Министерства нефти и природного газа Индии (Ministry of Petroleum and Natural Gas), влияние санкций США особенно сильно будет ощущаться, когда через 2 месяца (к 27 февраля) истечет разрешённый санкциями период разгрузки танкеров с российской нефтью [30]. До конца января 2025 г. явных признаков сокращения потоков нефти из России не было (рис. 5).

Среднее значение поставок в первые 4 недели января 2025 г., наблюдаемое агентством Bloomberg, показало, что они мало изменились за неделю до 26 января, хотя и на относительно низких уровнях по историческим меркам. Ежедневные потоки российской сырой нефти за эту неделю выросли примерно на 320 тыс. барр./сут., до 3,07 млн барр./сут., или на 11%, по сравнению с предыдущей неделей. В целом же

Рис. 6. Валовая стоимость морского экспорта нефти из России в 2022–2025 гг.

Источник: [34] по данным отслеживания судов, осуществляемого агентством Bloomberg



поставки сырой нефти за первые 4 недели 2025 г. составили около 290 тыс. барр./сут., на 9%, что ниже среднего показателя за весь предыдущий год.

Подобная оценка содержится и в отчете о рынке нефти МЭА, вышедшем в феврале 2025 г. (Oil Market Report – February 2025) [35]. «Новые санкции США в отношении России и Ирана взбудоражили рынки в начале года, но они еще не оказали существенного влияния на мировые поставки нефти. Экспорт иранской сырой нефти снизился лишь незначительно, в то время как российские потоки пока остаются в основном незатронутыми», – отмечается в нём.

Но уже за 7 дней, с 3 по 9 февраля ежедневные экспортные потоки российской сырой нефти упали примерно на 750 000 барр., или на 25%, по сравнению с предыдущей неделей, снизившись до 2,3 млн барр./сут. [36]. Не было заметных снижений и валютных поступлений от морского экспорта нефти из России (рис. 6).

Но уже за первую неделю февраля стоимость экспорта российской нефти, поставляемой танкерами, снизилась по сравнению с предыдущей неделей на 1–3 долл. за барр. Такое снижение цен на российскую нефть в сочетании с сокращением объемов экспорта привело к тому, что валовая стоимость её экспорта снизилась примерно на 380 млн долл., или на 28%, до 990 млн за неделю до 9 февраля 2025 г. По оценке Bloomberg, это самый низкий показатель с декабря 2022 г. В среднем же за 4 недели доход снизился примерно до 1,31 млрд долл. в неделю с 1,43 млрд долл. за период до 2 февраля [36].

Однако, как отмечает Хавьер Блас, обозреватель Bloomberg Opinion, Россия находится под санкциями уже почти 3 года, но западные политики сосредоточились на удержании низких цен на нефть, а не на ограничении потоков. В последние дни своего пребывания в должности бывший президент Джо



СПГ-танкер «Кристоф де Маржери»  
Источник: strana-rosatom.ru

Байден немного изменил ситуацию, наложив на Москву самые строгие санкции за всю историю. После того, как первоначальный шок прошёл, контрабандисты начали искать пути решения, и России понадобилось менее 25 дней, чтобы найти обходные пути. Да, Кремлю приходится продавать свою нефть по более низким ценам и платить больше за её транспортировку. Сбоев предостаточно, и часть продукции ещё не нашла конечного клиента, что вынуждает некоторые танкеры превращаться во временные плавучие хранилища, но в целом нефть всё равно течёт [37].

В заключение отметим, что наступивший год обещает быть столь же богатым на различные события и вызовы для мировой экономики, как и год прошедший. Причем неопределенность с их наступлением будет даже выше, учитывая характер и особенности мировоззрения новой администрации США на глобальные проблемы и возможности их решения.

## Использованные источники

1. Мастепанов А.М. Россия в системе глобальной энергетической безопасности // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Вып. 11 / РАН. ИНИОН. Отд. науч. сотрудничества; Отв. ред. В.И. Герасимов. – М., 2016. Ч. 2. С. 138–144.
2. Итоги года с Владимиром Путиным. – URL: <https://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/by-date/19.12.2024>
3. Ф. Лукьянов. Земная ось сопротивления // Газета «Коммерсантъ» №239 от 25.12.2024, С. 6. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7402026>
4. Мастепанов А.М. Еще раз о глобальных вызовах нефтегазовому сектору российской экономики // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом // Научно-экономич. журнал. 2025, № 1(241). С. 5–7.
5. Мастепанов А.М. Климатическая составляющая основных факторов, определяющих развитие нефтегазового сектора российской экономики в 2025 г. // Проблемы национальной стратегии. 2025. № 1 (88).
6. GDP Ranked by Country 2024. – URL: <https://worldpopulationreview.com/countries/by-gdp>
7. Percentage Share of Global GDP IN 2024. – URL: <https://www.worlddeconomics.com/Share-of-Global-GDP/United%20States.aspx>
8. About United States Real GDP YoY. – URL: <https://www.tradingview.com/symbols/economics-usgdp/>
9. The World in 2050. The long view: how will the global economic order change by 2050? – URL: <https://www.pwc.com/gx/en/research-insights/economy/the-world-in-2050.html>
10. The U.S. Share of the Global Economy Over Time. – URL: <https://www.visualcapitalist.com/u-s-share-of-global-economy-over-time/>
11. GDP (current US\$). World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files. – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/ny.gdp.mktf.cd>
12. ВВП стран в 1980–2023 гг. – URL: <https://svspsb.net/danmark/vvp-dolja.php>
13. U.S. National Debt, as a Percent of GDP (1900-2035P). – URL: <https://www.visualcapitalist.com/u-s-national-debt-projections-2025-2035/>
14. The Budget and Economic Outlook: 2023 to 2033. The Congressional Budget Office. February. 2023. – URL: <https://www.cbo.gov/system/files/2023-02/58848-Outlook.pdf>
15. The Budget and Economic Outlook: 2025 to 2035. The Congressional Budget Office. January. 2025 – URL: <https://www.cbo.gov/system/files/2025-01/60870-Outlook-2025.pdf>
16. Расширенное заседание коллегии Минобороны. 16 декабря 2024 г. – URL: [www.kremlin.ru/events/president/transcripts/75887](http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/75887)
17. Доклад И.И. Сечина. Прощание с иллюзиями. Мировая энергетика в ловушке Фукидида – URL: [https://www.rosneft.ru/upload/site1/attach/0/22/16/pdf\\_05122024\\_1.pdf?ysclid=m5fn4fc9hp63570291](https://www.rosneft.ru/upload/site1/attach/0/22/16/pdf_05122024_1.pdf?ysclid=m5fn4fc9hp63570291)
18. Санкции против России: актуальная статистика. – URL: <https://x-compliance.ru/statistics?ysclid=m4agbioga945227357>
19. Информация о введенных санкциях в отношении Российской Федерации. – URL: [https://uslugi.tpprf.ru/ru/sanctions\\_2022/](https://uslugi.tpprf.ru/ru/sanctions_2022/)
20. Интервью министра иностранных дел Российской Федерации С.В. Лаврова российским и зарубежным СМИ, Москва, 26 декабря 2024 г. – URL: [https://www.mid.ru/ru/press\\_service/minister\\_speeches/1989213/](https://www.mid.ru/ru/press_service/minister_speeches/1989213/)
21. WSJ оценила потери международных компаний в России в 59 млрд долл. – URL: <https://www.rbc.ru/business/10/06/2022/62a37e2c9a79471b331c91a2?ysclid=m5cbpcci2h98441582>
22. Мастепанов А.М. Об основных проблемах, стоящих перед нефтегазовым комплексом России в предстоящие десятилетия // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2024, № 1(229). С. 5–7.
23. Treasury Intensifies Sanctions Against Russia by Targeting Russia's Oil Production and Exports. – URL: <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy2777>
24. Treasury Disrupts Russia's Sanctions Evasion Schemes. January 15, 2025. – URL: <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy2785>
25. EU's Jorgensen Wants Cheaper Energy, End to Russian Fuel Imports. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2024-11-05/eu-s-jorgensen-wants-cheaper-energy-end-to-russian-fuel-imports>
26. Европейские энергетические санкции против России исчерпали себя. Смогут ли Польша возродить их? – URL: <https://finance.mail.ru/2024-12-04/evropeyskie-energeticheskie-sankcii-protiv-rossii-ischerpali-sebya-smozhet-li-polsha-63914416/?ysclid=m4e5qj61c9516256499>
27. Трамп призвал Россию пойти на сделку по Украине и пригрозил санкциями. – URL: [https://www.rbc.ru/politics/24/01/2025/679301679a794745047f8e0d?utm\\_source=news\\_mail\\_ru&utm\\_medium=inform&utm\\_campaign=rbc\\_partners&utm\\_term=2](https://www.rbc.ru/politics/24/01/2025/679301679a794745047f8e0d?utm_source=news_mail_ru&utm_medium=inform&utm_campaign=rbc_partners&utm_term=2)
28. Трамп допустил ужесточение санкций против РФ. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/22938853>
29. Городилов М. Китай и Индия не пускают российскую нефть в свои порты: первые последствия новых санкций США. – URL: <https://journal.tinkoff.ru/news/usa-sanctions-oil-2025/>
30. India to Reject Oil Tankers That Were Sanctioned by US on Friday. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2025-01-13/india-to-reject-oil-tankers-that-were-sanctioned-by-us-on-friday>
31. S&P: Россия контролирует 586 нефтеналивных судов общим дедвейтом 57,1 млн т. – URL: <https://oilcapital.ru/news/2024-11-13/s-p-rossiya-kontroliruet-586-neftenalivnyh-sudov-obschim-dedveytom-57-1-mln-tonn-5247288>
32. Сколько танкеров под санкциями? – URL: [https://t.me/nefte\\_baza/5985](https://t.me/nefte_baza/5985)
33. Russia oil trade to China, India stalls as sanctions drive up shipping costs. – URL: <https://www.reuters.com/markets/commodities/russia-oil-trade-china-india-stalls-sanctions-drive-up-shipping-costs-2025-01-28/>
34. Russia Set to Test New Delhi's Nerve by Sending Sanctioned Oil and Tankers to India. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2025-01-28/russia-is-finding-ways-round-us-oil-sanctions-for-now?smid=phx-economics-v2>
35. IEA. Oil Market Report - February 2025. – URL: <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-february-2025>
36. Russia's Sakhalin Island Oil Is Backing Up After US Sanctions. By Julian Lee. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2025-02-11/russia-s-sakhalin-island-oil-is-backing-up-after-us-sanctions>
37. The Black Market for Oil Will Continue to Thrive. By Javier Blas. – URL: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2025-02-11/the-black-market-for-oil-will-continue-to-thrive>

# Оценка углеродного следа международных поставок природного газа в Китай

## Assessing the carbon footprint of international natural gas supply to China

Александр ИШКОВ  
Заместитель начальника департамента – начальник управления ПАО «Газпром», профессор кафедры ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития» Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева, д. х. н.

Константин РОМАНОВ  
Заместитель начальника Управления ПАО «Газпром», генеральный директор ООО «Газпром водород», ответственный секретарь координационного комитета ПАО «Газпром» по вопросам рационального природопользования, к. э. н.

Евгений КОЛОШКИН  
Главный технолог ПАО «Газпром», ученый секретарь секции № 19 научно-технического совета ПАО «Газпром»

Денис НЕРЕТИН  
Начальник КНТЦ экологической безопасности и энергоэффективности ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к. т. н.

Александр ТЕРЕБНЕВ  
Заместитель начальника КНТЦ экологической безопасности и энергоэффективности, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к. т. н.

Виктор ГОЛУШКО  
Заместитель начальника лаборатории охраны окружающей среды и ресурсосбережения ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Влада САМСОНОВА  
Главный специалист лаборатории охраны окружающей среды и ресурсосбережения ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Ксения РОМАНОВСКАЯ  
Ведущий специалист лаборатории охраны окружающей среды и ресурсосбережения ООО «Газпром ВНИИГАЗ», аспирант департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции института экологии РУДН

Аннотация. Статья посвящена исследованию углеродного следа международных поставок природного газа на различных этапах его жизненного цикла. Это актуальная задача в контексте глобальной проблемы увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере и развития концепции углеродной нейтральности. Исследование включает анализ маршрутов поставок природного газа в Китай из России, Катара, Австралии и США. В работе используются различные методы и инструменты для оценки углеродного следа каждого маршрута транспортировки. Проводится сравнение полученных результатов с данными официальных отчетов компаний поставщиков, а также ранжирование маршрутов поставок газа в Китай. Отмечается, что наименьший углеродный след поставок газа в Китай характерен для поставок трубопроводного газа и СПГ из России, наибольший – для поставок из США.

*Ключевые слова:* парниковые газы, углеродный след, жизненный цикл, СПГ, природный газ.

Abstract. The article is devoted to the study of the carbon footprint of international natural gas supplies at various stages of its life cycle. This is a relevant task in the context of the global problem of increasing greenhouse gas concentrations in the atmosphere and the development of the concept of carbon neutrality. The study includes an analysis of natural gas supply routes to China from Russia, Qatar, Australia and the United States. The work uses various methods and tools to assess the carbon footprint of each transportation route. The results are compared with the data of official reports of supplier companies, as well as the ranking of gas supply routes to China. It is noted that the smallest carbon footprint of gas supplies to China is typical for pipeline gas and LNG supplies from Russia, the largest – for supplies from the United States.

*Keywords:* greenhouse gases, carbon footprint, life cycle, LNG, natural gas.



### Минимизация выбросов парниковых газов имеет ключевое значение для повышения эффективности использования природного газа

Приоритетным направлением низкоуглеродного развития является снижение углеродоемкости товаров и услуг. В качестве объективного критерия углеродоемкости используется углеродный след продукции – приведенная к единице продукции сумма выбросов парниковых газов (ПГ) в производственной системе, выраженная в эквиваленте CO<sub>2</sub> и основанная на оценке жизненного цикла (ЖЦ) продукции.

Процесс добычи, переработки, транспортировки и распределения природного газа также сопряжен с выбросами ПГ, что делает актуальным исследование углеродного следа различных маршрутов поставок. Понимание и минимизация данных выбросов имеют ключевое значение для повышения эффективности использования природного газа и оптимизации энергетических систем в целом.

Природный газ играет важную роль в процессе перехода стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) к низкоуглеродной энергетике. Быстрый экономический рост стран АТР влияет на структуру мирового потребления энергии, следовательно, показатели окружающей среды в регионе зависят от скорости перехода к более чистым источникам энергии. Локомотивом развития газового рынка региона и мира в целом в последние годы выступает Китай. Позиционируя ускоренную газификацию страны в качестве ведущего стратегического приоритета современной энергетической политики, КНР взяла на себя обязательство достичь пика выбросов CO<sub>2</sub> к 2030 г. и углеродной нейтральности к 2060 г.

Для оценки углеродного следа поставок природного газа в данной работе выбраны российские проекты ПАО «Газпром» (магистральный газопровод «Сила Сибири», проект СПГ «Сахалин 2»), ПАО «Новатэк» (проект «Ямал СПГ») и проекты крупнейших зарубежных экспортеров СПГ – США (проект Sabine Pass LNG), Австралии (проекты Gorgon LNG и Australia Pacific LNG), а также Катара (проект North Field East Project), осуществляющих поставки природного газа в Китай.

Процесс количественной оценки углеродного следа основан на изучении жизненного цикла поставки газа. Перечень требований к анализу жизненного цикла



Магистральный газопровод «Сила Сибири на КС «Атаманская»  
Источник: «Газпром»

и расчету углеродного следа продукции установлен рядом международных стандартов [1–3]. Инвентаризационный анализ жизненного цикла продукции предусматривает определение элементарных процессов, сопровождающихся выбросами ПГ в границах производственной системы (процессы выделяются с учетом прямых и косвенных выбросов). В качестве основных процессов рассматриваются ключевые производственные (добыча, подготовка, транспортировка, переработка) и вспомогательные (потребление тепловой и электрической энергий и т. д.) процессы. В данной работе при расчете углеродного следа поставок природного газа учитыва-

лись прямые (охват 1) и косвенные (охват 2) выбросы ПГ.

Границы жизненного цикла трубопроводных поставок природного газа включают добычу и сбор природного газа, включая его транспортировку по промысловым газопроводам и подготовку, транспортировку по магистральному трубопроводу до границы с государством-импортером. Жизненный цикл СПГ дополнительно включает этапы сжижения, морской транспортировки до порта назначения и регазификации.

Для расчета углеродного следа природного газа разработана матрица данных расчетной модели выбросов ПГ для всех этапов жизненного цикла природного газа, проведен анализ основных характеристик маршрутов трубопроводной транспортировки газа и СПГ. В расчетах учитывались данные следующих показателей: объем добываемого и транспортируемого газа, протяженность маршрута транспортировки, компонентный состав газа, расход топлива при стационарном и факельном сжигании, фугитивные выбросы, объем производства СПГ, объем экспортируемого СПГ, а также справочные данные коэффициентов выбросов ПГ [4]. Рассмотрим углеродный след природного газа, транспортируемого в Китай на каждом из этапов его жизненного цикла.

Среди факторов, влияющих на углеродный след добычи газа, необходимо выделить тип месторождения, инфраструктуру, технологии добычи, а также углеродное регулирование государства. Сегодня ведущие российские и международные компании стремятся снизить свой углеродный след с помощью диверсификации источников энергии, применения энергоэффективных решений и инновационных методов добычи и т. д.

Выбор объекта исследования в США обусловлен данными отчетности Управления ископаемых источников энергии Министерства энергетики США по поставкам СПГ из США в Китай в 2022 г. В качестве репрезентативного объекта выбран проект Sabine Pass Liquefaction LLC (SPL) компании Cheniere Energy, на долю которого приходится 38% экспортных поставок СПГ США. Сведения об отгрузках СПГ в Китай в 2023 г. также свидетельствуют о лидирующей позиции SPL среди американских экспортеров.

Оценка выбросов ПГ на этапах добычи и трубопроводной транспортировки при-

родного газа (до этапа сжижения) проведена на основе исследования [5], в котором рассмотрена цепочка поставок СПГ SPL от производства в США до доставки в Китай с использованием данных конкретного поставщика, собранных от устья скважины до морской транспортировки.

В данном исследовании оценка жизненного цикла проводится в соответствии со стандартами ISO 14040 [1], ISO 14044 [2] и ISO 14067 [3]. Разработанная модель оценки создана на основе подхода единичных процессов и включает более 125 уникальных источников выбросов ПГ, а также свыше 50 уникальных единичных технологических процессов. Основой для данной модели послужила общедоступная модель цепочки поставок Национальной лаборатории энергетических технологий (NETL), применяемая для операций по добыче, сбору и подготовке, переработке, транспортировке и хранению природного газа. Параметры модели были адаптированы под специфические условия цепочки поставок компании Cheniere, при этом основным источником данных о производственной деятельности и выбросах стал подраздел W Программы отчетности по ПГ (GHGRP) Агентства по охране окружающей среды (US EPA).

Анализ компании Cheniere в 2018 г. показал, что 58% поставленного природного газа получено от идентифицированных независимых производителей, тогда как оставшаяся часть была предоставлена трейдерами, которые не имеют возможности раскрыть конкретные источники происхождения газа.

Оценка выбросов ПГ для компаний, занимающихся торговлей природным газом, базировалась на усредненной модели цепочки поставок природного газа в США, созданной на основе данных программы

## Границы жизненного цикла трубопроводных поставок газа включают добычу и сбор, включая его транспортировку по промысловым, а затем – по магистральным газопроводам до границы

GHGRP. Для известных поставщиков подробные данные на уровне объектов были предоставлены либо путем предоставления отчета GHGRP Subpart W, либо посредством добровольной отчетности от соответствующих объектов поставщиков Cheniere, которые не подлежат обязательному отчету в рамках GHGRP (ввиду того, что они не достигают порогового уровня отчетности или вследствие нахождения вне юрисдикции Агентства по охране окружающей среды США).

Результаты оценки интенсивности выбросов ПГ поставок природного газа SPL в Китай по этапам жизненного цикла природного газа представлены в таблице 1.

Этапы 1–3 жизненного цикла природного газа, представленные в таблице 1, предложено отнести к этапу добычи, этапы 4–6 предложено отнести к этапу трубопроводной транспортировки. Таким образом, углеродный след этапа добычи составляет 7,63 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж, этапа транспортировки до завода по сжижению – 3,31 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж.

По данным платформы управления и анализа показателей устойчивого развития SIMAP [6], интенсивность производ-

Таблица 1. Интенсивность выбросов парниковых газов поставок природного газа SPL в Китай по этапам жизненного цикла природного газа (ПГП 100), кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж

Этап жизненного цикла	Интенсивность выбросов
1. Добыча	2,47
2. Сбор и повышение давления	1,99
3. Подготовка	3,17
Всего по этапам 1–3	7,63
4. Компрессорная станция магистрального газопровода	2,86
5. Магистральное хранилище	0,18
6. Магистральный трубопровод	0,27
Всего по этапам 4–6	3,31
<b>Всего по этапам 1–6</b>	<b>10,94</b>

Выбросы	Объем выбросов
CO <sub>2</sub> , охват 1	153 551
CH <sub>4</sub> , охват 1	19 404
Парниковые газы всего, охват 1	170 966
Парниковые газы всего, охват 2	2 051

Таблица 2. Выбросы парниковых газов на этапе транспортировки по трубопроводу СТПЛ, т CO<sub>2</sub>-экв.

Источник: Corporate Responsibility Report – Key Performance Data, Cheniere, 2022

Выбросы	Объем выбросов
CO <sub>2</sub> , охват 1	7 195 955
CH <sub>4</sub> , охват 1	24 668
Парниковые газы всего, охват 1	7 221 521
Парниковые газы всего, охват 2	235

Таблица 3. Выбросы парниковых газов на этапе сжижения природного газа на заводе SPL, т CO<sub>2</sub>-экв.

Источник: Corporate Responsibility Report – Key Performance Data, Cheniere, 2022

ственных выбросов при добыче для бассейнов природного газа в среднем по США составляет 0,499 кг CH<sub>4</sub>/ГДж.

Дополнительно проведена проверка данных исследования по этапу трубопроводной транспортировки природного газа. В таблице 2 приведены данные о выбросах охватов 1 и 2 на этапе трубопроводной транспортировки по трубопроводу Creole Trail Pipeline (СТПЛ).

Проектная мощность СТПЛ [7] составляет 574 437 тыс. ГДж/год. Таким образом, углеродный след трубопроводной транспортировки СТПЛ составил 0,3 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж.

Таким образом, расчет углеродного следа этапа трубопроводной транспортировки (п. 6 таблицы 1) является подтвержденным.

Данные по количеству СПГ, сжиженному в 2022 г. на заводе SPL представлены в годовом отчете компании [8]. Объем отгруженного СПГ SPL в 2022 г. составил 1 603 752 тыс. ГДж. В таблице 3 приведены данные о выбросах охватов 1 и 2 на этапе сжижения газа на заводе SPL.

В результате проведенных расчетов углеродный след сжижения природного газа на заводе SPL в охватах 1 и 2 составил 4,5 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж.

В качестве коэффициентов выбросов парниковых газов на этапе морской транспортировки СПГ приняты данные, опубликованные в четвертом исследовании о выбросах ПГ Международной морской организации в 2020 г. [9, 10]. При отсутствии данных о расходе то-

Плавающая регазификационная установка

Источник: Shell



Pacific LNG

Источник: Australia Pacific LNG

плива каждым танкером СПГ в конкретном рейсе и о пройденном расстоянии, для оценки углеродоемкости международных перевозок в данной работе принято среднее значение коэффициента выбросов CO<sub>2</sub> в час на ходу, равное 13,2 т CO<sub>2</sub>/час. Коэффициенты выбросов CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> для видов топлива, на котором работают СПГ-танкеры, в среднем составляют 3114–3206 кг и 0,04–0,05 кг на 1 т топлива соответственно. Выбросы CH<sub>4</sub> составляют 0,0015% от выбросов CO<sub>2</sub> [9].

Расчет углеродного следа морской транспортировки основан на данных о транзитном времени и массе транспортируемого СПГ. Таким образом, углеродный след морской транспортировки СПГ SPL составил 3,554 кг CO<sub>2</sub>/ГДж.

Аналогичным образом выполнен анализ структуры углеродного следа поставок СПГ из Австралии в Китай. В качестве репрезентативных объектов выбраны СПГ-проекты Gorgon LNG компании Chevron (морская добыча) и Australia Pacific LNG (APLNG) компании ConocoPhillips на базе угольного метана (газ угольных пластов), исходя из указанных особенностей проектов и объемов поставок СПГ в Китай (таблица 4).

Gorgon LNG предоставляет отчетность о выбросах ПГ и оценивает углеродный след операций с природным газом и СПГ. Данные о выбросах ПГ охвата 1 действующих объектов добычи природного газа, а также объектов переработки газа (установки газоперерабатывающего завода, завод «Домгаз») и системы закачки угле-

Таблица 4. Объем экспорта СПГ из Австралии в Китай в 2023 г., т

Проект СПГ	Масса СПГ
Australia Pacific LNG	7 594 025
Darwin LNG	141 220
GLNG	370 793
Gorgon LNG	3 530 035
Ichthys LNG	493 697
North West Shelf	5 017 606
Pluto LNG	691 591
Queensland Curtis LNG	5 251 973
Wheatstone LNG	600 418
Всего	23 691 357



Gorgon LNG

Источник: Chevron

кислого газа в пласт представлены в таблице 5.

Данные о выбросах ПГ Gorgon LNG подтверждены официальной отчетностью на сайте Правительства Австралии [11]. Так, в 2022–2023 отчетных годах объем выбросов ПГ Gorgon LNG в Австралии составил 8 191 308 т CO<sub>2</sub>-экв.

Согласно методологии SGE [12], улавливание и хранение углерода в рамках производственного процесса не считается компенсирующим мероприятием, поэтому для расчета углеродного следа этапов добычи и сжижения учтен общий объем выбросов ПГ (таблица 5). Природный газ проекта Gorgon LNG поступает непосредственно с месторождения на завод СПГ, в связи с чем данные о выбросах на этапе трубопроводной транспортировки не включены в расчеты.

Объем обработанного газа (таблица 5) представляет собой количество товар-

ного газа, уменьшенное на объем газа СТН. При расчете углеродного следа Gorgon LNG в настоящем исследовании учтен весь объем природного газа (таблица 5). Таким образом, углеродный след Gorgon LNG этапов «добыча» и «сжижение» равен 7,09 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж.

В отчете об устойчивости к изменению климата Chevron [13] приведены данные о выбросах CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. Общий объем выбросов ПГ охвата 1 Chevron в 2023 г. составляет 52 млн т CO<sub>2</sub>-экв. Проект Gorgon LNG не имеет выбросов области охвата 2 [14]. Углеродный след морской транспортировки СПГ Gorgon LNG равен 1,44 кг CO<sub>2</sub>/ГДж.

Наиболее крупные проекты по сжижению метана угольных пластов расположены на востоке Австралии. В качестве крупнотоннажного репрезентативного СПГ-проекта был выбран APLNG.

В соответствии с проектными расчетами [15], общая интенсивность выбросов ПГ проекта (от угольного пласта до судна) оценивается ориентировочно в 12,52 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж: около 6,06 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж приходится на производство СПГ, 6,45 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж – на добычу и трубопроводную транспортировку природного газа.

По данным отчета об устойчивом развитии APLNG [16], выбросы проекта в 2023 г. в охвате 1 составили 2 808 334 т CO<sub>2</sub>-экв./год, в охвате 2 – 1 994 250 т CO<sub>2</sub>-экв./год. Данные о выбросах ПГ также представлены в официальной отчетности Правительства Австралии [17]. Так, в 2022–2023 отчетных годах объем выбросов ПГ APLNG равен 2 096 033 т CO<sub>2</sub>-экв./год.

Отчетность APLNG представлена по 2 действующим линиям, производственная мощность которых равна 460 128 600 ГДж/год. Таким образом, углеродный след APLNG от этапа добычи до сжижения в охвате 1 равен 6,10 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж и 4,33 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж в охвате 2 (суммарно 10,4 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж. в охватах 1, 2). С учетом соотношения интенсивности выбросов парниковых газов на отдельных этапах жизненного цикла углеродный след этапа добычи и транспортировки равен 5,41 кг

## Среди факторов, влияющих на углеродный след добычи газа, необходимо выделить тип месторождения, инфраструктуру, технологии добычи, а также углеродное регулирование государства

CO<sub>2</sub>-экв./ГДж, этапа сжижения – 4,99 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж.

Углеродный след морской транспортировки СПГ APLNG равен 1,42 кг CO<sub>2</sub>/ГДж.

Для анализа углеродного следа поставок СПГ в Китай из Катара выбран проект Qatar Energy LNG, ежегодно отчитывающийся о выбросах ПГ и оценивающий углеродный след своей продукции. Так, в отчете об устойчивом развитии проекта [18] представлены данные о выбросах ПГ охвата 1 и 2, а также объем производства СПГ в 2023 г. (77 млн т СПГ). По данным отчета, углеродный след проекта состоит из суммы показателей этапа добычи

СПГ в Катаре

Источник: oem-oil.com



Таблица 5. Данные о выбросах парниковых газов Gorgon LNG, 2023 г.

Источник: Gorgon Gas Development and Jansz Feed Gas Pipeline Greenhouse Gas Annual Report FY 2023

Параметр	Единицы измерения	Значение
Объем выбросов парниковых газов	т CO <sub>2</sub> -экв.	8 183 736
Объем обработанного газа	ТДж	1 153 963
Объем произведенного газа	ТДж	1 060 083

Показатель	Этап		
	Добыча	Транспортировка по трубопроводу (ТТР) (млн м <sup>3</sup> ·км)	Сжижение (завод СПГ)
Объем природного газа, млн м <sup>3</sup>	16 423,382	20 501 995,51	–
Производительность, т СПГ/год	–	–	10 411 454,78
Содержание CH <sub>4</sub> в газе, %	91,4	91,4	97,13
Содержание CO <sub>2</sub> в газе, %	1,05	0,88	–
Выбросы ПГ всего, т CO <sub>2</sub> -экв./год	531 417,99	130 483,68	2 357 507,11
– за производственный цикл, т CO <sub>2</sub> -экв./год		3 045 065,79	
– за весь ЖЦ, включая транспортировку СПГ-танкером, т CO <sub>2</sub> -экв./год		3 070 722,81	
в т. ч. выбросов метана, т CH <sub>4</sub> /год	335,15	185,10	50,88
– за производственный цикл, т CH <sub>4</sub> /год	571,13		
– за весь ЖЦ, включая транспортировку СПГ-танкером, т CH <sub>4</sub> /год		571,13	

Таблица 6. Исходные данные и результаты расчета выбросов ПГ охвата 1 при поставках СПГ-проекта «Сахалин 2» в Китай

Источник: данные официальной отчетности ООО «Сахалинская энергия»

(5,08 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж) и этапа производства СПГ (6,06 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж) и составляет 11,14 кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж.

Углеродный след морской транспортировки СПГ Qatar Energy LNG равен 1,4 кг CO<sub>2</sub>/ГДж. Для оценки углеродного следа поставок СПГ из России выбраны проекты «Ямал СПГ» (ПАО «Новатэк») и «Сахалин 2» (ПАО «Газпром»). Исходные данные и результаты расчета выбросов ПГ охвата 1 для оценки углеродного следа поставок российского СПГ в рамках проекта «Сахалин 2» приведены в таблице 6.

Результаты расчета количественной оценки выбросов при производстве СПГ ООО «Сахалинская энергия» за 2023 г. приведен в таблице 7.

Результаты оценки углеродного следа российского СПГ-проекта «Сахалин 2», экспортируемого в Китай, представлены в таблице 8.

Таким образом, по результатам расчетов для проекта «Сахалин 2», в охвате 1 в производственном цикле, включающем этапы добычи, трубопроводной транспортировки и сжижения газа, углеродный след составил 5,673 кг CO<sub>2</sub>/ГДж.

Дополнительно рассчитаны выбросы ПГ охвата 2 от закупленной электроэнергии проекта «Сахалин 2». Фактический объем потребленной электроэнергии в 2023 г. составил 17 309,201 МВт·ч. Коэффициент выбросов ПГ ТИТЭС Сахалинской области составляет 630,3 кг CO<sub>2</sub>-экв./МВт·ч. [19]. Со-

Таблица 7. Результаты расчета количественной оценки выбросов при производстве СПГ ООО «Сахалинская энергия» за 2023 г., т CO<sub>2</sub>-экв.

Показатели выбросов ПГ	Всего	в т. ч. по стадиям ЖЦ природного газа:		
		добыча	трубопроводная транспортировка	сжижение
Выбросы ПГ, всего, в т. ч.:	3 045 065,79	531 417,99	130 483,68	2 357 507,11
CO <sub>2</sub>	3 020 116,08	522 033,88	125 300,80	2 356 082,58
CH <sub>4</sub>	17 439,32	9 384,12	5 182,88	1 424,53
Стационарное сжигание топлива, всего, в т. ч.:	2 711 388,59	463 118,21	124 712,94	2 123 795,49
CO <sub>2</sub>	2 711 388,59	463 118,21	124 712,94	2 123 795,49
Факельное сжигание, всего, в т. ч.:	320 978,06	68 299,798	0	233 711,62
CO <sub>2</sub>	308 721,61	58 915,67	0	232 287,09
CH <sub>4</sub>	12 256,44	9 384,12	0	1 424,53
Проведение технологических операций, осуществляемых при разведке, добыче, переработке, подготовке, транспортировке, хранении нефти и газа, всего, в т. ч.:	5 188,76	0	5 770,74	0
CO <sub>2</sub>	5,88	0	587,86	0
CH <sub>4</sub>	5 182,88	0	5 182,88	0



Танкер-газовоз проекта «Сахалин 2»

Источник: gazprom.ru

ответственно, выбросы ПГ охвата 2 составляют 10 909 989,39 кг CO<sub>2</sub>-экв. Углеродный след проекта в охвате 2 составил 0,02 кг CO<sub>2</sub>/ГДж. Углеродный след морской транспортировки СПГ-проекта «Сахалин 2» равен 0,814 кг CO<sub>2</sub>/ГДж.

ОАО «Ямал СПГ» является оператором завода по производству СПГ на ресурсной базе Южно-Тамбейского месторождения мощностью 17,4 млн т/год, включая 3 линии мощностью 5,5 млн т/год каждая и 1 линию мощностью 900 тыс. т/год.

Согласно корпоративной отчетности [20], добыча углеводородов на Южно-Тамбейском месторождении в 2022 г. составила 713 529 621 ГДж, объем про-

изводства СПГ – 1 073 633 400 ГДж. Генерация электрической и тепловой энергии осуществляется на собственных объектах компании, что обуславливает отсутствие выбросов охвата 2.

В отчете о количественной оценке выбросов ПГ ОАО «Ямал СПГ» за 2022 г. [21] представлены результаты оценки выбросов с применением коэффициентов глобального потепления 29,5 для метана (CH<sub>4</sub>) и 273 для оксида азота (N<sub>2</sub>O). С учетом коэффициентов, применяемых в национальных кадастрах, в таблице 9 выполнен перерасчет выбросов с использованием коэффициентов 28 и 298 соответственно.

Таблица 8. Результаты расчета углеродного следа природного газа, экспортируемого в Китай, СПГ проекта «Сахалин 2», кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж

Стадии жизненного цикла СПГ	Углеродный след
Добыча и подготовка газа (Лун-А+ОБТК)	0,998
Трубопроводная транспортировка газа (ДНКС-2+ТТС юг)	0,245
Сжижение газа (ПГ Пригородное, завод СПГ)	4,429
Итого за производственный цикл	5,673

Таблица 9. Результаты количественной оценки выбросов ПГ «Ямал СПГ» в 2022 г., т CO<sub>2</sub>-экв.

Этап жизненного цикла природного газа	Выбросы CO <sub>2</sub>	Выбросы CH <sub>4</sub>	Выбросы N <sub>2</sub> O	Итого (выбросы)
Добыча	262338,52	1606,43	–	263944,95
Сжижение, хранение и отгрузка	4698903,56	1425,62	–	4700329,18
	48546,04*	838,42	436,39	49820,85
Всего	4747449,6	2264,04	436,39	4750150,03

\* – процессы, которые нельзя однозначно связать с определенным источником



Ямал СПГ

Источник: toffana.ru

На основании публикуемых данных [21], на этапе добычи углеродный след равен 0,37 кг CO<sub>2</sub>-экв/ГДж. На этапе сжижения углеродный след равен 4,42 кг CO<sub>2</sub>-экв/ГДж. Углеродный след морской транспортировки СПГ ОАО «Ямал СПГ» равен 2,865 кг CO<sub>2</sub>/ГДж. Результаты расчетов близки к значениям, представленным в официальных отчетах компании [22].

Транспортируемый морскими танкерами СПГ доставляется на специальные регазификационные терминалы и перекачивается из танкеров в резервуары для его хранения в сжиженном виде, затем

**Расчет углеродного следа морской транспортировки основан на данных о транзитном времени и массе перевозимого СПГ. Углеродный след морской транспортировки СПГ SPL составил 3,554 кг CO<sub>2</sub>/ГДж**

по мере необходимости СПГ переводится в газообразное состояние.

В Китае существует несколько типов регазификационных терминалов для СПГ. Среди них выделяются оффшорные (внебереговые) терминалы, которые монтируются на морских платформах в прибрежной зоне, и плавучие терминалы, представляющие собой СПГ-танкеры, оборудованные системами регазификации. Плавучие регазификационные терминалы подразделяются на регазификационные суда и плавучие регазификационные установки, которые функционируют как стационарные объекты, соединенные трубопроводом с берегом.

В китайской регазификационной системе [23] преобладают терминалы, использующие испарители открытого типа с подогревом морской водой. Коэффициент выбросов парниковых газов для данной технологии составляет 0,33 кг CO<sub>2</sub>/ГДж.

Наиболее доступным источником импорта для потребителей в Китае остается российский трубопроводный газ, благодаря возможностям гибкой адаптации поставок под растущий спрос КНР и близости пункта сдачи к регионам потребления, что снижает расходы на его транспортировку по территории Китая. На сегодняшний день Россия

занимает 1 место по совокупному объему экспорта природного газа в Китай. Оценка углеродного следа трубопроводных поставок представляет научный интерес с точки зрения сопоставления с поставками СПГ, в т. ч. с зарубежными поставщиками. В данном исследовании в качестве анализируемого маршрута выбран действующий магистральный газопровод «Сила Сибири».

Оценка выбросов ПГ магистрального газопровода (МГ) «Сила Сибири» проводилась с использованием официально опубликованных сведений о фактических объемах поставок природного газа в Китай, расходе ТЭР – природного газа на тот или иной технологический процесс или операцию производственного жизненного цикла российского природного газа, представленные в формах корпоративной статистической отчетности ПАО «Газпром» об эффективности использования ТЭР за 2023 г.

В расчетах не учтен этап подземного хранения природного газа с учетом отсутствия ПХГ в рамках экспортного маршрута поставок. При этом выбросы от данного процесса несущественны относительно выбросов добычи и транспортировки природного газа.

В оценку углеродного следа поставок трубопроводного газа включены добыча и подготовка природного газа на Ковыктинском ГКМ и Чаяндинском НГКМ, а также транспортировка газа до границы с государством-импортером.

**Наименьший углеродный след составляют поставки в Китай трубопроводного и сжиженного газа из России. Наибольшим углеродным следом характеризуются поставки СПГ из США и Катара**

Оценка прямых выбросов ПГ по категориям «Стационарное сжигание топлива», «Сжигание в факелах», «Фугитивные выбросы» проведена на основе данных корпоративной отчетности о выбросах ПГ операторов МГ «Сила Сибири» (ООО «Газпром добыча Иркутск», ООО «Газпром добыча Ноябрьск» и ООО «Газпром трансгаз Томск») за 2023 г. в соответствии с методикой, утвержденной приказом Минприроды от 27.05.2022 г. № 371.

Результаты оценки углеродного следа поставок природного газа в Китай по МГ «Сила Сибири» представлены в таблице 10.

Сводные данные результатов оценки углеродного следа маршрутов трубопроводных поставок природного газа и морских перевозок СПГ в Китай из России и других стран приведены в таблице 11.

Таблица 10. Результаты расчета углеродного следа поставок природного газа по МГ «Сила Сибири»

Этапы жизненного цикла экспортного газа	Выбросы ПГ		Углеродный след экспортного газа кг CO <sub>2</sub> -экв./ ГДж
	т CO <sub>2</sub> -экв./год	т СН <sub>4</sub> / год	
Охват 1			
Добыча и подготовка	1 138 453,76	2 790,74	1,3712814
Транспортировка	1 057 219,22	4 727,88	1,5531398
Итого	2 195 672,98	7 518,62	2,92442
Охват 1+2			
Добыча и подготовка	1 217 061,71	2 790,74	1,46597
Транспортировка	1 155 049,77	4 727,88	1,68342
Итого	2 372 111,48	7 518,62	3,1494

Таблица 11. Углеродный след поставок природного газа в Китай, кг CO<sub>2</sub>-экв/ГДж

Проект	Углеродный след
США, Sabine Pass	19,33
Австралия, Gorgon LNG	8,86
Австралия, APLNG	11,91
Катар, Qatar Energy LNG	12,88
Россия, «Сахалин 2»	6,83
Россия, «Ямал СПГ»	7,94
Россия, МГ «Сила Сибири»	2,92

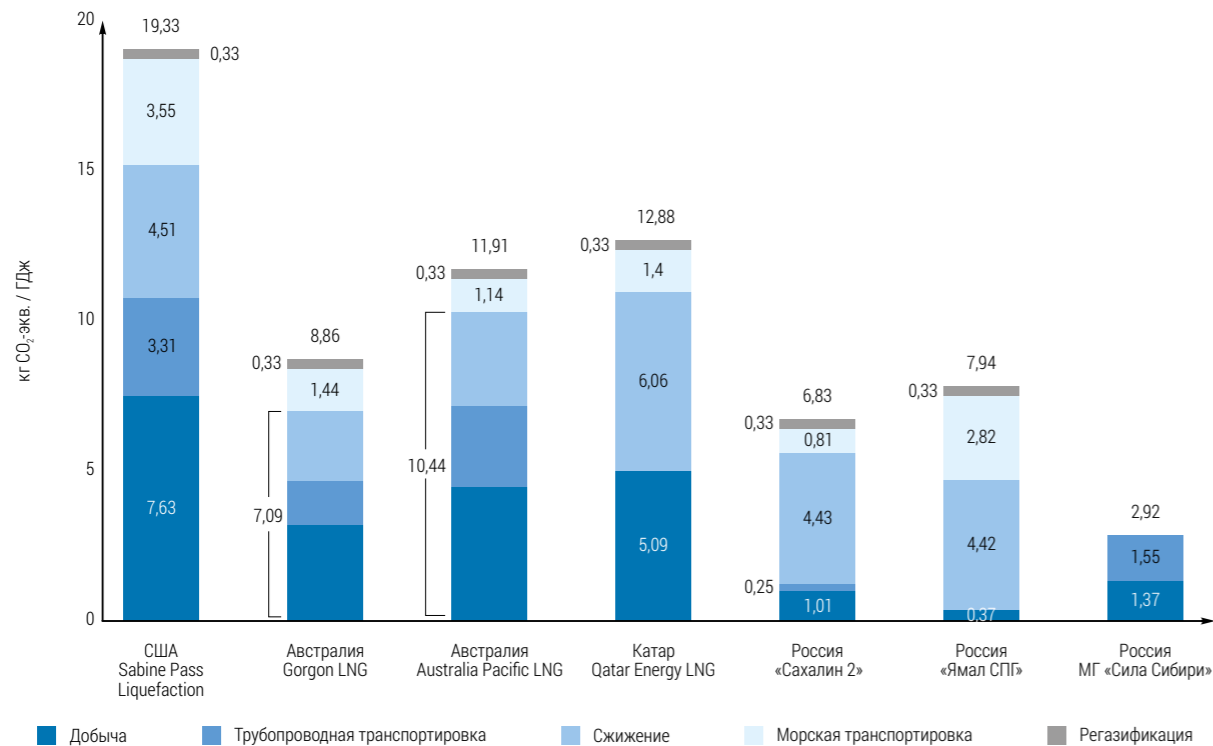


Рис. 1. Углеродный след поставок природного газа в Китай по этапам жизненного цикла, кг CO<sub>2</sub>-экв./ГДж

На рис. 1 представлен углеродный след поставок природного газа в Китай по этапам жизненного цикла СПГ и трубопроводного газа.

Полученные результаты показывают, что основной вклад в углеродный след экспортных маршрутов поставок трубопроводного газа и СПГ вносят этапы добычи, и сжижения природного газа. Сравнительный анализ результатов расчетов

показал, что наименьший углеродный след составляют поставки трубопроводного газа в Китай из России, а также СПГ из России. По расчетным данным, наибольшим углеродным следом характеризуются поставки СПГ из США (SPL) и Катара (Qatar Energy LNG). Так, углеродный след трубопроводного газа из России почти в 7 раз меньше, чем аналогичный показатель СПГ из США.



Магистральный газопровод «Сила Сибири»

Источник: nikvesti.com

Вариативность значений углеродного следа поставок газа зависит от способа добычи природного газа, транспортного плеча трубопроводного газа до завода СПГ, технологии сжижения и транспортно-го плеча морской транспортировки СПГ до потребителя.

Учет углеродного следа, связанного с транспортировкой природного газа, в том числе СПГ, со временем будет играть все более весомую роль в свете ужесточающихся международных и национальных стандартов по учету выбросов парниковых газов.

Для снижения рисков компаниям необходимо не только оценивать углеродный след, но и обеспечивать прозрачность расчетов, а также полное раскрытие информации, делая весь процесс общедоступным в соответствии с рекомендациями международных стандартов.

Российские поставщики природного газа, имеющие меньший углеродный след по сравнению с иностранными экспортерами, обладают конкурентными преимуществами в условиях низкоуглеродного регулирования и стратегической инициативы Китая по снижению выбросов парниковых газов.

## Использованные источники

- ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. – URL: <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- ISO 14044:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. – URL: <https://www.iso.org/standard/38498.html>
- ISO 14067:2018. Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification. – URL: <https://www.iso.org/ru/standard/71206.html>
- Приказ Минприроды России от 27.05.2022 г. № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов».
- LNG Supply Chains: A Supplier-Specific Life-Cycle Assessment for Improved Emission Accounting. – URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.1c03307>
- FERA: Natural Gas. SIMAP. The Sustainability Institute at the University of New Hampshire. – URL: <https://unhsimap.org/map/resources/fera-naturalgas>
- Creole Trail - Pipeline Dashboard. – URL: <https://lngconnection.cheniere.com/#/home>
- Sabine Pass Liquefaction, LLC - 10K - Annual Report. – URL: <https://fintel.io/doc/sec-sabine-pass-liquefaction-llc-1499200-10k-2023-february-23-19412-2931>
- International Maritime Organization. – URL: <https://www.imo.org>
- Fourth IMO GHG Study 2020 - Full report and annexes. – URL: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>
- Safeguard facility reported emissions data. – URL: <https://cer.gov.au/markets/reports-and-data/safeguard-facility-reported-emissions-data>
- GHG Methodology for Delivered LNG Cargoes, 2021. – URL: <https://www.chevron.com/-/media/chevron/sustainability/documents/SGE-methodology.pdf>
- Chevron 2023 Corporate Sustainability Report: Performance Data. – URL: <https://www.chevron.com/-/media/shared-media/documents/2023-sustainability-performance-data.pdf>
- Gorgon Gas Treatment Plant Greenhouse Gas. Management Plan: Summary Plan. – URL: <https://australia.chevron.com/-/media/australia/our-businesses/documents/gorgon-gas-treatment-plant-greenhouse-gas-management-plan-summary-180423.pdf>
- Australia Pacific LNG Project. Volume 5: Attachments. Attachment 31: Greenhouse Gas Assessment – LNG Facility. – URL: [https://aplng.com.au/wp-content/uploads/2021/07/Vol5\\_Att31\\_GreenhouseGasAssessment.pdf](https://aplng.com.au/wp-content/uploads/2021/07/Vol5_Att31_GreenhouseGasAssessment.pdf)
- Australia Pacific LNG Environmental and Social Report, 2023. – URL: <https://aplng.com.au/wp-content/uploads/2024/04/APLNG-Environment-and-Social-Report-January-to-December-2023.pdf>
- Safeguard facility reported emissions data. – URL: <https://cer.gov.au/markets/reports-and-data/safeguard-facility-reported-emissions-data>
- Qatar energy sustainability report, 2022. - URL: <https://www.qatarenergy.qa/en/MediaCenter/Publications/Sustainability%20Report%202023.pdf>
- Коэффициент выбросов парниковых газов энергосистемы России. - URL: <https://www.atsenergo.ru/results/co2all>
- ПАО «НОВАТЭК». Годовой отчет. 2022. - URL: [https://www.novatek.ru/common/upload/doc/RUS\\_NOVATEK\\_AR22.pdf](https://www.novatek.ru/common/upload/doc/RUS_NOVATEK_AR22.pdf)
- Отчёт по количественной оценке выбросов парниковых газов ОАО «Ямал СПГ» 2022. – URL: [http://yamallng.ru/upload/docs/Otchet-o-vybrosakh-PG-za-2022-god\\_RUS.pdf](http://yamallng.ru/upload/docs/Otchet-o-vybrosakh-PG-za-2022-god_RUS.pdf)
- Справочные материалы. Карта российской СПГ-отрасли. 2023. – URL: <http://nasslng.ru/assets/files/spravochnye-materialy-spg-karta-2023.pdf>
- LNG and Coal Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions. – URL: [https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2015/10/PACE\\_Report.pdf](https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2015/10/PACE_Report.pdf)

# Вызовы развития энергетики Средней Азии

## Challenges for energy development in Central Asia

Октай МАМЕДОВ

Ведущий научный сотрудник ВИНТИ, к. т. н.

E-mail: mamedovoktay@yandex.ru

Oktay MAMEDOV

Senior Researcher VINITI, Ph.D.

E-mail: mamedovoktay@yandex.ru

Таджикистан

Источник: Alex\_Ishchenko / depositphotos.com



Аннотация. Оценивается состояние энергетики стран Средней Азии в условиях распада единой энергосистемы. Рассматривается энергоснабжение в условиях обеспечения принятых обязательств странами согласно Парижскому саммиту. Показаны возможные пути преодоления существующих вызовов развития энергетики Средней Азии.

*Ключевые слова:* энергетика, развитие, вызовы, Средняя Азия.

Abstract. The state of energy sector of the countries of Central Asia is assessed in the context of the collapse of the unified energy system. The energy supply is considered in terms of ensuring the obligations assumed by countries according to the Paris summit. Possible ways to overcome existing challenges in Central Asia are shown.

*Keywords:* energy, development, challenges, Central Asia.

## //

### Распад «ОЭС Средняя Азия» привел к замыканию энергохозяйств каждой страны в собственные рамки, что породило множество проблем

Энергохозяйства стран Средней Азии до приобретения независимости функционировали в рамках единой энергосистемы «ОЭС Средняя Азия» с центром управления в городе Ташкент, где процесс управления выработкой и перетоками энергии между странами определялся потребностью. Энергосистема объединяла энергохозяйства Туркмении, Узбекистана, Таджикистана, Киргизии и юга Казахстана. Основой энергохозяйств стран Средней Азии являются природные ресурсы – гидроэнергия для Таджикистана и Киргизии, газ для Туркменистана, уголь и газ для Узбекистана и уголь для Казахстана. В суммарном производстве энергии странами в основном присутствует генерация на базе ископаемого топлива. При этом большинство электростанций оснащено оборудованием со сроком эксплуатации свыше 40 лет, которое морально и физически давно устарело.



ЛЭП в рамках CASA-1000, Кыргызстан

Источник: m.ru24.net

После обретения независимости каждая из стран стала проводить самостоятельную энергетическую политику, опираясь на собственные ресурсы, что привело к дисбалансу в части устойчивого и надежного энергоснабжения. Основой для стран является энергетическая безопасность, для обеспечения которой требуется комплекс мер, связанных с надежным и качественным энергоснабжением. Распад «ОЭС Средняя Азия» привел к замыканию энергохозяйств стран в собственные рамки, что породило множество проблем.

Экономическое развитие стран Средней Азии заметно отличается по показателям ВВП на душу населения. Так, для Казахстана этот показатель составил в 2021 г. – 10268 долл. США, в 2022 г. – 11625 долл. США, для Туркменистана – 8804 и 10420 долл. США, для Узбекистана – 2042 и 2322

долл. США, для Киргизии – 1339 и 1649 долл. США, для Таджикистана соответственно 917 и 1054 долл. США [1]. В рейтинге стран по оценке ООН наивысшее положение среди стран Средней Азии занимают Казахстан – 87 место, Туркменистан – 90 место, Узбекистан – 163 место, Киргизия – 172 место и Таджикистан – 187 место среди рассматриваемых 214 стран мира. Место в рейтинге предопределяет возможности страны в рамках энергетического перехода в соответствии с принятыми обязательствами в рамках Парижского соглашения по климату от 2015 г. по сдерживанию потепления на 1,5 градуса по Цельсию на планете к 2050 г.

Энергосбережение Средней Азии заключается в модернизации установок генерации энергии, ее передачи и потреблении, как пути к снижению выбросов вредных веществ в атмосферу. Оборудование со сроком эксплуатации свыше 40 лет и более характеризуется заметными потерями энергии по всей цепи энергоснабжения. Только в звене передачи энергии потери составляют от 20% и более. Модернизация энергохозяйств потребует значительных финансовых вложений, что вызывает в странах определенные трудности.

Существующий автономный режим работы энергохозяйств стран привел к дисбалансу, когда мощности ГЭС Таджикистана и Киргизии несли пиковые нагрузки и выполняли функцию регулирования частоты в энергосистеме, а ТЭС Узбекистана, Туркмении и юга Казахстана несли базовую нагрузку, и зимой шла передача энергии в Таджикистан и Киргизию. Разрыв связей привел к тому, что зимой загружаются ТЭС для снятия пика нагрузки, что сопровождается дополнительными выбросами вредных веществ. Так, жесткие зимы 2020–2021 гг. привели к дополнительному потреблению угля в Казахстане и Узбекистане, и как следствие, к дополнительному выбросу вредных веществ в атмосферу [2]. Туркменистан обладает большим объемом доказанных запасов природного газа, что выдвигает страну на 5 место в мире после России, Ирана, Катара и США – это делает его положение более благоприятным [3]. Страна экспортирует энергию в Иран и Афганистан.

Разрыв связей наиболее заметно отразился на Таджикистане и Киргизии, энергохозяйства которых базируются на единственном ресурсе – гидроэнергии. ГЭС стран в рамках единой энергосистемы



Нурекская ГЭС, Таджикистан

Источник: Sputnik Igor Mixalev / tj.sputniknews.ru

выполняли функции ирригации и регулирования энергосистемы. В рамках автономного функционирования, когда стоит задача обеспечения энергобезопасности, возникают напряжения с соседними странами [4]. Разрыв связи между странами в рамках «ОЭС Средняя Азия» привел к нарушению баланса и устойчивого функционирования энергохозяйств, трудностям при прохождении зимних сезонов. После распада связей каждая из стран перешла к двухсторонним договорам. Так, Таджикистан, где 70% электроэнергии обеспечивает Нурекская ГЭС, готов выполнять регулирование частоты в сетях при условии, что соседние страны будут готовы делиться своей электроэнергией [5]. Казахстан, где 75% выработки электроэнергии приходится на северо-восток страны, а потребители на юге, для укрепления связи построил ЛЭП-500 для обеспечения пика потребителей юга страны, пропускная способность которой была увеличена ввиду уменьшения передачи энергии со стороны Узбекистана. Это улучшило энергоснабжение, но риски дефицита зимой сохраняются [6]. Развал энергосистемы сильно ударил по Таджикистану, где основным источником производства электроэнергии являются ГЭС, сезонно вырабатывающие энергию, потребность в которой зимой покрывал Узбекистан. Выход Узбекистана из энергосистемы привел к серьезным трудностям энергоснабжения потребителей зимой в Таджикистане. Для

снижения напряжения в баланс вовлекались местные ресурсы – уголь Шурабского месторождения, что приводит к росту выбросов вредных веществ в атмосферу.

Правительство страны для снятия напряжения отдает приоритет дальнейшему строительству Рогунской ГЭС, что по оценке Узбекистана приведет к водному дисбалансу. Международные финансовые организации – Азиатский банк развития и Всемирный банк – не выделяют финансовые средства ввиду отсутствия согласия сторон по трансграничной реке. Киргизия также испытывает трудности с энергоснабжением ввиду отсутствия прироста генерирующих мощностей. Строительство Верхне-Нарынской ГЭС приостановлено из-за прекращения финансирования от внешних инвесторов. Узбекистан, будучи крупнейшим производителем электроэнергии в регионе с установленной мощностью более 12 ГВт, в основном ТЭС, работающих в базовом режиме, пик покрывал за счет внешних источников энергии. Выйдя из состава «ОЭС Средняя Азия» в 2009 г., страна стала покрывать пики нагрузки за счет выработки электроэнергии на газовых ТЭС. Это потребовало дополнительных поставок газа и вызвало дефицит электроэнергии зимой.

В целом можно констатировать, что распад «ОЭС Средняя Азия» наиболее сильно повлиял на Таджикистан и Киргизию. Для Узбекистана это привело к образова-

ЛЭП в Таджикистане

Источник: unsplash.com



## Автономный режим работы энергохозяйств привел к дисбалансу, когда мощности ГЭС Таджикистана и Киргизии несли пиковые нагрузки, а ТЭС Узбекистана, Туркмении и Казахстана – базовую нагрузку

нию дефицита электроэнергии. У Туркменистана и Казахстана положение более выигрышное ввиду наличия достаточного количества угля и газа для обеспечения потребности в энергии, что сопровождается дополнительными выбросами вредных веществ в атмосферу для всех стран Средней Азии, энергохозяйства которых работают в автономном режиме.

В сложившихся условиях страны принимают на себя обязательства по снижению выбросов вредных веществ в рамках Парижского соглашения по климату. Для выполнения принятых обязательств необходимо наличие ресурсной, законодательной, материальной, финансовой баз, которые еще необходимо сформировать.

Наиболее сложное положение связано с формированием финансовой базы. Если для формирования законодательной базы необходимо принятие соответствующих документов в виде законов и постановлений, то для финансовой базы необходимо наличие ресурсов. Тарифы как источник финансовых ресурсов для стран Средней Азии в нынешнем положении не в состоянии играть эту роль. Это связано с тем, что тарифы на энергию из-за низкой платежеспособности населения субсидируются правительствами стран региона. Так, по данным Азиатского банка развития, Туркменистан имеет самые низкие тарифы на электроэнергию. Субсидируемые тарифы в условиях малоодоходной экономики Киргизии делают частные инвестиции в возобновляемую энергетику малопривлекательными. Заниженная плата за энергию оборачивается отсутствием средств для модернизации существующей инфраструктуры энергохозяйств. Доля субсидий на энергию в Узбекистане составляет 23%, Туркменистане – 26%, Казахстане – 11% [7].



ВЭС в Казахстане

Источник: Пресс-служба Минэнерго Казахстана

Субсидии не позволяют конкурировать с чистыми технологиями. Для стран Средней Азии сложилась сложная ситуация, при которой существуют возможности для развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), но отсутствуют финансовые ресурсы для их освоения.

С позиций возобновляемых источников энергии каждая из стран обладает значительным потенциалом. В Туркменистане и Узбекистане это солнечная энергия, в Таджикистане и Киргизии – гидроэнергоресурсы, в Казахстане – ветровая энергия. Опираясь на свои базовые ВИЭ, каждая

**Развал энергосистемы сильно ударил по Таджикистану, где основным источником производства электроэнергии являются ГЭС, сезонно вырабатывающие энергию. Потребности зимой покрывал Узбекистан**

из стран разработала программу освоения ВИЭ, нормативно-правовую базу, приняла закон о возобновляемой энергии и ряд правительственных постановлений. Так, Туркменистан наметил снижение выбросов вредных веществ на период до 2030 г. в объеме 20% по сравнению с 2010 г. Потенциал солнечной энергии оценивается в 300 ТВт·ч, ветровой энергии – в 20 ТВт·ч. Правительство Туркменистана утвердило дорожную карту международного сотрудничества в сфере водородной энергетики. Основным сырьем для производства водорода являются природный газ и электроэнергия на базе ВИЭ. Рассматриваются 2 варианта производства водорода – минимальный, с объемом 1,8 млн т и максимальный, в 5,4 млн т. При максимальном варианте рассматривается возможность использования электролизеров производительностью по 320 тыс. т и установок обратного осмоса производительностью по 80 т для опреснения морской воды. В качестве источника энергии рассматриваются ветропарки на шельфе Каспийского моря, технический потенциал ветровой энергии которых оценивается в 17,5 ГВт [8]. Максимальный вариант рассчитан на экспорт. Выход на внешние рынки приводит

к необходимости создания инфраструктуры, включая терминалы и специализированный транспорт. Опыт стран, развивающих водородную энергетику, показал, что для исполнения проектов необходимы заемные средства.

Для Таджикистана и Киргизии основными ВИЭ являются гидроэнергоресурсы. Согласно экспертной оценке Всемирного банка, гидроэнергетический потенциал Киргизии составляет 142 млрд кВт·ч, геотермоэнергетический – 500 млн кВт·ч, ветроэнергетический – 50 млн кВт·ч. Практическое использование – 1%. Всемирный банк в рамках программы «Развитие возобновляемой энергетики Киргизии», которая рассчитана на 10 лет, одобрил финансирование на сумму 80,2 млн долл. на усиление электрических сетей и сооружение мелких ГЭС общей мощностью 20 МВт. Программа предусматривает достижение к 2030 г. суммарной мощности солнечных и ветровых электростанций в 700 МВт [9]. Таджикистан, согласно оценке Международного энергетического агентства (МЭА), обладая гидроэнергетическим потенциалом в 527 ТВт·ч, – 8 место в мире – использует лишь 4%. Страна с количеством 300 солнечных дней в году и плотностью солнечного потока в 2000 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> поверхности в год

обладает потенциалом солнечной энергии в 3,1 ТВт·ч. Ввиду особенностей ландшафта, площадь, которая может быть использована для размещения СЭС, составляет 1,5 тыс. м<sup>2</sup>, что составляет 1% от общей площади страны. Потенциал ветровой энергии оценивается в 60 ГВт. Освоение ветровой и солнечной энергий находится на начальном этапе. Таджикистан во исполнение обязательств Парижского соглашения принял закон «Об использовании возобновляемых источников энергии», постановление Правительства Таджикистана «О программе освоения ВИЭ и строительства малых ГЭС» и целевую комплексную программу по широкому использованию ВИЭ [10]. Росту масштаба использования ВИЭ способствует распоряжение комитета по архитектуре и строительству по обязательному использованию солнечной энергии при проектировании и эксплуатации новых зданий и сооружений. Требования касаются зданий любого назначения, где солнечная энергия будет использоваться для освещения мест общего пользования [11]. Развитие солнечной энергетики осуществляется совместно с фирмой Masdar, которая подписала меморандум с правительством страны на реализацию проектов мощностью 500 МВт, а также

Навоийская СЭС, Узбекистан

Источник: Пресс-служба Минэнерго Узбекистана



## Гидроэнергетический потенциал Киргизии составляет 142 млрд кВт·ч, гелиоэнергетический – 500 млн кВт·ч, ветроэнергетический – 50 млн кВт·ч. Практическое использование – 1%

китайской компанией Eging PV Technology о строительстве СЭС мощностью 200 МВт и стоимостью 150 млн долл. на территории свободной экономической зоны «Пяндж». Согласно дорожной карте по развитию возобновляемой энергетики, в Таджикистане к 2030 г. суммарная мощность ВЭС и СЭС составит 700 МВт с участием иностранных компаний при финансовой поддержке международных институтов [12]. В стране сооружено порядка 300 малых ГЭС, намечено к сооружению еще 600, потенциал которых оценивается в 18 млрд кВт·ч. Однако в развитии гидроэнергетики существуют риски, связанные с уровнем воды в реках, который снижается из-за глобального изменения климата и таяния ледников Памира и Тянь-Шаня. Программой развития возобновляемой энергетики предусматривается сотрудничество с международными финансовыми организациями. С привлечением средств Всемирного банка предусмотрено сооружение малых ГЭС общей мощностью 7600 кВт, СЭС – 3570 кВт, ВЭС – 3084 кВт, аккумуляторов емкостью 251 кА на общую сумму 17,8 млн долл. Это позволит обеспечить электроэнергией 2400 домохозяйств в удаленных селах горного Бадахшана. В реализации проектов возобновляемой энергетики участвуют Евросоюз, Республика Корея, Швейцария, США. В целом для реализации программы потребуется в местном исчислении 1,007 млн сомони, из которых на долю бюджета страны приходится лишь 3,6 млн сомони. Практически вся программа финансируется за счет внешних источников. В рекомендациях Всемирного банка отмечается, что завершение строительства Рогунской ГЭС проектной мощностью 3,78 ГВт в 2034 г. позволит увеличить внутреннее потребление электроэнергии, снизить импорт жидкого топлива.

Ожидается, что до 70% вырабатываемой электроэнергии может быть экспортировано в соседние страны.

Если Киргизия и Таджикистан в своих планах развития возобновляемой энергетики опираются на гидроэнергетические ресурсы, которые в совокупности составляют свыше 70% гидроэнергоресурсов стран Средней Азии, то Казахстан и Узбекистан в планах развития возобновляемой энергетики опираются на солнечную и ветровую энергию. Узбекистан в 2018 г. ратифицировал Парижское соглашение, взяв на себя обязательства снизить к 2030 г. выбросы вредных веществ на 10% от уровня 2010 г. Реализовывать намеченную цель запланировано за счет развития возобновляемой энергетики, повышения энергоэффективности и других мер, заявленных в стратегии по переходу страны на «зеленую» экономику в период до 2030 г. В стратегии заявлена новая цель – снизить выбросы вредных веществ на 35% к 2030 г. Достижение цели обеспечивается генерацией энергии на базе ВИЭ в объеме 27% от суммарного значения выработки электроэнергии, двукратным повышением энергоэффективности ВВП, модернизацией инфраструктуры промышленности за счет широкого применения чистых технологий. Базой для заявленной доли выработки энергии на базе ВИЭ служит потенциал солнечной энергии страны, который составляет 51 млн т нефтяного эквивалента (т н. э.),

Шульбинская ГЭС

Источник: *inbusiness.kz*



Экибастузская ГРЭС  
Источник: *ues.suz*

потенциал гидроэнергоресурсов – 9,2 млн т н. э., ветровой энергии – 2,2 млн т н. э. [13]. Принятые законы «Об использовании возобновляемых источников энергии» и «О государственно-частном партнерстве» создают правовую основу для ускорения реализации проектов возобновляемой энергетики, что потребует ввод до 10 ГВт новых мощностей, из которых на долю СЭС – 5 ГВт, ВЭС – 3 ГВт, ГЭС – 2,9 ГВт (малые реки, ирригационные каналы, водотоки). В рамках принятых законов разработаны инструменты стимулирования использования ВИЭ в виде льгот и преференций для организаций, вырабатывающих энергию на базе ВИЭ номинальной мощностью 100 кВт, а также специализирующихся на выпуске таких установок. Утвержден порядок подключения к сетям субъектов производства энергии на базе ВИЭ. Введен порядок, по которому с 01.01.2020 г. за счет средств бюджета страны физическим и юридическим лицам предоставляется компенсация расходов на приобретение солнечных панелей и водонагревателей. С 1 января 2022 г. в зданиях и учреждениях, находящихся на балансе государства, обязаны использовать сертифицированные солнечные водонагреватели ввиду отключения последних от централизованного отопления. В концепции производства электроэнергии на 2030 г. намечена выработка в объеме 121 млрд кВт·ч, из которых на долю ГЭС приходится 10,8%, ВЭС – 8,6%,

СЭС – 8,2%. В рамках обеспечения выработки энергии на базе ВИЭ вводятся СЭС мощностью по 100 МВт в Самаркандской и Навойинской областях, 600 МВт – в Сурхандарьинской и Джизакской областях, ВЭС – 400 МВт в Навойинской области. Все проекты реализуются с привлечением иностранных участников – Total, Masdar, ACWA Power, China Gezhonde. С 2023 г. социальные объекты обязаны покрывать не менее 25% потребления горячей воды и наружного освещения за счет ВИЭ. При размещении на своих участках установок на базе ВИЭ компании и частные лица освобождаются от уплаты имущественного и земельного налогов, не требуются разрешительные документы, компенсируются расходы в размере 30% от понесенных. В целом к 2030 г. намечено довести мощность возобновляемой энергетики до 27 ГВт, что позволит сэкономить 25 млрд м<sup>3</sup> газа и сократить выбросы вредных веществ на 34 млн т [14].

Особенностью энергохозяйства Казахстана является зональность, что связано с размещением источников энергии и потребления. Наличие больших запасов угля на востоке страны предопределило центр производства энергии, тогда как география ВИЭ выделяет южную и западную зоны страны. При плотности потока солнечной энергии в 1620 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup> поверхности и длительности 2200 часов, потенциальной зоной размещения СЭС являются Туркестанская, Жамбульская, Кызылордынская, Алматинская области. Потенциал солнечной энергии по стране может удовлетворить 25% потребности в электроэнергии, что позволит снизить выбросы вредных веществ в объеме 6 млрд т в год. Согласно экспертным оценкам, потенциал ветровой энергии оценивается в 1820 млрд кВт·ч. Наиболее выгодными зонами размещения ветрогенераторов являются Алматинская, Северо-Казахстанская, Акмолинская, Туркестанская, Мангистауская области. Среди представленных Мангистауская область, запад Казахстана, является наиболее предпочтительной территорией с позиции потенциала ветровой энергии – 50 ГВт. В стране действуют объекты на базе ВИЭ с установленной мощностью 2,9 ГВт, которые выработали в 2023 г. 5,92% от суммарного производства электроэнергии. Было введено 16 объектов ВИЭ с общей мощностью 495,6 МВт, сумма инвестиций 450 млн долл. [15]. В 2023 г. были подписа-

ны соглашения с зарубежными инвесторами из ОАЭ, Франции, Китая на сооружение трех ВЭС с общей мощностью 3 ГВт. Планируется в ближайшие 5 лет ввод установок ВИЭ с общей мощностью 14 ГВт. Основой развития возобновляемой энергетики служит закон «О поддержке использования возобновляемой энергии». Поставлена задача достижения доли 15% от общего производства электроэнергии к 2035 г. и свыше 50% – к 2050 г. В соответствии с законом, для производителей чистой энергии предусмотрена возможность реализации энергии в сети общего пользования по фиксированным тарифам через расчетно-финансовый центр поддержки ВИЭ, который гарантирует закупку энергии от установок ВИЭ. Производители, согласно закону, освобождаются от оплаты услуг энергопередающих организаций в приоритетном порядке. Нормативно-правовая база формирования возобновляемой энергетики Казахстана ориентирована на создание благоприятной сферы для привлечения иностранных инвестиций. Конкретные показатели представлены в Стратегии «Казахстан – 2050» [16]. В 2021 г. правительство страны и немецко-шведская группа Svevind Energy GmbH подписали соглашение о строительстве комплекса по производству «зеленого» водорода в объеме 2 млн т в год на западе страны в Мангистауской области, омываемой водами Каспийского моря. Выбор места обусловлен характером и скоростью ветра на рассматриваемой территории, наличием земель, не охваченных с/х производством, возможностью транспортировки водорода на экспорт через Каспийское море, воды которого после очистки используются в электролизерах для производства водорода. Сочетание этих факторов предопределило выбор места

**В стратегии Узбекистана заявлена цель – снизить выбросы вредных веществ на 35% к 2030 г. Ее достижение обеспечивается работой ВИЭ с долей 27% от суммарного значения выработки электроэнергии**



Бишкекская ТЭЦ  
Источник: *energo-es.kg*

размещения комплекса со стороны иностранных специалистов [17]. Согласно проекту, комплекс будет полностью автономным. Электроэнергия от ВЭС и СЭС с общей мощностью 40 ГВт в соотношении 70 и 30% соответственно, по ЛЭП (750 кВ) подается на электролизные установки с общей мощностью в 20 ГВт. Вода для процесса электролиза обеспечивается установками опреснения морской воды на базе обратного осмоса. Проект стоимостью 50 млрд долл. будет проходить в 2 этапа. На 1 этапе, именуемом Hydrogen One, предусматривается ввод 20 ГВт установок ВИЭ. Инвесторам, помимо основных технологических звеньев производства водорода, необходимо будет создать полную структуру комплекса, включая экспортный терминал, дороги, собственную электрическую сеть. Также необходимо создать систему подготовки кадров для эксплуатации комплекса в количестве 1800 человек, из которых 90% – местные кадры. Строительство проекта должно быть начато в 2027 г., а завершено – в 2032 г. Финансирование предусматривается консорциумом, включающим Европейский банк реконструкции и развития, Банк развития Китая, Азиатский банк инфраструктурных инвестиций, Азиатский банк развития и Правительство Казахстана в соотношении 75 и 25% соответственно [18]. Создание комплекса по производству водорода осуществляется в рамках Стратегии «Казахстан – 2050», где водородная энергетика

выступает в качестве одного из приоритетов развития энергохозяйства страны. При национальной нефтяной компании «Казмунайгаз» создан Центр компетенции по водородной энергетике, который функционирует с апреля 2022 г. В рамках экспортной ориентации комплекса в 2024 г. в Астане Казахстан совместно с Узбекистаном и Азербайджаном подписал меморандум об экспорте водорода через Каспийское море в Европу. Основой для подписания меморандума послужила заинтересованность Евросоюза в странах Средней Азии как источника чистой энергии.

Развитие энергетики стран Средней Азии в рамках достижения целей Парижского соглашения связано с формированием новой отрасли возобновляемой энергетики и модернизацией энергетического хозяйства при ограниченных собственных финансовых ресурсах. Одним из условий выполнения целей является формирование общего рынка энергии между странами в рамках общей энергосистемы, которое возможно при наличии политической воли руководителей стран Средней Азии. Скорейшее формирование общего рынка энергии и восстановление связей обеспечит надежное прохождение пиков потребления энергии в рамках общей энергосистемы, способствует ограничению выбросов вредных веществ по сравнению с автономным функционированием, формированию финансовых ресурсов для модернизации энергохозяйств и развитию

возобновляемой энергетики. Так, по оценке Всемирного банка, переток энергии между странами Средней Азии составляет 10% от уровня 1990 г. В случае восстановления связи эффект только по резервированию мощности составит 1,9 ГВт, а ежегодная экономия – до 1,2 млрд долл. [19]. В процессе развития энергетики стран Средней Азии появляются дополнительные возможности по экспорту энергии в зарубежные страны, что повышает роль региона в глобальной повестке энергетического перехода.



Бишкекская ТЭЦ  
Источник: *kg.archive.kabar.kg*

## Использованные источники

- URL: [https://wikipedia.org/wiki/Список\\_стран\\_по\\_ВВП\\_на\\_душу\\_населения](https://wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_ВВП_на_душу_населения).
- Roll in Reducing Regional Energy Insecurity. ADBI Working Paper 993. Tokyo: Asian Development Bank Institute. URL: <https://www.adb.org/publication/renewable-energy-central-asian-economics>
- URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мировые\\_запасы\\_природного\\_газа](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мировые_запасы_природного_газа).
- URL: <https://www.eurasian-research.org/publication/central-asian-countries-power-system-are-now-isolated-but-not-everyone-is-happy>.
- URL: <https://www.carecprogram.org/features-nurec-500-kv-switchyard-reconstruction-project>.
- URL: <https://www.intellinews.com/central-asias-electricity-network-under-powered-and-fragmented-169985>.
- Non-Hydropower Renewable Energy in Central Asia: Assessment of deployment Status and analysis of Underlying Factors. URL: <https://doi.org/10.3390/en13112963>.
- URL: <https://www.secca.eu/wp-content/uploads/2023/12>.
- URL: <https://www.wsemirnyjbank.org/ru/presentation/2023/06/08/the-kyrgyz-to-boost-its-renewable-energy>.
- URL: <https://www.cabar.asia/ru.vozobnovlyaemye-istochniki-energii-tadzhikistana>.
- URL: <https://www.renew.ru/Tadzhikistan-vvodit-obyazatelnoe-uspolzovanie>.
- URL: <https://www.Renew.ru/masdar-podpisal-soglashenie-o-razrabotki-proektov-vie-500mvt-v-Tadzhikistane/>
- URL: <https://www.lgtisodiat.uz/sites/default/files/magolabar/11/>
- URL: <https://www.Gazeta.uz/alternative-energy-/2024/02/09>.
- URL: <https://www.exclusive.kz/vozobnovlyaemaya-energija-v-Kazhastane-est/>
- URL: <https://www.gov.kz/entities/energe/activities/>
- URL: <https://www.hydrogeninsight.com/production/kazhastan-green-terms-to-20GW-green-hydrogen-project-with-pipeline-to-EU-in-mind/>
- URL: <https://www.forbes.kz/economy/energy/sulsoil/>
- URL: <https://www.ptfcar.org./carem/WP-content/upload/2021/10/CAREM-Market-Rules-Sept-7WS-Final.pdf/>

# Методы и подходы в борьбе с образованием гидратов в нефтегазовых трубопроводах

## Methods and approaches in control of gas hydrates formation in oil and gas pipelines

Дурды АТАЕВ

Магистр, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский федеральный университет  
E-mail: dufari88@gmail.com

Durdy ATAEV

Master's student, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Kazan Federal University  
E-mail: dufari88@gmail.com

Алина ГИМАЕВА

Доцент кафедры разработки и эксплуатации месторождений трудноизвлекаемых углеводородов, к. т. н., Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский федеральный университет  
E-mail: argimaeva@yandex.ru

Alina GIMAEVA

Associate Professor, Ph.D., Department of Development and Operation of Hard-to-Recover Hydrocarbon Deposits, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Kazan Federal University  
E-mail: argimaeva@yandex.ru

Газогидраты в трубах

Источник: news.europawire.eu



Аннотация. Гидраты газа являются основной проблемой обеспечения стабильности потока при добыче и транспортировке нефти и газа. При работе в условиях низкой температуры, высокого давления, наличия воды в потоке на стенках трубопровода могут образовываться отложения гидратов. Отложения гидратов газа могут стать причиной аварийной ситуации – частичного или полного закупоривания трубопровода, что может в дальнейшем повлечь снижение добычи. Тема газогидратов хорошо освещена в англоязычных публикациях, однако в русскоязычном сегменте ей уделяется мало внимания. В связи с этим такие вопросы, как: предотвращение образования газогидратов в трубопроводах, способы управления образованием газогидратов, способы ремедиации газогидратов – остаются релевантными в настоящее время. Целью статьи является обзор литературы и консолидация информации относительно текущих подходов в борьбе с образованием гидратов газа. Данная обзорная статья основана на результатах исследований и публикаций Colorado School of Mines (CSM).

*Ключевые слова:* газовый гидрат, гидратообразование, обеспечение стабильности потока, ингибитор, многофазный поток.

Abstract. Gas hydrates are the main problem of ensuring the stability of the flow during the extraction and transportation of oil and gas. When working in conditions of low temperature, high pressure, and the presence of water in the flow, hydrate deposits may form on the walls of the pipeline. Deposits of gas hydrates can cause an emergency situation – partial or complete blockage of the pipeline, and as a result lead to a decrease in production. The topic of gas hydrates is well covered in English-language publications, but it is deprived of the attention of researchers in the Russian-speaking segment. In this regard, such issues as: prevention of the formation of gas hydrates in pipelines, methods of controlling the formation of gas hydrates, methods of remediation of gas hydrates remain relevant at present. The purpose of this article is to review the literature and consolidate information on current approaches to combating the formation of gas hydrates. This review article is based on the results of research and publications of the Colorado School of Mines (CSM).

*Keywords:* gas hydrates, hydrate formation, flow assurance, inhibitor, multiphase flow.

### Введение

Газовые гидраты – это особая форма природного газа. Это твердое льдоподобное вещество, представляющее из себя кристаллический каркас, построенный из связанных водородными связями молекул воды, в полостях которого находятся молекулы газа. В 1810 г. Гемфри Дэви впервые описал гидрат хлора. Природные гидраты были обнаружены в процессе разработки Мессояхского месторождения в Сибири в 1969 г. В наше время газовые гидраты являются потенциальным и стратегически важным сырьем. Исследования по газогидратам проводятся в больших масштабах в США, Китае, Японии, Канаде и странах ЕС, в России к 2020 г. было защищено не менее 20 научных диссертаций по этой теме. При добыче в более агрессивных условиях (глубоководная добыча, увеличенная про-

тяжённость трубопровода, пластовая вода) предотвращение, управление, и ремедиация газовых гидратов являются главными факторами для обеспечения безопасной и непрерывной работы. Образование газовых гидратов в трубопроводе может быть не только быстрым, но и в больших объемах, вызывая неожиданные проблемы с эксплуатацией [1].

Промышленность традиционно придерживалась метода предотвращения образования газогидратов в трубопроводе путем инъекции так называемых термодинамических ингибиторов (например, метанол, моноэтиленгликоль, этанол), которые разжижают газогидрат, как видно на рис. 1.

В этом подходе ингибитор снижает температурный порог образования кристаллов газогидратов и условия давления, что позволяет вести работу вне области формирования газогидрата. Хотя этот

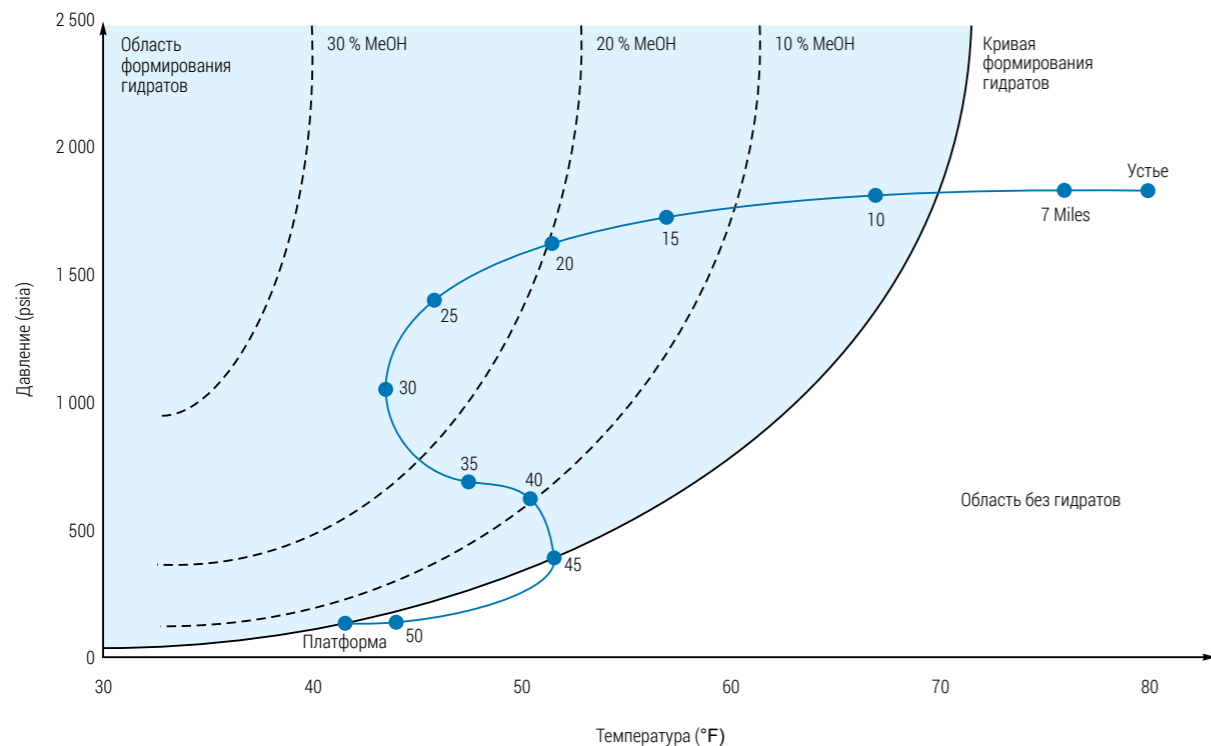


Рис. 1. Температурно-барическая зависимость для месторождения и соответствующие границы равновесия газогидратов с и без применения ингибиторов

метод эффективен для предотвращения образования газогидратов, стоимость и необходимое количество химикатов могут быть значительными [2].

В течение последних 2 десятилетий промышленность искала альтернативный подход к предотвращению образования газогидратов в трубопроводах. Один из таких способов – стратегия управления газогидратами, процесс, когда газогидратам позволяют образовываться в трубопроводах, предотвращая образование агломераций и пробок [3]. Этот подход частично реализован в промышленности с использованием антиагломерантов и низкодозированных ингибиторов гидратообразования. Существуют случаи, когда образование газогидрата и блокировка трубопровода пробками неизбежны из-за незапланированной остановки добычи или аномальных условий работы, вследствие неисправности оборудования. В этих случаях необходимо удалить газогидратную закупорку в трубопроводе, прежде чем нормальная работа может быть возобновлена. Удаление газогидратных закупорок – сложный процесс, так как из закупорки может образоваться «снаряд», свободно перемещающийся в трубопроводе. Далее будет

приведен обзор инструментов, разработанных в Центре исследований газогидратов в Colorado School of Mines (CSM).

**Объект и методы исследования.** В данной статье объектами исследования являются способы борьбы с образованием гидратов газа в трубопроводах. В работе использована методика анализа результатов исследований и публикаций CSM.

### Предотвращение образования газогидратов

Консервативный подход к работе с газогидратами в нефтегазовой отрасли – не допускать образования газогидратов в трубопроводе. Этот подход требует знания границы образования газогидрата для углеводородных систем, включая диапазон температуры и условия давления, как показано на рис. 1. Предотвращение образования газогидратов выполняется путем инъекции необходимого количества ингибиторов (например, метанол, этанол, моноэтиленгликоль), вследствие чего термодинамические условия для образования газогидратов становятся неблагоприятными (более низкая темпе-

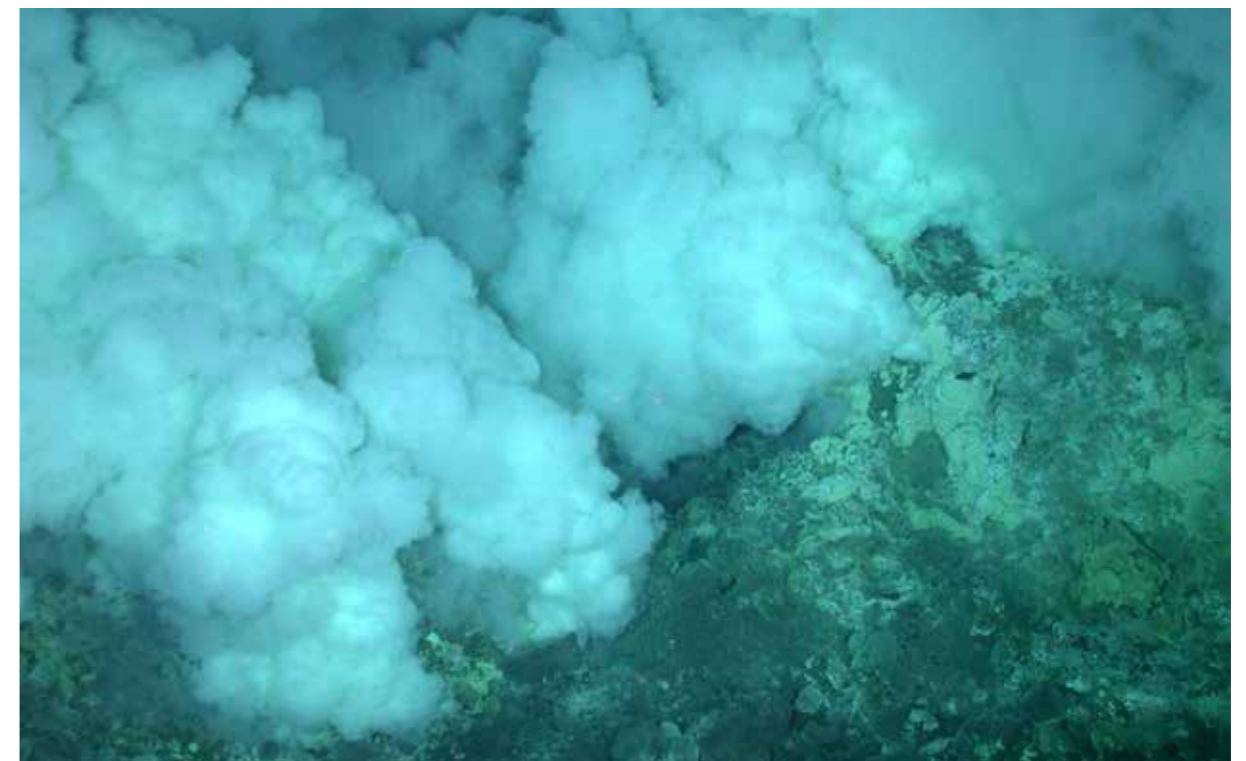
ратура и высокое давление), как показано на рис. 1. Одним из инструментов для определения условий образования газогидрата и требуемого количества ингибитора является CSMGem (CSM Gibbs Energy Minimization) [4]. CSMGem – это удобный инструмент, который позволяет задавать конкретные параметры углеводородной смеси и получить границу равновесия газогидрата с термодинамическими ингибиторами и без него. Результатом будет график, подобный изображенному на рис. 1. Существуют инструменты, похожие на CSMGem, такие как DBR Hydrates, MultiFlash, и PVTsim. В отличие от других инструментов, CSMGem специализируется на газогидратах. Преимущество CSMGem заключается в том, что он был разработан для рассмотрения широкого спектра экспериментальных данных, также он был протестирован многими пользователями и компаниями в течение нескольких лет. Существуют ограничения для применения CSMGem. Этот инструмент не предлагает выбор уравнений состояний, а сходимость расчетов для систем с высоким содержанием соли (> 5% от общего процента веса) может быть проблематичной. CSMGem также обладает возможностью выполнять расчеты для

### Отложения гидратов газа могут стать причиной аварийной ситуации – частичного или полного закупоривания трубопровода, что может повлечь снижение транспортировки и сокращение добычи

определения фазы газогидратов в любом заданном состоянии, а также определяет условия сжатия/расширения жидкостей. Стратегия предотвращения образования газогидратов хорошо известна и широко используется в промышленности, так как термодинамика систем четко определена и понята. Среди термодинамических ингибиторов метанол оказался наиболее эффективным, учитывая стоимость и необходимое количество вещества. Моноэтиленгликоль более широко используется для газовых систем, а этанол является преобладающим ингибитором для месторождений в Бразилии.

Газогидраты на дне моря

Источник: commons.wikimedia.org



## Управление образованием газогидратов

Стратегия управления газогидратами в нефтяных и газовых трубопроводах является новой концепцией и имеет риски, поскольку газогидратам позволяют образовываться под контролем. Это может в конечном итоге сформировать закупорку, поставив под угрозу постоянную эксплуатацию. Основной идеей в данном подходе является введение химических веществ, называемых антиагломерантами, функционал которых соответствует их названию. Пока газогидраты сохраняются в фазе жидкости, риск закупорки минимизируется.

Для применения стратегии управления нужно очень хорошо понимать процессы формирования газогидрата, агломерации и накопления/осаждения в трубопроводе. Это гораздо более сложная и трудная задача, по сравнению с методом предотвращения образования газогидратов, где необходимы только термодинамические расчёты. Для выполнения этой задачи были разработаны концептуальные модели и были собраны данные для построения физических моделей, описывающих

каждый из процессов, участвующих в формировании, агломерации и накоплении газогидратов.

Одна из самых сложных проблем – образование и перенос газогидрата в трубопроводе с многофазным потоком, включающим газ, жидкие углеводороды, воду и газогидраты в виде твердых веществ. Один из концептуальных взглядов о том, как газогидраты могут формироваться и агломерировать до закупорки в трубопроводе, содержащем газ, нефть и воду (показаны на рис. 2 [5]), описывает следующие основные процессы:

1. До образования газогидратов, фазы эмульгируются в турбулентном потоке с возможным образованием пузырьков газа в соединении с нефтью и водой, воды с эмульгированной нефтью и нефти с эмульгированной водой.
2. Когда условия температуры и давления находятся в пределах области стабильности газогидрата, он, вероятнее всего, будет образовываться на границе раздела между водой и углеводородным флюидом (нефтью или газом), образуя газогидратную оболочку вокруг капель



Газогидраты в трубе  
Источник: shtampik.com

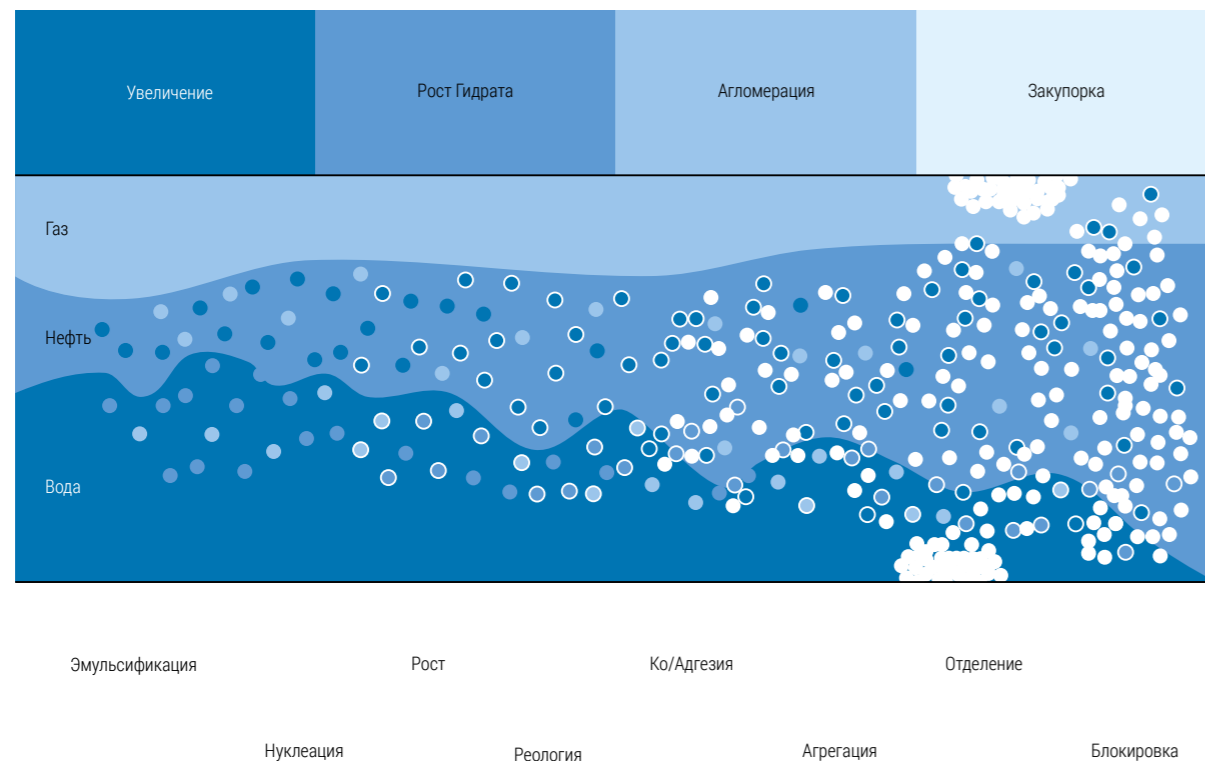
3. Другим возможным местом первоначального образования газогидратов являются стенки труб, поскольку они будут смоченными и будут постоянно подвергаться воздействию газа.
4. Рост газогидратов будет ограничен либо наличием воды и газа, либо температурой. Первоначальная газогидратная оболочка (толщиной ~30–50 мкм), вероятно, сформируется очень быстро, так как известно, что кинетика газогидратов достаточно быстрая при наличии необходимых для образования компонентов (воды и газа). Вскоре после этого процесс продолжающегося роста газогидратов, как правило, ограничивается массообменом или теплопередачей. В первом случае вода и/или газ должны диффундировать с границей раздела, а во втором необходимо отводить тепло, поскольку образование газогидрата является экзотермическим [6].
5. Как только в системе окажется достаточное количество газогидратов, суспензия газогидратов изменит реологию системы [7], при этом газогидрат либо взвесится в жидкой фазе, либо осядет на твердой поверхности.

6. При наличии газогидратов, его частицы могут взаимодействовать, агломерируясь в более крупные агрегаты, или постоянно расти на существующих отложениях на стенке трубы. Взаимодействие газогидратных частиц будет во многом зависеть от фазы флюида. Если частицы газогидрата диспергированы в водной фазе, сила связи между частицами газогидрата минимальна, и они останутся диспергированными. Если частицы диспергированы в нефтяной фазе, вполне вероятно, что частицы будут связываться с образованием крупных агрегатов из-за образования капиллярных мостиков между частицами [8].
7. Осаждение газогидрата на стенки является важным явлением, которое может отвечать за возможные газогидратные закупорки при установившихся условиях, так как эти отложения могут медленно нарастать со временем. Газогидратные отложения на стенках могут сузить канал потока, аналогично осаждению парафинов/асфальтена.
8. Последней стадией в этой концептуальной модели является застревание частиц газогидрата, вызывая закупорку системы. Если мы можем понять, как происходит закупорка, то, возможно, получится разработать стратегии, чтобы предотвратить закупоривание системы.

Концептуальная модель, описанная на рис. 2, применима к системам с доминированием нефти и воды. При рассмотрении систем, где доминирует газ, основным механизмом образования газогидрата является отложение на стенке трубы, как

**Промышленность традиционно придерживалась метода предотвращения образования газогидратов в трубопроводе путем инъекции термодинамических ингибиторов, которые разжижают газогидрат**

Рис. 2. Концептуальная модель образования гидрата, агломераций и закупорок в системе многофазного потока, включающего газ, нефть, воду и гидраты



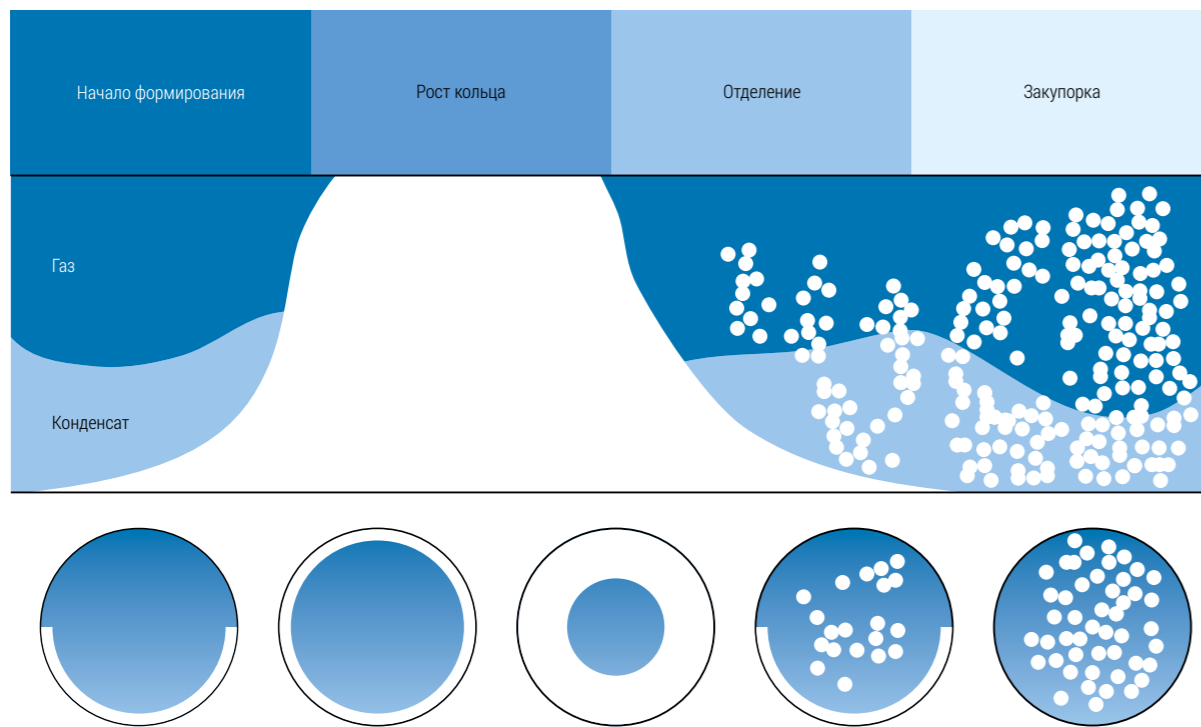


Рис. 3. Концептуальная модель гидратообразования и закупорки многофазной системы с преобладанием газа

показано на рис. 3. Эти отложения могут постепенно расти в течение длительного периода времени, сужая канал потока и вызывать значительные падения давления в системе. Эти отложения также могут отсоединяться от стены из-за сдвига жидкости, и свободные куски газогидратов могут в конечном итоге накапливаться в другом ограничителе потока (например, еще одно газогидратное отложение, клапан, изгиб) и привести к закупорке системы.

Представленные концептуальные модели и явления, связанные с механизмами гидратообразования и закупоривания, составляют основу для многих исследований,

которые необходимо выполнить для разработки комплексной модели, которая будет полностью описывать динамику и взаимодействие газогидратов в многофазном потоке. Именно эти концептуальные модели направляли исследования в Центре исследования газогидратов CSM более 10 лет и привели к разработке CSMHyK (CSM Hydrate Kinetics model) и CSMHyFAST (CSM Hydrate Flow Assurance Simulation Tool), которые не только объединяют концепты на рис. 2, но и представляют собой реальную модель, предназначенную для количественного прогнозирования образования газогидратов в многофазном потоке.

CSMHyK и CSMHyFAST в настоящее время являются единственными инструментами для определения когда, где и сколько газогидратов образуется в многофазных нефтяных и газовых трубопроводах. CSMHyK доступен в качестве модуля для OLGA®, симулятора многофазного потока, разработанного SPT Group (дочерняя компания Schlumberger). Он может моделировать системы с доминированием нефти, доминированием воды и доминированием газа. Эти инструменты постоянно развиваются, поскольку продолжают проводиться исследования в этой области.

**В течение последних десятилетий промышленность искала альтернативный подход к предотвращению образования газогидратов в трубопроводах. Один из них – стратегия управления газогидратами**

На рис. 4 показаны репрезентативные данные из симулятора, указывающие на долю фаз вдоль трубопровода, падение давления по разным разделам трубопровода и относительную вязкость, от чего зависит вероятность закупорки [9]. В своей нынешней версии CSMHyK способен рассмотреть образование газогидрата в системе с доминированием нефти.

CSMHyK-OLGA® позволяет моделировать образование газогидратов в многофазном потоке, предоставляя информацию когда, где и сколько газогидратов образуется (рис. 4а). Этот инструмент учитывает установившиеся временные условия и предоставляет средства для оценки риска гидратообразования по перепаду давления (рис. 4б) и относительной вязкости конденсированной фазы (рис. 4в).

CSMHyK был разработан на основе экспериментальных данных и наблюдений в лабораторных условиях и потоках. CSMHyK не был подтвержден фактическими полевыми данными, поскольку газогидратная закупорка на линии потока не образуется намеренно, за исключением случаев на 2 месторождениях – Tommeliten-Gamma field и The Werner-Bolley field [9]. Как таковое, насколько известно,

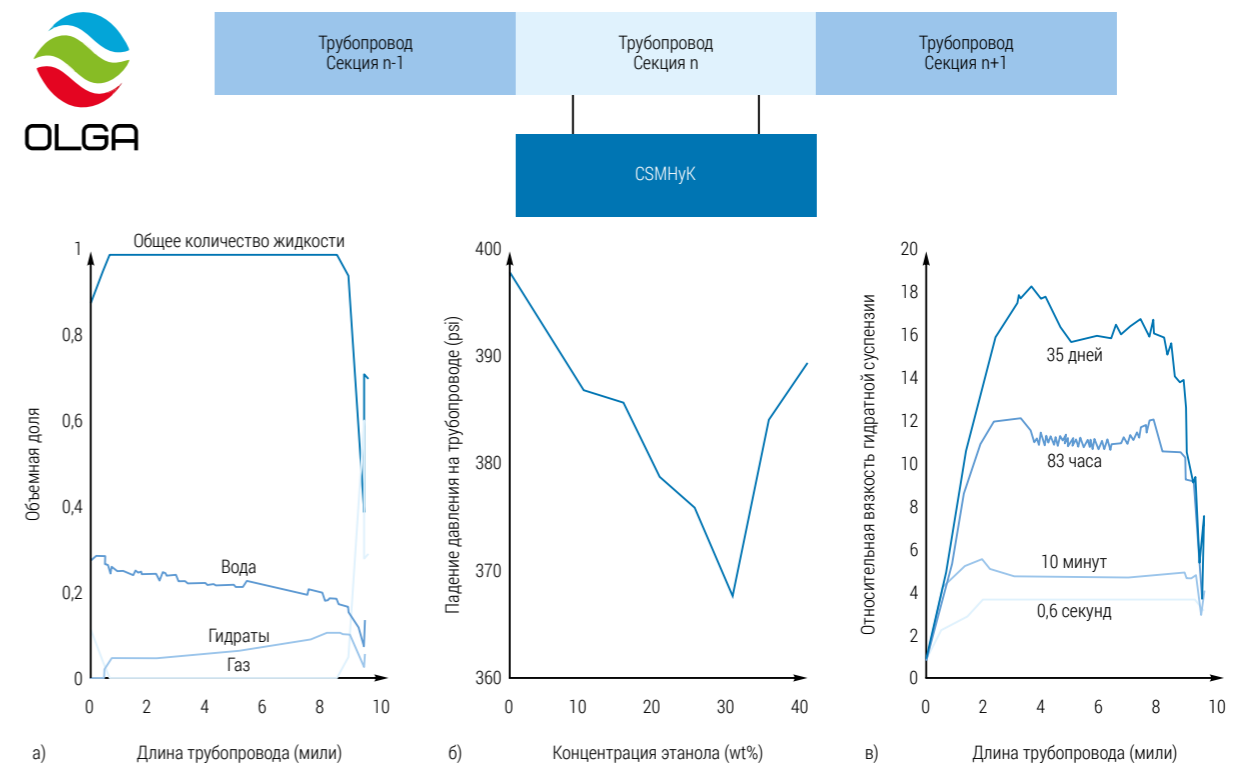
использование CSMHyK в промышленности ограничивалось случаями постфактум (CSMHyK использовался для понимания того как, когда и где газогидраты, образованные после газогидратной пробки, уже сформировались и удалялись) или в предварительной оценке проблемных участков в трубопроводах. Истинный тест CSMHyK будет осуществлен после того, как будет рассмотрено несколько случаев, не как решение проблемы обеспечения стабильности потока, а в качестве инструмента для оценки риска возникновения газогидратов в различных месторождениях и условиях эксплуатации.

### Ремедиация газогидратов

Закупорки трубопроводов газогидратами происходят с большой частотой. Крайне важно удалить эти закупорки как можно быстрее и безопасно. Любой простой – это потеря выручки. Утешает то, что ни одна скважина не была заброшена из-за газогидратных закупорок.

Газогидратные закупорки, как правило, связаны с проблемами эксплуатации и технического состояния оборудования, поскольку работа построена так, чтобы

Рис. 4. Применение CSMHyK-OLGA® в оценке риска образования газогидратов на участке от скважины к платформе



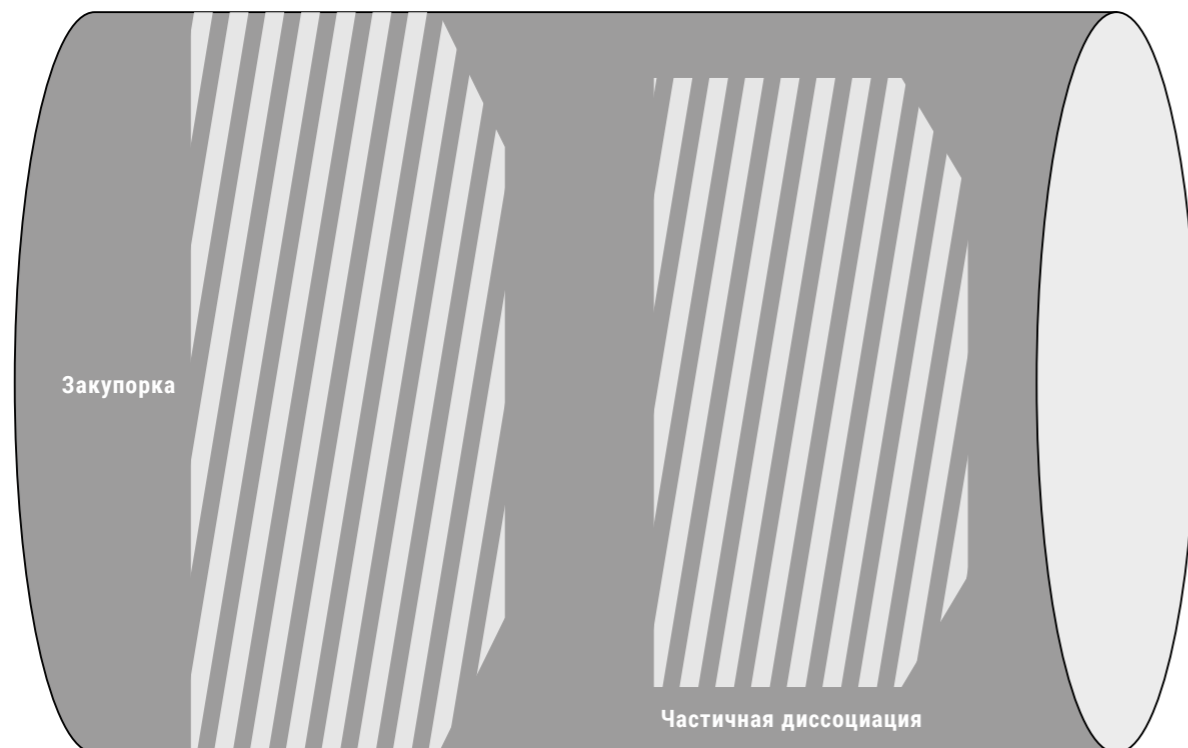
## Стратегия управления газогидратами в нефтяных и газовых трубопроводах является новой концепцией и имеет риски, поскольку газогидратам позволяют образовываться под контролем

минимизировать риск их появления при нормальных условиях. В тех случаях, когда причиной снижения потока является газогидратная закупорка, сперва необходимо определить ее примерное расположение, а затем разработать стратегию удаления с соблюдением всех мер предосторожности для исключения повышения давления в трубопроводе. Типичным подходом к удалению газогидратной закупорки является распрессовка с двусторонним сравливанием давления в качестве предпочтительного метода и одностороннее сравливание давления, если это един-

ственный доступный вариант (при напоре жидкости на одной стороне закупорки). Распрессовка плавит газогидратную пробку. Диссоциация закупорки должна быть проведена в достаточной степени для обеспечения связи давления в трубопроводе, чтобы можно было инжектировать жидкости (например, термодинамические ингибиторы) для дальнейшей диссоциации закупорки.

Одним из инструментов, разработанных для помощи в оценке диссоциации газогидратной закупорки, является CSMPlug. Задача этого инструмента состоит в том, чтобы обеспечить время для частичной диссоциации газогидратной пробки, с последующим образованием кольцевого зазора между пробкой и трубопроводом для установления связи по давлению, как показано на рис. 5. Инструмент может рассматривать двусторонние и односторонние распрессовки, а также рассчитать потенциал превращения газогидратной пробки в «снаряд» в трубопроводе из-за ее возможного смещения при распрессовке. Смещение газогидратной пробки является важным фактором, поскольку во время движения пробки в трубопроводе могут возникать значительные колебания дав-

Рис. 5. Иллюстрация закупорки в трубопроводе, её частичная диссоциация и создаваемый кольцевой зазор для установления связи давления



Лабораторные исследования газогидратов

Источник: NUS

ления. CSMPlug основан на одномерной радиальной модели теплообмена путем теплопроводности и конвекцией через стенку трубы.

**Результаты.** Термодинамика образования газогидратов хорошо определена и может быть предсказана с уверенностью. Эти данные используются в стратегии предотвращения образования газогидратов для определения смещения границ равновесия газогидрата в присутствии термодинамических ингибиторов. В стратегии управления газогидратами необходимо понимание механизмов образования гидрата в переходном многофазном потоке.

## Заключение

Значение газогидратов в сфере обеспечения стабильности потока за последние пару десятилетий существенно возросло, в значительной степени вследствие более широкого понимания явлений, связанных с образованием и накоплением гидратов в многофазном потоке. Образование газогидратов иногда неизбежно, в таких случаях важное значение имеют инструменты для оценки времени для частичной диссоциации газогидратных закупорок и оценки риска безопасности, связанного со смещением этих закупорок в трубопроводе.

## Использованные источники

1. Sloan E.D. *Natural Gas Hydrates in Flow Assurance* / Koh A.C., Sloan E.D, Sum. A. – Houston: Gulf Professional Publishing, 2010. – 224 p.
2. Carroll J. *Natural Gas Hydrates: A Guide for Engineers* / J. Carroll. – Tulsa: Gulf Publishing, 2002. – 270 p.
3. Creek J.L. *New Methods for Managing Hydrates in Deepwater Tiebacks* / J.L. Creek, S. Subramanian S., D. Estanga // *In Offshore Technology Conference (OTC). Volume 4.* – Houston, 2011. P. 3196–3210.
4. Ballard A.L. *Fluid Phase Equilibria. The next generation of hydrate prediction: Part III. Gibbs energy minimization formalism* / A.L. Ballard, E.D. Sloan // *Fluid Phase Equilibria.* 2004. № 218(1). P. 15–31.
5. Turner D.J. *Clathrate Hydrate Formation in Water-in-Oil Dispersions: PhD dissertation* / D.J. Turner. – Colorado: Golden, 2005.
6. Sloan E.D. *Clathrate Hydrates of Natural Gases* / E.D. Sloan, C.A. Koh. 3-rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2007. – 752 p.
7. Camargo R. *Rheological Properties of Hydrate Suspensions in an Asphaltic Crude Oil* / R. Camargo, T. Palermo // *Proceedings of the 4th International Conference on Gas Hydrates.* – Yokohama, 2002. P. 880–885.
8. Aman Z.M. *Micromechanical cohesion force measurements to determine cyclopentane hydrate interfacial properties* / Z.M. Aman, S.E. Joshi, E.D. Sloan, A.K. Sum, C.A. Koh // *Journal of Colloids and Interface Science.* 2012. № 376. P. 283–288.
9. Zerpa L.E. *Generation of Best Practices in Flow Assurance Using a Transient Hydrate Kinetics Model* / L.E. Zerpa, E.D. Sloan, A.K. Sum, C.A. Koh // *In Offshore Technology Conference (OTC). Volume 4.* – Houston, 2011. P. 1803–1809.

# Исследование методов и моделей прогнозирования мощности ветроэнергостанций

## Research of methods and models for forecasting the capacity of wind power plants

Михаил МОКШИН

Аспирант факультета бизнес-информатики и управления комплексными системами Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»  
E-mail: mokshin.my@mail.ru

Mikhail MOKSHIN

Postgraduate student of the Faculty of Business Informatics and Integrated Systems Management at the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)  
E-mail: mokshin.my@mail.ru

Александр ПУТИЛОВ

Декан факультета бизнес-информатики и управления комплексными системами Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», д. т. н., профессор, академик Российской академии естественных наук  
E-mail: avputilov@mephi.ru

Alexander PUTILOV

Dean of the Faculty of Business Informatic and Management of Integrated Systems of the National Research Nuclear University MEPhI, Doctor of Technical Sciences, Professor, Award winner of Government of the Russian Federation in field of science and technology, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences  
E-mail: avputilov@mephi.ru

Ольга РИМСКАЯ

Эксперт Федерального реестра научно-технической сферы РФ, к. э. н., доцент  
E-mail: olgarim@mail.ru

Olga RIMSKAYA

Expert of the Federal Register of the Scientific and Technical Sphere of the Russian Federation, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor  
E-mail: olgarim@mail.ru

Аннотация. Энергия ветра – наиболее чистый источник электроэнергии в мире, по сравнению с традиционными источниками. В России пока еще не сложилась научная школа в ветроэнергетике, используются зарубежные программы для расчета характеристик ветра и экономических показателей ветроэнергостанций. В статье предложен обзор существующих отечественных и зарубежных подходов в прогнозировании мощности ветра. Отмечено, что в современных моделях прогнозирования мощности ветра необходимо применять принципы системного, комплексного, междисциплинарного и рискованного подходов, в сочетании с цифровыми технологиями в рамках технологии форсайт-проектирования. Оценку эффективности различных моделей и их выбор следует рассчитывать в зависимости от конкретного проекта, учитывая многие критерии, а также перспективность проекта с точки зрения «зеленой» энергетики.

*Ключевые слова:* мощность ветра, модели прогнозирования, точность прогноза, численные прогнозы погоды, экономический эффект ветроэнергетики, форсайт-проектирование, алгоритмическое моделирование.

Abstract. Wind power energy is the cleanest source of electricity in the world compared to traditional electricity generation. Along with the development of Russian wind energy, Russia has not yet formed a scientific school in wind energy, foreign programs are used to calculate wind characteristics and economic indicators of wind power plants. The article offers an overview of existing domestic and foreign approaches to forecasting wind power. It is noted that in modern models of wind power forecasting it is necessary to apply the principles of a system, comprehensive, interdisciplinary and risk approaches, in combination with digital technologies within the framework of foresight design technology. Evaluation of the effectiveness of various models and their choice should be calculated depending on a specific project, taking into account many criteria, as well as the prospects of the project from the point of view of "green" energy.

*Keywords:* wind power, forecasting models, forecast accuracy, numerical weather forecasts, economic effect of wind energy, foresight design, algorithmic modeling.

### Введение

Электроэнергетика сегодня стремительно трансформируется в рамках «зеленой повестки». Доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и атомной энергии к концу 2050 г. увеличится до 57–70% [6]. В России выработка электроэнергии по итогам 2023 г. составила 1151,6 млрд кВт·ч, а электропотребление – 1139,2 млрд кВт·ч. Фактически показатели предыдущих лет по потреблению были вновь превышены [11].

Совокупно на ветровую и солнечную генерацию приходится более 3/4 всей установленной мощности объектов возобновляемой энергетики в России. В 2023 г. было введено в эксплуатацию 26 ветроэнергостанций [7].

Среди российских экономистов и инженеров сложились некоторые разногласия в выборе методики расчёта эффективности ветропарков, источниках финансирования инвестиционных проектов в сфере ветро-

энергетики и некоторых иных финансово-экономических аспектах. Причинами послужили сложности с точным прогнозом поступления энергии по проекту, неопределённость или нерелевантность данных, выбор варианта компоновки энергетического оборудования ветропарка и др.

В свете глобальных задач новой технологической политики РФ, связанной с достижением инновационного суверенитета в области технологий ветровой и солнечной энергетик и экспортом высокотехнологичного оборудования и услуг по сооружению объектов ВИЭ за рубежом, очевидна необходимость разработки единой методики расчета экономической эффективности ветроэнергетики.

### Методология исследования

Ветроэнергетика как отрасль энергетики и научная дисциплина довольно молоды, первые исследования в области ветровой энергетики и формирование на-

учной школы в СССР начались в 1930-х гг. и продолжаются в настоящее время. Следование принципам «зеленой» энергетики показывает, что современная ветроэнергетика нуждается в большом количестве исследований для развития научных, технологических и экономических методов прогнозирования объёмов получаемой ветровой энергии.

Вопросами методики расчёта мощности ветра, эффективности ветропарков, финансирования инвестиционных проектов, развития ветроэнергетики в контексте целей устойчивого развития и иных финансово-экономических аспектах в разное время занимались российские ученые и исследователи Андриянов Д.Л., Алиходжина Н.В., Тягунов М.Г., Шестопалова Т.А., Велькин В.И., Зубакин В.А., Давыдов Д.Ю., Игнатъев Е.В., Обухов С.Г., Старкова Г.С., Манусов В.З., Мартыанов А.С., Кулагин В.А., Грушевенко Д.А., Капустин Н.О., Яковлева Д.Д., Головкин М.В., Сетраков А.Н., Томилин С.А., Глазунова А.М., Ковальчук Д.В., Климов Г.М., Артемьев А.Ю., Шакиров В.А., Юсупов К.И., Тожибоев С.Т., Путилов А.В., Мокшин М.Ю., Кирьянов Д.А., Куделин А.Г., Шерьязов С.К., Шелубаев М.В., Зинатуллин А.В., Чибисова Е.Ю., Беккер Н.А., Гвоздев В.А., Гуров В.И. и многие другие.

Проблематика изучалась в профильных российских научно-исследовательских институтах и университетах: РАН, ЦАГИ, АО «ВИЭН», НИЯУ МИФИ, НИУ «МЭИ», Томском политехническом университете, РГУ нефти и газа и др. Однако единого подхода и официально утвержденной методики расчета мощности ветра в России на момент проведения исследования не сложилось.

### Виды моделей прогнозирования, применяемых в ветроэнергетике

Современная теория прогнозирования располагает большим арсеналом методов – более 150 методик [3, 5–7], ориентированных для применения в разных странах и отраслях промышленности, но ни один не может быть сегодня признан универсальным.

Главный критерий полезности модели прогнозирования – умение точно предсказывать и снижать неопределённости. На практике точное прогнозирование означает разницу между прогнозируемой и фактической нагрузками не более 5%. Однако такая точность трудно достижима.

Адыгейская ВЭС (150 МВт)

Источник: [rosatomnewsletter.com](http://rosatomnewsletter.com)



Кольская ВЭС

Источник: [Enel](http://Enel)

Принятие решений при вводе ветроэнергетических мощностей усложняется рядом факторов: высокий уровень неопределённости исходной информации, будущих условий, неопределённости предпочтений потребителя; слабая структурированность, отсутствие специализированных систем поддержки принятия решений [8]. В этой связи задачи ввода ветроэнергетических мощностей требуют совершенствования методического, математического и программного обеспечений.

### Анализ зарубежных моделей прогнозирования мощности ветра

В рамках данной статьи рассмотрим применяемые в настоящее время некоторые модели прогнозирования ветра, созданные российскими и зарубежными исследователями и основанные на физических, статистических и гибридных методах в разных временных масштабах.

Для прогнозирования ветра разработаны различные методы, которые можно классифицировать по временным шкалам и методологии. Опираясь на многочислен-

ные исследования, прогнозирование ветра по временному характеру можно условно разделить на 3 категории:

- прогнозирование на 8 часов вперёд (краткосрочное прогнозирование);
- прогнозирование на 24 часа вперёд (среднесрочное прогнозирование);
- прогнозирование на несколько дней вперёд (долгосрочное прогнозирование).

Итак, в качестве основных подходов к прогнозированию ветроэнергетики выделяют модели, которые включают в себя численные прогнозы погоды и измерения

### Среди российских экономистов и инженеров существуют разногласия в выборе методики расчёта эффективности ветропарков и источников финансирования проектов в сфере ветроэнергетики

Модели для краткосрочного прогнозирования	Модели для среднесрочного прогнозирования	Модели для долгосрочного прогнозирования	Прогнозирование с помощью гибридных моделей
Модель WPMS (Wind Power Management System)	Wind Power Prediction Tool (WPPT)	Previento	ANEMOS
	Predictor		WindPro
	Zephyr		
	WPFS 1.0		
	AWPPS		

Таблица 1. Модели прогнозирования в ветроэнергетике в странах Европы

Источник: составлено авторами на основе данных статьи Юсупова К. И., Тажибоева С. Т. Обзор методов прогнозирования в ветроэнергетике

Наименование	Применение	Суть	Результат
Модель воздействия на рабочие места и экономическое развитие Jobs and Economic Development Impact (JEDI)	Представляет инструмент, который оценивает экономические последствия энергетических проектов. Модели для ветроэнергетики включают распределенный ветер, ветер коммунального масштаба и морской ветер. На основе введенных пользователем данных о проекте или стандартных вводных данных (выведенных из отраслевых норм) JEDI оценивает количество рабочих мест и экономические последствия для локальной области, которые могут быть обосновано поддержаны электростанцией или предприятием по производству топлива	Рабочие места, доходы и объемы производства распределяются по 3 категориям: 1. Разработка проекта и воздействие на рабочую силу на месте (люди, работающие на месте (например, техники)). 2. Влияние на местные доходы и цепочку поставок: детали, оборудование и рабочая сила для цепочки создания стоимости (например, производители лезвий, сталевары, бухгалтеры). 3. Индуцированные воздействия: воздействия расходов на местную экономику в связи с реализацией проекта	Значения по умолчанию для модели JEDI основаны на интервью с отраслевыми экспертами и разработчиками проектов. Экономические мультипликаторы, содержащиеся в модели, получены из бухгалтерского программного обеспечения IMPLAN Minnesota IMPLAN Group и файлов государственных данных
Модель системного советника System Advisor (SAM)	Модель производительности и финансов, разработанная для облегчения принятия решений для людей, вовлеченных в отрасль возобновляемой энергии, от руководителей проектов и инженеров до разработчиков программ стимулирования, разработчиков технологий и исследователей. SAM делает прогнозы производительности для ветровых и других возобновляемых источников энергии, включая подключенные к сети солнечные фотоэлектрические системы, концентрированную солнечную энергию, биомассу и геотермальные системы	Модели денежных потоков подходят для проектов распределенной энергетики, которые покупают и продают электроэнергию по розничным ценам, и для проектов по производству электроэнергии, которые продают электроэнергию по цене, согласованной в рамках соглашения о покупке электроэнергии. Модель рассчитывает стоимость производства электроэнергии на основе предоставленной информации о местоположении проекта, затратах на установку и эксплуатацию, типе финансирования, применимых налоговых льготах и стимулах, а также технических характеристиках системы	Результаты SAM включают: 1. Нормированную стоимость энергии. 2. Цену покупки электроэнергии, внутреннюю норму прибыли и другие финансовые цели для проектов коммунального масштаба. 3. Срок окупаемости и чистую приведенную стоимость для жилых и коммерческих проектов. 4. Прогнозы средних показателей производительности системы по часам, месяцам и годам, включая чистую выработку электроэнергии и эффективность компонентов. 5. Годовую таблицу движения денежных средств с подробностями затрат. 6. Настраиваемые графики.
Малая ветроэкономическая модель Small Wind Economic Model	Инструмент для работы с электронными таблицами	Инструмент для оценки производительности и экономической стоимости потенциальных проектов распределенных ветровых турбин, уделяет особое внимание сертифицированным бытовым турбинам	Модель позволяет проводить экономический анализ лизинга оборудования
Инструмент для расчета стоимости возобновляемой энергии	Инструмент для расчета стоимости возобновляемой энергии представляет собой экономическую модель денежных потоков	Инструмент адресован лицам, формирующим политику, регулирующим органам и обществу, занимающемуся возобновляемой энергетикой	Инструмент позволяет оценивать экономику проекта, разрабатывать стимулы на основе затрат (например, фиксированные тарифы) и оценивать влияние различных государственных и федеральных структур поддержки

Таблица 2. Модели для расчета экономического эффекта ветроэнергетики

Источник: составлено авторами на основе данных U. S. Department of Energy. Land-Based Wind Energy Economic Development Guide. 2022

## Принятие решений при вводе ветропарков усложняется рядом факторов: высокий уровень неопределенности исходной информации, непонимание предпочтений потребителя и слабая структурированность

в качестве входных данных. Это единственные подходы, способные обеспечить приемлемую точность в течение последующих 24–48 часов и рассчитаны на применение в странах Европы.

Авторы обзора европейских моделей прогнозирования Юсупов К. И. и Тажибоев С. Т. представили также краткое описание рассматриваемых зарубежных моделей прогнозирования ветра и разбор диапазона ошибок рассматриваемых выше моделей прогнозирования ветра [12, 70–73].

В целях изучения указанной проблемы целесообразно рассмотреть модели прогнозирования для расчета экономических

результатов применения ветроэнергетики, применяемые в США. Перейдем к обзору экономических моделей, разработанных Управлением по энергоэффективности и возобновляемым источникам энергии США [13] (Office of Energy efficiency and renewable energy) и обобщенных в изданном в 2022 г. документе «Руководство по экономическому развитию наземной ветроэнергетики». Данное руководство представило модели для расчета экономических последствий и результатов применения ветроэнергетики (таблица 2).

## Российские модели прогнозирования мощности ветра

Прежде чем перейти к обзору российских моделей прогнозирования мощности ветра, следует уточнить, что ветроэнергетика России в долгосрочной перспективе будет развиваться под влиянием изменений в энергетической политике и развития новых технологий. Аналитиками Института энергетических исследований РАН подготовлен новый Прогноз развития энергетики мира и России до 2050 г. [6], в котором указано, что в большинстве энергосистем

Медвеженская ВЭС, Ставропольский край

Источник: «Новавинд»



стран мира возобновляемые источники энергии и ископаемые топлива будут скорее дополнять друг друга, чем конкурировать между собой.

На этапе 4 энергетического перехода основным драйвером становится не столько экономическая привлекательность новых источников энергии, сколько качественно новый фактор – декарбонизация и борьба с глобальным изменением климата. Очевидно, что новое направление отразится на технических решениях и экономических моделях современных ветроэнергоустановок.

Исследователи Алиходжина Н. В., Тягунов М. Г., Шестопалова Т. А. из КазГЭУ [1, 76–93] считают, что в настоящее время не уделяется достаточного внимания совершенствованию методов ветроэнергетических расчетов и моделям прогнозирования основных характеристик ветра на площадке расположения ВЭС. Ученые предложили классификацию методов прогноза основных параметров ветра (таблица 3).

Проведенный Алиходжиной Н. В., Тягуновым М. Г., Шестопаловой Т. А. анализ существующих моделей показал:

- модели, предназначенные для ветроэнергетических расчетов среднегодовых и среднемесячных значений скорости ветра, имеют хорошую точность, удобны в применении и пригодны для условий России;
- модели ветроэнергетических расчетов на часовые интервалы не имеют общих методов разработки и построения. Все существующие модели применимы только в точке



Адыгейская ВЭС

Источник: «Новавинд»

расположения конкретной ВЭС, для которой они разрабатывались;

- мало внимания уделяется вопросу применимости разработанных моделей. Так, разработанные модели опираются на зарубежных исследователей и их наработки в попытке адаптировать их под условия России.

Особенностью отрасли ветроэнергетики является в настоящее время использование зарубежного программного обеспечения для обоснования площадки под размещение ВЭС и для прогнозирования основных характеристик ветра для планирования режима работы ВЭС. Таким

Источник: Алиходжина Н. В., Тягунов М. Г., Шестопалова Т. А. Обзор существующих моделей и методов расчета основных характеристик ветра в определенной точке

Таблица 3. Основные методы для прогнозирования основных параметров ветра

Методы прогнозирования	Примеры	Примечание
Физические	Глобальные системы прогнозирования, MM5, HIRLAM	Используют метеорологические данные, такие как скорость ветра и его направление, давление, температура, влажность, структура местности и т. п. Точны для долгосрочного прогнозирования
Статистические	Временные ряды	Необходимая большая выборка исходных данных. Высокая точность для краткосрочного прогнозирования
Интеллектуальные	Искусственные нейронные сети	Тренировка ИНН существенно повышает точность прогноза. НС позволяет использовать большое количество входных параметров. Высокая точность для краткосрочного прогнозирования
Гибридные	ANFIS и др.	ANKIS показывает хорошую точность при краткосрочном прогнозировании. Есть возможность увидеть взаимосвязь между параметрами модели

образом, изучив проблему, исследователи выявили следующие факты:

- модели, разработанные и применяемые в метеорологии и авиации не применяются для нужд ветроэнергетики. Поскольку параметры состояния атмосферы не могут быть получены в местах расположения ВЭС, в связи с этим применение моделей затруднительно;
- модели вертикального профиля ветра работают только в условиях, для которых они разработаны. При переходе в другую географическую точку модели показывают недостоверные результаты, что влияет на точность моделируемых параметров и итоговое решение по выбору площадки ВЭС и оценки ее эффективности;
- модели, определяющие основные характеристики ветра на краткосрочные интервалы времени, базируются на регрессионных и статистических моделях, которые все чаще реализуются с помощью нейронных сетей;
- в отечественной литературе редко упоминаются ветроэнергетические расчеты и их особенности, пробле-

## Особенностью отрасли ветроэнергетики является использование зарубежного программного обеспечения для обоснования площадки под размещение ВЭС и прогнозирования характеристик ветра

мы и перспективы развития. Также по теме прогнозирования основных характеристик ветра встречается мало научных статей отечественных исследователей, а те, что есть, ссылаются на большое количество зарубежной литературы. Научная школа ветроэнергетики в России еще не сформировалась.

Алиходжина Н. В., Тягунов М. Г., Шестопалова Т. А. также подготовили обзор существующих моделей прогнозирования скорости ветра, используя различные базы данных (таблица 4).

Таблица 4. Методики моделирования и аппроксимации высотных профилей скорости  $V(h)$  в приземном 100–200-метровом слое

Источник: Алиходжина Н. В., Тягунов М. Г., Шестопалова Т. А. Обзор существующих моделей и методов расчета основных характеристик ветра в определенной точке

Методика, разработчик	Используемые метеоданные	Используемые аэроданные	Аппроксимация распределения $f(V)$	Аппроксимация высотного профиля
Универсальная модель	Соседней МС (2200 МС РФ)	Не используются	Любая известная, соответствующая скорости и высоте	$V(h) = V_0 (h / h_0)^m$ $m = 1/7$ для суши $m = 1/10$ для моря
WASP, RISO, Дания	Соседней МС + модель $Z_0$ (332 МС РФ)	Не используются	Функции Вейбулла по метеоданным с подъемом на высоту	$V(h) = V_0 \cdot \ln(h / h_0)$
NASA, NREL, США	Модель с разрешением $1 \times 1$ км	Не используются	Функция Рэля по метеоданным	$V(h) = V_0 (h / h_0)^m$
ЦАГИ, 1960	Соседних МС-аналогов ( $\approx 500$ МС)	Не используются	Функции Колодина и Поморцева	$V(h) = V_0 (h / h_0)^m$
ГГО, 1989	Соседних МС ( $\approx 1100$ МС РФ)	Не используются	Г-функции по данным ближайших МС	$V(h) = V_0 (h / h_0)^m$
ФЛЮГЕР 3.0, ЦАГИ, 1994	Соседних МС класса 76 и 66 ( $\approx 1000$ МС РФ)	$V$ на уровне 100 м соседней станции	Табулированные региональные функции Гринцевича	$V(h) = V_0 (h / h_0)^m$ $m = \frac{\ln(V_{100} / V_0)}{\ln(H_{100} / H_0)}$
АО «ВИЭН», 2002	Соседних МС ( $\approx 1100$ МС РФ)	Не используются	Подъем эмпирических повторяемостей	$V(h) = V_0 (h / h_0)^m$
ФЛЮГЕР 2000, НИЦ «АТМОГРАФ»	Соседних МС класса 76 ( $\approx 1000$ МС РФ)	$V$ на 100 м по данным АС района	Табулированные региональные функции Гринцевича	$V(h) = V_0 (h / h_0)^m$
ФЛЮГЕР XXI, НИЦ «АТМОГРАФ»	Средние статистические по району с очисткой ( $\approx 1100$ )	$V$ на $h = 100, 200, 300$ и $600$ м всех АС региона	Табулированные региональные функции Гринцевича	С моделированием $V_{суша}(h) = V_c \cdot \ln(h / h_0)$ $V_{море}(h) = V_m \cdot \ln(h / h_m)$

## В последние десятилетия активно внедряются методы искусственного интеллекта, которые сочетают в себе анализ разнофакторных исходных данных и высокую точностью предсказания

Экономист Зубакин В. А. расширил классификацию методов прогнозирования, разработанную Алиходжиной Н. В., Тягуновым М. Г. и Шестопаловой Т. А., и предложил уточненную классификацию методов прогнозирования выработки ВЭС [4]:

1. Физические методы.
2. Статистические методы.
3. Комбинирование статистических моделей, а также моделей машинного обучения вместе с численным прогнозом погоды и анализом местности методами вычислительной гидродинамики. Считается одним из наиболее оптимальных методов.

4. Персистентный метод.
5. Ансамблевое прогнозирование. В отличие от современных алгоритмов машинного обучения, ансамблевые методы требуют меньшей настройки и экспертных знаний в предметной области. Ансамблевые модели регрессии для прогнозирования ВЭС используются достаточно часто. Тем не менее эффективность ансамблевого прогнозирования зависит от распределения ошибки каждой регрессионной модели.

Из-за специфики проведения ветроэнергетических расчетов и их достоверности в точке проведения, применение опыта зарубежных исследований затруднительно и не всегда подходит под условия работы российских ветростанций.

Настоящее положение дел в ветроэнергетике побудило российских ученых и исследователей на самостоятельное решение указанной проблемы. В рамках данной статьи рассмотрим только некоторые работы исследователей, в которых применяется математическое моделирование.

Исследователями Черноталовой Е. А. и Третьяковой М. Н. была разработана и апробирована математическая модель

Ветропарк в Куликово

Источник: [kaliningrad.rbc.ru](http://kaliningrad.rbc.ru)



Метод	Горизонт прогнозирования	1 ч	2 ч	3 ч	4 ч	5 ч	6 ч
XGboost		13,2	18,9	22,1	24,5	26,1	28,2
Random Forest		13,1	19,2	24,1	25,3	27,1	28,9
MLP		11,1	17,9	21,6	22,2	24,9	26,1
RNN		12,2	18,1	20,1	22,9	23,6	25,6
LSTM		12,4	16,9	18,1	21,2	22,8	24,9
Скользкая средняя		6,2	11,1	17,4	20,5	25,2	27,2

Таблица 5. MAPE прогноза скорости ветра

Метод	Горизонт прогнозирования	1 ч	2 ч	3 ч	4 ч	5 ч	6 ч
XGboost		1,01	1,39	1,6	1,77	1,9	2,04
Random Forest		1,1	1,45	1,72	1,9	2,02	2,19
MLP		1,05	1,36	1,63	1,76	1,95	2,01
RNN		1,09	1,32	1,58	1,82	1,91	1,99
LSTM		1,1	1,28	1,41	1,59	1,8	1,94
Скользкая средняя		0,52	1,05	1,36	1,43	1,93	2,05

Таблица 6. RMSE (корень квадратный из среднеквадратичной ошибки прогноза) прогноза скорости ветра

ветроэнергетической установки [9], учитывая параметры ветрогенератора типа WH6.4–5000W и состоящей из виртуального синхронного генератора, являющегося элементом библиотеки SimPowerSystem, а также блоков из приложения Simulink пакета программ Matlab, имитирующих действие ветра и движение механической части ветрогенератора.

Ученым-экономистом Зубакиным В. А. [4] в качестве объекта моделирования был выбран ветрогенератор, расположенный в Российской Федерации. В качестве входных данных использовались параметры, полученные со SCADA с шагом 10 минут и 1 час. В качестве входных данных брались значения скорости ветра за предыдущее время. Оценка ошибки прогноза была произведена для горизонта планирования от 1 до 6 часов. Результаты прогнозирования представлены в таблицах 5 и 6.

Модели, используемые для прогнозирования скорости ветра:

- градиентный бустинг;
- Random Forest;
- XGboost;
- многослойный перцептрон (MLP);
- рекуррентная нейронная сеть (RNN);
- LSTM-сеть;
- скользящая средняя (MA).

Применение рекуррентной нейросети с архитектурой LSTM позволило достичь самой высокой точности по сравнению с другими моделями для горизонта прогнозирования на 5–6 часов.

По мнению исследователя Зубакина В. А., использование только временного

ряда скорости ветра не позволяет получить высокую точность прогнозирования скорости.

В последние десятилетия активно внедряются методы искусственного интеллекта, которые сочетают в себе разнофакторные исходные данные и признаки иных моделей прогнозирования и отличаются высокой точностью предсказания:

- искусственные нейронные сети;
- групповые методы обработки данных;
- метод опорных векторов.

С большой долей вероятности можно предположить, что будущее за моделями прогнозирования с применением искусственного интеллекта.

Исследователь из НИУ «МЭИ» Игнатъев Е. В. в настоящее время работает над созданием программного комплекса Wind Turbine и находится на этапе сертификации оборудования. Программный

**Проведенное исследование еще раз подтвердило постулат о том, что не существует универсального метода прогнозирования временных рядов, каждый метод находит свое применение**

комплекс включает модули «Расчет ветроэнергетического кадастра», «Пересчет скорости ветра в точку расположения ВЭУ на высоту башни ВЭУ», «Расчет выработки ВЭУ» [2].

Исследователями из НИЯУ МИФИ Мокшиным М. Ю. и Путиловым А. В. разработана алгоритмическая модель прогнозирования развития отечественной энергетики в рамках технологии форсайт-проектирования. В модели применены принципы системного, комплексного, междисциплинарного и рискованного подходов. Авторами модели предложена форсайт-методика, которая основывается на системном исследовании и анализе текущего состояния и потенциала ветровой энергетики РФ, выполнена статистическая обработка данных по производству ветровых установок, метеорологических и экономических показателей [5].

Исследователи выявили зависимость величины экономических показателей российской промышленности и нелинейной динамикой энергетических трендов и предложили эффективный комплексно-сопряженный подход прогнозирования таких трендов. Подход основан на комплексной экономико-технологической модели, которая сопряжена с базой данных климатических изменений.

Системы автоматизированного проектирования (САПР) уже являются неотъемлемой частью процесса проектирования ВЭС. САПР позволяют быстро создавать и модифицировать проекты, используя компьютерную модель ВЭС, что существенно сокращает время, необходимое на проектирование, и уменьшает вероятность ошибок, связанных с ручным вводом данных. Таким образом, цифровые двойники производственных объектов ВЭС яв-

**Модели вертикального профиля ветра работают только в условиях, для которых они разработаны. При переходе в другую географическую точку модели показывают недостоверные результаты**



Адыгейская ВЭС  
Источник: «Новавинд»

ляются важным инструментом для эффективного управления в различных режимах эксплуатации.

Оценка интенсивности использования мощности ВЭС различных типов проведена исследователями путем анализа 2 показателей: коэффициента использования установленной мощности и структурного коэффициента использования мощности. Расчет значения индикатора интенсивности использования мощности (КИУМ) ВЭС является долей от возможного выпуска электроэнергии:

$$КИУМ_i = \mathcal{E}_i / 8760N_{yi}, \quad (1)$$

где:  $\mathcal{E}_i$  – годовая фактическая выработка электростанции  $i$ -го типа, млн кВт·ч;  $N_{yi}$  – установленная мощность электростанции  $i$ -го типа, ГВт.

Структурный коэффициент использования мощности по типам электростанций определим в соответствии с формулой:

$$K_{CTi} = \Delta \mathcal{E}_i / \Delta N_{yi}, \quad (2)$$

где:  $\Delta \mathcal{E}_i$  – доля электростанции  $i$ -го типа в структуре выработки электроэнергии, %;  $\Delta N_{yi}$  – доля электростанции  $i$ -го типа в структуре установленной мощности.

Экономический эффект от использования ветроэнергетических установок (ВЭУ) в энергодефицитных регионах определили по формуле:

$$\mathcal{E}_{эф} = nQT_{сл}(T_{сл} - T_{ок}) / (E_{CT} - I_{экс})(C_{п} - C_{т}), \quad (3)$$

где:  $n$  – число ВЭУ в составе ВЭС;  $Q$  – годовой дефицит электроэнергии в регионе, кВт·ч/год;  $C_{т}$  – удельная стоимость производства электроэнергии от топливных источников энергии (региональный тариф), руб./кВт·ч;  $E$  – электроэнергия, вырабатываемая ВЭУ в год, кВт·ч/год;  $I_{экс}$  – издержки эксплуатации, руб.

Авторами разработки предложена структура универсальной комплексной модели информационного и алгоритмического обеспечения мониторинга ключевых экономических показателей АО «Новавинд», которая может быть транслирована на аналогичные предприятия отрасли. В рамках корпоративной платформы управления данными авторами предлагается эффективно использовать описанную модель совместно с комплексом инструментов DG/DM («Data Governance» / «Data Management»).

Таким образом, использование современных информационных технологий позволит перейти к формированию механизмов управления устойчивым развитием экономики промышленных отраслей и комплексов, в том числе и с использованием ветрогенерации.

## Заключение

Проведенное исследование еще раз подтвердило постулат о том, что не существует универсального метода прогнозирования временных рядов, каждый метод находит свое применение для разных типов временного ряда. Для временных рядов, которые подвержены кризисным процессам, лучшую эффективность дают методы на основе нейронных сетей [10, 27–28].

В данной статье была сделана попытка анализа распространенных отечественных и зарубежных моделей прогнозирования. Оценка эффективности различных моделей и их выбор следует рассчитывать в зависимости от конкретного проекта, учитывая характер местности, временные интервалы, экономику проекта, а также перспективность проекта с точки зрения «зеленой» энергетики.

Подводя итог исследованию, можно утверждать, что в настоящее время в России не существует единых подходов к определению основных характеристик ветра в предполагаемой точке строительства ВЭС и нет единых методик для прогнозирования параметров ветра как на краткосрочный, так и среднесрочные интервалы времени.

## Использованные источники

1. Алиходжина Н.В., Тягунов М.Г., Шестопалова Т.А. Обзор существующих моделей и методов расчета основных характеристик ветра в определенной точке // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2024. Т. 16. № 3 (63). С. 76–93.
2. Ветровая энергетика России переживает второе рождение. URL: [https://www.ng.ru/ng\\_energiya/2023-04-10/9\\_8702\\_energetics.html](https://www.ng.ru/ng_energiya/2023-04-10/9_8702_energetics.html)
3. Доклад ЕЭК «Методы прогнозирования развития экономики, в том числе с учетом трансграничных последствий принимаемых решений в области макроэкономической политики». 2024. С. 5–7. <https://eec.eaeunion.org/upload/clcr/6.2.4.pdf>
4. Зубакин В.А. Краткосрочное прогнозирование выработки ветровой электростанции. URL: <https://energypolicy.ru/kratkosrochnoe-prognozirovanie-vyrabotki-vetrovoj-elektrostanczii/energetika/2022/20/19>
5. Мокшин М., Путилов А. Оценка эффективности ветроэнергетики при проектировании с использованием алгоритмического моделирования // Энергетическая политика. №12 (191). 2023. С. 80–91. DOI: 10.46920/24095516\_2023\_12191\_80
6. Прогноз развития энергетики мира и России до 2050 г. URL: <https://new.ras.ru/activities/news/opublikovan-prognoz-razvitiya-energetiki-mira-i-rossii/>
7. Россия возрождает ветроэнергетику. URL: [https://www.cdu.ru/tek\\_russia/issue/2024/7/1289/](https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2024/7/1289/)
8. Сунчалин А.М., Сунчалина А.Л. Обзор методов и моделей прогнозирования финансовых временных рядов. С. 27–28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-i-modeley-prognozirovaniya-finansovyh-vremennyh-ryadov>
9. Черноталова Е.А. Разработка ветровой электростанции для промышленного предприятия г. Тольятти. Магистерская дисс. 2019. Тольяттинский государственный университет. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/11402/1/Черноталова%20Е.А.\\_ЭЭТм\\_1705a.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/11402/1/Черноталова%20Е.А._ЭЭТм_1705a.pdf)
10. Шамаев И. Обзор методов прогнозирования. URL: <https://ivan-shamaev.ru/overview-forecast-methods/#i-8>
11. Энергопотребление в России в 2023 г. составило 1,14 трлн кВт·ч. URL: <https://tass.ru/ekonomika/19814169?ysclid=m41jc15rb4977470601>
12. Юсупов К.И., Тажибоев С.Т. Обзор методов прогнозирования в ветроэнергетике // Сантехника, отопление, кондиционирование. Декабрь 2022 (13). С. 70–73.
13. U.S. Department of Energy. 2022. Land-Based Wind Energy Economic Development Guide. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Wind Energy Technologies Office: WINDExchange. URL: <https://windexchange.energy.gov/economic-development-guide>

# Построение цифровой платформы NESTRO DATA АО «Зарубежнефть» с использованием корпоративного хранилища данных

## Construction of the digital platform of the NESTRO DATA of Zarubezhneft JSC using the corporate data warehouse

Евгений ГАЛЬЦОВ  
Заместитель директора по управлению данными и развитию бизнеса АО «Зарубежнефть»  
E-mail: EGaltsov@nestro.ru

Андрей ВЕНЕДИКТОВ  
Начальник отдела по управлению данными АО «Зарубежнефть»  
E-mail: AVenediktov@nestro.ru

Евгений ТОИЧКИН  
Руководитель направления отдела по управлению данными АО «Зарубежнефть»  
E-mail: EToichkin@nestro.ru

Владимир КУРИЦИН  
Начальник управления информационных технологий АО «Зарубежнефть»  
E-mail: VKuritsin@nestro.ru

Дмитрий ТУРЧАНОВСКИЙ  
Заместитель генерального директора по ИТ, к. э. н., ООО «ЗН Цифра»  
E-mail: DTurchanovsky@nestro.ru

Максим ВАСЮК  
Директор ПАО «Arenadata» (промышленный сектор)  
E-mail: m.vlasyuk@arenadata.io

Аннотация. В статье раскрываются принципы работы корпоративной платформы управления данными NESTRO DATA. Отмечается, что она может стать базой для развития отечественных ПО и цифровых решений, необходимых для оптимизации добычи нефти. Её внедрение работает не только на импортозамещение, но и на импортоопережение в отрасли.

*Ключевые слова:* управление данными, хранилище данных.

Abstract. The article describes the principles of operation of the corporate data management platform NESTRO DATA. It is noted that it can become a base for the development of domestic software and digital solutions necessary to optimize oil production. ITS implementation works not only for import substitution, but also for import savings in the industry.

*Keywords:* data management, data storage.



При выборе решений «Зарубежнефть» опиралась на директивы по импортозамещению, рассматривая продукты, входящие в реестр отечественного ПО

### Предпосылки проекта

Конкуренция в нефтегазовой отрасли продолжает расти, вынуждая компании улучшать эффективность бизнес-процессов. Одним из ключевых инструментов для достижения этих целей является автоматизация процессов работы с данными. Так, в рамках стратегии цифровой трансформации перед компанией «Зарубежнефть» была поставлена задача создания цифровой платформы по управлению данными, которая станет централизованным источником «единой версии правды» по всем направлениям деятельности холдинга.

Для реализации этой задачи в 2020 г. был запущен проект по созданию корпоративной платформы управления данными NESTRO DATA. До запуска проекта компании группы хранили информацию в различных системах, что приводило к следующим проблемам:



«Зарубежнефть добыча Харьяга»  
Источник: АО «Зарубежнефть»

- отсутствие централизованного источника данных;
- невозможность получения сводной информации по геолого-промышленным данным;
- высокие трудозатраты на подготовку отчётности для руководства;
- сложности в автоматизации отчётности, что делало процесс её формирования долгим и непрозрачным.

Для устранения перечисленных проблем и повышения эффективности процессов управления данными были поставлены следующие цели:

- создание единой платформы управления данными;
- повышение качества и достоверности данных;

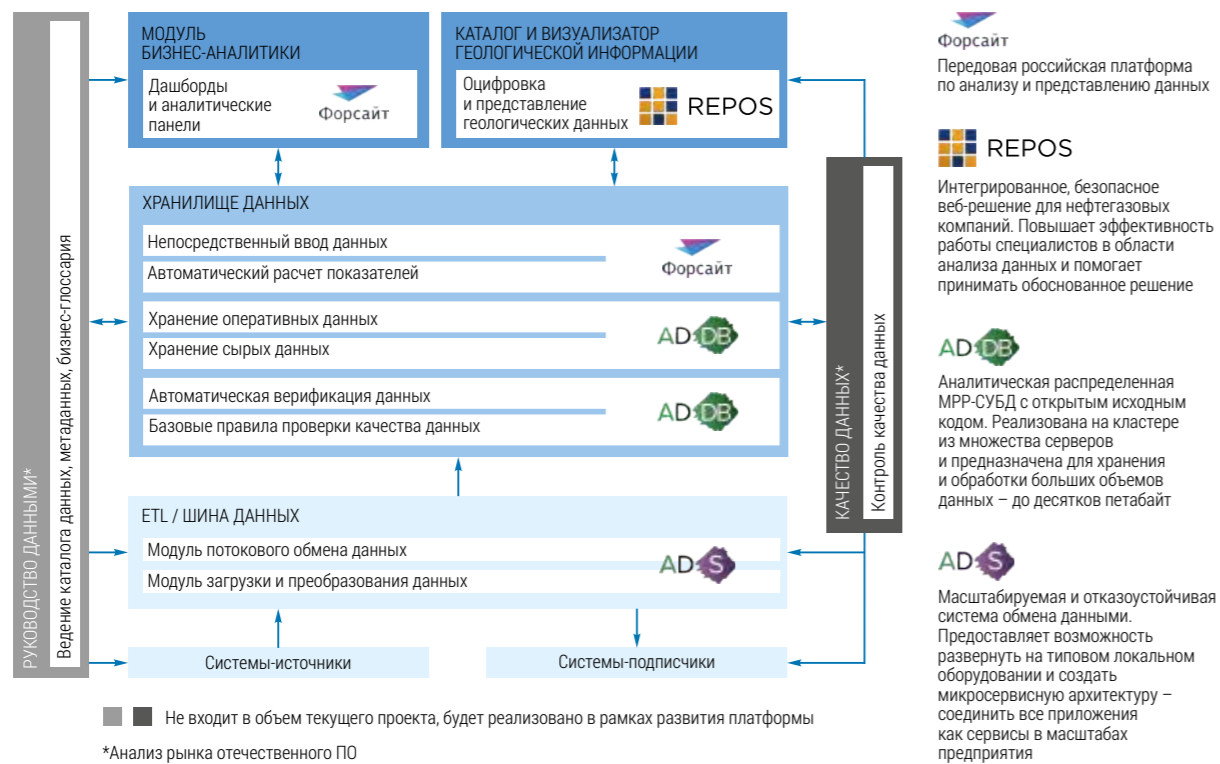


Рис. 1. Архитектура NESTRO DATA

- автоматизация и ускорение формирования отчётности;
- снижение затрат и увеличение прибыли за счёт оптимизации работы с данными.

### Выбор технологического стека

При выборе решений для платформы «Зарубежнефть» опиралась на директивы по импортозамещению, рассматривая продукты, входящие в реестр отечественного ПО. С учетом того, что АО «Зарубежнефть» первой из крупных производственных компаний реализовала подобную платформу только на отечественных инструментах, можно констатировать, что компания сработала на импортоопережение и создание импортонезависимой платформы.

АО «Зарубежнефть» построила единое хранилище, используя аналитическую СУБД Arenadata DB и систему для потоковой realtime-обработки данных Arenadata Streaming. Кроме того, специалисты компании внедрили систему бизнес-аналитики, файловое хранилище, электронный каталог файлового хранилища и систему визуализации геологической информации.

Проект NESTRO DATA стал уникальным для российского нефтегазового рынка, так как на момент его реализации аналогичные решения в отрасли либо отсутствовали, либо использовали зарубежные системы. Корпоративное хранилище данных обеспечило сбор, хранение и обработку данных из систем-источников с возможностью быстрого доступа к ним для специалистов.

Для этого были созданы 5 компонентов цифровой платформы:

- корпоративное хранилище данных (Arenadata DB);
- корпоративная шина данных (Arenadata Streaming);
- каталог и хранилище неструктурированных данных («Форсайт»);
- система бизнес-аналитики («Форсайт»);
- система визуализации геологической информации (REPOS).

Сложная разветвлённая сеть ИТ-инфраструктуры АО «Зарубежнефти» стала серьёзным вызовом для проекта. Активы холдинга расположены в разных странах, в каждой из которых использовались локальные информационные системы. Поэтому в единое информационное про-

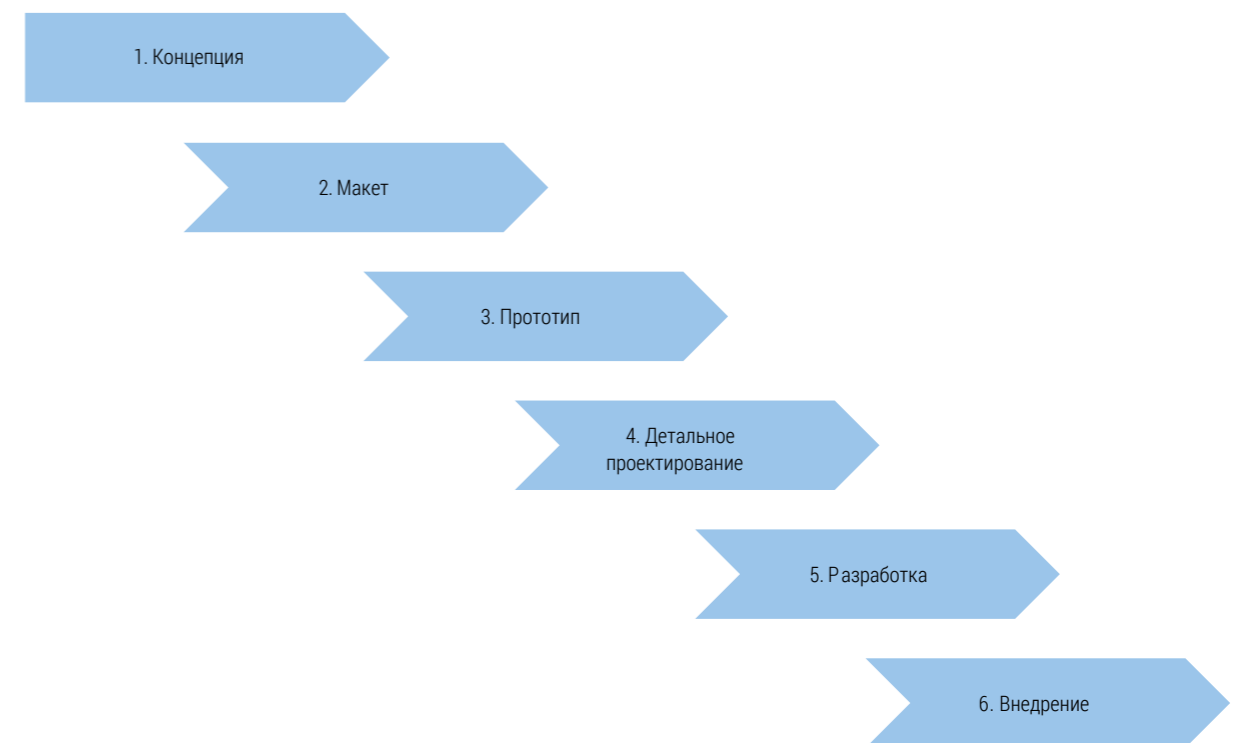
странство были объединены все производственные системы, применяемые в странах присутствия Группы. Это позволило получить доступ к единому набору данных независимо от местоположения и специфики систем.

Ключевым этапом проекта стала разработка единой методологии данных. Данные из разных систем, которые, несмотря на общий смысл, имели разные названия, были приведены к единому формату и дополнены аналитиками из разных систем-источников для их сопоставления. Отчёты при этом формировались автоматически и обновлялись с заданной периодичностью, что значительно ускорило их подготовку, согласование и исключило искажение информации из-за человеческого фактора.

В настоящее время цифровая платформа стала единым источником ключевых показателей по всем направлениям деятельности Группы компаний:

- добыча;
- геология и разработка;
- развитие бизнеса;
- переработка и сбыт;
- экономика и финансы;
- энергетические проекты;
- правовые и корпоративные вопросы.

Рис. 2. Этапность создания дашбордов



## Конкуренция в нефтегазовой отрасли продолжает расти, вынуждая компании улучшать эффективность бизнес-процессов, в том числе путем автоматизации процессов работы с данными

В компании выстроена методология построения дашбордов. Необходимо четко понимать, на какой вопрос отвечает дашборд, для чего он служит? Каждый виджет на дашборде также имеет цель: для чего он существует именно на этом дашборде?

Каждый дашборд проходит в процессе реализации последовательность стадий (рис. 2):

1. **Концепция.** Подготовка примера дашборда и описание: цель, название, структура дашборда (набор виджетов), схематическое изображение, пример реальных данных для будущего макета.

- Макет.** Разработка макета будущего дашборда, обеспечение согласования макета с бизнесом.
  - Прототип.** Разработка прототипа дашборда (MVP) на основании утвержденного макета в аналитической платформе, без автоматизации сбора и хранения данных. Прототип утверждается. Автоматизация реализуется дополнительно при необходимости.
  - Детальное проектирование.** Бизнес на основании шаблона и прототипа заполняет детальное описание будущего дашборда (постановку на реализацию): формирует требования, указывает показатели и источники данных, бизнес-логику работы каждого виджета и элемента дашборда.
  - Разработка.** Полноценная разработка дашборда в системе в соответствии с требованиями бизнеса.
  - Внедрение.** Представление готового дашборда бизнесу, инструктаж пользователей и передача в промышленную эксплуатацию в составе системы.
- Правила построения и визуализации дашбордов:
- На дашборде должны быть данные по определенному функциональному направлению деятельности, в соответствии с бизнес-процессом. За дашбордом должен быть закреплен:
    - владелец бизнес-процесса (владелец данных) – отвечающий за набор ключевых элементов данных, а также визуальное представление дашборда;
    - менеджер бизнес-процесса (распорядитель данных) – отвечающий за описание требований к ключевым элементам данных и требований к ролевой модели;
    - методолог бизнес-процесса (менеджер по качеству данных) – отвечающий за формирование правил качества данных и организацию работ по контролю качества данных.
- Данные на дашборде не должны пересекаться с другими дашбордами и не дублироваться в разных местах. Дашборд не должен быть перегружен.
- Для отображения данных необходимо:
- использовать среднесуточные/среднемесячные значения показателей;
  - уходить от таблиц и использование трендов/тенденций с помощью диаграмм/гистограмм;

Рис. 3. Целевое состояние функции управления данными



Источник: АО «Зарубежнефть»



Рис. 4. Целевая функциональность платформы NESTRO DATA

Источник: АО «Зарубежнефть»

- использование сравнения «план-факт»;
- использовать достаточное количество исторических данных.

Важно предусмотреть возможность детализации и обобщения данных за счет функциональности drill-down в виджете, что позволяет сэкономить место на дашборде, не вынося дополнительные кнопки и отдельные виджеты.

Дашборд должен акцентировать внимание пользователя на важных отклонениях в данных. Акценты должны быть выделены цветом: положительные отклонения подсвечиваются зеленым цветом, отрицательные – красным. В графиках визуализация отклонений обеспечивается соотношением столбцов/линий сопоставимых показателей.

Подписи на данных в виджетах не должны перегружать дашборд и нести ущерб читаемости: по умолчанию в графиках подписывается только показатель факта использовать функционал вывода информации при наведении на элемент.

При разработке системы использовался корпоративный стиль и концепция дизайна с «темной темой» интерфейса

с контрастными элементами для лучшего восприятия информации. Основной цвет для визуализации – зеленый и его оттенки. Второй по значимости цвет – желто-оранжевый. Красный – использовать только для «негативных» показателей.

В первую очередь должны быть представлены показатели, имеющие в своей основе возможность отслеживать изменение в динамике, а также сопоставляться с данными за предыдущие периоды.

Выбор типов виджетов, наилучшим образом отображающих данные для конкретных метрик и целей:

**Сложная разветвлённая сеть ИТ-инфраструктуры стала серьёзным вызовом для проекта. Активы расположены в разных странах, в каждой из которой использовались локальные информационные системы**



«Русьветпетро»

Источник: АО «Зарубежнефть»

- для динамичных (исторических) показателей – для визуализации трендов во времени – это комбинированная диаграмма, линейная диаграмма, гистограмма, гистограмма с накоплением в разрезе года;
- для статичных показателей – при визуализации показателя на заданный момент времени: для отображения долей в составе показателя – круговая диаграмма, для сравнения показателей – гистограмма с накоплением в разрезе показателей, факторный анализ, таблица с данными, плоское дерево, КПЭ план/факт. Система визуализации показателей по всем направлениям деятельности

**Платформа NESTRO DATA развивается. Помимо добавления новых показателей, предстоит решить задачу по развитию блока качества данных, бизнес-гlossария, каталога неструктурированных данных**

Группы компаний – это вершина, «видимая часть айсберга» промышленной цифровой платформы NESTRO DATA, в основе которой лежат такие ключевые элементы как корпоративное хранилище данных, корпоративная шина данных и корпоративная система управления нормативно-справочной информацией.

### Текущие результаты

Внедрение платформы NESTRO DATA в компании привело к положительным изменениям в работе с данными. Платформа обеспечивает высокое качество данных и позволила оптимизировать процессы их сбора, обработки и анализа. Благодаря единой информационной среде, сотрудники компании могут принимать решения, опираясь на достоверную и полную информацию, и это позволило достичь улучшения следующих показателей:

1. **Ускорение процесса обработки данных.** Сократив время работников, необходимое на консолидацию, проверку и очистку данных, удалось перераспределить его на выполнение других аналитических задач.
2. **Монетизация дополнительной добычи нефти.** Повысив качество и доступность производственных

и геологических данных, для анализа и подбора ГТМ и мониторинга ППД, добились снижения темпов падения, что повлияло на увеличение добычи и, соответственно, прибыли.

3. **Повышение доходности финансовых инструментов.** Оперативное получение структурированной информации по остаткам на счетах позволило улучшить управление финансовыми инструментами.

В рамках проекта, помимо непосредственно создания цифровой платформы «NESTRO DATA», были выполнены важные организационные и методологические задачи, обеспечивающие системную работу нового инструмента в компании:

- создан Центр компетенций по управлению данными;
- разработана Стратегия управления данными;
- регламентированы процессы по ключевым направлениям для дальнейшей передачи платформы в процесс, управление централизованного управления нормативно-справочной информацией, управление интеграцией и интероперабельностью данных в Группе компаний АО «Зарубежнефть».

С учетом Стратегии управления данными, основными задачами на период до 2028 г. являются:

- использование предиктивной аналитики при работе с данными;
- развитие каталога неструктурированных данных;
- разработка новых компонент платформы NESTRO DATA.

Платформа NESTRO DATA развивается. Помимо добавления новых показателей, предстоит решить задачу по развитию блока качества данных, бизнес-гlossария, каталога неструктурированных данных. Все это позволит консолидировать актуальные версии различных видов документов, повысить функциональность поиска определенных наборов данных, отслеживать происхождение и поток данных, повысить грамотность – знание процессов и принципов, необходимых для эффективного управления и использования данных.

Фактически это ключевой этап перехода к data-центричному управлению компанией «Зарубежнефть». Проект будет продолжаться поэтапно в соответствии со Стратегией управления данными. В будущем платформа позволит проводить более глубокий анализ данных, оценивать вероятности наступления событий и возможные риски.

Рис. 5. Единая цифровая среда для управления данными

Источник: АО «Зарубежнефть»



# Применение ВИЭ и водорода на вышках сотовой связи для автономного низкоуглеродного энергоснабжения

## Application of renewable energy and hydrogen at cell towers for autonomous low-carbon energy supply

Владислав КАРАСЕВИЧ  
Научный сотрудник НТЦ  
автономной энергетики МФТИ, к. т. н.  
E-mail: karasevich.va@mipt.ru

Vladislav KARASEVICH  
Research fellow, Ph.D. (Engineering), Scientific  
and Technical Center for Autonomous Energy, MIPT  
E-mail: karasevich.va@mipt.ru

Юрий ВАСИЛЬЕВ  
Исполнительный директор НТЦ  
автономной энергетики МФТИ  
E-mail: vasilev.uv@mipt.ru

Yuri VASILIEV  
Executive director, Scientific and Technical  
Center for Autonomous Energy, MIPT  
E-mail: vasilev.uv@mipt.ru

Сотовая вышка

Источник: Газета о России / dzen.ru



Аннотация. Сахалинская область является одним из пионеров в России по построению низкоуглеродной экономики. В регионе с 2021 г. реализуется климатический эксперимент, направленный на ускоренное достижение регионом углеродной нейтральности. Созданный МФТИ, правительством региона, компаниями и организациями-партнерами водородный полигон восточного водородного кластера, состоящий из базового комплекса на площадке СКБ САМИ в г. Южно-Сахалинск (где производится водород из солнечной электроэнергии) и 4 пилотных проектов по использованию водорода для хранения энергии. Один из таких проектов направлен на энергоснабжение с помощью ВИЭ и водорода изолированных вышек сотовой связи. В статье приведены расчеты применения систем водородного энергоснабжения на базе водородно-воздушных топливных элементов с протон-обменной мембраной для энергоснабжения пилотной вышки сотовой связи в п. Огоньки (Сахалинская область). Замещение дизельного топлива позволяет достичь серьезного снижения углеродных выбросов на объекте сотовой связи (до 6,9 т CO<sub>2</sub>-экв. на 1 кВт мощности вышки сотовой связи).

*Ключевые слова:* автономная энергетика, топливные элементы, солнечная энергетика, водородная энергетика, вышки сотовой связи, энергоснабжение телекоммуникационных объектов.

Abstract. Sakhalin Oblast is one of the pioneers in Russia in building a low-carbon economy. Since 2021, a climate experiment has been implemented in the region aimed at accelerating the achievement of carbon neutrality by the region. The hydrogen testing ground of the eastern hydrogen cluster, created by MIPT, the regional government and partner companies and organizations, consists of a basic complex at the SKB SAMI site in Yuzhno-Sakhalinsk (where hydrogen is produced from solar electricity) and four pilot projects for the use of hydrogen for energy storage. One of such projects is aimed at power supply using renewable energy sources and hydrogen for isolated cell towers. The article presents calculations for the use of hydrogen power supply systems based on hydrogen-air fuel cells with a proton-exchange membrane for power supply of a pilot cell tower in the village of Ogonki (Sakhalin Region). Substitution of diesel fuel allows achieving a significant reduction in carbon emissions at the cell site (up to 6.9 tons of CO<sub>2</sub> equivalent per 1 kW of cell tower capacity).

*Keywords:* autonomous power generation, fuel cells, solar energy, hydrogen energy, cell towers, power supply of telecommunications facilities.

### Введение

Сахалинская область является одним из пионеров в России по построению низкоуглеродной экономики. В регионе с 2021 г. реализуется климатический эксперимент, направленный на ускоренное достижение регионом углеродной нейтральности.

Водородный полигон Восточного водородного кластера, созданный МФТИ совместно с администрацией Сахалинской области и партнерскими компаниями и организациями (такими как ПАО «РусГидро», ПАО «Росатом», МЧС, АФК «Система» и другими), был запущен в июле 2024 г. для отработки в полевых условиях технологий. В состав полигона входят базовый комплекс производства водорода из солнеч-

ной энергии в Южно-Сахалинске (на площадке СКБ САМИ) и 4 пилотных проекта, направленных на отработку практического применения водородных технологий:

- испытательный стенд системы водородного электроснабжения энергоизолированного объекта связи на примере вышки сотовой связи в п. Огоньки;
- испытательный стенд системы водородного электроснабжения энергоизолированного поселка на базе возобновляемых источников энергии и водородных систем хранения энергии на примере п. Новиково;
- испытательный стенд оборудования систем жизнеобеспечения полевого лагеря МЧС на базе водородных технологий;

- испытательный стенд оборудования экспериментального водородного автозаправочного комплекса в г. Южно-Сахалинск.

В данной статье основной акцент будет сделан на перспективы применения ВИЭ и водородных технологий на энергоизолированных объектах связи.

### Вышки сотовой связи, их энергопотребление и энергоснабжение

К середине 2023 г. в России насчитывалось около 98,1 тыс. вышек сотовой связи (ВСС) [1], значительная их часть находится на изолированных территориях. В рамках федеральной программы устранения цифрового неравенства, предусматривающей появление мобильной связи и интернета в населённых пунктах, в которых проживает до 500 чел., только за 2021–2023 гг. к мобильной связи было подключено более 4700 населённых пунктов (при целевых показателях Плана деятельности Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации на период 2019–2024 гг. в 26,9 тыс. населённых пунктов) [2].

Потребляемая мощность вышки сотовой связи с автономным энергоснабжением обычно составляет от 2 до 5 кВт, но на отдельных вышках может достигать 20 кВт. Для ее энергоснабжения может потребоваться несколько тонн дизельного топлива в год. Для снижения потребления дизеля на таких вышках активно ставят возобновляемые источники энергии, прежде всего фотоэлектрические панели, однако из-за неравномерности выработки

**Мощность вышки сотовой связи с автономным энергоснабжением составляет от 2 до 5 кВт, но на отдельных вышках достигает 20 кВт. Для ее энергоснабжения потребуется несколько тонн ДТ в год**



Коммуникационная вышка  
Источник: Alex533 / depositphotos.com

электроэнергии они не позволяют полностью отказаться от дизельной генерации. Применение совместно с ВИЭ систем водородного накопления энергии дает возможность организовать низкоуглеродное энергоснабжение вышек сотовой связи, а испытательный стенд позволит отработать на пилотном объекте предлагаемое техническое решение.

### Сравнение вариантов энергообеспечения вышек сотовой связи

Рассмотрим основные применяемые для энергоснабжения изолированных объектов вышки сотовой связи. В соответствии с приказом Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 13 марта 2007 г. № 32 «Об утверждении требований к построению телефонной сети связи общего пользования в части обеспечения надежности электроснабжения средств связи, выполняющих функции систем коммутации, точек присоединения и базовых станций сетей подвижной связи», автономные вышки сотовой связи должны быть обеспечены электропитанием по 2 категории надежности [3]. Согласно п. 10 приказа, для обеспечения надежности на вышке сотовой связи должны стоять аккумуляторные

батареи, обеспечивающие ее непрерывную работу в течение 24 часов.

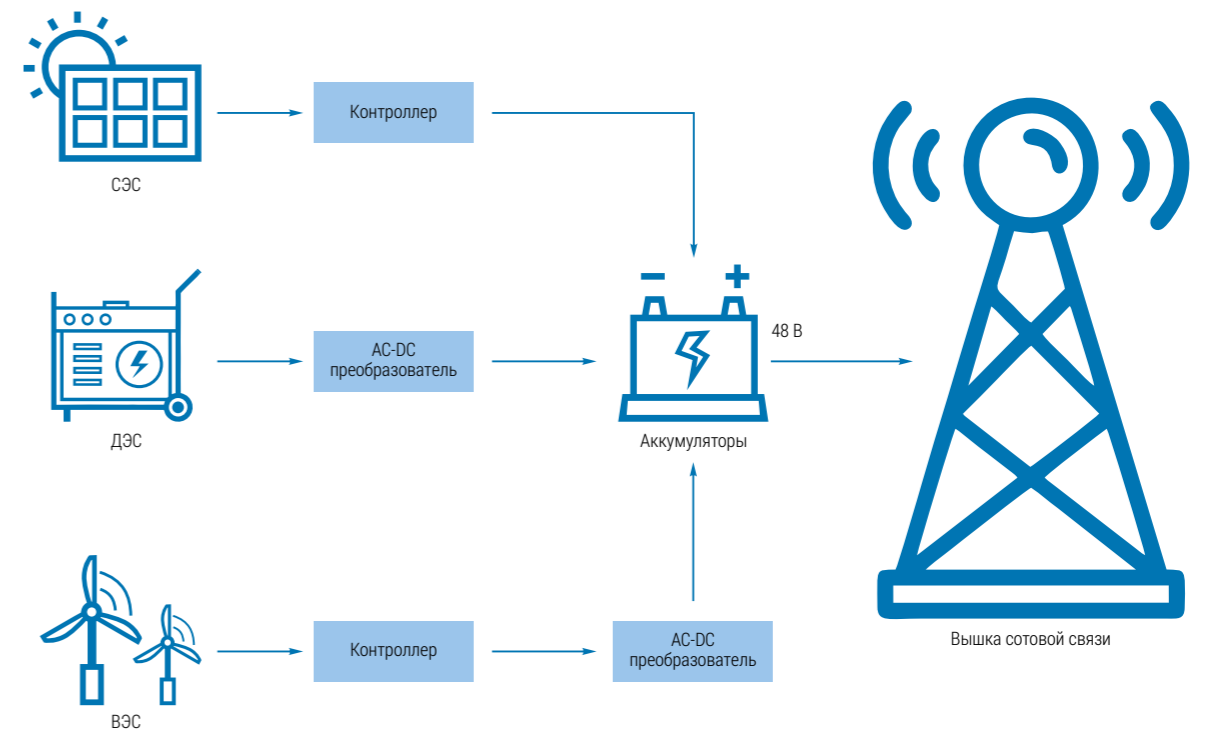
Во всех схемах оборудование базовых станций сотовой связи, которое работает на постоянном токе с напряжением 48 В, будет снабжаться от свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (замена аккумуляторов на более современное, но менее распространенное решение в виде литий-железо-фосфатных батарей не приведет к изменению схемы), которые будут заряжаться от различных энергоисточников (в отсутствие сети к ним можно отнести солнечную электростанцию (СЭС), ветровую электростанцию (ВЭС), дизельную электростанцию (ДЭС) или комбинированные решения из 3 перечисленных ранее). Примерная схема энергоснабжения вышки сотовой связи показана на рис. 1. Следует отметить, что в приведенной схеме ВЭС и СЭС – источники переменного тока (небольшие ВЭС могут быть источниками постоянного тока), поэтому перед аккумулятором происходит преобразование переменного тока в постоянный. Конфигурация СЭС подобрана так, что напряжение на выходе из контроллера составляет 48 В.

Основное потребление вышки сотовой связи идет на работу базовых станций

и на охлаждение основного оборудования и блока аккумуляторов, через который идет подача электроэнергии на оборудование вышки (комфортная работа оборудования – 18–24 °С). В основном выделяемого оборудованием тепла (более 50% от общего объема потребления энергии) хватает для поддержания внутри помещения вышки, и его обогрев не требуется. Расход электроэнергии на охлаждение оборудования на вышке и аккумуляторных батарей может превышать 30% от общего объема потребляемой энергии [4].

Долгое время изолированные вышки сотовой связи в России получали электроэнергию исключительно за счет дизельной генерации. В 2004 г. ПАО «Вымпелком» оборудовало вышку сотовой связи на участке федеральной трассы «Горячий Ключ – Джубга» в районе горы Чубатая и села Молдавановка (Краснодарский край) солнечной электростанцией. Сегодня вышки сотовой связи с СЭС есть у всех сотовых операторов в Российской Федерации. В 2012 г. на побережье Баренцева моря в Мурманской области была построена изолированная вышка сотовой связи для ПАО «Мегафон», энергоснабжение которой осуществилось за счет комбинации ВЭС и ДЭС номинальной мощностью 4 кВт и среднесуточной вы-

Рис. 1. Схема электроснабжения вышек сотовой связи



работкой 38,6 кВт·ч с системой накопления энергии 38,4 кВт·ч [5].

Примеров использования электрохимического энергоснабжения на вышках сотовой связи в России до пилотного проекта МФТИ не было, однако в мире такие проекты есть (например, американская компания Ballard с 2012 г. выпускает резервный электрохимический генератор энергии для вышек сотовой связи на базе метанольных топливных элементов) [6]. Также параллельно с экспериментом МФТИ похожий эксперимент с аналогичным по мощности электрохимическим генератором (мощность – 10 кВт) проводится в Австралии, в 120 км от Мельбурна [7]. Однако в австралийском случае вышка подключена к сетям, а водород выступает в качестве аварийного топлива и должен обеспечить работу вышки в течение 72 часов с момента остановки подачи электроэнергии. Вариант, при котором водород использовался бы в качестве накопителя энергии (выработка водорода при избыточной генерации электроэнергии и его потребление при низкой выработке электроэнергии), теоретически возможен (особенно в комбинации с ВЭС), однако свидетельств практического применения таких решений обнаружено не было.

### Описание стенда МФТИ для вышки сотовой связи в п. Огоньки

В качестве пилотного объекта для установки водородной энергосистемы была выбрана 1 из 7 вышек сотовой связи на о. Сахалин с автономным энергоснабжением в п. Огоньки, расположенном на трассе «Южно-Сахалинск – Невельск» (рис. 2). Текущее энергоснабжение вышки организовано за счет 48 солнечных панелей (общая мощность – 15 кВт), 2 ветрогенераторов по 2 кВт каждый, дизель-генератора – 15 кВт и свинцово-кислотных аккумуляторов – до 120 кВт·ч (суточный запас, положенный по нормативам) при напряжении 48 В. Годовой расход дизельного топлива достигает 2 тонны, выработку электроэнергии дизельными генераторами можно оценить примерно в 8 МВт·ч. Основным источником электроэнергии в летнее время выступает солнечная генерация, в период с начала ноября до середины апреля основным источником энергии выступает дизель-генератор. Завоз дизельного топлива, часто затрудненный снежной целиной, осуществляется 2 раза в год.

Для частичной замены дизельного топлива был предложен вариант экспе-

Рис. 2. Вышка сотовой связи в п. Огоньки [8]



Давление водорода в картридже	Емкость, МВт·ч	Емкость, н. м³	Снижение расхода ДТ, кг	Снижение выбросов, тонны CO <sub>2</sub> -экв.
350 бар	1,05	700	262,5	0,83
700 бар	1,81	1200	452,5	1,42

Таблица 1. Варианты использования картриджа при разных давлениях

риментальной установки электрохимического генератора на базе водородно-воздушных топливных элементов с периодическим подвозом водорода из места его производства на базе в г. Южно-Сахалинск в специальных водородных картриджах по схеме виртуальной водородной трубы (газоснабжение, при котором газ производится на материнской заправке, доставляется в другое место в сжатом состоянии, затем регазифицируется или редуцируется и направляется конечному потребителю).

Установка состоит из модуля электрохимической генерации энергии на базе водородных топливных элементов с протон-обменной мембраной мощностью 10 кВт в контейнерном исполнении и модуля (картриджа) хранения водорода высокого давления общим геометрическим объемом 2,436 м³ (12 композитных баллонов по 203 литра) и давлением до 700 бар.

Как видно из таблицы 1, при давлении водорода в баллонах 350 бар общая электрическая емкость экспериментального картриджа составляет до 1,05 МВт·ч, при 700 бар – до 1,81 МВт·ч. Снижение углеродных выбросов в первом случае составит

0,83 т CO<sub>2</sub>, во втором – 1,42 т в год. В дальнейшем за счет масштабирования водородных картриджей или одновременной доставки нескольких картриджей можно полностью заменить дизельную генерацию на вышке в п. Огоньки.



Водородный полигон на Сахалине  
Источник: дальнийвосток2030.рф

### Использованные источники

1. Распространение мобильной связи в России застопорилось из-за беспрецедентного дефицита оборудования // Интернет-портал «С-News». 2023. URL: [https://www.cnews.ru/news/top/2023-09-13\\_rasprostranenie\\_mobilnoj](https://www.cnews.ru/news/top/2023-09-13_rasprostranenie_mobilnoj)
2. Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 30.01.2019 г. № 22 «Об утверждении плана деятельности Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации на период 2019–2024 гг.». URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6502/>
3. Приказ Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 13 марта 2007 г. № 32 «Об утверждении требований к построению телефонной сети связи общего пользования в части обеспечения надежности электроснабжения средств связи, выполняющих функции систем коммутации, точек присоединения и базовых станций сетей подвижной связи». URL: [https://digital.gov.ru/uploaded/files/32\\_1.pdf](https://digital.gov.ru/uploaded/files/32_1.pdf)
4. Балашов В. Климатизация базовых станций сотовой связи // Интернет-портал «Мир климата холода». 2019. URL: <https://mir-klimata.info/klimatizaciya-bazovyh-stancij-sotovoj-svyazi/>
5. Вашкевич П. Базовая энергия. Опыт проектирования и строительства ВИЭ-систем энергоснабжения для базовых станций сотовой связи // Энерговектор. №7, 2018. URL: <https://www.energovektor.com/energoznanie-bazovaya-energiya.html>
6. Smarter solution for energy future, презентация компании Ballard. URL: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-for-development/wp-content/uploads/2013/06/Ballard-Power-Systems.pdf>
7. Remote telecom towers powered by 10 kW hydrogen generators // Интернет-портал «PV magazine». 2024. URL: <https://www.pv-magazine.com/2024/07/05/remote-telecom-towers-powered-by-10-kw-hydrogen-generators/>
8. Чаусов И. Водородный остров Сахалин. Пилотные проекты применения водорода и энергетической гибкости на Сахалине // Интернет-портал «Medium». 2022. URL: <https://medium.com/internet-of-energy/bf0996791f60>

# Предпосылки создания всероссийского института сертификации энергетического оборудования для укрепления технологического суверенитета РФ

## Prerequisites for the creation of an all-Russian institute for certification of energy equipment to strengthen the technological sovereignty of the Russia

Иван НЕМЧИНОВ  
Магистрант НИТУ «МИСИС»,  
энергетический менеджмент  
E-mail: IONemchinov@mail.ru

Ivan NEMCHINOV  
Master student at NUST MISIS,  
energy management  
E-mail: IONemchinov@mail.ru

Саратовская ГЭС

Источник: Ирина Егорова / «Русгидро»



Аннотация. В статье приведено обоснование важности развития электроэнергетической отрасли для устойчивого развития экономики государства, рассмотрен иностранный опыт организации национальных сертификационных центров высоковольтного электротехнического оборудования, приведены ключевые предпосылки наличия подобного центра для сертификации на территории Российской Федерации, а также рассмотрена работа, проводимая государством в данном направлении.

*Ключевые слова:* Всероссийский испытательный центр высоковольтного оборудования, электроэнергетика, электротехника, технологический суверенитет, сертификационный центр.

Abstract. The article provides a justification for the importance of the development of the electric power industry for the sustainable development of the state's economy, examines the foreign experience of organizing national certification centers for high-voltage electrical equipment, provides key prerequisites for the presence of such a center for certification in the territory of the Russian Federation, and also considers the work carried out by the state in this direction.

*Keywords:* Testing Center for High-voltage Equipment, electric power industry, technological sovereignty, certification center.



**В настоящий момент на территории России отсутствует единый центр сертификации высоковольтного электроэнергетического оборудования**

### Введение

Развитие энергетики и удержание ее на высоком, относительно общемирового, конкурентном уровне – является одной из приоритетных задач, стоящих перед государством. Финансовая поддержка крупномасштабных, капиталоемких и социально значимых проектов, в том числе энергетической направленности, в последнее время стала носить регулярный характер, особенно за счет механизмов Минпромторга России и фонда развития промышленности в виде разнообразных инструментов субсидирования, таких как специальные инвестиционные контракты, кластерная инвестиционная платформа и др. Можно отметить следующие основания, способ-



Трансформаторная подстанция  
Источник: Romaset / depositphotos.com

ствующие заинтересованности государства в развитии данного направления:

- обеспечение энергетической безопасности: энергетика играет ключевую роль в поддержании стабильности и надежности стратегически важных объектов страны, а поддержание и развитие инфраструктуры энергетической отрасли позволяет государству обеспечить непрерывность поставок энергоресурсов для нужд отдельных потребителей;
- экономический рост: энергетика является одной из ключевых отраслей экономики, и ее развитие способствует увеличению производства,

созданию новых рабочих мест, привлечению инвестиций и повышению конкурентоспособности страны;

- социальная значимость: обеспечение доступности и надежности энергоснабжения является ключевым социальным аспектом, который определяет комфорт и безопасность жизни общества в целом;
- экологическая устойчивость: развитие энергетики включает в себя переход, в том числе к безуглеродной энергетике, а также более экологически чистым и устойчивым источникам энергии, обозначенных в Энергетической стратегии 2035 г. [2].

Финансирование энергетической отрасли является стратегически важным приоритетом для государства, так как она оказывает существенное влияние на экономику, социальную сферу и экологию страны.

Важную роль в сфере энергетики играет электротехническая отрасль, которая охватывает не только трансформаторное и коммутационное оборудование, но и другие важные компоненты электроэнергетических систем, такие как полупроводниковые приборы, электроизоляционные материалы и жидкости, и другое. Электротехническая отрасль играет значительную роль в обеспечении стабильной работы энергетической инфраструктуры и обеспечении эффективного распределения и передачи электроэнергии, именно за счет применения надежного и, по возможности, безотказного высоковольтного электротехнического оборудования, достигается надлежащее распределение и экспорт электроэнергии заявленного качества с заданными характеристиками. Таким образом, именно к высоковольтному электротехническому оборудованию выдвигаются более жесткие требования в части надежности и безотказности. Оно должно соответствовать не только российским, но и международным стандартам, поскольку такое оборудование часто поставляется на экспорт.

В настоящий момент существуют несколько центров по сертификации высоковольтного электротехнического оборудования:

1. **KEMA Labs** – это крупнейшая в мире сеть лабораторий по испытаниям, техническому надзору и сертификации продукции. Лаборатории



Полигон-лаборатория KEMA Labs  
Источник: cesi.it

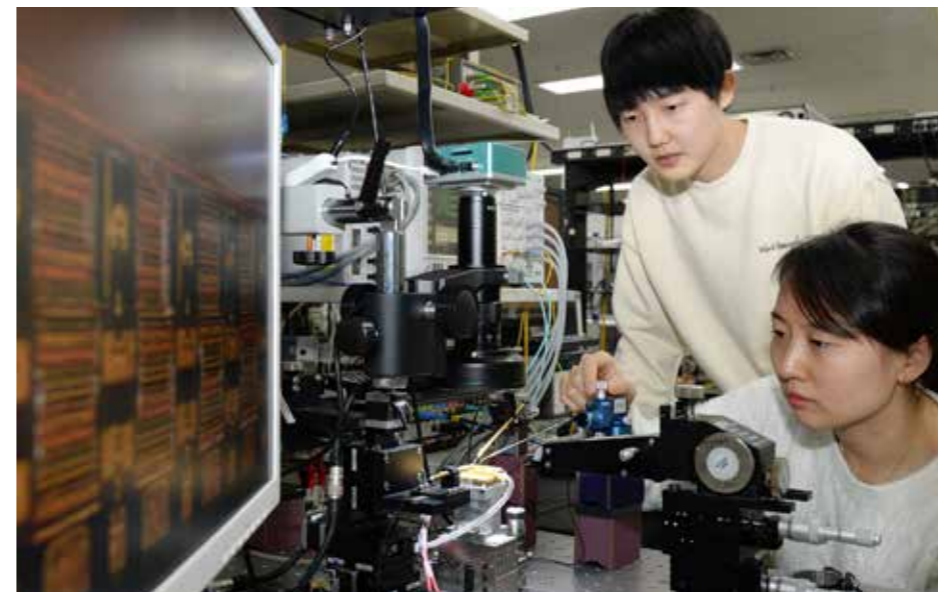
располагаются в странах Европейского союза (Италия, Чехия, Германия, Нидерланды) и США (Пенсильвания) [12]. В настоящее время лаборатории принадлежат компании CESI (Италия), акционерами которой являются крупнейшие предприятия электроэнергетической отрасли, а также производители электротехнической продукции (ENEL SpA, TERNА SpA, Prysmian Cavi E Sistemi Srl, Hitachi Energy Italy). В данной сети лабораторий проводятся испытания на отключающую способность выключателей, испытания на стойкость при коротких замыканиях силовых трансформаторов и прочего электрооборудования, испытания низковольтного электрооборудования как переменного, так и постоянного токов, испытания на стойкость к дуге, испытания изоляторов в загрязненном и увлажненном состоянии, испытания силовых кабелей переменного и постоянного токов [9], включая перспективные разработки в области высоковольтных систем электропередач постоянного тока и прочее [13].

2. **KERI (Korea Electrotechnology Research Institute)** – крупнейший в Республике Корея научно-исследовательский институт в области электроэнергетики, финансируемый правительством.

Является независимой сторонней испытательной лабораторией и органом по сертификации электротехнического оборудования, аккредитованным KOLAS (Корейская схема аккредитации лабораторий), KAS (Корейская система аккредитации) и ACCREDIA (Итальянский орган по аккредитации) [14]. Также является полноправным членом международной ассоциации STL (Short-circuit Testing Liaison). Проводит те же самые испытания [9], что и KEMA Labs, являясь при этом государственным сертификационным центром [11].

3. **XIHARI (Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co., Ltd)** – Сианьский научно-исследовательский институт высоковольтной аппаратуры (Китай), был создан в 1958 г. [16] при непосредственном участии специалистов из Всесоюзного электротехнического института (ВЭИ) им. В. И. Ленина (СССР). В настоящее время специализируется на разработке и проведении испытаний энергетического оборудования для систем электропередач переменного и постоянного токов сверх- и ультравысокого напряжений [16]. Кроме того, проводит испытания, аналогичные конкурентам [9]. В настоящий момент по ряду показателей, а также с учетом перспективного

Корейские ученые в KERI  
Источник: techxplora.com



## Финансирование энергетической отрасли является стратегически важным приоритетом для государства, так как она оказывает существенное влияние на экономику, социальную сферу и экологию страны

развития систем электропередач постоянного тока и устойчивого удерживания Китаем лидирующих позиций в производстве силовых полупроводниковых приборов, которые уже испытываются в XIHARI, данный испытательный центр по многим показателям превышает передовой мировой уровень.

4. **NHPTL (National High Power Test Laboratory)** – совместная испытательная лаборатория Индийских государственных компаний электроэнергетической отрасли и научно-исследовательского института CPRI. Была спроектирована компанией CESI (Италия) в 2013 г., введена в работу в 2017 г. Специализируется только на испытаниях на стойкость при коротком замыкании силовых трансформаторов и токоограничивающих реакторов большой мощности, классов напряжения до 765 кВ [15].

В настоящий момент на территории Российской Федерации отсутствует подобный единый центр сертификации высоковольтного электроэнергетического оборудования, что способствует зарождению положения, при котором единичный потребитель электротехнического высоковольтного оборудования из-за отсутствия надлежащего государственного контроля и единого центра сертификации выдвигает к производителю оборудования требования, зачастую противоречащие другому потребителю такого же оборудования, что в конечном итоге сказывается на общей конъюнктуре рынка и вынуждает производителей нести дополнительные издержки на сертификации под каждого отдельного потребителя. Как итог – завышенная стоимость оборудования из-за вынужденных

затрат на многократную сертификацию, которые закладываются в себестоимость продукции, что приводит к уменьшению конкурентоспособности такого оборудования при закупках относительно более дешевого иностранного.

Дополнительно стоит отметить, что отечественным производителям высоковольтного электротехнического оборудования ограничен и усложнен доступ на международные центры сертификации, о которых писалось выше, в связи с чем без сертификата международного образца появились дополнительные сложности в сбыте и экспортировании продукции в третьи страны, включая нейтральные.

Предпосылки создания сертификационного центра на территории Российской Федерации появились достаточно давно, и большинство из них носит внешнеполитический характер. Однако острая необходимость в таком центре возникла после начала Специальной военной операции в 2022 г., приведшей к бесконтрольному санкционному давлению со стороны властей недружественных стран, и как следствие, сокращению доли иностранных контрагентов в стратегически важной отрасли, что в какой-то степени является положительным фактором, так как стратегически важные объекты должны быть полностью подконтрольны государству. Ограничение доступа на международный рынок, ограничение импорта российского энергетического оборудования в страны-члены Европейского союза и аффилированные с США страны окончательно подтвердили важность наличия собственной базы как промышленного потенциала, с уменьшением доли импортных комплектующих в производстве оборудования, так и сертификационной базы, рассчитанной на изменившиеся мировые тенденции, где важную роль играет развитие суверенитета отдельного государства.

С 1921 по 1983 гг. в СССР были созданы и запущены 4 национальных испытательных центра, расположенных в Москве [6], Ленинграде [7], Тольятти [8], Свердловске [9], выполнявших полный цикл исследовательских и серийных испытаний высоковольтного электроэнергетического оборудования. В настоящее время все региональные испытательные центры ликвидированы.

В 2014 г. советом директоров ОАО «Россети» было принято решение одо-

брить концепцию создания Федерального испытательного центра (ФИЦ), в 2015 г. был подготовлен и опубликован проект [1, 9], однако данная стратегическая цель по ряду причин так и не была достигнута. Принимая во внимание изменяющиеся макроэкономические условия, общемировые тенденции научно-технологического развития, а также необходимость оптимизации капитальных затрат и обеспечение нетарифного источника финансирования, включая максимизацию экономической эффективности проекта, в 2018 г. была начата корректировка концепции ФИЦ. В 2019 г. разработана концепция создания Интеллектуальной лаборатории цифровых сетей (ИЛЦС), которая была одобрена решением правления ПАО «Россети» и поручена к реализации на базе АО «НИЦ ЕЭС» (АО «Россети управление имуществом») компании группы «Россети», являющейся резидентом особой экономической зоны «Санкт-Петербург» с возможностью использования всех льгот и преференций.

В Московской области по состоянию на 2024 г. остаются действующими 2 испытательные площадки: АО «НТЦ ФСК ЕЭС» и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина» (бывш. ВЭИ им. В. И. Ленина) [5, 10]. Последняя имеет загрузку, близкую к 100%, а очередь на проведение некоторых видов испытаний достигает 6–9 месяцев. На базе же АО «НТЦ ФСК ЕЭС» наблюдаются частые аварии основного

Производство трансформаторов

Источник: Swiss Trafo LLC / Яндекс Карты



Производство кабелей на заводе «Роскат»

Источник: volga.news

испытательного оборудования – ударных генераторов. Дополнительным недостатком этих 2 лабораторий является факт расположения площадок в окружении плотной жилой многоэтажной застройки, что значительно ухудшает как логистику крупных объектов испытаний, так и, в виду наличия высоковольтного электромагнитного поля, накладывает определенные ограничения по длительности, частоте и качеству проведения испытаний, поднимая вопрос о целесообразности присутствия испытательных центров на данных территориях. Все это негативным образом сказывается на проведении сертификации и испытаний высоковольтного электротехнического оборудования, но позитивным – на отечественной научно-технической базе и перспективных разработках, провоцируя рост количества НИОКР.

Также на территории Российской Федерации функционирует ряд испытательных центров и лабораторий, располагающихся на базе предприятий изготовителей высоковольтного электротехнического оборудования, способных перекрыть собственную потребность в большинстве видов испытаний производимых единиц промышленной продукции, однако количество таких центров и их испытательные возможности не способны перекрыть национальную потребность.

Ввиду требуемой унификации, увеличения и расширения существующей испы-

тательной базы испытательных центров, а также увеличившегося спроса производителей оборудования на испытания, в том числе из дружественных стран и стран-членов Евразийского экономического союза (ЕАЭС), и в силу ограниченности существующих испытательных лабораторий, полноценно выполнять функции сертификационных центров они не могут.

Текущее состояние отечественной испытательной базы имеет серьезное негативное косвенное воздействие на качество производимой национальной продукции, что отражается в постоянном увеличении числа отрицательных результатов проводимых испытаний. Частые случаи повреждения во время эксплуатации новых трансформаторов и автотрансформаторов продолжают происходить, в том числе из-за неудовлетворительной электродинамической стойкости к токам короткого замыкания, испытания на которые провести данные площадки не могут. Дополнительно наблюдаются частые случаи повреждения нового электротехнического оборудования при его эксплуатации на энергетических объектах. По данным статистики, убытки от недоотпуска электроэнергии от некачественного электротехнического оборудования, не прошедшего необходимые испытания, ежегодно увеличиваются. Для поддержки отечественных производителей комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией (КРУЭ) 220 кВ и выше, а также генераторных распределительных устройств с токами отключения 190 кА (в перспективе до 300 кА), помимо мер по привлечению государственного финансирования в виде специальных программ по субсидированию на покрытие части затрат на научно-исследовательские

**Отечественным производителям высоковольтного оборудования ограничен доступ к международным центрам сертификации, а без международного сертификата появились сложности в экспорте**

## Текущее состояние отечественной испытательной базы негативно влияет на качество продукции, что отражается в постоянном увеличении числа отрицательных результатов проводимых испытаний

и опытно-конструкторские работы (НИОКР), необходимо создать совершенно новые испытательные стенды и установки, не имеющие аналогов в мире.

Понимая мировые тенденции и ощущая на себе глобальные вызовы в сфере энергетики, Правительство Российской Федерации оперативно начало решать вопрос о создании нового Всероссийского испытательного центра высоковольтного электротехнического оборудования [3, 4], перекрывающего весь перечень испытаний с перспективой развития энергетики до 2050 г.

Так, первый этап реализации проекта по созданию Всероссийского испытательного центра высоковольтного оборудования для проведения комплексных исследований и испытаний электротехнического оборудования классов напряжений до 750 кВ (в перспективе до 1150 кВ) (ИЦ ВО), включает в себя:

- выбор оптимальной площадки для строительства ИЦ ВО, посредством сравнения не менее 3 площадок на территории Российской Федерации;
- оценка возможности проведения каждого вида испытаний высоковольтного оборудования;
- подготовка визуальной концепции создания ИЦ ВО.

**Данный этап уже реализован в конце 2023 г. [4].**

Второй этап предусматривает:

- доработку технического задания для создания ИЦ ВО на выбранной площадке;
- определение состава испытательного оборудования, а также разработка технических требований и технических проектов на основное оборудование, обеспечивающее проведение испытаний;
- разработку концептуального технического решения для выбранной площадки, включая определение площади, количества, компоновки требуемых зданий и сооружений, ландшафтные и архитектурные решения (важно учитывать перспективный рост дополнительных юридических ограничений, связанный с возможным изменением категории земель под ландшафтно-парковое либо иное культурное значение);
- разработку финансово-экономической модели ИЦ ВО до 2050 г. и прочее.

**Итоги второго этапа подведены в конце 2024 г. [4].**

Третий этап, включающий в себя получение положительного заключения Главгосэкспертизы, будет исполнен в **середине 2025 г. [4].**

После успешного выполнения мероприятий первого-третьего этапов и выполнения всех организационных мероприятий, включающих в себя насыщение ИЦ ВО минимально необходимым испытательным оборудованием, функционирование центра может начаться уже в IV кв. 2030 г., а полноценное функционирование ИЦ ВО в качестве сертификационного центра возможно во II кв. 2033 г. [4].

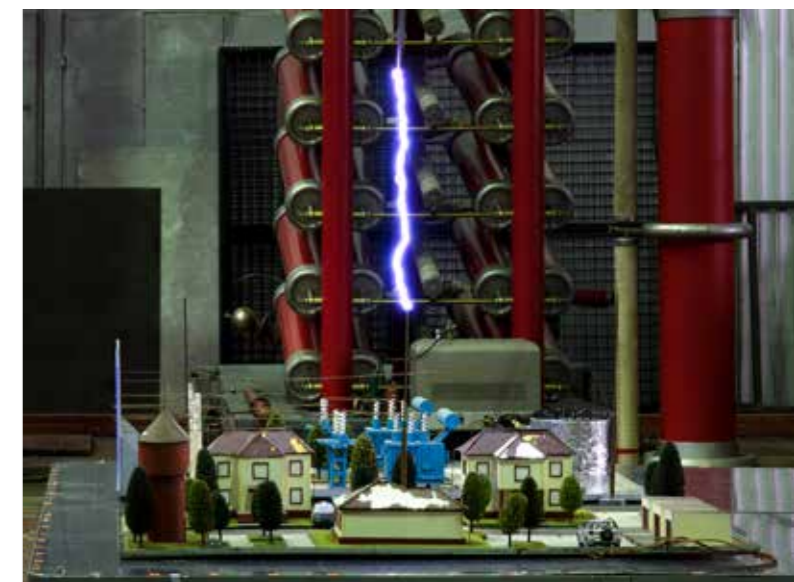
## Выводы

Строительство и запуск в эксплуатацию центра обеспечит Российскую Федерацию высококвалифицированными научными кадрами, что позволит:

- развить отечественное энергетическое и электротехническое машиностроение до уровня выше общемирового за счет осуществления фундаментальных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на базе лабораторий ИЦ ВО;
- позволит укрепить технологический суверенитет и поднять его на качественно новый уровень;
- даст возможность проводить испытания и аттестацию электротехнического оборудования для

электроэнергетической отрасли, как для интересов отечественных производителей, так и в качестве международного центра сертификации оборудования с выдачей сертификата международного образца, который по многим параметрам будет превышать сертификаты, выдаваемые иными испытательными центрами;

- обеспечит испытаниями и аттестацией продукции предприятия оборонно-промышленного комплекса по государственному оборонному заказу.



Высоковольтный испытательный центр кафедры ТЭВН  
Источник: Пресс-служба НИУ «МЭИ»

## Использованные источники

1. План мероприятий (дорожная карта) «Внедрение инновационных технологий и современных материалов в отраслях топливно-энергетического комплекса» на период до 2018 г. / Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.07.2014 г. № 1217-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 2014. № 28. Ст. 4108.
2. Об Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г. / Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 г. № 1523-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 2020. № 24. Ст. 3847.
3. О внесении изменений в распоряжение Правительства Российской Федерации от 06.06.2020 г. № 1512-р / Распоряжение Правительства Российской Федерации от 09.09.2023 г. № 2436-р // Собрание законодательства Российской Федерации. 2023. № 38. Ст. 6942.
4. Государственный контракт от 10.11.2023 г. «Экспертно-аналитическая услуга по проведению проектно-исследовательских работ (включая разработку проектно-сметной

документации) в целях создания Всероссийского испытательного центра для проведения комплексных исследований и испытаний высоковольтного электротехнического оборудования классов напряжений до 750 кВ (в перспективе до 1150 кВ)», шифр «ПИР Стенд» [Электронный ресурс]. Доступ из единой информационной системы в сфере закупок в информационно-телекоммуникационной сети Интернет «ЕИС ЗАКУПКИ».

5. Испытательный центр высоковольтной аппаратуры акционерного общества «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ntc-power.ru/about/structure/testing-certification/ispytatelny-centry-sokovoltnoy-apparatury-ao-ntts-fsk-ees/> (дата обращения: 21.04.24).
6. Испытательный Центр ВЭИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vniitf.ru/data/files/vei/4-ispit-vei.pdf> (дата обращения: 21.04.24).

7. Карточка предприятия НИИВА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rsoft.ru/rtifor/card.asp?firm=851> (дата обращения: 21.04.24).
8. Мощный испытательный стенд ВЭИ в г. Тольятти. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2016. – 108 с. [Библиотека электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 1 (205)].
9. Проект создания Федерального испытательного центра как драйвера повышения энергетической безопасности и независимости России и инновационного развития электросетевого комплекса страны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti-ees.ru/fileadmin/f/Conference/2015/report/mamontov.pdf> (дата обращения: 21.04.24).
10. Уникальная установка УНУ КВС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vniitf.ru/article/vnits> (дата обращения: 21.04.24).
11. About KERI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.keri.re.kr/html/en/sub01/sub01\\_0101.html](https://www.keri.re.kr/html/en/sub01/sub01_0101.html) (дата обращения: 21.04.24).

12. DNV and KEMA combine forces to create «world-leading» certification company [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.pv-tech.org/dnv\\_and\\_kema\\_combine\\_forces/](https://www.pv-tech.org/dnv_and_kema_combine_forces/) (дата обращения: 21.04.24).
13. KEMA Labs boosts energy transition with major HVDC testing expansion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.energyglobal.com/special-reports/31102023/kema-labs-boosts-energy-transition-with-major-hvdc-testing-expansion/> (дата обращения: 21.04.24).
14. KERI accredited as an inspection body by ACCREDIA for electrical equipment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.keri.re.kr/\\_prog/\\_board/?mode=V&no=14004&code=en040101&site\\_dvs\\_cd=en&menu\\_dvs\\_cd=040101&skey=&sval=&sdate\\_y=&sdate\\_m=&GotoPage=](https://www.keri.re.kr/_prog/_board/?mode=V&no=14004&code=en040101&site_dvs_cd=en&menu_dvs_cd=040101&skey=&sval=&sdate_y=&sdate_m=&GotoPage=) (дата обращения: 21.04.24).
15. NHPTL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nhptl.com/about-us/> (дата обращения: 21.04.24).
16. XIHARI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.xihari.com/> (дата обращения: 21.04.24).

# КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ:

в центре внимания, в центре Москвы

ЕВРАЗИЙСКИЙ  
НЕФТЕГАЗОВЫЙ  
ФОРУМ

[www.oilandgasforum.ru](http://www.oilandgasforum.ru)

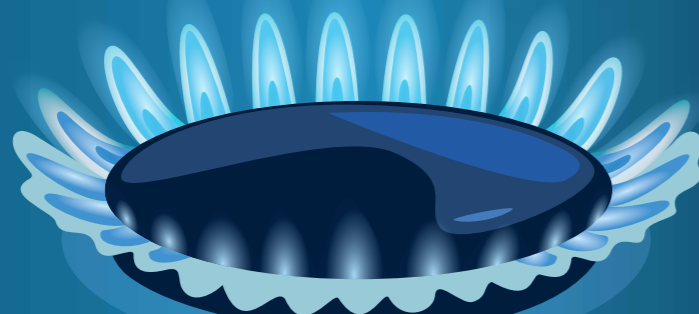
24-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
НЕФТЕГАЗ-2025



[www.neftegaz-expo.ru](http://www.neftegaz-expo.ru)

14–17 апреля 2025

Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



12+

Реклама



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Минпромторг  
России



РОССИЙСКОЕ  
ГАЗОВОЕ  
СОЮЗСТВО



Национальный  
центр  
энергетики  
и  
промышленной  
собственности



СОЮЗ  
НЕФТЕГАЗОПРОИЗВЕДИТЕЛЕЙ  
РОССИИ



# ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ISSN 2409-5516

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ  
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

РГАСНТИ 44.09.29

БОЛЬШЕ ИНТЕРЕСНЫХ  
НОВОСТЕЙ И АНАЛИТИКИ  
В НАШЕМ ТЕЛЕГРАМ-КАНАЛЕ



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № 77–75080 от 07.03.2019. Журнал «Энергетическая политика» входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

16+

РЕКЛАМА



## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА



## НАШИ ПАРТНЕРЫ

Оформить подписку на журнал «Энергетическая политика» на 2025 год можно напрямую у издателя ООО «ГУ ИЭС». По вопросам подписки звонить по телефону +7 903 733 72 57. Стоимость подписки на полугодие (6 номеров) составит 13 200 рублей. В каждом номере – аналитические обзоры, авторские колонки, материалы научного и научно-прикладного характера. Будь в курсе основных направлений развития ТЭК!

[energypolicy.ru](http://energypolicy.ru)





ISSN 2409-5516



Источник фото на обложке:  
[airpixel.hu](http://airpixel.hu) / [depositphotos.com](http://depositphotos.com)