

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

ISSN 2409-5516

ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВОЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№5(220), май 2026

ГРНТИ 44.09.29



Тема номера

ЦОД КАК НОВЫЙ ФЕНОМЕН ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ



**МАКСИМАЛЬНО ОБ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**



Подписывайтесь
на канал компании
«Россети» в МАКС



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

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

УЖЕ БОЛЕЕ 40 ЛЕТ

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

В ЧИСЛЕ ДРУГИХ ПРОЕКТОВ:

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

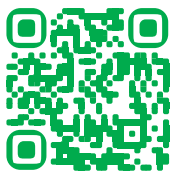
Помимо этого, компания работает в сегменте «Нефтепереработка и сбыт» на территории Республики Сербской (Босния и Герцеговина), имеет в структуре собственные проектные институты подземного и наземного обустройства нефтегазовых месторождений, а также сервисные компании.



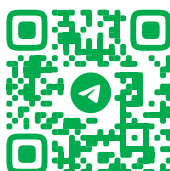
НАША КОМАНДА

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

Наш сайт



Мы в Telegram



**ЗАРЯЖАЕМ МИР
ЭНЕРГИЕЙ**





Российская
Энергетическая
Неделя 2026



РОСКОНГРЕСС
Пространство доверия

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

ЦВЗ «Манеж»

ВЫСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ТЭК

Гостиный двор



МОСКВА, РОССИЯ



14-16 ОКТЯБРЯ 2026 г.



Подробнее на сайте

Реклама

6+

более

67 000 км

совокупная длина всех
трубопроводов компании



ПАО «ТРАНСНЕФТЬ» —

крупнейшая в мире
трубопроводная
компания в области
транспортировки нефти
и нефтепродуктов

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



ЦЭУ

ЦЕНТР ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛУГ

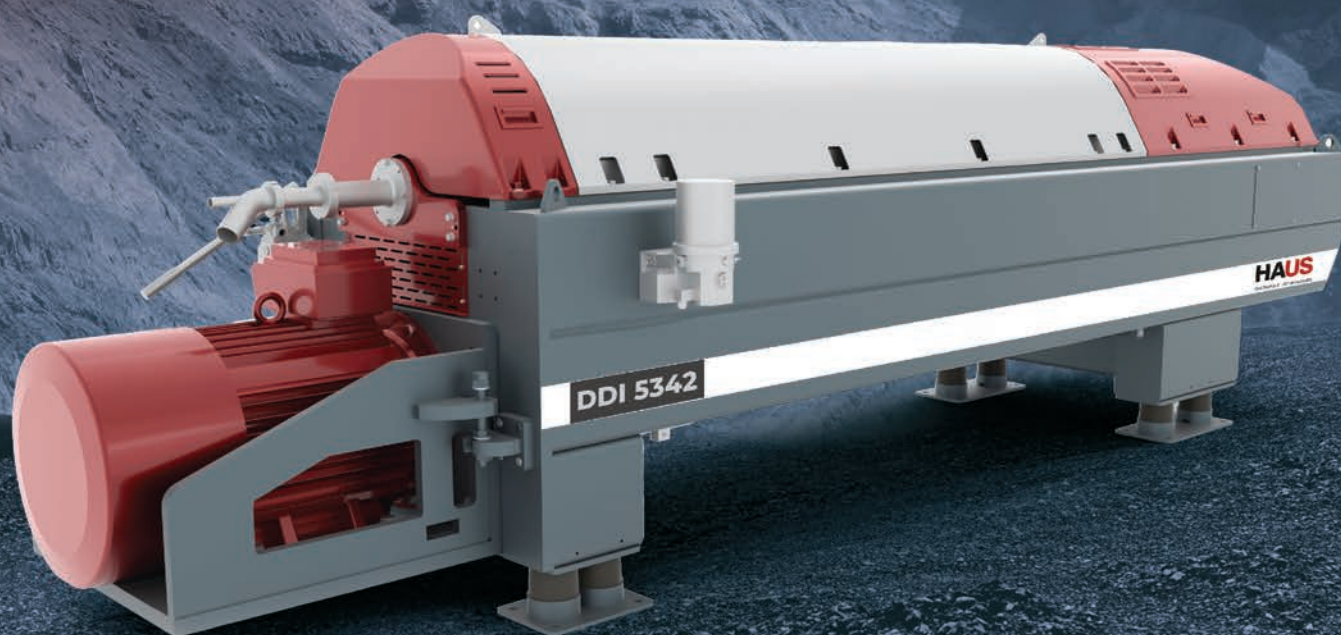
#СДЕЛАНО В РОССИИ

Декантеры HAUS для горнодобывающей промышленности

**Минимум затрат,
максимум эффективности!**

ПРЕВРАЩАЕМ ОТХОДЫ В ДОХОДЫ

- Прямые поставки с завода производителя
- Собственное сборочное производство в РФ
- Сервисный центр и склад запасных частей в РФ
- Поддержка Заказчика 24/7



HAUS | **РУС**

ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Содержание

Слово редакторов

- 9 **В. Бушуев, А. Горшкова.** Дата-центр как энергетический феномен

От первого лица

- 10 **А. Новак.** Энергия цифровой трансформации: комплексный подход к решению ключевых задач энергоснабжения ИИ

Интервью

- 18 **П. Завальный.** Мы должны создавать подушку безопасности и для компаний, и для государства

Нефть

- 32 **Е. Телегина, Д. Александров, В. Бессель.** Параметры измерения экономического роста в условиях деглобализации: взгляд сквозь призму мировой энергетики

Тепло

- 54 **Д. Травин, А. Голобоков.** Проблемы и направления развития систем теплоснабжения в России

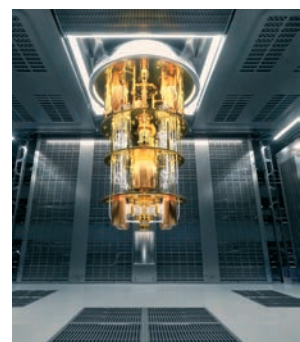
Технологии

- 70 **А. Игнатик, В. Шарыгин.** Экспериментально-расчетная оценка деформированного состояния и прочности трубопровода при воздействии комплекса нагрузок по моделям упругости и пластичности

- 82 **В. Пелешенко.** Квантовая энергетика: новая парадигма управления энергией, информацией и вычислениями

Климат

- 96 **Е. Сухарникова, А. Бачурин, Д. Волохов.** Исследование мирового опыта ведущих организаций по применению водородной энергетики



УЧРЕДИТЕЛЬ

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

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «ГУ Институт
энергетической
стратегии»

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В. В. Бушуев – д. т. н., проф., г. н. с. ОИВТ РАН
Е. О. Адамов – д. т. н., науч. рук. АО «НИКИЭТ»
Л. А. Адамцевич – к. т. н., доцент,
заведующий лабораторией НИУ МГСУ
В. М. Батенин – член-корр. РАН, д. т. н., проф.
П. П. Безруких – д. т. н., проф. НИУ МЭИ
В. И. Богоявленский – член-корр. РАН,
д. т. н., проф., г. н. с. ИПНГ РАН
А. И. Громов – к. г. н., главный директор
по энергетическому направлению Фонда
«ИЭФ»
А. Н. Дмитриевский – акад. РАН, д. г.-м. н.,
научный руководитель ИПНГ РАН

С. А. Добролюбов – акад. РАН, д. г. н., проф.,
декан географического факультета МГУ
О. Жданев, д. т. н., глава ЦКТР ТЭК
при Минэнерго России
И. А. Сайпуллаев – к. э. н., декан,
НИСИ (Узбекистан)
Д. Сяюй – к. т. н., ген. дир.
Харбинской ассоциации НТС (Китай)
М. Ч. Залиханов – акад. РАН, д. г. н.,
проф., зав. ЦГиЧС КБГУ
В. М. Капустин – д. т. н., проф.,
зав. кафедрой РГУ нефти и газа
им. И. М. Губкина
В. А. Крюков – акад. РАН, д. э. н.,
директор ИЭОПП СО РАН

В. Г. Мартынов – к. г.-м. н., д. э. н., проф.,
ректор РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
А. М. Мастепанов – акад. РАЕН, д. э. н., г. н. с. АЦЭПБ ИПНГ РАН
А. С. Миллерман, д. э. н., к. т. н., вице-президент ПБ, зав. каф.
«Финансы и страхование» РАНХиГС при Президенте РФ
П. П. Праджалати – д. т. н., Энергетический университет
Пандита Диндайала (Индия)
В. И. Рачков – член-корр. РАН, д. т. н., проф.
П. Ю. Сорокин – первый зам. министра энергетики РФ
Д. А. Соловьев – к. ф.-м. н., науч. сотр. Института океанологии РАН
В. А. Стеников – акад. РАН, д. т. н., проф.,
директор ИСЭ им. Мелентьева СО РАН
Е. А. Телегина – член-корр. РАН, д. э. н., проф.,
декан факультета РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина
С. П. Филиппов – акад. РАН, д. т. н., директор ИНЗИ РАН



Contents

Editor's column

- 9 **V. Bushuev, A. Gorshkova.** Data Center as an Energy Phenomenon

First-Person Report

- 10 **A. Novak.** The Energy of Digital Transformation: an Integrated Approach to Addressing Key AI Energy Supply Challenges

Interview

- 18 **P. Zavalny.** We Must Create a Safety Net for Both Companies and the State

Oil

- 32 **E. Telegina, D. Alexandrov, V. Bessel.** Parameters for Measuring Economic Growth in the Context of Deglobalization: a View through the Prism of Global Energy

Heat Power

- 54 **D. Travin, A. Golobokov.** Problems and Trends of Heat Supply Systems in Russia

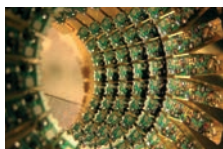
Technology

- 70 **A. Ignatik, V. Sharygin.** Experimental and Computational Assessment of the Strain State and Strength of a Pipeline under Complex of Loads Using Elasticity and Plasticity Models

- 82 **V. Peleshenko.** Quantum Energy: a New Paradigm for Managing Energy, Information, and Computations

Climate

- 96 **E. Sukharnkova, A. Bachurin, D. Volohov.** Research on the Global Experience of Leading Organizations in the Application of Hydrogen Energy



Главный редактор
Анна Горшкова

Научный редактор
Виталий Бушуев

Зам. главного редактора
по продвижению
Ольга Родионова

Корректор
Мария Алексеева

Фотограф
Иван Федоренко

Дизайн и верстка
Михаил Дышлюк

Адрес редакции:
125009, г. Москва,
ул. Тверская, д. 23, с. 1.
+7 (910) 463-53-57
anna.gorshik@yandex.ru

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

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

Журнал «Энергетическая политика»
входит в Перечень рецензируемых
научных изданий ВАК
При перепечатке ссылка
на издание обязательна

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

Редакция не несет ответственности
за содержание рекламных
материалов

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

Тираж: 1000 экземпляров

Периодичность выхода: 12 раз в год

Цена свободная

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

Подписано в печать:
18.06.2026

16+

«ГАЗПРОМ НЕФТЬ»
ПРЕДСТАВЛЯЕТ

РОДНОЙ СЕВЕР

АРТ-ПРОЕКТ
НА ПМЭФ-2026

► PREMIER
RUTUBE



0+

Реклама



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



Анна ГОРШКОВА
Главный редактор журнала
«Энергетическая политика»

Дата-центр как энергетический феномен

Еще несколько лет назад центры обработки данных воспринимались участниками энергетического рынка исключительно как часть майнинга. Их не учитывали в стратегических регуляторных документах и планах компании. Ситуация изменилась за последние два года, когда дата-центры превратились в мощных энергетических игроков с постоянно растущим объемом потребления, достигающим уже почти 1,5–1,8 ГВт.

Наступило время признать, что в энергетической системе России появился новый, малоизученный и недооцененный «феномен», который способен оказать серьезное влияние на всю энергетическую отрасль страны.

ЦОДы принципиально отличаются от «классических» промышленных потребителей. Они, как круглосуточные супермаркеты, работают 24/7. Такой режим предъ-

являет серьезные требования к обеспечению надежности энергосистемы. Дата-центры – это универсальный, «многофункциональный» потребитель, на работе которого подчас держатся целые отрасли. Банальная нехватка вычислительных мощностей из-за дефицита энергии может привести к торможению развития сразу нескольких направлений экономики: от банковской сферы до социально-информационной. Но в отличие от других потребителей, ЦОДы могут «работать над собой», как сокращая собственную энергоемкость, так и повышая энергоэффективность в сферах их использования.

Поэтому сейчас перед правительством и компаниями стоит архисложная задача увязать развитие дата-центров с возможностями российской энергетики в условиях запуска нового инвестиционного цикла строительства и модернизации генерации.

Энергия цифровой трансформации: комплексный подход к решению ключевых задач энергоснабжения ИИ

Развитие искусственного интеллекта — в числе наиболее перспективных направлений мировых технологий, науки, глобальной экономики и одна из ключевых задач, которую ставит Президент России в сфере цифровой трансформации.

Результаты деятельности ИИ все эффективнее применяются в самых разных отраслях — от финансов, торговли и бизнеса до медицины и сельского хозяйства. При этом стабильное функционирование систем ИИ и центров обработки данных, поддерживающих их работу, требует значительных вычислительных мощностей с высокой производительностью, а значит, и колоссальных энергетических затрат.

Поэтому развитие искусственного интеллекта уже сегодня во многом зависит не только от вычислительных мощностей, но в большей степени от возможностей энергосистем. По прогнозам экспертов, в ближайшее десятилетие дата-центры и ИИ станут ключевыми драйверами роста энергопотребления в мире. Один ЦОД потребляет десятки и даже сотни мегаватт мощности. В этой связи вопросы поиска перспективных источников электроэнергии для дальнейшего успешного внедрения «умных» технологий становятся одной из ключевых задач не только для отрасли, технологических корпораций, но и для целых стран. Способность государств обеспечить доступной и надежной энергией цифровую экономику будет основой успеха и глобальной конкурентоспособности в этой высокотехнологичной сфере.



Мировой опыт энергоснабжения ЦОД

По отдельным международным оценкам, инвестиции в инфраструктуру дата-центров в 2025 году были сопоставимы с объемом вложений в нефтедобычу. К 2030 году совокупный объем инвестиций в цифровую инфраструктуру, включая ИИ и ЦОД, достигнет 6,7 трлн долларов США.

По данным Ассоциации центров обработки данных, на сегодняшний день в мире функционируют порядка 11,8 тыс. ЦОД, при этом около половины из них располагаются в США.

Крупнейшие кластеры обработки данных по потребляемой мощности находятся в США, Китае, ЕС. Совокупная подключенная мощность всех ЦОД в мире составляет 62 ГВт с годовым ростом порядка 15 %. Таким образом, к 2030 году средняя мощность энергопотребления ЦОД может увеличиться до 110 ГВт, а доля в мировом энергопотреблении возрастет с 1,5 % в 2024 году до 3 %, что сопоставимо с такими крупными секторами, как производство алюминия, стали или сельское хозяйство.

Одновременно ИИ не только является потребителем энергоресурсов, но и имеет значительный потенциал для оптимизации их использования, в том числе за счет повышения производительности труда. По оценкам мировых экспертов, к 2035 году экономия на эксплуатации и обслуживании электростанций за счет инструментов ИИ достигнет 110 млрд долларов год, при этом выбросы CO₂ снизятся на 1400 млн тонн. Это позволит повысить

энергоэффективность и надежность энергоснабжения.

Вопросы энергоснабжения самих ЦОД превращаются в важное звено мировой энергетической политики. Становится очевидно, что отсутствие специального регулирования этой динамично развивающейся отрасли может привести к перегрузке сетей, рискам дефицита мощности и снижению доступности электроэнергии для остальных потребителей. Задача — найти баланс между технологическим прорывом и надежностью энергоснабжения.

Развитие ИИ уже сегодня во многом зависит не только от вычислительных мощностей, но в большей степени от возможностей энергосистем

В мире на сегодняшний день сложилось несколько основных моделей обеспечения электроэнергией ЦОД.

В США, где на данный момент расположено порядка 46 % всех ЦОД, стремительный рост числа дата-центров создает беспрецедентную нагрузку на энергосистемы,

ЦОД в Китае

Источник: digitalpower.huawei.com





Серверное оборудование в дата-центре
Источник: businessinsider.com

в связи с чем энергетическая инфраструктура страны столкнулась с рядом проблем. В первую очередь это загруженность мощностей: значительная часть сетевой инфраструктуры США была построена несколько десятилетий назад, а прогнозируемый дефицит генерирующих мощностей достигает порядка 45–60 ГВт. При этом сроки подключения ЦОД к электросетям могут достигать до 10 лет.

Поэтому крупные инвесторы зачастую вкладываются в энергетическую инфраструктуру или строят собственные генерирующие мощности. Например, Microsoft совместно с Constellation Energy инвестирует 1,6 млрд долларов США в перезапуск атомной электростанции Three Mile Island в Пенсильвании, которая будет поставлять Mi-

crosoft электроэнергию в течение 20 лет. Крупнейший ИИ-ЦОД Colossus получает энергию от собственной генерации. Совокупные инвестиции компаний в ИИ-инфраструктуру к 2025 году достигли 900 млрд долларов США.

Китай, где действуют меры господдержки энергоснабжения ЦОД, делает

Приоритетной задачей становится формирование государственного реестра и генеральной схемы размещения ЦОД мощностью свыше 5 МВт, которая станет основой для планирования подключения к энергосистеме

ставку на долгосрочное стратегическое планирование и централизованное распределение ресурсов. Аналогично примеру Соединенных Штатов в Китае интегрируют ЦОД с источниками энергии — угольными станциями и АЭС.

ЕС внедряет принцип нормативно-экологической модели, делая акцент на контроле энергоэффективности, экологических требованиях, ограничениях по размещению. Основная цель — не допустить перегрузки энергосистемы.

При этом для большинства стран характерно наличие общих инструментов: ЦОД выделяются в отдельную категорию потребителей, центры участвуют в управлении спросом (снижают нагрузку в пики), развивается собственная или контрактная генерация и регулируется размещение, то есть центры строятся там, где есть свободные мощности.

Международный опыт показывает: эффективная модель строится на балансе трех элементов — ответственности ЦОД за свою нагрузку, интеграции в управление энергосистемой, адресной, а не массовой господдержке.

Почему это важно? Прямое субсидирование отрасли неизбежно ведет к пере-



ЦОД Сбербанка в Медведкове, Москва

Источник: abc-av.ru

крестному субсидированию. Проще говоря, инфраструктуру для ИИ оплачивают другие потребители, а тарифная нагрузка на экономику растет. Если стимулировать развитие ЦОД исключительно через энергетические льготы, это дает краткосрочный эффект, но в долгосрочной перспективе приводит к росту тарифов и разбалансировке энергосистемы по экономике, в том числе за счет нагрузки из-за содержания огромного количества новой энергетической инфраструктуры. И это один из главных рисков, который все развитые рынки

сейчас пытаются избежать при поддержке дата-центров.

Мировая практика показывает, что устойчивое развитие достигается не столько за счет субсидирования, сколько за счет включения ЦОД в полноценную экономику электроэнергетики.

Перспективы и задачи энергоснабжения ИИ в России

В настоящее время развитие цифровых технологий — одно из ключевых направлений достижения технологического лидерства. Комплексное развитие и внедрение суверенного ИИ позволит создать условия для хранения интеллектуальной собственности внутри страны и привлечения международных компаний в Россию, а также будет способствовать формированию экономики высокого передела, что приведет к росту налоговых поступлений.

На сегодняшний день текущая установленная мощность ЦОД, предназначенных для выполнения полезных вычислений, составляет 1,8 ГВт. Согласно прогнозам, к 2030 году ожидается увеличение мощности

Увеличение мощностей ЦОД требует роста энергопотребления. Только крупным инвесторам — Сберу, «Яндексу», «Ростелекому» и «Росатому» — потребуется порядка 2 ГВт мощностей к 2030 году

ЦОД до 4,3 ГВт. Ежегодно энергопотребление дата-центрами в России растет примерно на 18 %.

Что касается географии, на долю Москвы и Московской области приходится основная доля коммерческих площадей и крупнейшие кампусы ЦОД: в столичном регионе сосредоточено около 80 % действующих серверных ферм. Санкт-Петербург — второй по значимости кластер (7 %). Регионы (Екатеринбург, Новосибирск, Владивосток, Дагестан) характеризуются точечным развитием с прицелом на близость к магистральным линиям связи (ВОЛС) и источникам электроэнергии. При этом перспективными являются регионы с наличием свободных как генерирующих, так и электросетевых мощностей, в том числе Ленинградская, Тверская, Смоленская, Курская, Томская, Свердловская области, где есть АЭС, а также Красноярский край и Хакасия, Иркутская и Амурская области, где есть ГЭС.

Конкурентное преимущество России в развитии ЦОД — наличие диверсифицированных источников энергии. Сегодня для энергоснабжения ЦОД используется



ЦОД в Китае
Источник: stdaily.com

атомная, гидро-, газовая, угольная и возобновляемая энергия — все эти виды генерации широко развиты в нашей стране и представлены в рамках Единой энергосистемы России. Энергию ВИЭ вместе с системами накопления электроэнергии можно рассматривать для локального энергоснабжения ЦОД, но пока преимущественно в качестве дополнительного, а не базового источника энергии. Солнечная и ветряная генерация нестабильна и



ЦОД компании Selectel в Санкт-Петербурге

Источник: yusarch.ru



Дата-центр для ИИ

В настоящее время смоделированы приоритетные места размещения ЦОД, исходя из наличия доступных генерирующих и электросетевых мощностей, и подготовлен реестр из 140 центров питания в 15 регионах РФ

не подходит для промышленности и ЦОД без резервной мощности. При этом итоговая стоимость строительства накопителей в настоящее время складывается выше альтернатив.

В текущем году ключевыми игроками рынка заявлен ввод порядка 10–10,5 тыс. стойко-мест, что существенно превышает фактический результат 2025 года и во многом отражает перенос нереализованных проектов.

Увеличение вычислительных мощностей ЦОД требует роста энергопотребле-

ния. Только крупным инвесторам ЦОД — Сберу, «Яндексу», «Ростелекому» и «Росатому» — совокупно потребуется порядка 2 ГВт мощностей к 2030 году.

С одной стороны, стремительный рост электропотребления дата-центрами способен создать дополнительную нагрузку на энергосистемы. С другой — именно ИИ может стать инструментом для совершенствования работы других отраслей, в том числе реального сектора экономики и социальной сферы. В частности, за счет оптимизации энергетического баланса, повышения энергоэффективности и производительности труда.

Задача государства — сделать развитие «умных» технологий системным, создать регуляторные условия, которые позволят сохранить равновесие между потребностями дата-центров как передовой отрасли современной экономики и базовых отраслей промышленности, а также потребностями наших граждан.

Для этого при Правительстве Российской Федерации действует рабочая группа по вопросам энергоснабжения центров обработки данных (дата-центров), в рамках которой ведется совместная работа с компаниями энергетической инфраструктуры и основными участниками рынка ЦОД.

Синхронизируются планы по строительству новых крупных ЦОД с планами



Источник: d19p76, depositphotos.com

по развитию энергетической инфраструктуры. В настоящее время смоделированы приоритетные места размещения ЦОД, исходя из наличия доступных генерирующих и электросетевых мощностей, и подготовлен реестр из 140 центров питания в 15 регионах РФ.

Кроме того, Минэнерго России совместно с ФАС России и ПАО «Россети» прорабатываются варианты создания специализированных площадок для крупных энергоемких потребителей на удаленных энергопрофицитных территориях. Обсуждается вопрос об участии крупных инвесторов ЦОД в покрытии затрат на строи-

тельство объектов генерации и сетевой инфраструктуры, необходимых для энергоснабжения ЦОД. Это позволит избежать перекалывания финансовой нагрузки на других потребителей.

Одной из приоритетных задач становится формирование государственного реестра дата-центров и генеральной схемы размещения объектов ЦОД мощностью свыше 5 МВт, которая в будущем станет основой для планирования подключения к энергосистеме центров обработки данных, а также развития электроэнергетики в регионах, включая реконструкцию и строительство объектов генерации и электросетевого хозяйства. Задача — интегрировать потребности ЦОД в систему перспективного планирования энергетики.

Подчеркну: стратегическая цель заключается не в выборе между технологическим прогрессом и реальным сектором, а в нахождении баланса через взвешенные решения и открытый диалог между всеми участниками рынка. При этом Россия обладает одной из крупнейших и наиболее диверсифицированных энергосистем мира, необходимыми компетенциями и научной базой, что создает прочный фундамент для развития собственной цифровой инфраструктуры и укрепления технологического суверенитета.

Минэнерго совместно с ФАС и ПАО «Россети» прорабатываются варианты создания специализированных площадок для крупных энергоемких потребителей на удаленных энергопрофицитных территориях



Мы должны создавать подушку безопасности и для компаний, и для государства

Российская нефтегазовая отрасль переживает непростой период трансформации и адаптации к новым глобальным экономическим условиям. Какие законодательные изменения сейчас необходимы отрасли и как повысить эффективность и предсказуемость ее работы, рассказал первый заместитель председателя Комитета Государственной Думы по энергетике Павел Завальный в интервью журналу «Энергетическая политика».

— Какие наиболее острые проблемы нефтегазовой отрасли, требующие оперативного нормативно-законодательного регулирования, вы можете выделить? По каким направлениям существуют белые законодательные пятна, а какие направления, наоборот, слишком зарегулированы?

— Самая острая проблема в нефтегазовой отрасли — ухудшение структуры запасов. По оценкам экспертов, более 60 % всей добываемой нефти сейчас относится к трудноизвлекаемой. Этот вызов можно преодолеть двумя взаимодополняющими способами: путем развития технологий бурения, обустройства скважин и других технологий, в том числе третичных методов интенсификации добычи, и при помощи создания новых экономических условий, стимулирующих добычу на фоне роста себестоимости ее производства, то есть, грубо говоря, путем поддержания рентабельности добычи.

В части именно нормативно-правового обеспечения я не вижу серьезных белых пятен. За последние 15 лет регуляторика прошла большой путь трансформации от фискального подхода к дифференцированному налогообложению добычи с учетом условий разработки. Многие вопросы уже отрегулированы.

В 2019 году для ряда месторождений был введен принципиально новый подход к налогообложению с дополнительного дохода — НДД, который можно назвать стимулирующим механизмом, прежде всего, для трудноизвлекаемых запасов.

— Работа по стимулированию добычи ТРИЗ у нас идет давно, но в прошлом году Минфин неожиданно заявил о необходимости подготовить классификацию трудноизвлекаемых запасов. Какое определение ТРИЗ Комитет считает наиболее подходящим и ведется ли соответствующая работа?

— Определение ТРИЗ должно быть достаточно понятным — это запасы нефти, себестоимость добычи которых более высокая по отношению к традиционным месторождениям, таким, например, как ранний Самотлор. Это обводненные месторождения, более глубокие залежи с низкой проницаемостью коллекторов, высоковязкая нефть и так далее.

— Самотлор в свое время тоже считался нетрадиционным месторождением, очень сложным для добычи, требовавшим создания системы искусственных островов...

— Да и сейчас, после стольких лет добычи, его снова относят к трудноизвлекаемым, поскольку обводненность там достигает 95 %. То есть на тонну добываемой нефти мы поднимаем на поверхность 20 тонн воды. Сейчас месторождение обеспечивает 19,5 млн тонн добычи в год, но если бы ему не была предоставлена льготная ставка НДС, то добычу пришлось бы остановить из-за низкой рентабельности.

Другими словами, существует множество определений ТРИЗ в зависимости от физико-химических свойств пород, их проницаемости, условий и глубины залегания, географического расположения и так далее. На мой взгляд, заниматься такой тех-

«Самая острая проблема в нефтегазовой отрасли — это ухудшение структуры запасов. По оценкам экспертов, более 60 % всей добываемой нефти сейчас относится к трудноизвлекаемой»

нологической классификацией нужно, но вряд ли это поможет в решении экономических вопросов, связанных с вовлечением ТРИЗ в разработку.

При принятии решений о дифференциации налогообложения ТРИЗ и переходе на НДС Минфин руководствуется, прежде всего, планируемым экономическим, бюджетным эффектом, а не технологической спецификой.

Поэтому, мне кажется, в случае ТРИЗ нужно наиболее понятное и простое определение — экономическое. Например, такое: ТРИЗ — это запасы, разработка кото-

Месторождение Самотлор, ХМАО





Добыча нефти на Самотлоре
Автор: Михаил Дышлюк, ЭП

рых при условии применения наилучших доступных технологий является нерентабельной в текущих ценовых, экономических, финансовых и налоговых условиях.

— Стоит ли предоставлять новые налоговые льготы для рискованных с точки зрения добычи трудноизвлекаемых запасов с учетом текущей непростой макроэкономической ситуации?

— У нас сейчас непростая, специфическая ситуация с экономикой в целом. Налогообложение нефтегазовой отрасли имеет очень большое значение для бюджета страны. При этом зависимость от нефтегазовых доходов снижается. Так, еще 10–15 лет назад доля нефтегазовых доходов в бюджете достигала порой 46 %. В прошлом году их доля была 28 %, в этом планируется порядка 22 %. Но все равно 22 % — это достаточно большой показатель зависимости федерального бюджета.

С другой стороны, наш нефтегазовый сектор — один из самых налогооблагаемых в мире. По оценке компаний, примерно 62 % их выручки уходит на налоги. В результате нефтяникам на добычу, переработку, логистику и реализацию остается меньше 38 % от всей выручки. Остальное забирает государство. В розничном секторе ГСМ по некоторым видам топлива эта

Источник: wikipedia.org



доля вообще достигает 100 % и более, то есть выручили 100 рублей — и все заплатили в бюджет. Понятно, что в этом случае нефтяная отрасль живет и развивается за счет экспорта. В целом на экспорт отправляется более двух третей добываемого ресурса.

Важно учитывать очень высокую взаимную зависимость отрасли и государства и, соответственно, значимость регуляторики в текущих условиях развития отрасли.

Если смотреть на проблему с этой точки зрения, то общий объем доказанных извлекаемых запасов в России достигает порядка 26 млрд тонн, а экономически рентабельных для разработки — всего 14–16 млрд. Получается, что нам остается либо отложить освоение этих 10 млрд тонн запасов до лучших времен, когда технологии добычи выйдут на новый уровень, либо создать стимулы, улучшающие экономику их разработки через развитие технологий.

Сейчас это особенно актуально с учетом того, что в среднесрочной перспективе основная база добычи будет приходиться на Западную Сибирь, где уже создана развитая инфраструктура, но еще имеются огромные остаточные запасы, неосвоенные залежи трудноизвлекаемой нефти.

— Учитывая, что больше 60 % добываемой нефти в России относится к трудноизвлекаемой, не проще ли будет перевести их на налоговую систему НДД?

— Да, в принципе, это возможно, и сейчас это уже происходит. Вначале были риски того, что нефтяники начнут завышать затраты в системе НДД и мы не получим нужных эффектов, но с 2019 года, когда на эту систему были переведены первые месторождения, государство и нефтяники научились грамотно и прозрачно администрировать затраты, минимизировав подобные риски.

Есть проблема, что с переводом на НДД в первые два-три года у государства формируются выпадающие доходы федерального бюджета, а денег в нем, как всегда, не хватает, поэтому Минфин неохотно идет на расширение периметра НДД, особенно сейчас.

Механизм НДД в целом работает, ожидания оправдываются, поэтому мы рассчитываем, что при улучшении конъюнктуры и макроэкономической ситуации



Бурение скважины в Тюменской области
Автор: Михаил Дышло, ЭП

Минфин все-таки пойдет навстречу нефтяным компаниям и будет более активно расширять периметр применения НДС для месторождений как в Западной, так и в Восточной Сибири, при условии доказанного бюджетного и экономического эффекта.

Думаю, что в перспективе большая часть месторождений, если не все 100 %, будет работать в этом режиме.

— А с учетом текущей ситуации есть ли необходимость оперативных корректировок по налогам, в частности по демпферу?

— Скажем так, острых, горящих вопросов нет, но система должна быть гибкой, чтобы и у государства, и у компаний была возможность оперативно и эффективно реагировать на меняющуюся ситуацию. Особенно актуальный вопрос по бензину. Общий объем производства бензина в России составляет около 44 млн тонн при потреблении в стране порядка 40 млн тонн, то есть «навеска» производства над потреблением очень небольшая, поэтому любые колебания, даже сезонные, с учетом логистики, доставки топлива становятся заметными на рынке.

Работает штаб под руководством вице-премьера России Александра Новака, где каждый месяц рассматриваются все вопросы и проблемы, в том числе связанные с постоянными беспилотными атаками на российские НПЗ, корректировками демпфера, разрешением или запретом экспорта бензина и так далее. К сожалению, сейчас отрасль работает в условиях сильной неопределенности, санкционного давления, поэтому приходится часто в ручном ре-

Российский нефтегазовый сектор — один из самых налогооблагаемых в мире, 62 % выручки компаний уходит на налоги. В результате нефтяникам на добычу, переработку, логистику и реализацию остается 38 %



Добыча нефти «Татнефти»

Автор: Михаил Дышлюк, ЭП

жиме купировать риски, не меняя при этом саму модель конкурентного ценообразования.

— А у вас, как представителя законодательной власти, нет желания отрегулировать на нормативно-правовом уровне работу внутреннего топливного рынка? Например, прописать на законодательном уровне правила ввода запрета на экспорт бензина и дизельного топлива?

— Это механизм, сформированный в текущих сложных условиях в интересах как государства, так и бизнеса. Можно ввести правила и сказать: «Пять лет мы ничего не меняем!» Но за это время, как мы видим, многое может измениться, та же внешняя конъюнктура, и это ударит по компаниям, по отрасли. Поэтому, когда мы видим непростую экономику работы компаний, когда цены на энергоносители падают, государство готово пойти им навстречу, поддержать.

С другой стороны, появившаяся сейчас сверхприбыль, обусловленная не столько успешной операционной деятельностью компаний, их инвестициями, затратами или эффективной работой менеджмента, а той же самой внешней конъюнктурой, политическим конфликтом на Ближнем Востоке и волатильностью рынка, может быть изъята в



Газовый промысел № 3 Бованенковского месторождения

Источник: «Газпром»

пользу государства, для наполнения ФНБ, для создания подушки безопасности. Это вопрос диалога и доверия между государством и бизнесом.

— То есть в текущей ситуации мы пока будем оставаться в режиме ручного управления?

— Я бы назвал это не ручным, а гибким управлением: основные механизмы конкурентного ценообразования созданы, но есть возможность их донстраивать, корректировать, если возникают какие-то непредвиденные ситуации: резкий рост цен или их падение. Мы должны создавать подушку безопасности и для компаний, и для

государства. Сейчас цены высокие из-за политических конфликтов, но замедление мировой экономики в таких условиях через два-три года приведет рынок в период низких цен.

— В части законодательного регулирования газовой отрасли планируются ли какие-либо изменения, особенно с учетом того, что в газовой отрасли ситуация более тяжелая, чем в нефтяной?

— В газовой отрасли ситуация стабильно сложная. На протяжении десятилетий функционировала модель, в которой основной игрок, «Газпром», направлял на экспорт одну треть добычи газа и получал две трети выручки, за счет чего субсидировал поставки на внутренний рынок. Сегодня такой возможности нет.

Мало того, независимо от рыночной и политической конъюнктуры «Газпрому» как собственнику приходится содержать, поддерживать и развивать Единую систему газоснабжения, огромную сеть газопроводов, которая предполагала порядка 200 млрд м³ экспортных поставок, при том что сейчас экспорт трубного газа в Европу составляет около 40 млрд м³. Но расходы на ее содержание практически не уменьшились, так как условно постоянные расходы в транспорте газа не зависят от объемов транспортировки и составляют порядка 85 % от общих затрат.



Омский НПЗ

Источник: «Газпром»

— А есть ли возможность и потребность как-то поддержать работу компании, чтобы повысить ее эффективность в нынешних условиях, дать дополнительные стимулы?

— На мой взгляд, главный способ стимулирования — увеличение потребления газа в стране за счет развития газификации, газохимии и газомоторного топлива. Это раз. Второе — диверсификация экспорта, в частности за счет строительства газопровода «Сила Сибири — 2», которое должно ускориться на фоне происходящего кризиса и последних переговоров лидеров России и Китая. Ну и третье — производство СПГ. Собственно, именно это сейчас и делается совместными усилиями государства и отрасли, в соответствии с

штабные программы, ее реализация требует больших усилий и времени, хотя первые результаты мы уже видим. Если в 2024 году на внутренний рынок было поставлено 517 млрд м³ газа, то в 2025-м — уже 522 млрд. Рост на 5 млрд м³ за один год — это хороший результат в условиях высокого уровня газификации. Перед отраслью поставлена задача обеспечить максимальную технически возможную газификацию на уровне 82,9 %. Сейчас мы достигли 75 %.

Экономический вопрос газификации, ее окупаемости достаточно сложный. С одной стороны, газ до сих пор остается и самым экономически доступным видом топлива, и самым экологичным из углеводородов. С другой — это единственный энергоресурс, цена на который регулируется как для на-



Ковыктинское газоконденсатное месторождение

Источник: «Газпром»

задачами, поставленными Президентом России Владимиром Путиным.

— Социальная газификация оказала поддержку внутреннему рынку? Как быть с тем, что социальная задача дать людям газ не всегда «бьется» с экономикой ее реализации: например, когда речь идет о подключении к «трубе» деревень в три дома на 100 км?

— Социальная газификация — один из самых масштабных и значимых современных инфраструктурных проектов, соответствующие задачи поставлены Президентом России Владимиром Путиным. Как и все мас-

селения, так и для промышленных потребителей. Если сейчас отказаться от регулирования, это создаст риски роста цены в два-три раза в рамках межтопливной конкуренции, прежде всего с углем, что недопустимо.

Чтобы выйти на новый этап газификации, мы должны корректировать экономические подходы к ней, научиться рационально формировать топливно-энергетические балансы регионов, учитывать технологическую доступность газа, так называемую инфраструктурную составляющую, в условиях межтопливной конкуренции и с учетом экологических аспектов.

Поэтому, как я уже много раз говорил, начинать надо с энергобаланса регионов, причем необходимо придать энергобалансу статус целеполагающего, основного документа, который позволил бы найти оптимальное соотношение доступных энергоресурсов в межтопливной конкуренции нефти, газа, угля, атома, воды, солнца, ветра и так далее. Тут важно, чтобы документ был руководством к действию, а не «для галочки», и тогда мы поймем, где лучше использовать газ, а где — уголь.

— Но не получится ли так, что регионы начнут раздувать энергобалансы и завышать прогнозы спроса на газ для «подстраховки»?

— Такие балансы должны готовиться в рамках единого подхода, по одной методике. Сейчас они разрабатываются в каждом субъекте Федерации по методике Минэнерго. Но эта методика уже требует существенной доработки.

Что касается в целом развития внутреннего конкурентного рынка газа, то в России он имеет свою специфику. Порядка 80 % газа добывается в Западной Сибири, тогда как 75 % населения проживает в европейской части России. Себестоимость транспортировки газа в затратах достигает 50–60 %. Соответственно, конкуренция между производителями не существенно влияет на стоимость для конечного потребителя. Значит, должны работать другие



Газопровод Ухта – Торжок 2

Источник: profile.ru



Газопровод Бованенково — Ухта

механизмы, прежде всего межтопливная конкуренция, в том числе между производителями разных видов газа — природного и СУГ, сетевого и сжиженного.

— То есть в России в принципе никогда не будет конкурентного газового рынка и рыночного ценообразования?

— У нас квазирынок. На мой взгляд, он был и останется. Вопрос в том, хорошо это или плохо. Я считаю, что в текущих условиях это хорошо, так как обеспечивает предсказуемость для потребителей и производителей, для социально-экономического развития регионов и страны в целом. Все хотят предсказуемости: и энергетики, и промышленники, и граждане, и государство.

Длительный период низких внутренних цен на газ, по сути, привел к формированию топливно-энергетического баланса страны со смещением в пользу газа, его доля в энергобалансе — более 50 %, в производстве электроэнергии — 55 %, в производстве тепла — до 80 %. Поэтому изменение цены газа сказывается на всем: на стоимости других энергоресурсов, электроэнергии, тарифах ЖКХ, стоимости про-

Если в 2024 году на внутренний рынок было поставлено 517 млрд м³ газа, то в 2025-м — уже 522 млрд. Рост на 5 млрд м³ за один год — это хороший результат в условиях высокого уровня газификации

изводства металла, удобрений, на инфляции.

В этих условиях очевидна необходимость сохранения регулирования цены газа, особенно для населения, ЖКХ, может быть, электроэнергетики. При этом нужно вводить элементы рыночного ценообразования для отдельных экспортно-ориентированных потребителей, механизмы сезонной, месячной и суточной балансировки газа, спроса и предложения с использованием биржевых инструментов. Такая работа идет.



Источник: «Газпром»

— Актуально ли предоставление налоговых льгот для освоения газовых ТРИЗ? Есть ли запрос от отрасли?

— Мы много раз обсуждали этот вопрос на разных площадках, в том числе вопрос предоставления льгот по НДС для истощенных газовых месторождений по аналогии с льготами для нефтяных участков. Все понимают, что проблемы есть, их надо решать, но пока есть сложности (например, с системой дифференциации месторождений и сырья).

По данным компаний, в частности «НОВАТЭКа», при сохранении текущего подхода к разработке простых запасов возможен дефицит добычи газа относительно Энергетической стратегии РФ в 2030 году уже 30 млрд м³ с нарастанием к 2050-му. Основным источником покрытия дефицита запасов газа в ближайшие 10 лет остается Надым-Пур-Тазовский район. Доля ТРИЗ в газодобыче растет, речь идет и о низконапорном газе, и о жирном, многокомпонентном газе, и о низкой проницаемости пластов, и о сложных геологических условиях залегания. Вовлечение в добычу ТРИЗ возможно только при создании экономических стимулов их разработки. А вот технологическая готовность увеличить долю добычи из ТРИЗ у компаний отрасли есть.

Вовлечение газовых ТРИЗ в разработку позволит обеспечить дальнейшее технологическое развитие газовой и смежных отраслей.

— Почему в России так и не взлетел рынок газомоторного топлива, даже на фоне задачи по развитию внутреннего рынка газа? Стоит ли вообще развивать это направление?

— Для того чтобы потребитель принял решение перейти с дизеля на газ, необходимо, чтобы его цена была как минимум в два раза ниже, чем цена дизеля. Только после этого начинают работать экономические стимулы.

Второй важный момент — доступность транспортно-заправочной инфраструктуры. Этот процесс тоже идет достаточно долго и сложно. Действующее регулирование не позволяет строить газовые заправки в непосредственной близости от домов. В городах таких мест зачастую просто нет. На площадке Российского газового общества мы работаем над вопросом об упрощении регулирования, создании мультитопливных АЗС.

В итоге загрузка газовых заправочных станций сегодня не превышает 20–30 %, между тем любая АЗС окупается только



Южная ТЭЦ, Санкт-Петербург

Источник: energybase.ru



Пуровский ЗПК, Тарко-Сале

Источник: trip-for-the-soul.ru

при загрузке свыше 80 %. Таким образом, сейчас тот же «Газпром» несет убытки от развития газомоторного бизнеса.

Следующий момент: стоимость газового автомобиля дороже дизельного на 20–30 %.

И наконец, вопрос удобства использования. Если закончился дизель, можно с канистрой пойти на АЗС или, если речь идет о сельском хозяйстве, подогнать дозавращик. С газом такого не получится.

В 2025 году была принята полноценная Концепция развития рынка ГМТ, дорожная карта. Надеюсь, она сыграет свою роль.

Сейчас на законодательном уровне появилась возможность поддержки строительства и использования передвижных газозаправочных станций, что очень важно для сельскохозяйственной техники, которая потребляет ни много ни мало, а 4 млн тонн дизеля в год.

Постепенно, в течение 10–15 лет, к 2035 году на фоне роста цен на дизель мы намерены прийти к более широкому использованию газомоторного топлива на уровне не менее 8–10 % замещения жидких топлив. К этому времени должна быть создана критическая масса газовой инфраструктуры, и это приведет к тому, что потребитель будет иметь гарантированную возможность заправляться ГМТ, причем на экономически выгодных условиях.

— Не получится ли так, что через 10–15 лет газовым автомобилям придется конкурировать уже с электрокарами и эта конкуренция будет заранее проиграна?

— У каждого вида топлива, у каждого типа двигателя есть своя нишевая область использования. Электрокар идеален для частного транспорта, легковая машина на СПГ, сжатом газе или водородных топливных элементах — это сложно. Зачем возить в багажнике баллон под давлением в 250 бар с риском разгерметизации или взрыва при аварии? Да и места он занимает много. Но для тяжелых фур, автобусов и коммунальной техники, работающих в системе централизованной заправки и технического обслуживания, газомоторное исполнение, особенно на СПГ, — это эффективное решение.

— Одним из вариантов развития внутреннего рынка газа является развитие



Энергоблок ПГУ-220 ТЭЦ-12 ПАО «Мосэнерго»

Источник: mosenergo.gazprom.ru



Укладка межпоселкового газопровода

Источник: kasheloff.ru

смежных химических производств. Насколько перспективным является это направление?

— Программы по развитию химических производств и водородных технологий в России приняты, но, к сожалению, не очень амбициозны. Они предполагают темпы роста 5 % в год, но во всем мире темпы роста химических производств достигают 7 % в год. Причины объективны: кредитные деньги недоступны, внешний рынок и доступ к технологиям закрыты, партнеров немного. Китай предпочитает развивать собственные мощности на своей территории. Но заниматься этим однозначно необходимо.

— В свое время Комитет по энергетике активно продвигал идею строительства небольших газовых установок для производства электричества из попутного газа для центров обработки данных. Насколько эта идея оказалась интересна владельцам дата-центров?

— Эта тема имеет большой потенциал. Достаточно сказать, что, по официальным данным, мы сжигаем порядка 25 млрд м³ попутного газа.

ЦОД у нас уже потребляют порядка 1 ГВт мощности в год, и в будущем этот показатель будет только расти. А в мире в целом прогнозируют рост доли энергопотребления дата-центрами в общем объеме спроса до 9 % в год. Поэтому, когда мы общаемся с владельцами ЦОД и так называемыми «белыми» майнерами, мы всегда предлагаем им, прежде всего, участвовать в системе управления спросом, которая позволяет выравнивать колебания потребления электроэнергии. Ночью страна спит, вы ведете майнинг, утром все проснулись, включили чайники, вы снижаете потребление.

Надо сказать, что профессиональные легальные майнеры и дата-центры понимают эту тему, готовы работать на разнице потребления и втягиваться в систему управления спросом, снижая стоимость электроэнергии и для себя, и для всех.

При этом для таких потребителей, не привязанных географически к точкам производства, наиболее эффективным является использование не востребуемых ресурсов, например попутного газа и ветра. В тундре огромный ветровой потенциал, не зависящий от полярного дня или ночи. По-

ставь ветряк, не занимайся пиролизом воды и производством водорода, а сразу генери электричество и направляй на работу дата-центра, обрабатывай данные, выдавай результат.

Никаких законодательных ограничений этого сейчас нет, законодательного стимулирования тоже не требуется.

— Не так давно на семинаре Минэнерго глава «Росатома» Алексей Лихачев заявил, что на текущий момент многие технические требования в области строительства АЭС устарели. В частности, нет нормативно-правовой базы, регулирующей строительство малых АЭС. Идет ли какая-то работа по оптимизации регулирования этого направления?

— Нормативная база по атомной отрасли развивается вместе с самой отраслью. Нормативы и законы разрабатываются под решение конкретных проблем и задач. В прошлом году было принято шесть законопроектов, в том числе по развитию термоядерной энергетики, использованию спецфонда и так далее.

Если появится ряд АЭС, специфика которых не вписывается в действующую нормативную базу, ограничивает развитие либо мешает ему, соответственно, будем вносить изменения.

У малых атомных реакторов есть своя экономика: себестоимость таких станций по определению выше, чем у больших и мощных АЭС. Но в то же время это актуально, особенно для изолированных территорий, которые живут северным завозом со стоимостью электроэнергии в 150–180 руб. за кВт·ч, тогда как в среднем по России она составляет 7–8 руб. Мини-АЭС даст примерно 10–12 руб. за кВт·ч и как минимум на 10 лет надежно обеспечит электроэнергией.

Поэтому данное направление развивается сейчас очень активно и у нас, и во всем мире. Мы со своей стороны любые инициативы, которые идут, вместе с «Росатомом» отработываем, не задерживая.

Правда, есть один законопроект, работа над которым идет с большими сложностями. Я имею в виду отмену законодательного запрета на проектирование прямоточных систем технического водоснабжения (ПСТВ) для тепловых и атомных электрических станций. Проект Федерального закона № 486735-8 «О внесении изменений в

Вопрос окупаемости газификации достаточно сложный. С одной стороны, газ до сих пор остается самым доступным видом топлива. С другой — это единственный энергоресурс, цена на который полностью регулируется

часть 4 статьи 60 Водного кодекса Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации», соавтором которого я являюсь, осенью 2025 года был принят в первом чтении после двух лет согласований, подготовка ко второму тоже движется не просто.

Россия сегодня — единственная страна в мире, в которой установлен законодательный запрет на проектирование прямоточных систем для ТЭС и АЭС. Во всех других странах регулирование основано на экологических стандартах, а не прямых запретах. Эти системы работают на действующих ТЭС и АЭС в России, используются в российских проектах за рубежом, они применяются только там, где это целесообразно с учетом всех технических, экономических и экологических факторов.

Запрет, внесенный в Водный кодекс в 2006 году после аварий на Байкальском целлюлозно-бумажном комбинате, в случае с объектами энергетики избыточен, ведь на ТЭС и АЭС вода используется только для охлаждения, а не для технологических процессов. Его нужно отменять, сохраняя обязательность при подготовке проекта станции соблюдения всех экологических требований в соответствии с действующим законодательством, включая проведение Государственной экологической экспертизы по проектной документации ТЭС и АЭС с прямоточными системами технического водоснабжения. Такое требование есть в законопроекте. Надеюсь, он все же будет принят, что позитивно скажется на эффективности и конкурентоспособности российских проектов ТЭС и АЭС.

Параметры измерения экономического роста в условиях деглобализации: взгляд сквозь призму мировой энергетики

Parameters for Measuring Economic Growth in the Context of Deglobalization: a View through the Prism of Global Energy

Елена ТЕЛЕГИНА

Декан факультета международного
энергетического бизнеса
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
член-корреспондент РАН, д. э. н., профессор
E-mail: meb@gubkin.ru

Elena TELEGINA

Dean, Faculty of International Energy Business,
Gubkin University,
Associate member of RAS, DSc in Economics,
Professor
E-mail: meb@gubkin.ru

Дмитрий АЛЕКСАНДРОВ

Профессор кафедры энергоэкономики
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
д. э. н., профессор
E-mail: Prof.Alexandrov@gmail.com

Dmitry ALEXANDROV

Professor, Department of Energy Economics,
Gubkin University,
DSc in Economics, Professor
E-mail: Prof.Alexandrov@gmail.com

Валерий БЕССЕЛЬ

Профессор кафедры термодинамики и
тепловых машин
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
к. т. н., доцент
119991, Москва, Ленинский пр-т., д. 65
E-mail: besse.v@gubkin.ru

Valery BESSEL

Professor, Department of Thermodynamics and
Heat Engines,
Gubkin University,
PhD in Technology, Associate Professor
E-mail: besse.v@gubkin.ru

Аннотация. Политика количественного смягчения Федеральной резервной системы США привела к опережающему росту ВВП по ППС над номинальным ВВП и обесцениванию мировых финансовых активов по отношению к реальным активам, включая энергоресурсы. Оплата энергоресурсов стремительно дешевеющей валютой, запреты на ее использование в международных банковских расчетах, заморозка российских финансовых активов, санкционные пакеты с ограничениями и запретами на торговлю российскими энергоресурсами — это санкционная дискриминация российской энергетической отрасли. Сравнение номинального ВВП и ВВП по ППС может служить косвенным индикатором масштаба проводимой США и странами Западной Европы санкционной дискриминации в отношении стран — экспортеров энергоресурсов: России, Ирана, Венесуэлы и других.

Ключевые слова: валовой внутренний продукт по паритету покупательной способности, санкционная дискриминация, политика количественного смягчения, глобальная энергетика

Abstract. The US Federal Reserve's quantitative easing policy has led to faster growth of PPP-based GDP than nominal GDP and a devaluation of global financial assets relative to real assets, including energy resources. Payment for energy resources in rapidly depreciating currencies, bans on their use in international banking transactions, the freezing of Russian financial assets, and sanctions packages with restrictions and bans on trade in Russian energy resources constitute sanctions discrimination against the Russian energy sector. A comparison of nominal and PPP-based GDP can serve as an indirect indicator of the scale of sanctions discrimination against energy-exporting countries — Russia, Iran, Venezuela, and others — by the US and Western European countries.

Key words: gross domestic product at purchasing power parity, sanctions discrimination, quantitative easing policy, global energy



Глобальная экономика

Источник: shutterstock.com

Введение

Для характеристики экономического роста в мировой экономике используется показатель валового внутреннего продукта (ВВП). Он оценивается в текущих ценах (номинальный ВВП) и показывает, сколько продукции и услуг произведено в стране за год в текущих ценах в национальной валюте. Для сопоставления с другими странами этот показатель оценивается в долларах США по официальному обменному курсу, устанавливаемому Центральным банком страны [1].

Но есть еще один важный экономический показатель — ВВП по паритету покупательной способности (ВВП по ППС), который представляет собой экономический индикатор, используемый для сравнения цен на товары и услуги в государствах с учетом различий в стоимости жизни: одна и та же сумма в одной стране, пересчитанная по текущему рыночному курсу в национальную валюту другой страны, должна иметь одинаковую покупательную способность. ВВП по ППС является достаточно точным инструментом для сравнения экономик различных стран, исключаяющим



Japan Exchange Group JPX
Источник: bloomberg.com

воздействие изменений обменных курсов, базирующимся на стоимости одной и той же «корзины» товаров и услуг в различных странах и отображающим фактическую покупательную способность национальной валюты [2, 23].

Таблица 1. Показатели ВВП и ВВП по ППС (млрд долларов США) в мире, странах G20, G7, BRICS и ЕС в 2024 году

Страна G20, группа стран	ВВП, \$ млрд США	Доля от мирового ВВП, %	ВВП по ППС, \$ млрд США	Доля от мирового ВВП по ППС, %
МИР	111 253,0	100,00 %	197 428,1	100,00 %
КНР	18 743,8	16,85 %	38 190,1	19,34 %
США	29 184,9	26,23 %	29 184,9	14,78 %
Индия	3 912,7	3,52 %	16 190,8	8,20 %
Россия	2 173,8	1,95 %	6 921,2	3,51 %
Япония	4 026,2	3,62 %	6 407,7	3,25 %
Германия	4 659,9	4,19 %	6 037,9	3,06 %
Бразилия	2 179,4	1,96 %	4 734,7	2,40 %
Индонезия	1 396,3	1,26 %	4 662,9	2,36 %
Франция	3 162,1	2,84 %	4 201,6	2,13 %
Великобритания	3 643,8	3,28 %	4 196,5	2,13 %
Турция	1 323,3	1,19 %	3 757,0	1,90 %
Италия	2 372,8	2,13 %	3 589,1	1,82 %
Мексика	1 856,4	1,67 %	3 361,6	1,70 %
Канада	2 241,3	2,01 %	2 702,9	1,37 %
Республика Корея	1 712,8	1,54 %	2 699,6	1,37 %
Саудовская Аравия	1 237,5	1,11 %	2 514,9	1,27 %
Австралия	1 752,2	1,57 %	1 936,8	0,98 %
Аргентина	633,3	0,57 %	1 378,9	0,70 %
ЮАР	400,3	0,36 %	989,4	0,50 %
Страны G20	86 612,7	77,85 %	143 658,4	72,76 %
Страны BRICS	27 410,0	24,64 %	67 026,2	33,95 %
Страны G7	49 291,0	44,31 %	28 106,7	14,24 %
Страны ЕС	19 423,3	17,46 %	28 106,7	14,24 %

Показатели ВВП [3] и ВВП по ППС (млрд долларов США) [4] в мире, странах G20, G7, BRICS и ЕС в 2024 году представлены в таблице 1.

В 2024 году по показателю ВВП (млрд долларов США) Россия занимала 11-е место в мире [3], по показателю ВВП по ППС (млрд долларов США) — четвертое место в мире [4].

Из данных таблицы 1 следует, что доля стран с «развивающимися» экономиками, прежде всего относящихся к BRICS, в глобальной экономике, оцениваемой показателем ВВП по ППС, по сравнению с оценками по ВВП без учета ППС повышается, в то время как доля стран с «развитыми» экономиками, которые относятся к G7 или ЕС, понижается. Это правило сегодня позволяет относить страны к той или иной группе экономического развития.

Динамика роста мирового ВВП

Динамика мирового ВВП [3] и ВВП по ППС (трлн долларов США) в период с 2005 по 2024 год [4], а также рассчитанные

В мире происходит обесценивание национальных валют, то есть денег становится все больше, а производство товаров и услуг, которые можно было бы купить, начинает отставать от темпов эмиссии

значения коэффициента паритета покупательной способности (кратность) представлены на рисунке 1.

Как следует из диаграммы, мировой ВВП вырос в 2,33 раза — с 47,8 трлн долларов США в 2005 году до 111,3 трлн долларов США в 2024-м [3].

Значение мирового ВВП по ППС выросло в 2,96 раза — с 66,8 трлн долларов США в 2005 году до 197,4 трлн долларов США в 2024-м [4].

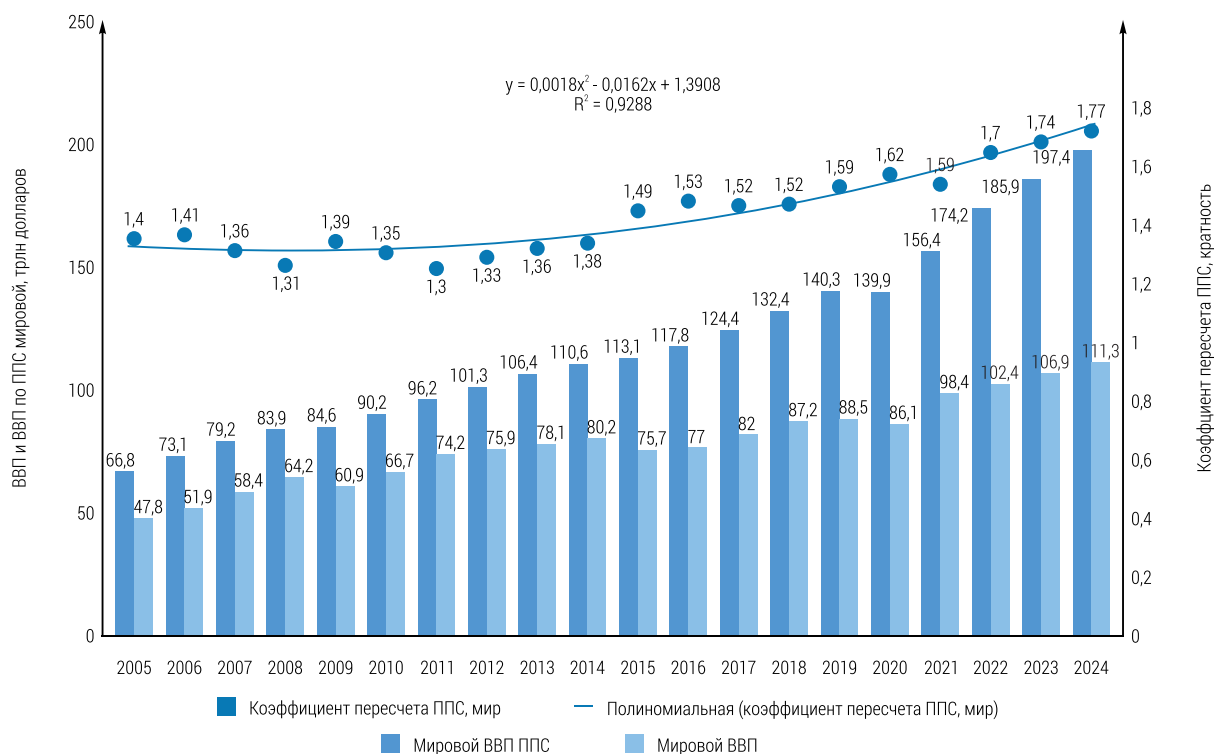


Рис. 1. Динамика роста ВВП по ППС (трлн долларов США), а также коэффициента пересчета ППС в мире в период с 2005 по 2024 год

Значение коэффициента ППС [3, 4] выросло в 1,27 раза — с 1,4 в 2005 году до 1,77 в 2024-м, причем минимальное значение 1,3 было в 2011 году.

Аппроксимация рассчитанных значений коэффициента пересчета ППС кривой полиномиальной регрессии 2-й степени:

$$Y = 0,0018X^2 - 0,0162X + 1,3908$$

позволяет получить очень высокую степень достоверности аппроксимации $R^2 \sim 0,93$, из чего следует, что проведенное сглаживание адекватно полученным статистическим данным.

Положительное значение «старшего» коэффициента квадратного уравнения характеризует растущую вверх ветвь параболы, графически описывающую полученное уравнение, что доказывает сохранение тенденции растущего значения коэффициента ППС мировой экономики на современном этапе ее развития.

С практической точки зрения это означает одно: в мире происходит обесценивание национальных валют, то есть денег становится все больше, а производство товаров и услуг, которые можно было бы купить, начинает отставать от темпов эмиссии денег.



Сланцевая добыча нефти в США
Источник: sm-news.ru

Причем эта тенденция явно наметилась с 2011 года, когда с целью преодоления последствий мирового экономического кризиса (острая фаза которого пришлась на 2008 год, а выход из нее в разных странах и регионах мира происходил в период с 2009 по 2013 год [5]) практически все центральные банки приступили к широкой практике количественного смягчения (Quantitative Easing, QE) — одной из стимулирующих форм денежно-кредитной политики, которая позволяет регуляторам наращивать денежную массу через покупку активов, например государствен-

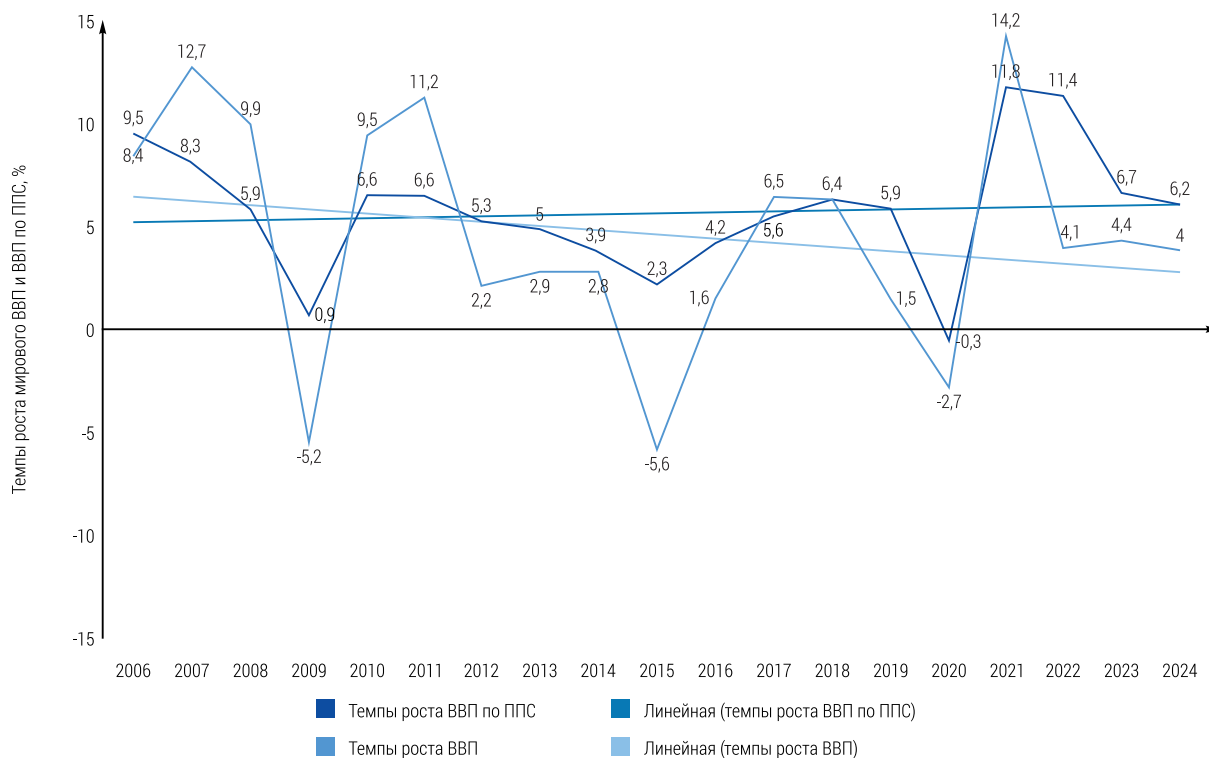


Рис. 2. Ежегодные темпы роста мирового ВВП и ВВП по ППС (%) в период с 2006 по 2024 год

ных облигаций, то есть проводить дополнительную денежную эмиссию для приобретения новых активов в собственные портфели [6, 7].

Были проведены исследования темпов роста ВВП [3] и ВВП по ППС (%) [4] в период с 2006 по 2024 год, результаты которых показаны на рисунке 2.

Несмотря на разнонаправленную динамику изменений, построенные линейные зависимости трендов очевидно демонстрируют устойчивую тенденцию снижения темпов роста ВВП и увеличения темпов роста ВВП по ППС, что является очевидным фактом усиливающегося отставания производства материальных ценностей от постоянно растущей денежной массы в мире [2].

Динамика роста ВВП в развитых странах группы G7

Динамика ВВП [3] и ВВП по ППС (трлн долларов США) [4] стран G7 в период с 2005 по 2024 год, а также рассчитанные значения коэффициента паритета покупательной способности (кратность) представлены на рисунке 3.

Значение ВВП по ППС стран BRICS выросло в 4,67 раза – с 14,4 трлн долл. в 2005 году до 67 трлн долл. в 2024-м. Значения коэффициента ППС снизились в 0,87 раза – с 2,83 в 2005 году до 2,45 в 2024-м

Как следует из диаграммы, ВВП стран G7 вырос в 1,73 раза – с 28,5 трлн долларов США в 2005 году до 49,3 трлн долларов США в 2024-м [3].

Значение ВВП по ППС стран G7 выросло в 2,11 раза – с 26,6 трлн долларов США в 2005 году до 56,3 трлн долларов США в 2024-м [4].

Рассчитанные значения коэффициента ППС [3, 4] выросли в 1,22 раза – с 0,93 в 2005 году до 1,14 в 2024-м, причем минимальное значение 0,91 получено в 2008 и 2011 годах.

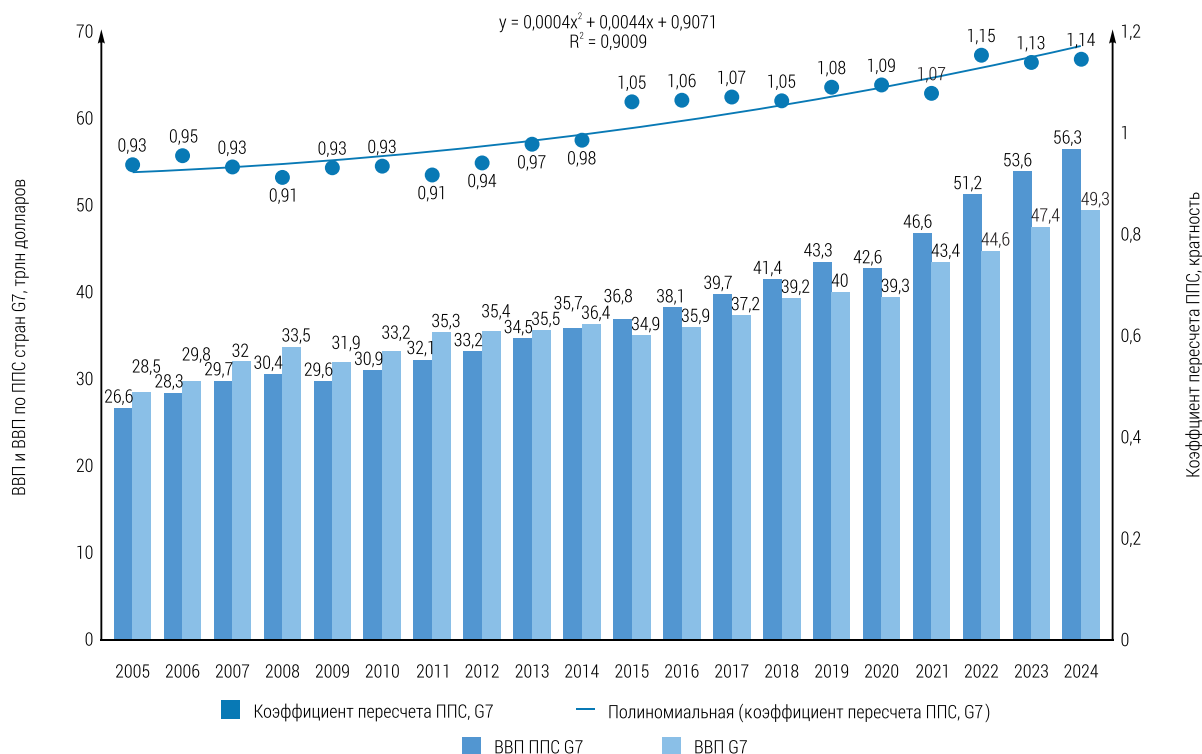


Рис. 3. Динамика роста ВВП и ВВП по ППС (трлн долларов США), а также коэффициента пересчета ППС в странах G7 в период с 2005 по 2024 год

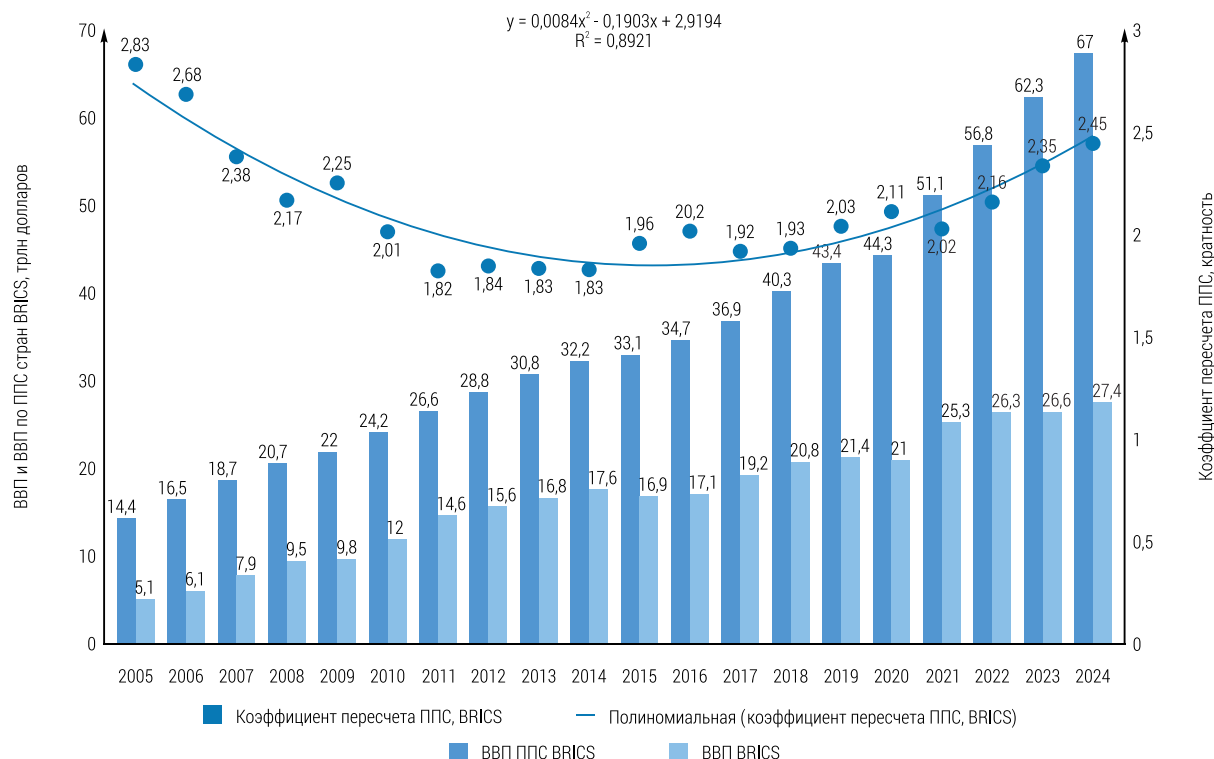


Рис. 4. Динамика роста ВВП и ВВП по ППС (трлн долларов США), а также коэффициента пересчета ППС в странах BRICS в период с 2005 по 2024 год

Из диаграммы следует, что до 2011 года значение коэффициента пересчета ППС в странах G7 было практически постоянным и колебалось в районе 0,93, что свидетельствует о «переоценке» валют развитых стран. Но после 2011 года наблюдается постоянный рост коэффициента пересчета, в 2015-м его значение превысило 1 и постоянно растет. Это означает, что до

2014 года ВВП стран G7 превышал ВВП по ППС, а начиная с 2015-го ВВП по ППС стал превышать ВВП, и разрыв между этими показателями постоянно увеличивается. То есть можно констатировать факт перехода в 2015 году валют развивающихся стран G7 в категорию слабеющих валют с постоянно снижающейся покупательной способностью [2].



БРИКС

Источник: Skorzewiak, depositphotos.com

Динамика ВВП [3] и ВВП по ППС (трлн долларов США) [4] стран BRICS в период с 2005 по 2024 год, а также рассчитанные значения коэффициента паритета покупательной способности (кратность) представлены на рисунке 4.

Как следует из диаграммы, ВВП стран BRICS вырос в 5,39 раза — с 5,1 трлн долларов США в 2005 году до 27,4 трлн долларов США в 2024-м [3].

Значение ВВП по ППС стран BRICS выросло в 4,67 раза — с 14,4 трлн долларов США в 2005 году до 67 трлн долларов США в 2024-м [4].

Рассчитанные значения коэффициента ППС [3, 4] снизились в 0,87 раза — с 2,83 в 2005 году до 2,45 в 2024-м, причем минимальное значение 1,82 было получено в 2011 году.

Из диаграммы следует, что до 2011 года значение коэффициента пересчета ППС в странах BRICS снижалось быстрыми темпами, что свидетельствует о постоянном укреплении или росте покупательной способности валют. В период с 2011 по 2014 год значение коэффициента

Анализ изменений потребления энергии странами G20 дает возможность определять тренды развития глобальной экономики, так как на долю G20 приходится 73 % мировой экономики и 77 % мировой энергетики

стабилизировалось на уровне 1,82–1,84, но после 2015-го наблюдается постоянный рост коэффициента пересчета ППС, что также явилось следствием политики количественного смягчения ЦБ стран BRICS.

Таким образом, можно констатировать факт широкого применения политики количественного смягчения центральными банками практически всех стран с крупнейшими экономиками начиная с 2011–2015 годов, что привело к отставанию тем-



Добыча нефти на Уватском проекте

Источник: news.myseldon.com

пов роста производства материальных ценностей, для которого нужны, прежде всего, энергетические ресурсы и сырье, от эмиссии денег.

Это явилось стимулирующим фактором разгона инфляционных процессов как в мире, так и в большинстве стран, не исключая Россию. Несмотря на то, что количественное смягчение было эффективным и содействовало экономическому росту, взаимосвязь между QE и инфляцией является сложной и зависит от множества факторов, что вызывает обеспокоенность по поводу инфляции и финансовой стабильности [8].

Тем не менее в настоящий момент развития мировой экономики эти программы внедряются повсеместно, прежде всего ФРС США [9].

Сравнение динамики роста ВВП в странах группы G7 и BRICS

Динамика изменения доли ВВП по ППС (%) [4] в мировой экономике в период с 2005 по 2024 год показана на рисунке 5.

В то время как за анализируемый период доля совокупного ВВП по ППС 12

стран, входящих в группу G7 и BRICS, была практически неизменна и колебалась в пределах 61,4÷62,4 % от мирового, очевиден наметившийся тренд глобального экономического развития: доля стран BRICS постоянно растет, а доля стран G7 снижается.

В 2019 году совокупный ВВП по ППС группы стран BRICS составил 43,4 трлн долларов США и превысил совокупный ВВП по ППС группы стран G7, который на тот момент составлял 43,3 трлн долларов США. То есть начиная с 2019 года доля совокупного ВВП по ППС стран BRICS превысила долю аналогичного показателя стран G7, и отрыв продолжает нарастать [4].

Это является очевидным экономическим обоснованием заката «однополярного» мира и трансформации его в мир «многополярный», где одним из полюсов, очевидно, будет Россия в силу своих гигантских размеров и колоссального количества различных ресурсов, а также развитой инфраструктуры для их добычи, переработки и производства продукции высокого передела. Наглядной иллюстрацией указанной тенденции может стать анализ динамики роста ВВП по ППС в шести лидирующих странах группы G7 и BRICS.

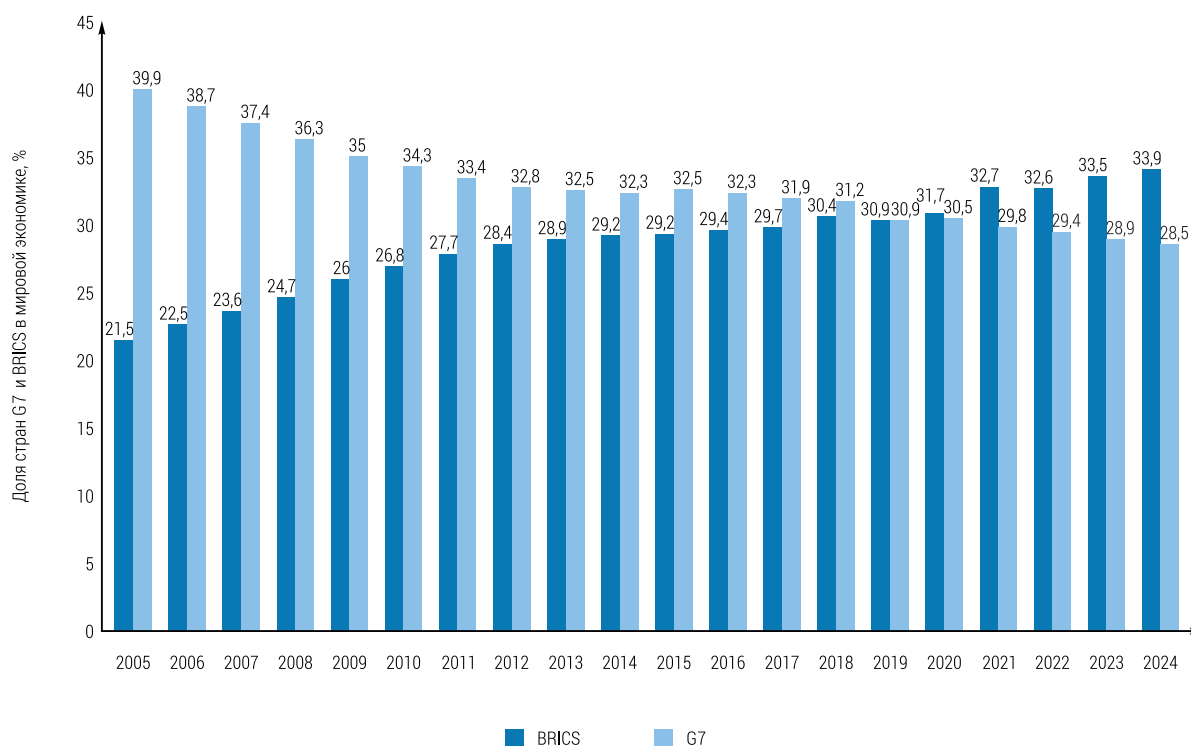


Рис. 5. Динамика доли (%) групп стран G7 и BRICS в мировом ВВП по ППС в период с 2005 по 2024 год

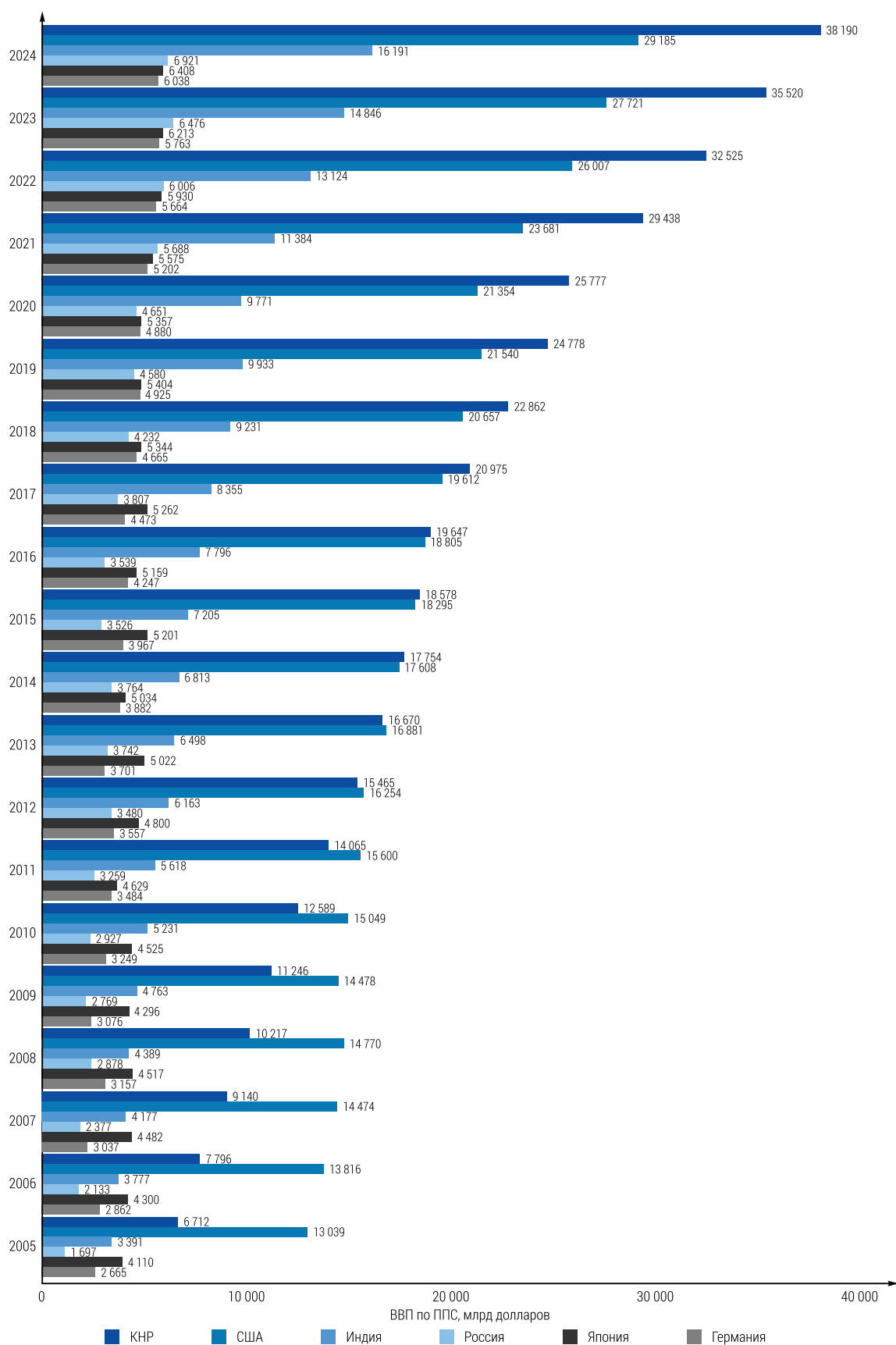


Рис. 6. Динамика ВВП по ППС (млрд долларов США) стран — экономических лидеров в период с 2005 по 2024 год



Добыча нефти на Увате

Источник: nedradv.ru



Министерство финансов США

Источник: SOMATUSCANI, depositphotos.com

Динамика роста ВВП по ППС в шести лидирующих странах группы G7 и BRICS

Среди шести лидирующих экономик мира три страны входят в группу стран G7 (США, Япония и Германия), а три — в группу стран BRICS (КНР, Индия и Россия) [4].

На рисунке 6 показана динамика экономического роста (млрд долларов США) стран-лидеров в период с 2005 по 2024 год [4].

Хотелось бы отметить произошедшие качественные изменения в развитии лидирующих экономик мира, которые привели к глобальным политическим сдвигам настоящего времени:

- в 2009 году экономика Индии превзошла экономику Японии и стала третьей экономикой мира;
- в 2014 году экономика КНР превзошла экономику США и стала лидирующей экономикой мира;
- в 2021 году экономика России превзошла экономику как Японии, так и Германии и стала четвертой экономикой мира;
- если в 2005 году из четырех стран — лидеров экономического развития три страны входили в G7 (США, Япония и Германия), то через 20 лет (в 2024 году)

в лидирующую четверку входят три страны BRICS (КНР, Индия и Россия).

Таким образом, за 20 лет Россия добилась высоких темпов роста ВВП по ППС. Это отличный результат, если учесть развал СССР и разгром советской экономики в 1990-е годы, когда, по оценкам экспертов, экономике России был нанесен урон, превысивший потери народного хозяйства СССР в период Великой Отечественной войны (1941–1945) [10].

Однако эти результаты могли быть и выше, если бы развитию и росту российской экономики и энергетики не мешали. Практически непрерывно в течение десятилетий США, страны Западной Европы и некоторые другие государства проводят дискриминационную политику в отношении российской экономики и ее энергетического сектора.

Санкционная дискриминация российского ТЭК на современном этапе

Для нефтегазового рынка России 2025 год начался с «прощального пакета» Джо-зефа Байдена — масштабных санкций против российского ТЭК, в том числе против двух крупнейших нефтяных компаний («Газпром нефть» и «Сургутнефтегаз»), а также более чем 183 судов теневого флота, десятков нефтетрейдеров и поставщиков нефтесервисных услуг, руководителей от-

**Если за последние 40 лет
потребление энергии в мире
выросло в 2,03 раза, то
численность населения Земли
увеличилась в 1,8 раза, то есть
рост энергопотребления
опережает рост численности
населения в 1,1 раза**

расли, связанных с ней чиновников и страховых компаний. Санкции против «Газпром нефти» и «Сургутнефтегаза» поддержала Великобритания.

Ближе к концу 2025 года уже новый президент Дональд Трамп ввел санкции против «Роснефти» и «ЛУКОЙЛа».

Евросоюз за 2025 год принял четыре пакета ограничений:

- 16-й пакет антироссийских санкций установил запрет на предоставление временных хранилищ для российской нефти и нефтепродуктов на территории ЕС;
- в 17-й пакет попали «Сургутнефтегаз» и 189 судов теневого флота;



Борьба с «теневым флотом»

Источник: shutterstock.com



Добыча сверхвязкой нефти, «Татнефть»
Автор: Михаил Дышлок, ЭП

- 18-й пакет снизил предельный уровень стоимости российской нефти, при котором допускаются перевозки в третьи страны, с \$60 до \$47,6 за баррель;
- 19-й пакет запретил любые операции с «Роснефтью» и «Газпром нефтью».

Под санкции попали также крупные покупатели российской нефти: два китайских НПЗ и три нефтетрейдера в Китае, Гонконге

и ОАЭ. Санкции введены против еще 117 судов теневого флота. Пакет был принят практически одновременно с объявлением Управления по контролю за иностранными активами (OFAC) Минфина США о санкциях против «Роснефти» и «ЛУКОЙЛа».

Отдельным решением ЕС 18 декабря ввел санкции против еще 41 танкера российского теневого флота, увеличив число подсанкционных судов до 605, а Великобритании — против компаний «Татнефть», «Русснефть», «ННК», «Руснефтегаз». Ограничения подразумевают блокировку активов компаний и определяют срок завершения всех сделок с ними до конца января 2026 года.

С 21 января 2026 года ЕС установил запрет на импорт в страны еврозоны нефтепродуктов, полученных из российской нефти. В санкционный список были включены еще 105 судов теневого флота и индийский НПЗ Naya Energy, основным акционером которого является «Роснефть» [11].

Такая политика антироссийских санкций проводится вопреки растущим потребностям в энергоресурсах указанных стран и остального мира [12].

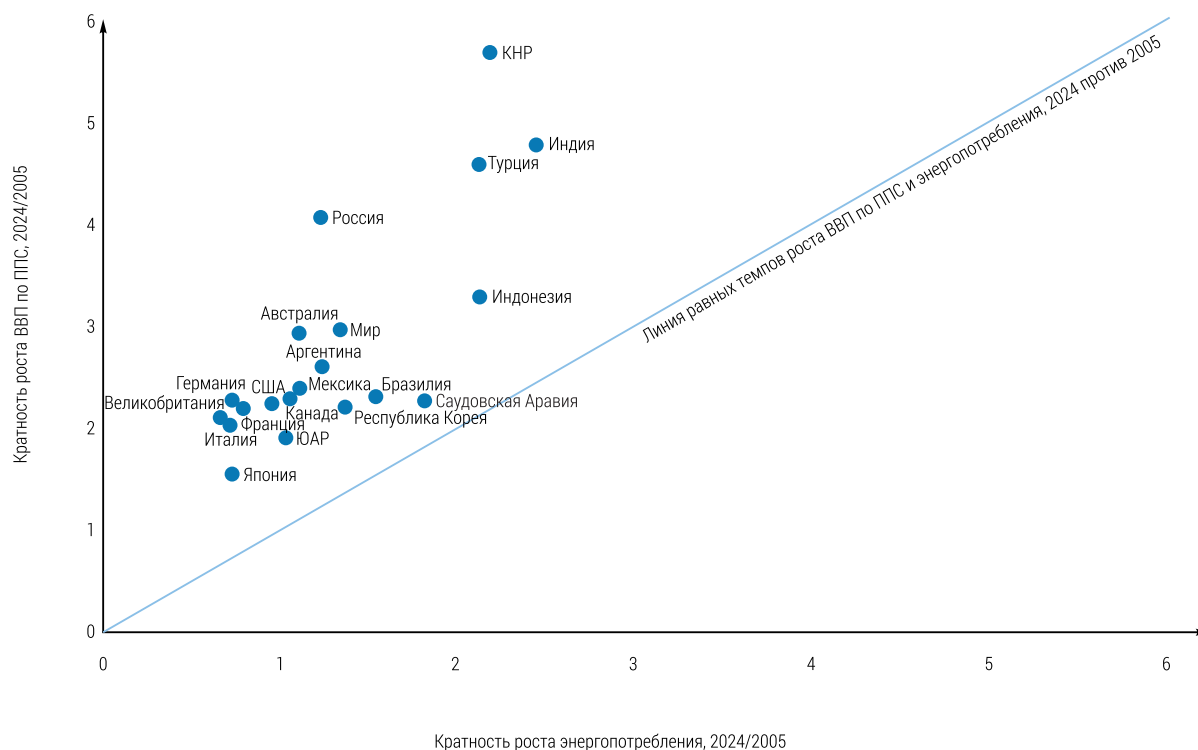


Рис. 7. Зависимость темпов роста ВВП по ППС и темпов изменения энергопотребления в мире и странах G20 за последние 20 лет (2024 против 2005)



Нефтяной терминал, порт Приморск, Ленинградская область

Источник: Михаил Дышлюк, ЭП

Рост глобальной экономики связан с ростом потребления энергии

Анализ экономического роста и изменения потребления энергии странами G20 дает возможность определять тренды развития глобальной экономики и энергетики, так как на долю этих стран приходится почти 73 % мировой экономики [4] и более 77 % мировой энергетики [12, 23].

На рисунке 7 показана зависимость темпов роста ВВП по ППС от темпов изменения энергопотребления (кратность) стран мира и G20 за последние 20 лет (в сравнении 2024 года с 2005-м) [4, 12].

Как в мире в целом, так и во всех странах G20 темпы экономического роста

опережали темпы роста потребления энергии, что на диаграмме отмечено «линией равных темпов роста ВВП по ППС и энергопотребления, 2024 против 2005». Мир в целом и все страны перешли к «энергоэффективному» сценарию развития экономики.

Если условно разделить диаграмму на четыре части, как это показано на рисунке 6, можно сделать некоторые выводы [14]:

- если потребление энергии растет, а ВВП падает, то это кризисная фаза развития — в данной зоне нет стран G20;
- если потребление энергии и экономика страны растут, то это индустриальная фаза развития — в данной зоне находятся мировая экономика и 13 наиболее быстрорастущих экономик

ТЭЦ Kusile, ЮАР

Источник: ilmsolutions.co.za





Платформа ExxonMobil в Австралии
Источник: drillingcontractor.org

ровой экономики и 23,6 % глобального потребления энергии, но это государства с самыми низкими темпами экономического роста в G20;

- если и экономика, и потребление энергии снижаются, то это фаза вымирания — в данной зоне нет стран G20.

Большинство стран G20 с наиболее быстрорастущими экономиками находятся в индустриальной фазе развития, основой которой является реальное производство материальных ценностей, в связи с чем можно сделать вывод о том, что в настоящее время устойчивое развитие связано с постоянным ростом потребления ресурсов, прежде всего энергетических [14].

стран G20, на долю которых приходится 45,6 % мировой экономики и 53,5 % глобального потребления энергии;

- если экономика страны растет, но потребление энергии снижается, то это постиндустриальная фаза развития — в данной зоне находятся шесть стран G20 (США, Франция, Германия, Великобритания, Италия и Япония), на долю которых приходится ~27,2 % ми-

Структура глобального потребления энергии

Для более детального и точного анализа особенностей экономического роста в странах G20 важно проанализировать динамику структуры потребления энергии из различных источников за прошедшие 40 лет — с 1985 по 2024 год [12], — показанную на рисунке 8.

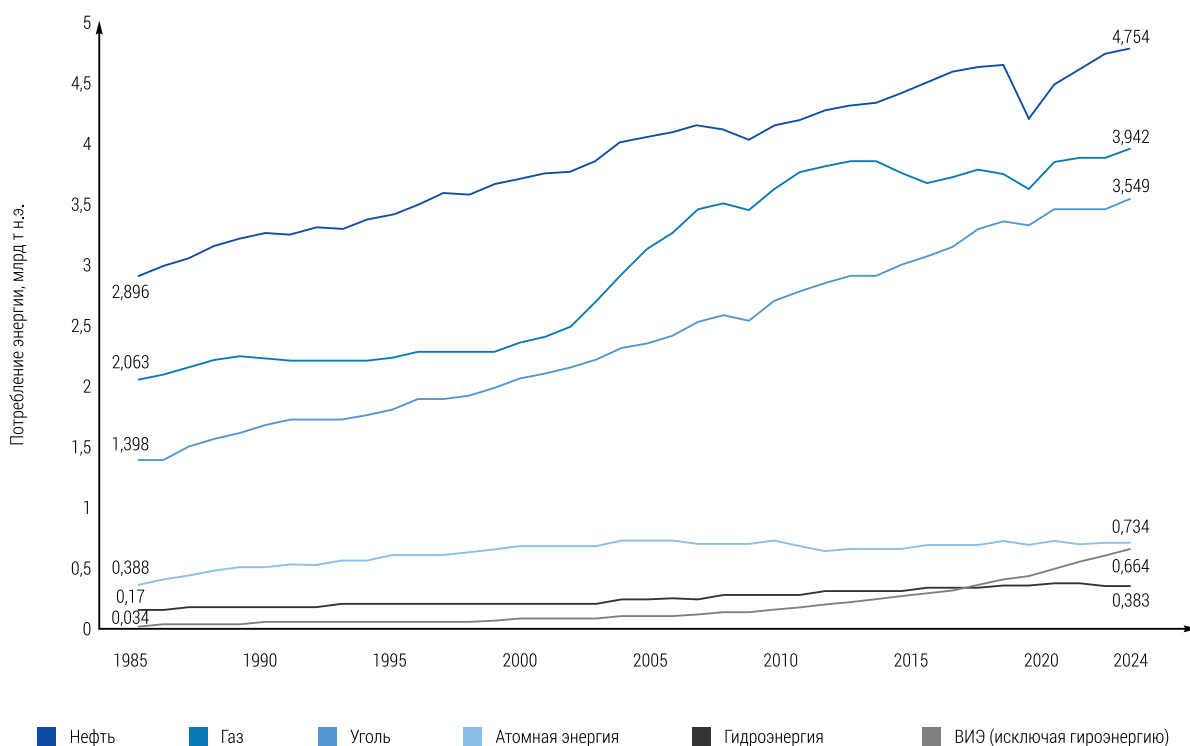


Рис. 8. Динамика структуры потребления энергии из различных источников (млрд т н.э.) в мире за последние 40 лет (с 1985 по 2024 год)

Доля потребления углеводородов медленно, но снижается: за последние 40 лет на 2,6 % – с 61,8 % в 1985 году до 59,2% в 2024-м. Это связано с постоянным снижением доли потребления нефти в электроэнергетике

За анализируемый период потребление всех видов топлива и энергии постоянно увеличивается. Потребление нефти выросло в 1,64 раза; угля – в ~1,91 раза; природного газа – в 2,54 раза; гидроэнергетики – в 2,25 раза; атомной энергетики – в ~1,89 раза; ВИЭ (исключая гидроэнергетику) – в 19,5 раза [12]. Обращает на себя внимание тот факт, что если за рассматриваемый период потребление энергии выросло в 2,03 раза [12], то численность на-

селения Земли увеличилась только 1,8 раза [13], то есть рост энергопотребления опережает рост численности населения в 1,1 раза, что еще раз подтверждает устойчивую тенденцию опережающего роста потребления энергии над ростом численности населения за счет стремительного изменения технологических укладов, прежде всего цифровизации экономики и постоянно растущего уровня «энергетического» комфорта.

Динамика баланса глобального потребления энергии

Анализ качества потребляемой энергии можно сделать на основании динамики баланса энергопотребления за тот же период [12], что показано на рисунке 9.

Анализ динамики структуры баланса энергопотребления позволяет выявить весьма важные тенденции развития мировой энергетики:

- доля потребления углеводородного сырья медленно, но снижается: за последние 40 лет на 2,6 % – с 61,8 % в 1985 году до 59,2% в 2024-м. Это связано с постоянным снижением доли

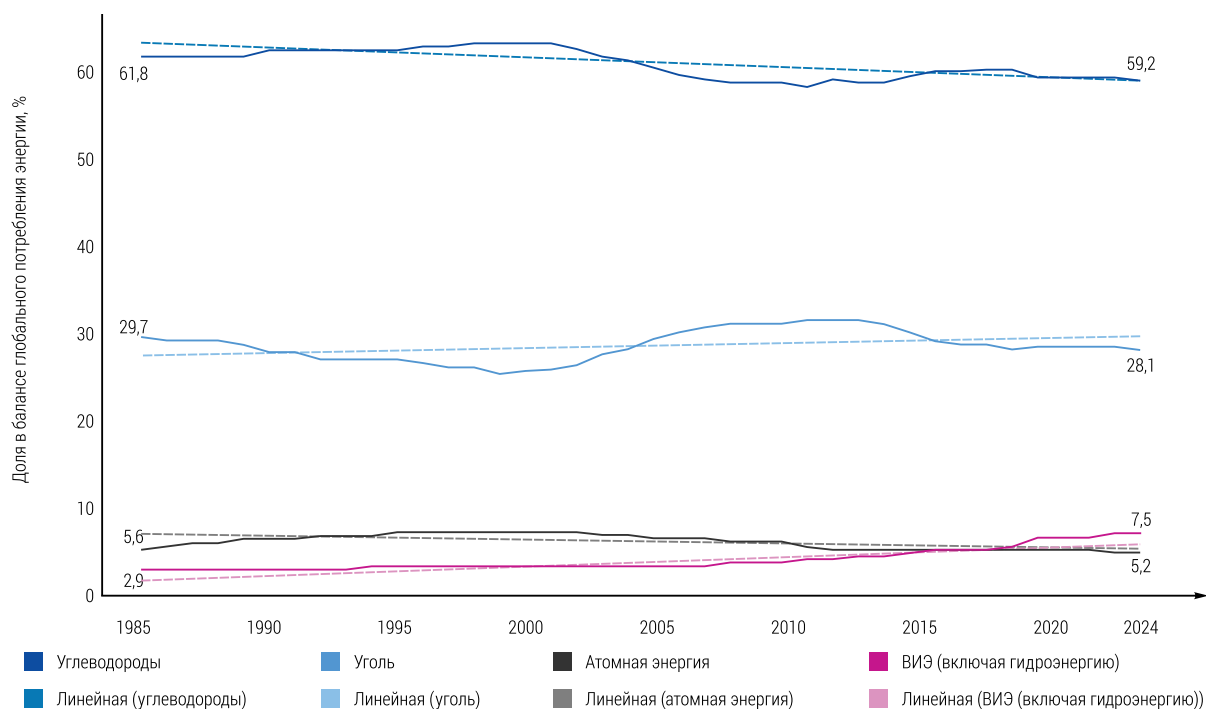


Рис. 9. Динамика баланса глобального энергопотребления (%) за последние 40 лет (с 1985 по 2024 год)

потребления нефти в системах централизованной генерации электроэнергии (в основном нефть используется как сырье для получения горюче-смазочных материалов и продуктов нефтехимии [15]) и постоянным ростом потребления природного газа в силу того, что газ — самый высокоэффективный и экологически чистый вид органического топлива [16]. В течение долгого времени углеводороды являлись (и будут являться) доминирующим видом топлива и энергии в глобальном балансе потребления энергии — в настоящий момент и среднесрочной перспективе их просто нечем заменить;

- доля потребления угля отличалась наибольшей волатильностью — уголь является «компенсирующим» видом органического топлива в силу того, что его можно долгое время хранить в отвалах на поверхности. За прошедшие 40 лет доля потребления угля в абсолютных цифрах снизилась незначительно (с 29,7 % в 1985 году до 28,1 % в 2024-м), но график линейной аппрок-



Добыча угля в Индии
Источник: inukr.net



Продажи бензина, Техас, США

Источник: bangkokbook.ru

симации статистических данных показывает незначительный рост доли потребления;

- доля атомной энергетики незначительно снизилась (с 5,58 % в 1985 году до 5,23 % в 2024-м), и в настоящее время ожидать роста весьма проблематично, так как это связано, прежде всего, с ограниченностью запасов изотопа урана ^{235}U , используемого в качестве ядерного топлива, а также с политическими факторами, такими как отказ правительств некоторых стран от программ атомной энергетики;
- доля энергии, вырабатываемой из возобновляемых источников (гидро-, солнца и ветра), росла наиболее быстрыми темпами среди всех видов используемого топлива и энергии — с 2,94 % в 1985 году до 7,47 % в 2024-м. Это связано с огромным техническим потенциалом и доступностью ВИЭ [17], опережающим уровнем инвестиций в развитие возобновляемой энергетики [18] и постоянно ужесточающимися экологическими требованиями к современной энергетике [19].

Несмотря на научную обоснованность того, что углеводороды являются воз-

обновляемым видом топлива [20], интенсивность их отбора на многие порядки превышает интенсивность возобновления [21], а технические и технологические трудности в настоящий момент делают эксплуатацию глубинных залежей практически невозможной [22]. Это и является одной из основных причин снижения доли как органического топлива, так и углеводородов в балансе глобального энергопотребления.

В сложившихся условиях Россия располагает конкурентными преимуществами и имеет все шансы занять лидирующие позиции в мировой энергетике и торговле энергоресурсами.

Конкурентные преимущества России на современном этапе трансформации глобальной энергетики

Страны-лидеры по запасам органического топлива на конец 2020 года [12] представлены на рисунке 10.

С запасами самого энергетически эффективного и наиболее экологически чистого природного газа в 32,2 млрд т н.э. Россия занимает первое место в мире.

С запасами нефти в 14,8 млрд т Россия находится на шестом месте в мире

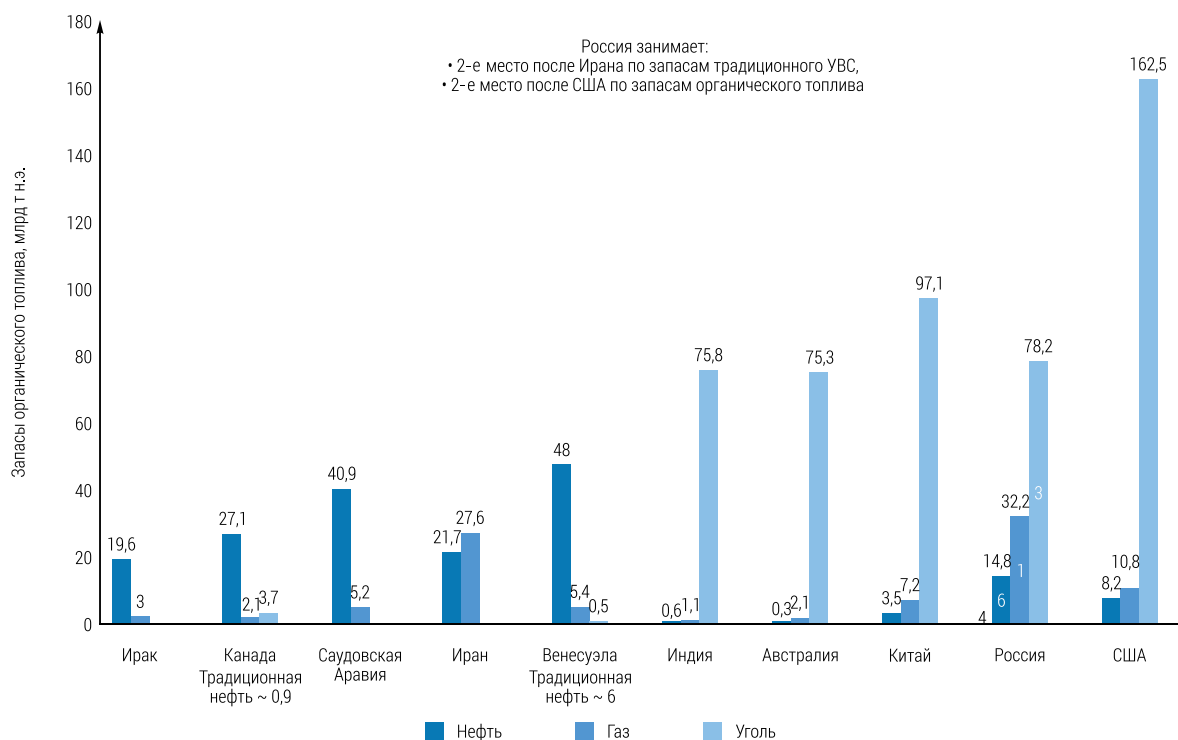


Рис. 10. Страны-лидеры по запасам органического топлива (млрд т н.э.) на конец 2020 года



Добыча нефти на Увате, Россия

Источник: news.myseldon.com

(с учетом того, что в запасах Венесуэлы учтены 42 млрд т нетрадиционной высоковязкой нефти, а в запасах Канады — 26,2 млрд т нефти битуминозных песков, себестоимость добычи которых кратно превышает себестоимость добычи «традиционной» нефти, а экологические последствия ужасны; в настоящий момент производство нефти из этих ресурсов составляет доли процента от общей добычи нефти). Если же рассматривать запасы «традиционной» нефти, добывать и перерабатывать которую мы умеем де-

сятилетиями, РФ занимает четвертое место в мире.

С запасами угля в 78,2 млрд т н.э. Россия занимает третье место в мире.

Таким образом, если говорить о запасах органического топлива, которое в настоящий момент является доминирующим энергетическим и сырьевым ресурсом:

- с запасами органического топлива в 125,2 млрд т н.э. Россия занимает второе место в мире и отстает только от США;



ТЭС Барх, Индия

Источник: eteco.ru

Несмотря на научную обоснованность того, что углеводороды являются возобновляемым видом топлива, интенсивность их отбора на многие порядки превышает интенсивность возобновления

- с запасами «традиционных» углеводородов в 47 млрд т н.э. Россия также занимает второе место в мире и отстает только от Ирана, что делает роль РФ на современном этапе развития мировой экономики и энергетики ключевой.

Заключение

Налицо имеющийся системный кризис глобального финансового регулятора — Федеральной резервной системы США. С момента начала мирового финансового кризиса 2008–2009 годов ФРС США и национальные центральные банки ряда стран продолжают использовать политику количественного смягчения, которая приводит к трудностям в контроле обращающейся денежной массы и возможным нарушениям «монетарного правила». Отдаленными последствиями этих процессов становятся стремительный рост инфляции, девальвация национальных валют, прежде всего доллара США как резервной валюты, и необеспеченность финансовых средств и активов реальным производством товаров и услуг, используемых населением планеты в повседневной жизни, в сфере расширенного воспроизводства и в бытовых целях. Это привело к опережающему росту ВВП по ППС над номинальным ВВП, что наглядно иллюстрирует тенденцию обесценивания мировых финансовых активов (в первую очередь финансовых активов США) по отношению к реальным активам, включая энергоресурсы. Оплата энергоресурсов стремительно дешевеющей валютой

(доллары США), запреты и ограничения использования американской валюты в международных банковских расчетах, заморозка российских финансовых активов, санкционные пакеты и ограничения на торговлю энергоресурсами — это и есть санкционная дискриминация российской энергетической отрасли. Поэтому сравнение номинального ВВП и ВВП по ППС может служить косвенным индикатором своеобразной санкционной дискриминации в отношении стран — экспортеров энергоресурсов (России, Ирана, Венесуэлы и других).

За последние 40 лет, в период с 1985 по 2024 год, потребление энергии выросло более чем в 2 раза, в то время как численность населения Земли увеличилась в 1,8 раза — рост мирового энергопотребления опережал рост численности населения в 1,1 раза, что связано, прежде всего, с кардинальными изменениями технологических укладов, в том числе цифровизацией экономики и постоянным ростом уровня «энергетического» комфорта.

Страны, входящие в группу G7, в значительной мере находятся в фазе постиндустриального развития, а их потребности в энергоресурсах растут менее быстро в сравнении со странами группы BRICS, находящимися в индустриальной фазе развития, основой которой является сфера реального производства, постоянно требующая все большего количества энергии. Поэтому основной поток энергоресурсов сейчас направлен в сторону Китая и стран АТР, а не в сторону западноевропейских стран, находящихся в фазе постиндустриального развития.

С запасами «традиционных» углеводородов в 47 млрд т н.э. Россия занимает второе место в мире и отстает только от Ирана, что делает роль РФ на современном этапе развития мировой энергетики ключевой

Доминирующим видом топлива в глобальной энергетике на современном этапе являются углеводороды, на долю которых в настоящее время приходится более 59 % глобального потребления энергии. Доля органического топлива сейчас является абсолютной — 88 % мирового потребления энергии. Основные причины невозможности уйти от углеводородов и органики и перейти на иные источники энергии — постоянно растущее потребление энергии, существующая колоссальная энергетическая инфраструктура для потребления органического топлива, созданная в мире в течение столетий, а также существенное отставание в поисках новых перспективных и глобальных источников энергии, во многом связанное с отвлечением усилий научно-технического сообщества на иные цели.

Ускоренные темпы развития ВИЭ (в основном солнечной и ветровой энергетики) объясняются, прежде всего, жесткими, зачастую навязываемыми требованиями «зеленой» повестки и существенно большими инвестициями в единицу добываемой энергии, чем в других отраслях энергетики. Однако приобретаемый опыт развития этих источников энергии позволяет определить технический потенциал ВИЭ, а также области их эффективного применения, что, безусловно, станет промышленно востребованным в самое ближайшее время в системах «гибридного» энергообеспечения.

По запасам «традиционных» углеводородов и органического топлива Россия занимает второе место в мире, но структура запасов в РФ наилучшая за счет колоссальных запасов природного газа, который является самым энергетически эффективным и наиболее экологически чистым видом органического топлива. Огромные запасы органического топлива, прежде всего природного газа, развитая инфраструктура его производства для удовлетворения как внутренних потребностей, так и экспорта в течение многих десятилетий, а также колоссальный передовой опыт разработки самых инновационных и технологически продвинутых источников энергии, наработанный учеными и специалистами СССР, дают России существенное время и лидирующие позиции для эффективных разработок альтернативных органическому топливу источников энергии для удовле-

Основные причины невозможности уйти от углеводородов – постоянно растущее потребление энергии, созданная в течение столетий инфраструктура для нефти, угля и газа и отставание в поисках альтернативных источников

творения глобальных энергетических потребностей в будущем (термоядерная энергетика).

Современная мировая финансовая система, использующая доллары США как резервную валюту, и проводимая США финансовая политика являются своеобразным «финансовым насосом», высасывающим энергоресурсы из стран, обладающих их крупными запасами. Девальвация американской валюты выражается в расхождении таких показателей, как номинальный ВВП и ВВП по ППС. Ценовой (нарушение принципа эквивалентности цен на энергоресурсы и промышленные товары) и валютный (завышенный, спекулятивный курс доллара в отношении других валют, например рубля) диспаритет способствует росту американской экономики и подавлению развития экономик политически «неудобных» США государств.

Проявлением начала очередного глобального кризиса (политического, финансового, энергетического) стало начало военных действий США в отношении Венесуэлы и Ирана, попытки военного захвата власти и контроля над этими странами и их энергоресурсами.

Система экономических санкций, вводимых США и западноевропейскими странами против энергетической отрасли России, существенно затрудняет дальнейшее развитие российской энергетики. Однако поиски новых путей развития, разработка новых технологий и освоение новых рынков энергоресурсов делают российскую энергетическую отрасль более конкурентоспособной и независимой.

1. Шапшина А. Что такое ВВП и как он рассчитывается // Справочная. Медиа Точка Банк. URL: https://allo.tochka.com/vvp?utm_campaign=y_vvp.
2. Катунина А. Паритет покупательной способности: что это такое и зачем он нужен // Финансы Mail. URL: <https://finance.mail.ru/card/paritet-pokupatelnoj-sposobnosti-948/#card-69135>.
3. World Bank. GDP (Current US\$). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDPMK.TP.CD>.
4. World Bank. GDP PPP (Current International US\$). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.CD>.
5. МВФ назвал главные последствия кризиса 2008 года // РБК. 04.10.2018. URL: <https://www.rbc.ru/economics/04/10/2018/5bb60bd19a79478490218be1>.
6. Солобуто Н. Что такое количественное смягчение (QE) и как оно влияет на финансовые рынки? // Финам. Финансовый журнал. URL: <https://www.finam.ru/publications/item/chto-takoe-kolichestvennoe-smyagchenie-qe-i-kak-ono-vliyaet-na-finansovye-rynki-20230324-184500/>.
7. Потапов В., Воробьев А. Количественное смягчение и его последствия для финансовых рынков // Ведомости. 04.07.2011. URL: https://www.vedomosti.ru/finance/articles/2011/07/04/kolichestvennoe-smyagchenie_i_ego_posledstviya_dlya_finansovykh_rynkov?from=copy_text.
8. Количественное смягчение и инфляция: баланс акта денежно-кредитной политики // Faster Capital. URL: <https://fastercapital.com/ru/content/Количественное-смягчение-и-инфляция-баланс-акта-денежно-кредитной-политики.html>.
9. Все, что вам нужно знать о количественном смягчении (QE) ФРС // Smart-Lab. URL: <https://smart-lab.ru/blog/1228988.php>.
10. Матросова Л. Н. Огромные потери России от уничтожения СССР за 33 года превысили потери от Великой Отечественной войны // Яндекс.Дзен. URL: https://dzen.ru/a/ZJnLV-TyKl_n02k1.
11. Будрис А. Непотопляемая нефть: как Запад ограничивал отрасль и что из этого вышло // Forbes. 05.01.2026. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/552877-nepotoplaemaa-neft-kak-zapad-ogranicival-otrasl-i-cto-iz-etogo-vyslo?ysclid=mmrqobjp9t964419623>.
12. Energy Institute. Statistical Review of World Energy, 2025. URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review>.
13. Население Земли. URL: https://countrymeters.info/ru/World#historical_population.
14. Мингалева Р. Д., Бессель В. В. Устойчивое развитие крупнейших экономик мира требует все больше энергии // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2022. № 3(207). С. 57–63.
15. Телегина Е. А., Бессель В. В. Рано хоронить нефть // Энергетическая политика. 2024. № 6(197). С. 32–41.
16. Мартынов В. Г., Бессель В. В., Кучеров В. Г. и др. Природный газ – основа устойчивого развития мировой энергетики: Монография. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2021. 173 с.
17. Исроилов Б. И., Сутаев М. М., Мингалева Р. Д. и др. Оценка потенциала ветровой и солнечной энергии России и КНР // Труды РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина. 2022. № 3(308). С. 123–138.
18. Бессель В. В., Мартынов В. Г., Лопатин А. С., Мингалева Р. Д. Прогнозирование глобального энергопотребления на среднесрочную и долгосрочную перспективы // Нефтяное хозяйство. 2022. № 8. С. 30–34.
19. Бессель В. В., Лопатин А. С., Мартынов В. Г. Экологичность энергетики и структура энергопотребления мировой экономики // Труды РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина. 2023. № 3(312). С. 7–18.
20. Мартынов В. Г., Бессель В. В., Кучеров В. Г., Лопатин А. С. Неорганический синтез нефти как фактор устойчивого развития глобальной энергетики // Энергетическая политика. 2022. № 1(167). С. 20–29.
21. Кучеров В. Г., Бессель В. В. Оценка глобальных геологических ресурсов и запасов нефти: миф и реальность // Нефтяное хозяйство. 2021. № 10. С. 14–18.
22. Кучеров В. Г., Бессель В. В. Вызовы и риски глубокого и сверхглубокого бурения // Бурение и нефть. 2020. № 3. С. 12–17.
23. Энергоэкономика: тренды, вызовы и реальность: Монография. Том 1 / под общей редакцией члена-корреспондента РАН, д. э. н., профессора Е. А. Телегиной. М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2026. 308 с.

Проблемы и направления развития систем теплоснабжения в России

Problems and Trends of Heat Supply Systems in Russia

Денис ТРАВИН

Исполнительный директор АО
«Всероссийский дважды ордена Трудового
Красного Знамени Теплотехнический научно-
исследовательский институт»,
к. ю. н.
E-mail: DGTravin@vti.ru

Denis TRAVIN

Executive Director of All-Russian Thermal
Engineering Institute (VTI),
Candidate of Legal Sciences
E-mail: DGTravin@vti.ru

Артём ГОЛОБОКОВ

Директор по инновациям энергетических
технологий АО «Всероссийский дважды
ордена Трудового Красного Знамени
Теплотехнический научно-исследовательский
институт»
E-mail: AVGolobokov@vti.ru

Artem GOLOBOKOV

Director for Innovation in Energy Technologies,
All-Russian Thermal Engineering Institute (VTI)
E-mail: AVGolobokov@vti.ru



ТЭЦ-27, Москва

Источник: Яндекс Карты

Аннотация. Статья посвящена анализу состояния и ключевых проблем развития систем теплоснабжения в Российской Федерации. Рассматриваются износ инфраструктуры, рост аварийности тепловых сетей, недостатки тарифного и правового регулирования схем теплоснабжения. На основе системного и сравнительного анализа выявлены противоречия между технологическим состоянием отрасли и действующей моделью регулирования. Обоснована необходимость повышения уровня регулирования, перехода к комплексному управлению развитием и предложены направления совершенствования планирования и финансирования модернизации.

Ключевые слова: развитие системы, теплоснабжение, тепловые сети, схемы теплоснабжения, инвестиции, тарифное регулирование, модернизация инфраструктуры

Abstract. The article analyzes the current state and key challenges of heat supply systems in the Russian Federation. It addresses to deterioration of infrastructure, increasing network failures, shortcomings of tariff regulation and legal regulation of heat supply schemes. Based on system and comparative analysis, structural inconsistencies between technical conditions and the regulatory model are identified. The study substantiates the need for increasing of regulatory level, an integrated development approach and proposes directions for improving planning and financing of modernization.

Keywords: system development; heat supply, heat networks, reliability, heat supply schemes, failure rates, investment, tariff regulation, infrastructure modernization

Введение

В современных условиях развитие систем теплоснабжения в Российской Федерации приобретает стратегическое значение, обусловленное необходимостью обеспечения надежного, экономически эффективного и социально доступного теплоснабжения. Существенная часть инфраструктуры отрасли была сформирована во второй половине XX века и в настоящее время характеризуется высоким уровнем физического износа, что вызывает потребность в масштабной модернизации тепловых сетей и генерирующих мощностей.

При этом ключевой инструмент планирования развития отрасли — схемы теплоснабжения — в существующем виде не в полной мере выполняет возложенные на него функции. Практика разработки схем свидетельствует о наличии методологических и организационных ограничений, приводящих к формированию декоративных и имитационных документов, недоста-



Ново-Рязанская ТЭЦ, Рязань
Источник: m.rzn.info

точно ориентированных на принятие обоснованных инвестиционных решений и управление развитием инфраструктуры.

Насущная потребность и задачи модернизации изношенной инфраструктуры теплоснабжения

Реализация задач по развитию и модернизации инфраструктуры невозможна без активного внедрения внебюджетных инвестиционных механизмов, включая государственно-частное партнерство, рыночные и квазирыночные инструменты финансирования, эффективность которых в значительной степени зависит от качества методического сопровождения и достоверности исходных планировочных решений. В этих условиях возрастает важность формирования целостной методологической базы, обеспечивающей интеграцию технологических, экономических и институциональных аспектов развития систем теплоснабжения.

Реализация задач модернизации инфраструктуры невозможна без внедрения внебюджетных инвестиционных механизмов, включая государственно-частное партнерство, рыночные и квазирыночные инструменты

Особую актуальность приобретает задача достижения баланса между экономической эффективностью функционирования отрасли, требованиями экологической устойчивости и социальной доступностью услуг теплоснабжения. Отсутствие такого баланса приводит к усилению системных диспропорций, снижению инвестиционной привлекательности отрасли и ухудшению качества предоставляемых услуг.



ТЭЦ-27, Москва

Источник: Яндекс Карты



Рабочие ТЭС

Источник: firpo.info

Разработка и внедрение современных подходов к планированию и управлению развитием систем теплоснабжения представляет собой важную научно-практическую задачу, решение которой направлено на повышение надежности теплоснабжения, обеспечение энергетической безопасности и создание условий для устойчивого социально-экономического развития.

Негативные процессы в отрасли

Большинство систем теплоснабжения в России были построены во второй половине XX века и сегодня имеют критический уровень износа, который, по оценкам экспертов, находится в диапазоне от 60 до 80 %, а по некоторым территориальным образованиям и выше. По оптимистичным данным РЭА Минэнерго России, протяженность тепловых сетей, нуждающихся в замене в соответствии со сроками эксплуатации, указанными в проектной документации, составила 51,39 тыс. км, что достигает 30,6 % всех тепловых сетей. При этом протяженность «ветхих» сетей (имеющих износ по данным технической инвентаризации бо-

лее 60 %) — 39,01 тыс. км. Основными причинами высокого износа являются недостаточные объемы перекладки тепловых сетей. Так, их замена в 2023 году составила в целом по России всего 3,25 тыс. км, в том числе ветхих — 2,55 тыс. км (менее 7 % требуемых объемов) [1]. Существенная разница экспертных оценок обусловлена отсутствием четкого и однозначного определения достижения уровня износа, считающегося критическим (за исключением требований бухгалтерского учета, которые констатируют факт того, что актив потерял свою ценность).

Существуют и повсеместно фиксируются отрицательные последствия, связанные со старением оборудования и сетей, эксплуатируемых в системах теплоснабжения, которые приводят к потерям тепловой энергии при транспортировке (до уровня 20–30 % от объема, производимого на теплоисточниках), что полностью обесценивает эффект от применения современных технологий на объектах тепловой генерации и от комбинированного производства тепловой энергии¹, так как даже при достижении удельных расходов топлива на производство на уровне современных требований (155 кг/Гкал), с учетом потерь на границе с теплопотребляющей установкой (ТПУ), нетто-расход стремится к величине 200 кг/Гкал, что определяет неконкурентоспособность таких поставок даже по отно-

В крупнейших российских городах фиксируются значения интенсивности отказов тепловых сетей, соответствующие группе 4, то есть превышающие уровень 1,2 повреждения на 1 км в год

¹ В соответствии со статьей 3 Федерального закона № 190-ФЗ «О теплоснабжении» среди базовых принципов регулирования отношений в сфере теплоснабжения закреплён приоритет использования комбинированной выработки электрической и тепловой энергии. Данный подход рассматривается как ключевой элемент государственной политики, направленной на развитие систем централизованного теплоснабжения. Аналогичный приоритет установлен и в Федеральном законе № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», где комбинированное производство энергии признаётся одним из приоритетных направлений развития энергетики.



Южно-Сахалинская ТЭЦ-1

Источник: sakhalinenergo.ru

шению к бытовым котлам не прошлого поколения.

Согласно подпункту «ж» пункта 11 Методических указаний по анализу показателей надежности систем теплоснабжения, утвержденных приказом Минрегиона России от 26.07.2013 № 310 [2], показатель интенсивности отказов в системах теплоснабжения распределяется на четыре укрупненные группы. Группа 4 характеризуется уровнем отказов свыше 1,2 повреждения на 1 км в год и соответствует состоянию фактически ненадежных, изношенных тепловых сетей. Такой уровень аварийности свидетельствует о критическом состоянии инфраструктуры. На практике это, как правило, означает отсутствие надлежащей подготовки к отопительному сезону либо ее формальный характер. В частности, не выполняются гидравлические испытания тепловых сетей (ключевое мероприятие подготовки), либо они проводятся без фактического выявления и устранения дефектов.

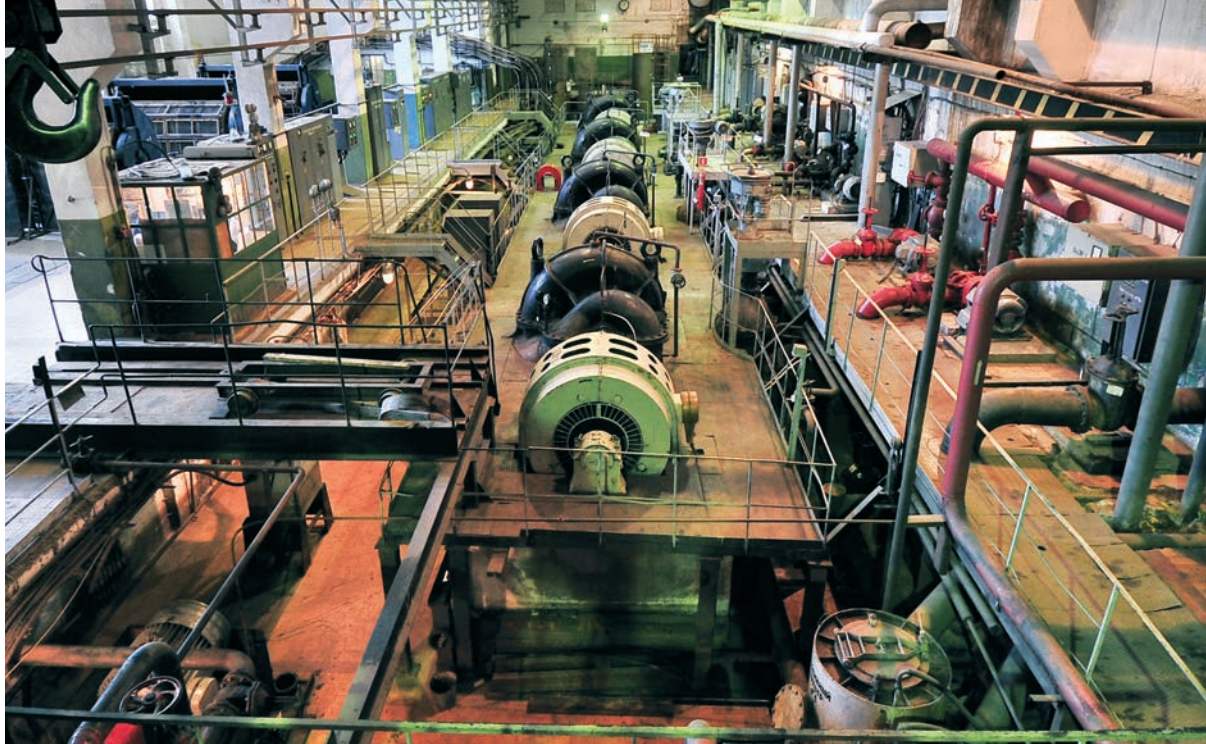
В крупнейших российских городах фиксируются значения интенсивности отказов тепловых сетей, соответствующие группе 4, то есть превышающие уровень 1,2 повреждения на 1 км в год. В частности, в Твери данный показатель достигал 2,101 повреждения на 1 км в 2023 году и 1,964 в 2024-м, что свидетельствует об устойчиво критическом состоянии сетевой инфра-

структуры. В Омске интенсивность отказов доходила до 1,31 повреждения на 1 км, в связи с чем город в отдельные периоды также находился в пределах группы 4. Аналогичная ситуация отмечалась в Новосибирске, где показатель достигал 1,587 повреждения на 1 км, а также в Рязани с уровнем до 1,446. В Самаре фиксировались значения порядка 1,272 повреждения на 1 км, в Липецке — до 1,625, что также соответствует критической группе аварийности.



ТЭЦ в Твери

Источник: Яндекс Карты



Оборудование Дубровской ТЭЦ

Источник: dubrovtec.ru

Отдельную категорию формируют города, приближающиеся к группе 4, где интенсивность отказов находится в диапазоне от 0,9 до 1,2 повреждения на 1 км, при этом наблюдается негативная динамика. Данная группа представляет наибольший риск с точки зрения перехода в зону критической аварийности. К таким городам относятся Кемерово, где показатель достигал около 1,103, Барнаул с ростом до 0,959, Санкт-Петербург с уровнем около 0,9 при ранее зафиксированном резком увеличении аварийности, а также Волгоград, где наблюдается рост до 0,77. В Ростове-на-Дону отмечается устойчивая негативная динамика показателя, что также свидетельствует о повышенных рисках ухудшения состояния тепловых сетей [1].

Низкое качество предоставляемых коммунальных услуг становится одним из ключевых аргументов в дискуссии о недостаточной эффективности централизованного теплоснабжения, основанного на крупных теплоисточниках

На этом фоне в последние годы все более широкое распространение получает процесс так называемой «малой котельнизации», который рассматривается как альтернативная модель организации теплоснабжения. Именно тяжелое состояние теп-

Отдельную категорию формируют города, приближающиеся к группе 4, где интенсивность отказов находится в диапазоне от 0,9 до 1,2 повреждения на 1 км, при этом наблюдается негативная динамика

ловых сетей и частые аварии² провоцируют процессы «малой котельнизации» (автономное теплоснабжение, установка котельных малой и средней производительности в не крупных тепловых узлах, которую в настоящее время подводят под понятие «распределенная генерация»). Формально данный процесс позиционируется как развитие распределенной генерации, однако его экономическая и технологическая природа в большинстве случаев носит компенсаторный характер и обусловлена деградацией сетевой инфраструктуры. В отсутствие систем-

² Зимой 2023/2024 в России произошло около 9 тыс. аварий на объектах ЖКХ, из которых почти 4 тыс. — в сфере теплоснабжения.

ной модернизации сетевой инфраструктуры данный процесс будет усиливаться, приводя к фрагментации системы теплоснабжения, снижению загрузки крупных источников тепловой энергии и дальнейшему ухудшению их экономических показателей.

Эти процессы приводят к существенному снижению эффективности и надежности работы действующих крупных источников тепловой энергии.

Действующие крупные источники тепловой энергии вынуждены работать на границе минимальной производительности основного оборудования и, как следствие, на грани режимов, которые могут привести к повреждению и внеплановым дорогостоящим ремонтам.

Высокий уровень эксплуатационных затрат, в структуре которых доминируют расходы на энергоресурсы и текущие ремонты, приводит к снижению доли инвестиционной составляющей в тарифах на тепловую энергию. В результате у ресурсоснабжающих организаций формируются ограниченные возможности для финансирования модернизации инфраструктуры.

В зарубежной практике инвестиционная составляющая в тарифах на тепловую энергию, как правило, не выделяется в явном виде, однако фактически учитывается через капитальные затраты, амортизацию и возврат на инвестированный капитал в структуре регулируемой выручки. По данным международных отраслевых исследований (International Energy Agency и Euroheat&Power), развитие систем централизованного теплоснабжения в европейских странах основывается на устойчивой инвестиционной модели, предполагающей значительную долю капитальных вложений в общей структуре затрат. Так, доля капитальных расходов в системах теплоснабжения европейских стран, по оценкам, составляет порядка 20–40 % от совокупных затрат, что обеспечивает регулярную модернизацию инфраструктуры и поддержание высокого уровня надежности. В российской практике аналогичные показатели существенно ниже, что ограничивает возможности обновления тепловых сетей и приводит к накоплению износа. Данное различие отражает системные особенности моделей тарифного регулирования и инвестиционного планирования, а также подтверждает необходимость совершен-



ТЭЦ-26, Москва



Теплотрасса в Тюмени
Источник: 72stroi.ru



Автор: Михаил Дышлюк, ЭП

ствования подходов к формированию источников финансирования модернизации отрасли [3, 4].

Социально-политическое давление на отрасль

Тарифная политика практически повсеместно практикует управление расходами ресурсоснабжающих организаций.

В управлении расходами ресурсоснабжающих организаций вся экономия (в том числе в результате эффективной инвестиционной политики) изымается в каждом периоде регулирования за счет использования тарифной формулы, предписывающей устанавливать объем потребленных ресурсов в качестве среднего значения за предшествующие периоды. Указанное обстоятельство порождает два весьма опасных прецедента:

- первый (регуляторный) связан с тем, что чем эффективнее работает та или иная теплоснабжающая организация в своей зоне ответственности, тем меньший объем расходов будет учитываться при регулиро-

вании и определении ее НВВ (необходимой валовой выручки) и тем больше шансов «подарить» накопленный эффект менее эффективному собственнику, работающему в том же «тарифном котле»;

- второй (ситуационный): чем больше факторов, негативно повлиявших на величину выручки в периоде (теплая погода, недопоставки из-за аварий и инцидентов и просто снижение объемов из-за некачественной поставки), тем меньший объем потребностей будет учтен в НВВ теплоснабжающей организации.

Политические составляющие определяют достаточно мягкое и терпимое отношение к недобросовестным плательщикам, что в конечном счете приводит к значительным экономическим потерям, поскольку средства до ресурсоснабжающих организаций доходят с серьезным опозданием и создаваемый кассовый разрыв покрывается в первую очередь за счет снижения инвестиционных планов ресурсоснабжающих организаций. Это опре-

В последние годы все более широкое распространение получает процесс так называемой «малой котельнизации», который рассматривается как альтернативная модель организации теплоснабжения

деляет преобладание «бюджета издержек» над «бюджетом инвестиций».

Таким образом, старение оборудования и сетей, а также социальные и политические требования являются ключевыми факторами, которые обуславливают давление на отрасль и формируют низкую эффективность централизованного теплоснабжения. При всех очевидных преимуществах организации теплоснабжения централизованным способом запускаются процессы децентрализации, что в конечном счете оказывает отрицательное влия-

ние на развитие жизненно важной инфраструктуры. Таким образом, для решения большей части существующих проблем с качеством теплоснабжения требуется масштабная модернизация системы централизованного теплоснабжения городских и сельских поселений, городских округов с централизованными источниками тепловой энергии, которая невозможна без значительных инвестиций в реальный сектор (основное генерирующее оборудование и сетевую инфраструктуру).

Факторами, препятствующими полномасштабным инвестиционным процессам, являются:

- дефицит бюджетного финансирования;
- отсутствие потенциала в виде «механизмов доверия», которыми являются гарантии, предоставляемые при привлечении инвестиций (потенциальные инвесторы хорошо понимают существующие риски и отсутствие гарантий возврата средств, инвестированных на долгосрочные периоды, а именно такие периоды нужны для окупаемости энергетических проектов);
- недостаточная мотивация регулируемых организаций к повышению эффективности;
- критическая зависимость от внешних факторов (теплая погода, платежеспособность потребителей), которые заставляют либо создавать резервы при положительных результатах, либо жить в долг, каждый раз покрывая кассовые разрывы вместо интенсификации инвестиционной деятельности.

Необходимо доработать методические и методологические основы развития систем теплоснабжения в России в двух направлениях.

Направление 1. Изменение принципов и подходов к формированию документов территориального планирования и развития городской инфраструктуры

Обязательным документом территориального планирования, определяющим стратегию развития системы централизованного теплоснабжения, являются схемы

Высокий уровень эксплуатационных затрат, в структуре которых доминируют расходы на энергоресурсы и текущие ремонты, приводит к снижению доли инвестиционной составляющей в тарифах на тепловую энергию

теплоснабжения городских и сельских поселений, городских округов с централизованными источниками тепловой энергии, которые регулируются методическими и методологическими принципами и правилами, утвержденными постановлением Правительства РФ от 22.02.2012 № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, по-

ТЭС Мосэнерго в центре Москвы



**Доля капитальных расходов
в системах теплоснабжения в ЕС
составляет порядка 20–40 %
от совокупных затрат, что
обеспечивает регулярную
модернизацию инфраструктуры
и поддержание высокого уровня
надежности**

рядку их разработки и утверждения» [5], и требованиями методических указаний по разработке схем теплоснабжения, утвержденным приказом Минэнерго РФ от 05.03.2019 № 212 [6]. Несмотря на то, что указанные нормативные акты разрабаты-

Источник: drserg, depositphotos.com



вались с учетом всех необходимых требований и норм технического регулирования, они имеют ряд недостатков, в том числе:

1. Схема теплоснабжения часто носит формальный характер и представляет собой документ, не требующий четкого и обязательного исполнения со стороны основных субъектов рынка теплоснабжения: органов местного самоуправления, органов власти субъектов РФ, осуществляющих государственные полномочия по техническому, экономическому регулированию и надзору за деятельностью в сфере теплоснабжения, а также теплоснабжающих организаций и, конечно, самого важного из звеньев «цепочки» — потребителей.
2. Нормативный срок разработки (актуализации) схемы теплоснабжения составляет 1–2 месяца, что недостаточно для формирования объемного и серьезного документа, включая утверждаемую часть и обосновывающие материалы, и не приводит к генерации продуманных комплексных решений на базе серьезной аналитики. Как правило, схема представляет собой простую компиляцию балансов и инвестиционных программ «разношерстных» организаций, предложения которых «на свод» зачастую носят противоречивый характер, обусловленный локальными интересами.
3. Изначально завышенные расчетные данные по договорным нагрузкам и количеству потребителей, продиктованные мнимыми представлениями о надежности «про запас» и надеждами на дополнительное бюджетное финансирование, определяют работу с завышенным базовым показателем требуемой тепловой мощности. В результате прогнозные показатели балансов мощности и потребления, закладываемые в схемы теплоснабжения по принципу «проси лошадь — дадут осла», практически в 100 % случаев необоснованно завышены и не учитывают тренды повышения энергетической эффективности. Все это в совокупности приводит к поддержанию гигантских в масштабах страны избыточных мощностей, на которые «размываются» достаточно скромные инвестиционные возможности, к тому же ограничиваемые тарифными решениями. Наш тезис подтверждается в выступлении аудитора

Счетной палаты Н. А. Труновой на круглом столе в Комитете Совета Федерации РФ по экономической политике в июне 2024 года. На основании выводов Счетной палаты мастер-планы для городов Дальневосточного федерального округа содержат излишне оптимистичные оценки численности населения, объем проектных избыточных мощностей составляет порядка 20–30 %. Отмечено, что «в результате мы получаем инфраструктуру, которую потом кто-то должен содержать... Износ будет вечным. Потому что все начинается с планирования» [8].

4. С учетом того, что все мероприятия, закладываемые в схему, должны быть обеспечены источниками финансирования, которыми являются, за редким исключением, тарифы, инвестиционные потребности финансируются от возможностей, а не от целей развития. При невыполнении плановых показателей по выручке инвестиционные мероприятия так и остаются неисполненными, что сводит схему теплоснабжения до уровня формального и ни к чему не обязывающего документа.
5. Порядок утверждения разработанных (актуализированных) схем, предусматривающий механизм контроля вносимых изменений и учета замечаний, хоть как-то реализован только для городов и

поселений с численностью населения более 500 тыс. человек, а для всех других поселений и городских округов действенные механизмы контроля вообще отсутствуют (схема либо разрабатывается и утверждается местными органами власти по формальному принципу, либо не утверждается вовсе). Во всех случаях отсутствует система квалифицированной профессиональной экспертизы до утверждения схемы. Падение качества разрабатываемых документов становится особенно очевидным при анализе схем теплоснабжения городов с относительно малой численностью населения.

Направление 2. Изменение подходов к финансированию модернизации инфраструктуры

Острота проблем в сфере ЖКХ и ограниченные бюджетные ресурсы для решения этих проблем обуславливают необходимость внедрения принципов и механизмов для привлечения частных инвестиций в сферу теплоснабжения, к которым можно отнести:

1. Формирование инвестиционных программ ресурсоснабжающих организаций от целей, а не от возможностей. При недостаточности тарифных источников для достижения целей развития можно

Байкальская ТЭЦ

Источник: newsae.ru





Оборудование Красноярской ТЭЦ

Источник: utz.ru

- использовать механизмы финансового рынка: кредиты, проектное финансирование, лизинг и т.п. Органы местного самоуправления в рамках своих полномочий по утверждению технических заданий и самих инвестиционных программ должны стимулировать к этому ресурсоснабжающие организации.
2. Переход на новую модель рынка тепловой энергии (ценовые зоны), предусматривающего возможность стимулирования инвестиционной деятельности за счет внедрения новых подходов к ценообразованию — без привычного тарифного регулирования, с использованием механизма ценообразования по методу «альтернативной котельной». Это решает часть проблем (однако есть и другие мнения³), но все же требует «докрутки», что было описано выше, связанной с процессом разработки и актуализации самих схем, технической и экономической проработкой решений, принимаемых при переходе в ценовые зоны.
 3. Заключение концессионных соглашений и привлечение частных инвесторов для управления, а также модернизации тепловых сетей и генерирующих объектов на начальном этапе казались достаточно эффективными механизмами. Однако впоследствии их эффективность существенно упала в связи с тем, что при формировании таких соглашений использовались достаточно жесткие рамки в части ценообразования, которые не выдержали давления возросших ставок по кредитным займам. Кроме того, в большей части концессионных соглашений не было гибкости проектных подходов, позволяющих оперативно перераспределять инвестиционные ресурсы между объектами и мероприятиями в процессе реализации проекта. Перечень объектов инвестирования был фиксированным, и его изменение становилось достаточно трудной и во многих случаях неисполнимой задачей, при том что концессионер получал иную инвестиционную картину после двух или трех лет реализации концессионного соглашения.
 4. Переход на оказание услуг по энергосервисным контрактам, который предусматривал финансирование мероприятий по энергосбережению за счет достигнутой экономии, что выглядело эффективным по сути, но не привело к эффективности при фактическом исполнении из-за «изъятия» экономии при регулировании цен (тарифов), высоких ставок кредитного заимствования и длительной окупаемости.
 5. Отход от концепции устойчивого развития, «зеленого» финансирования и в целом ESG-повестки и переход к традиционным технологиям, формирующим более низкую себестоимость основной продукции.

Рекомендации по направлению 1

Для доработки методических и методологических основ развития систем теплоснабжения в РФ необходимо использовать существующие механизмы с учетом «до-

³ Стенников В. А., профессор Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, расценивает тариф «альтернативной котельной» как ухудшенный физический метод разделения затрат на электрическую и тепловую энергию, некое абстрактное понятие виртуального характера. Более того, тариф дополнительно нагружается инвестиционной составляющей, которая абсолютно не обоснована для существующих систем.

крутки», предусматривающей разработку схемы теплоснабжения в формате глубокого и комплексного документа, что обуславливает необходимость разработки и актуализации схемы либо ее экспертизы аттестованными экспертами на основе комплексного длительного изучения:

- на первом этапе — в виде разработки всех материалов, входящих в состав документа;
- на втором этапе прорабатываются предложения и устраняются замечания, выданные квалифицированными экспертами, а также формируются ТЭО на основные решения схемы, учитывающие предложения и рекомендации при проведении экспертизы;
- на третьем этапе проводится оценка и мониторинг решений схемы с формированием планов корректирующих мероприятий.

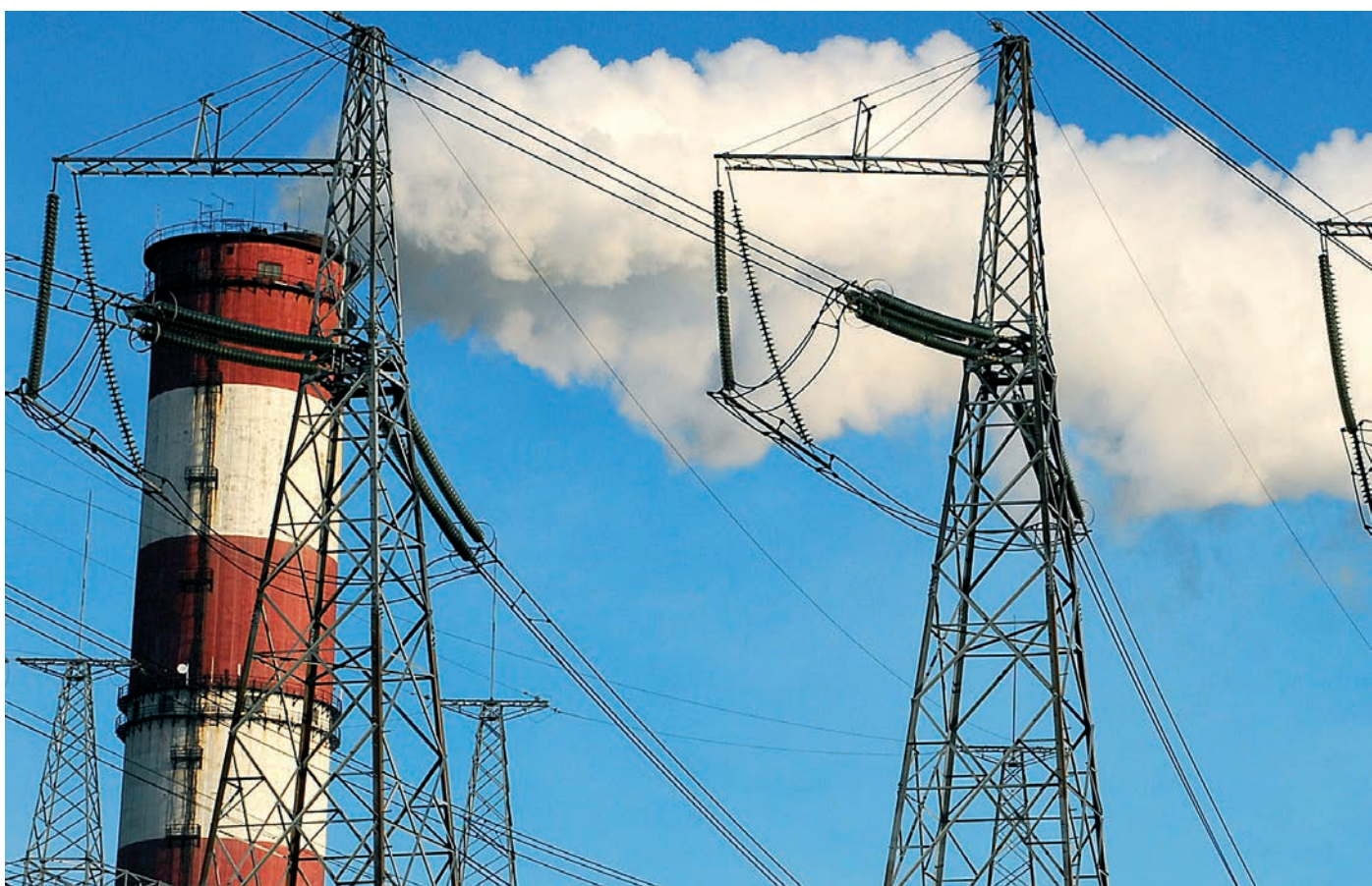
Процесс разработки схемы теплоснабжения в этапах, указанных выше, требует наличия экспертов соответствующей квалификации, что определяет необходимость создания института таких экспертов через механизм их аккредитации при уполномоченном органе, отвечающем за организа-

цию процесса контроля качества схем. Также необходима система финансирования этой деятельности и ее регламентация с ведением единой базы экспертов с едиными методологическими подходами, что, безусловно, потребует разработки и введения «Стандарта оценки качества схем теплоснабжения», определяющего единые принципы и подходы, используемые при такой оценке.

Рекомендации по направлению 2

Все имеющиеся в активе механизмы так или иначе используются для целей привлечения средств в модернизацию систем коммунальной инфраструктуры, но требуют новых методологических подходов и моделей их применения, а также новых требований по оценке эффективности и управлению рисками, с учетом вышеуказанных особенностей, препятствующих их эффективному использованию, учитывающему баланс между экономическими интересами инвесторов, возможностями потребителей и социальной ответственностью государства. При этом формирование та-

ТЭЦ-27, Москва



ких требований должно учитывать следующие факторы:

1. Системные (технологические): технологические решения по организации и развитию систем теплоснабжения сами по себе не отличаются принципиальной новизной и сложностью. Но необходимо через разработку, мониторинг реализации и актуализацию схем теплоснабжения сформировать методологические подходы и типовые модели, обеспечивающие преемственность и одновременно постоянный выбор наиболее эффективных решений для улучшения. Таким образом, должен быть запущен механизм постоянных улучшений, где эффект от ранее проведенных мероприятий будет служить основой для выполнения следующих.
2. Поддерживающие (социальные): задачи социального характера по сдерживанию роста тарифов не должны решаться только за счет и в ущерб другой, не менее острой социальной проблемы обеспечения качественного и надежного теплоснабжения, оказывающей прямое влияние на комфорт и благополучие миллионов граждан. И наоборот, проблема низкого качества предоставляе-

мых коммунальных услуг не должна решаться только за счет тарифной составляющей. Это требует корректировки нормативных подходов к оценке потребности в средствах на модернизацию на основе баланса надежности систем теплоснабжения (физических показателей) и окупаемости (финансовых показателей).

3. Организационные (управленческие): единая и сбалансированная система, увязывающая комплексное планирование, оценку и управление развитием систем теплоснабжения на всех уровнях — от федерального до муниципального — с инвестиционными программами ресурсоснабжающих организаций (РСО), отсутствует. Это обуславливает необходимость «подъема» планирования и управления развитием систем теплоснабжения на уровень субъекта РФ, который мог бы обеспечить использование новых инструментов, применяемых для оценки инвестиционной привлекательности при принятии решений, а также мониторинга и контроля за реализацией инвестиционных программ РСО и соответствием их схемам теплоснабжения, с приоритетом комплексных инвестицион-

Автор: Михаил Дышлюк, ЭП





Омская ТЭЦ-3

Источник: времяроссии.рф

ных проектов, структурированных по тепловым узлам, над локальными интересами отдельных РСО.

4. Экологические (энергоэффективные): определяются противоречием между принятыми на себя государством обязательствами по снижению выбросов парниковых газов и одновременно реализацией стратегии по повышению энергоэффек-

тивности, учитывая, что теплоснабжение является одним из крупнейших, но при этом самым «непрозрачным» (в области контроля за объектами малой теплоэнергетики) потребителем энергоресурсов и источником выбросов. Подходы к экологической и климатической повестке требуют пересмотра.

Заключение

Ключевой причиной текущего состояния систем теплоснабжения является структурное противоречие между технологическим и экономическим контурами их функционирования. Технологический контур характеризуется высоким уровнем износа оборудования и тепловых сетей, ростом аварийности и значительными потерями тепловой энергии, что ведет к увеличению эксплуатационных затрат и снижению надежности теплоснабжения. Одновременно экономический контур, сформированный действующей моделью тарифного регулирования и параметрами необходимой валовой выручки, ориенти-

Острота проблем в сфере ЖКХ и ограниченные бюджеты для решения этих проблем обуславливают необходимость внедрения принципов и механизмов для привлечения частных инвестиций в сферу теплоснабжения

рован преимущественно на покрытие текущих расходов и не обеспечивает достаточных стимулов для инвестиций в модернизацию. В результате возникает замкнутый цикл: ухудшение технического состояния требует роста инвестиций, но существующая экономическая модель ограничивает их объем, что, в свою очередь, усиливает деградацию инфраструктуры. Преодоление данного противоречия возможно только при переходе к интегрированной модели управления, предполагающей согласование показателей экономической эффективности, надежности, износа и потерь с механизмами тарифного регулирования и долгосрочного территориального планирования.

В условиях накопленных технологических и экономических ограничений требуется пересмотр роли схем теплоснабжения как основного инструмента развития отрасли. В действующей практике они выполняют преимущественно формальную функцию, фиксируя текущее состояние и прогнозные балансы, но не обеспечивая необходимого уровня обоснования инвестиционных решений. Для повышения их эффективности необходимо внедрение но-

вой методологической базы, включающей сценарный анализ развития (базовый, целевой и стресс-сценарий), позволяющий оценивать устойчивость системы к различным условиям. Существенное значение имеет учет процессов физического износа инфраструктуры с прогнозированием динамики аварийности, потерь и эксплуатационных затрат.

Требуется переход к риск-ориентированной и комплексной приоритизации инвестиций, при которой ресурсы направляются в наиболее критичные участки системы с учетом их влияния на надежность и социально-экономические последствия возможных отказов, с приоритетом инвестиционных проектов, структурированных на основании комплексного подхода по тепловым узлам, над локальными интересами отдельных PCO.

Таким образом, схемы теплоснабжения должны трансформироваться из формального декоративного документа в инструмент стратегического управления прямым и обязательного действия, обеспечивающий согласование технологических параметров и экономических механизмов развития отрасли.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Отчет о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2023 году // Сайт Министерства энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/press-center/presentations/doklad-o-sostoyanii-teploenergetiki-i-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rossiyskoy-federatsii-2023>.
2. Приказ Министерства регионального развития РФ от 26.07.2013 № 310 «Об утверждении Методических указаний по анализу показателей, используемых для оценки надежности систем теплоснабжения» // Сайт Министерства энергетики Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/press-center/presentations/doklad-o-sostoyanii-teploenergetiki-i-tsentralizovannogo-teplosnabzheniya-v-rossiyskoy-federatsii-2023>.
3. Euroheat & Power. DHC Market Outlook 2025. Brussels, 2025. URL: https://www.rinnovabili.it/wp-content/uploads/2025/06/Market_Outlook_2025_f4b28fcf89.pdf.
4. European Commission, JRC. District Heat and the New European Bauhaus. Luxembourg, 2023. URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC133275/JRC133275_01.pdf.
5. Постановление Правительства РФ от 22.02.2012 № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» // Документы Правительства Российской Федерации. URL: <http://government.ru/docs/all/81149/>.
6. Приказ Минэнерго России от 05.03.2019 № 212 «Об утверждении Методических указаний по разработке схем теплоснабжения» // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://pravo.gov.ru>.
7. Стенников В. А. Альтернативная котельная — путь в никуда для теплоснабжения // Портал «РосТепло». URL: https://www.ros-teplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3265.
8. Трунова Н. А. Выступление на круглом столе Комитета Совета Федерации по экономической политике по вопросам реализации мастер-планов городов ДФО // Ведомости. 20.06.2024. URL: <https://www.vedomosti.ru/society/articles/2024/06/20/1044953-schetnaya-palata-priznala-master-plani-gorodov-dfo-chrezmerno-optimistichnimi>.

Экспериментально-расчетная оценка деформированного состояния и прочности трубопровода при воздействии комплекса нагрузок по моделям упругости и пластичности

Experimental and Computational Assessment of the Strain State and Strength of a Pipeline under Complex of Loads Using Elasticity and Plasticity Models

Анатолий ИГНАТИК
Доцент кафедры проектирования
и эксплуатации магистральных
газонефтепроводов Ухтинского
государственного технического
университета,
к. т. н., доцент
E-mail: tolik.ignatik@yandex.ru

Anatoly IGNATIK
Associate Professor, Department of Design
and Operation of Main Gas and Oil Pipelines,
Ukhta State Technical University,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor
E-mail: tolik.ignatik@yandex.ru

Валерий ШАРЫГИН
Профессор кафедры проектирования
и эксплуатации магистральных
газонефтепроводов Ухтинского
государственного технического
университета,
д. т. н., доцент
E-mail: sharm-vn@yandex.ru

Valery SHARYGIN
Professor, Department of Design and Operation
of Main Gas and Oil Pipelines, Ukhta State
Technical University,
Doctor of Technical Sciences, Associate
Professor
E-mail: sharm-vn@yandex.ru

Аннотация. В ходе эксплуатации газо- и нефтепроводы испытывают комплекс нагрузок и воздействий. Значения этих нагрузок непостоянны вследствие изменения во времени теплогидравлических режимов работы трубопроводов и геодинамических воздействий. Поэтому требуется достоверное определение напряженно-деформированного состояния труб для обоснованной оценки их конструктивной надежности.

Выполнены эксперименты на лабораторном стенде с целью определения деформаций трубы при воздействии на нее изгибающей нагрузки. При этом использовался метод тензометрии и модели упругости (Гука) и пластичности (Ильюшина). Получены эмпирические формулы для расчета компонентов деформированного состояния трубопровода при воздействии изгиба. Интенсивность деформаций при воздействии комплекса нагрузок предлагается определять при помощи равенства Генки — Беляева.

Разработана методика оценки прочности трубопровода при воздействии комплекса нагрузок на основе данных тензометрии и вычисления компонентов деформированного состояния. Учитываются следующие нагрузки и воздействия: внутреннее давление, температурный перепад и изгибающая сила. Прочностные расчеты осуществляются по методу допускаемых деформаций. Предложены формулы для расчета предельной деформации и коэффициента запаса по деформациям. Итогом применения разработанной методики является величина минимально допустимого соотношения радиуса изгиба трубопровода к его диаметру.

Ключевые слова: допустимый радиус изгиба трубопровода, интенсивность деформаций, напряженно-деформированное состояние трубопровода, оценка прочности трубопровода, тензометрия, упругое деформирование, упруго-пластическое деформирование

Abstract. During operation, gas and oil pipelines are subjected by different kinds of loads. The values of these loads are unstable due to time changes in the thermohydraulic modes of pipeline operation and geodynamic forces. Therefore, determination of the stress-strain state of pipes is required for a reasonable assessment of their structural reliability.

Experiments were performed on a laboratory bench to determine pipe strains when pipe is subjected by bending load. In this case, the tensometric method and models of elasticity (Hooke) and plasticity (Ilyushin) were used. Empirical formulas have been obtained for calculating the components of the deformed state of the pipeline under the bending. The equivalent von-Mises strain under the complex of loads is proposed to be determined using the Henki — Belyaev equation.

A method for estimating the strength of a pipeline under the complex of loads based on strain gauge data and calculation of deformed state components has been developed. The following loads are taken into account: internal pressure, temperature difference and bending force. Strength calculations are carried out using the method of allowable strains. Formulas for calculating the limit strain and the safety margin on strains are proposed. The result of the application of the developed method is the value of the minimum allowable ratio of the bending radius of the pipeline to its diameter.

Keywords: permissible bending radius of the pipeline, equivalent von-Mises strain, stress-strain state of the pipeline, assessment of pipeline strength, strain gauge, elastic deformation, elastic-plastic deformation

Введение

Магистральные трубопроводы, проложенные в сложных инженерных условиях, испытывают комплекс нагрузок и воздействий, включающий внутреннее давление; температурный перепад; поперечные силы, вызванные геокриогидрологическими процессами. Совокупность указанных факторов формирует напряженно-деформированное состояние трубопровода. При некоторых значениях нагрузок и воздействий уровень напряжений и деформаций может превысить предельный уровень, чего не следует допускать при эксплуатации вследствие больших рисков разрушения стенки трубопровода.

Поперечные нагрузки на трубопровод вызывают его перемещение и образование изгибных напряжений и деформаций, при этом изменяется кривизна (или радиус изгиба) трубопровода. Известно нормативное требование [1], что радиус изгиба $R_{изг}$ трубопровода не должен быть меньше $1000 \cdot DN$, где DN — номинальный диаметр трубы, то есть $R_{изг} \geq 1000 \cdot DN$. В то же время на трассе магистральных трубопроводов встречаются участки с ненормативными радиусами изгиба, возникшими при эксплуатации, однако такие участки функционируют без отказов и разрушений. В научной литературе [2, 3] приводятся обоснования по расширению диапазона радиуса изгиба трубопровода в меньшую сторону, то есть в сторону уменьшения минимально допустимого радиуса изгиба $R_{мин}$ или уменьшения минимально допустимого соотношения $(R_{изг}/DN)_{мин}$.

В данной статье выполнено определение компонентов деформированного состояния трубы, испытывающей воздействие изгибающей нагрузки на лабораторном стенде (трубогибе), методом тензометрии. Моделируется изгиб, возникающий при строительстве и эксплуатации трубопровода. Затем производится оценка прочности изогнутой трубы по методу допускаемых деформаций.

Целью работы является разработка метода оценки прочности подверженного изгибу участка трубопровода с учетом других эксплуатационных факторов воздействия (внутреннее давление и температурный перепад) на основе тензометрии и расчета компонентов деформированного состояния. При этом применяются модели упругости (Гука) и пластичности (Ильюшина).

Экспериментально-расчетный метод исследования

Лабораторные исследования проводились на стенде (рис. 1). Он представляет собой устройство для воздействия изгибающей нагрузки на трубу (трубогиб). При изгибе трубы фиксируется величина ее прогиба h .



Рис. 1. Стенд для моделирования изгибающей нагрузки на трубу и измерения ее деформаций

Использовались трубы со следующими характеристиками: марка стали — Ст3; длина — 1 м; наружный диаметр — 57 мм; толщина стенки — 3,5 мм. Расстояние между опорами (валками) стенда составляет 0,5 м.

В центре трубы на ее верхней образующей устанавливалась группа из трех тензорезисторов (тензодатчиков), предназначенных для измерения деформаций: 1) кольцевой $\epsilon_{кц}$; 2) продольной $\epsilon_{пр}$; 3) под углом 45° к оси трубы ϵ_{45° (рис. 2).

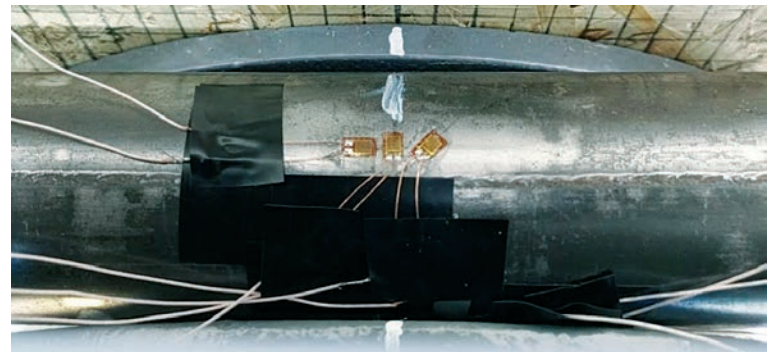


Рис. 2. Группа тензодатчиков, установленных в середине трубы на ее верхней образующей, предназначенных для измерения кольцевых и продольных деформаций, а также деформаций под углом 45° к оси трубы

Труба симметрично устанавливается на стенд. Затем пошагово увеличивается нагрузка на трубу. Шаг нагружения соответствует прогибу $h = 1$ мм. Максимальный прогиб трубы в экспериментах составляет $h_{\text{макс}} = 10$ мм. На каждом шаге записываются показания тензодатчиков.

Для определения радиуса изгиба трубы применяется следующий способ. При изгибе трубы известно положение трех ее точек. В опорах (валках) перемещение трубы не происходит, поэтому в двух точках трубы, находящихся друг от друга на расстоянии 0,5 м, перемещение равно нулю. Перемещение центральной точки трубы равно прогибу h (от 0 до 10 мм). Итак, известны горизонтальные и вертикальные координаты трех точек трубы. По этим точкам строится парабола, и методом наименьших квадратов определяется ее уравнение в виде:

$$y = Ax^2 + Bx + C,$$

где x , y — горизонтальная и вертикальная координата точки трубы соответственно; A , B , C — числовые коэффициенты. Радиус изгиба равен величине, обратной второй производной от функции $y(x)$. Имеем $R_{\text{изг}} = 1/(2A)$.

В таблице 1 представлены значения прогиба трубы h и соответствующие им значения радиуса изгиба $R_{\text{изг}}$ и соотношения радиуса изгиба к наружному диаметру трубы $R_{\text{изг}}/D$, где $D = 0,057$ м.

Таблица 1. Соответствие между величинами прогиба трубы h , радиуса изгиба $R_{\text{изг}}$ и соотношения радиуса изгиба к наружному диаметру трубы $R_{\text{изг}}/D$

h , мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{\text{изг}}$, м	31,25	15,63	10,42	7,81	6,25	5,21	4,47	3,91	3,48	3,13
$R_{\text{изг}}/D$	548	274	183	137	110	91	78	69	61	55

Деформированное состояние трубы под нагрузкой характеризуется следующими четырьмя компонентами: 1) кольцевая деформация $\epsilon_{\text{кц}}$; 2) продольная деформация $\epsilon_{\text{пр}}$; 3) радиальная деформация $\epsilon_{\text{рад}}$; 4) угловая деформация γ .

Если кольцевая $\epsilon_{\text{кц}}$ и продольная деформация $\epsilon_{\text{пр}}$ измеряются, то радиальная $\epsilon_{\text{рад}}$ и угловая деформация γ рассчитываются по известным формулам.

При изгибе трубы сначала возникают упругие деформации, а при дальнейшем нагружении наблюдаются упруго-пласти-

При изгибе трубы сначала возникают упругие деформации, а при дальнейшем нагружении наблюдаются упруго-пластические деформации. Поэтому для расчетов неизвестных компонентов деформированного состояния требуется использовать модели упругости и пластичности

ческие деформации. Поэтому для расчетов неизвестных компонентов деформированного состояния требуется использовать модели упругости (Гука) и пластичности (Ильюшина).

Критерием пластичности является следующее неравенство: $\sigma_i \geq \sigma_T$, где σ_i — интенсивность напряжений; σ_T — предел текучести. Критерий можно расписать в терминах деформаций: $\epsilon_i \geq \epsilon_T$, где ϵ_i — интенсивность деформаций; ϵ_T — деформация,

соответствующая пределу текучести. Если неравенство верное, то происходит упруго-пластическое деформирование. Если оно неверное, то материал деформируется упруго.

Интенсивность напряжений σ_i при плоском напряженном состоянии вычисляется по формуле:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{\text{кц}}^2 - \sigma_{\text{кц}}\sigma_{\text{пр}} + \sigma_{\text{пр}}^2 + 3\tau^2}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{кц}}$, $\sigma_{\text{пр}}$, τ — кольцевое, продольное и касательное напряжение соответственно.

Формула для расчета интенсивности деформаций, применяемая при упругом деформировании:

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{2(1 + \mu)} \sqrt{(\varepsilon_{\kappa\kappa} - \varepsilon_{np})^2 + (\varepsilon_{np} - \varepsilon_{pad})^2 + (\varepsilon_{pad} - \varepsilon_{\kappa\kappa})^2 + \frac{3}{2} \gamma^2}, \quad (2)$$

где μ — коэффициент Пуассона, для стали $\mu = 0,3$.

При упруго-пластическом деформировании часто принимают $\mu = 0,5$ [4].

Деформация, соответствующая пределу текучести:

$$\varepsilon_T = \frac{\sigma_T}{3G}, \quad (3)$$

где G — модуль сдвига, для стали $G = 79231$ МПа.

Угловая деформация определяется по формуле:

$$\gamma = 2\varepsilon_{45^\circ} - (\varepsilon_{\kappa\kappa} + \varepsilon_{np}). \quad (4)$$

Примем, что формула (4) верна при упругом и упруго-пластическом деформировании.

Радиальная деформация ε_{pad} в соответствии с моделью упругости рассчитывается так:

$$\varepsilon_{pad} = \frac{-\mu(\sigma_{\kappa\kappa} - \sigma_{np})}{E} \quad (5)$$

Расчет напряжений $\sigma_{\kappa\kappa}$, σ_{np} по модели упругости с учетом данных тензометрии рассмотрен в [5].

Радиальная деформация ε_{pad} согласно модели пластичности:

$$\varepsilon_{pad} = - \frac{k - \frac{3}{2} G_p}{k + \frac{4}{3} G_p} (\varepsilon_{\kappa\kappa} - \varepsilon_{np}), \quad (6)$$

где k — упругий модуль объемного расширения, для стали $k = 171\,667$ МПа; G_p — переменный упруго-пластический модуль сдвига:

$$G_p = G \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_T} \right)^{m-1} = G \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_T} \right)^{\frac{m-1}{m}}, \quad (7)$$

где m — коэффициент деформационного упрочнения.

Величина коэффициента m зависит от марки стали. Например, для марки Ст3 $m = 0,183$.

При упруго-пластическом деформировании интенсивность деформаций вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{3G_p}, \quad (8)$$

Теперь перейдем к результатам экспериментально-расчетного определения компонентов деформированного состояния трубы при воздействии изгибающей нагрузки.



Строительство магистрального нефтепровода
Автор: Михаил Дышлюк, ЭП

Результаты экспериментов

На рисунке 3 представлены экспериментально полученные графики зависимости кольцевых $\epsilon_{кц}$ и продольных $\epsilon_{пр}$ деформаций от соотношения радиуса изгиба трубы к ее наружному диаметру $R_{изг}/DN$.

Как видно из рисунка 3, продольные деформации — это положительные величины, а кольцевые деформации — отрицательные.

Графики на рисунке 3 удачно аппроксимируются степенной функцией вида $\epsilon = M \cdot (R_{изг}/D)^{-N}$, где ϵ — деформация без уточнения направления действия; M , N — числовые коэффициенты. Получены следующие уравнения линий тренда:

$$\epsilon_{пр} = 15,917 \left(\frac{R_{изг}}{D} \right)^{-1,781}, \quad (9)$$

$$\epsilon_{кц} = -7,862 \left(\frac{R_{изг}}{D} \right)^{-1,686}, \quad (10)$$

Расчетно-экспериментальным путем найдены графики зависимости радиальных $\epsilon_{рад}$, угловых γ деформаций, а также интенсивности деформаций ϵ_i от соотношения $R_{изг}/D$. Затем получены следующие уравнения линий тренда:



Нефтепровод под давлением
Автор: Михаил Дышлюк, ЭП

$$\epsilon_{рад} = -97,011 \left(\frac{R_{изг}}{D} \right)^{-2,569}, \quad (11)$$

$$\gamma = -10,758 \left(\frac{R_{изг}}{D} \right)^{-2,184}, \quad (12)$$

$$\epsilon_i = 10,911 \left(\frac{R_{изг}}{D} \right)^{-1,686}, \quad (13)$$

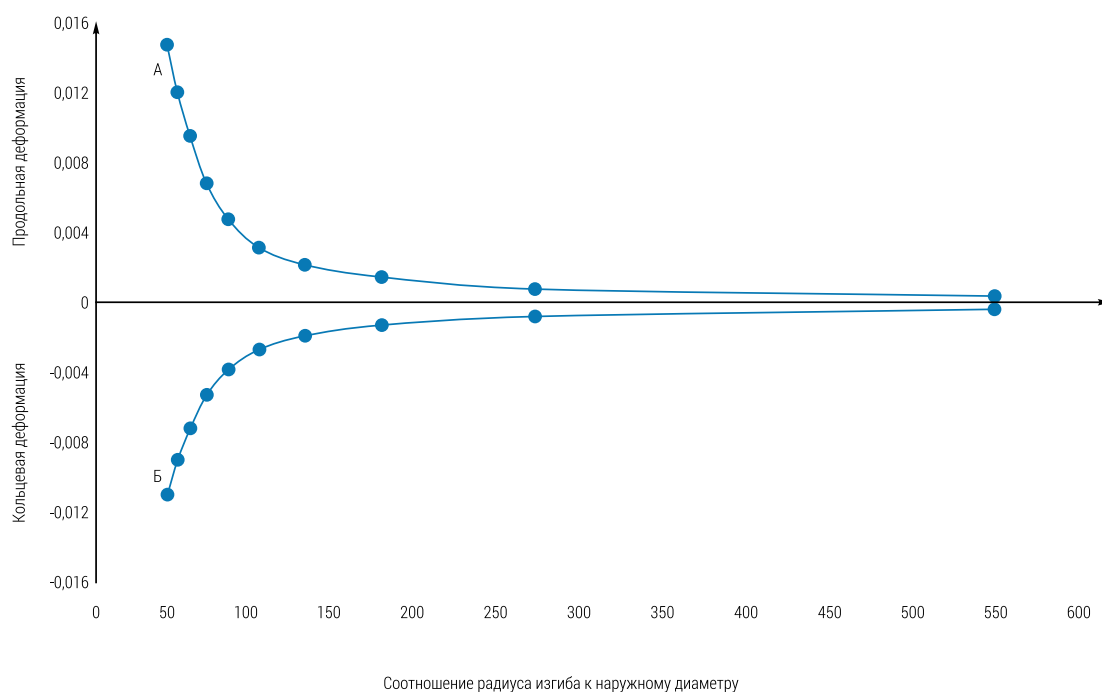


Рис. 3. Экспериментально полученные графики зависимости продольной (а) и кольцевой (б) деформации от соотношения радиуса изгиба трубы к ее наружному диаметру

Эмпирическими формулами (9)–(13) предлагается пользоваться для расчета деформаций трубопровода при воздействии изгиба. Диапазон соотношения $R_{изг}/D$: от 50 до 550. Деформации в формулах (9)–(13) являются безразмерными. Полученные эмпирические формулы предполагается применять для труб различных марок стали с большими значениями механических характеристик (предел текучести и предел прочности) по сравнению с маркой Ст3 (использовалась в экспериментах), поскольку обеспечивается дополнительный запас прочности.

Методика оценки прочности трубопровода

Так как в экспериментах наблюдалась пластическая составляющая деформаций стенки трубы, то целесообразнее оценку прочности выполнять в терминах деформаций, а не напряжений [6].

Оценку прочности предлагается осуществлять по методу допускаемых деформаций. Тогда критерием прочности является следующее неравенство:

$$\varepsilon_i \leq \varepsilon_{пред}, \quad (14)$$

где $\varepsilon_{пред}$ — предельная деформация.

Если неравенство (14) верное, то прочность трубы обеспечивается. Если неравенство (14) неверное, то прочность не обеспечивается.

Предельная деформация $\varepsilon_{пред}$ рассчитывается так:

$$\varepsilon_{пред} = \frac{\varepsilon_B}{n_\varepsilon}, \quad (15)$$

где ε_B — деформация, соответствующая пределу прочности; n_ε — коэффициент запаса по деформациям.

Деформация ε_B согласно теории пластичности, определяется по формуле [7]

$$\varepsilon_B = \frac{\sigma_T}{3G} \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_T} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (16)$$

где σ_B — предел прочности материала трубы.

Как правило, в прочностных расчетах трубопроводов задается коэффициент запаса по напряжениям n_σ

Если $n_\varepsilon \geq \sigma_B / \sigma_T$, то требуется перерасчет коэффициента запаса по деформациям n_ε посредством выражения:

$$n_\varepsilon = n_\sigma^{1/m}, \quad (17)$$

Если коэффициент запаса n_σ превышает отношение предела прочности к пределу текучести ($n_\sigma > \sigma_B / \sigma_T$), то оценку прочности следует выполнять в терминах напряжений. В таком случае критерий прочности записывается в виде неравенства $\sigma_i \leq \sigma_{пред}$, где $\sigma_{пред}$ — предельное напряжение, рассчитываемое аналогично предельной деформации: $\sigma_{пред} = \sigma_B / n_\sigma$.

Теперь следует рассмотреть напряженно-деформированное состояние трубы при воздействии совокупности нагрузок и воздействий: не только изгибающая сила, но и внутреннее давление и температурный перепад.

Оценка напряженно-деформированного состояния трубы при воздействии комплекса нагрузок

Внутреннее давление обозначим p . Температурный перепад стенки трубы — ΔT . При воздействии этих факторов формулы для расчета напряжений имеют следующий вид:

$$\sigma_{кш} = \frac{pd}{2\delta}, \quad (18)$$

$$\sigma_{пр} = \mu \frac{pd}{2\delta} - \alpha E \Delta T, \quad (19)$$

где d — внутренний диаметр трубы; δ — толщина стенки; α — коэффициент линейного расширения, для стали $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } 1 / ^\circ\text{C}$.

Соответствующие деформации определяются по формулам модели упругости Гука:

$$\varepsilon_{кш} = \frac{\sigma_{кш} - \mu \sigma_{пр}}{E}, \quad (20)$$

$$\varepsilon_{пр} = \frac{\sigma_{пр} - \mu \sigma_{кш}}{E}, \quad (21)$$

где E — модуль Юнга, для стали $E = 206\,000 \text{ МПа}$.

Радиальные деформации ϵ_{rad} вычисляются по формуле (5). Угловые деформации γ при данном сочетании воздействий равны нулю.

Примем, что при воздействии давления p и температурного перепада ΔT деформации упругие. Интенсивность деформаций вычисляется по формуле (2). Получим упругую составляющую интенсивности деформаций ϵ_{ie} .

Если при дополнительном воздействии изгиба к уже имеющимся нагрузкам от давления и температурного перепада материал трубы работает за пределами упругости и деформации упруго-пластические, то с помощью эмпирической формулы (13) получаем пластическую составляющую интенсивности деформаций ϵ_{ip} .

Итоговая интенсивность деформаций определяется согласно равенству Генки – Беляева [8]:

$$\epsilon_i = \epsilon_{ie} + \epsilon_{ip}, \quad (22)$$

Если при воздействии совокупности нагрузок деформации упругие, то суммарные кольцевые, продольные и радиальные деформации определяются в соответствии с принципом независимости действия сил, справедливом при упругом деформировании. При этом используются формулы (9)–(12), (20), (21), (5), а итоговая интенсивность деформаций вычисляется по формуле (2). Затем переходят к оценке прочности трубопровода.

При изгибе трубы сначала возникают упругие деформации, а при дальнейшем нагружении наблюдаются упруго-пластические деформации. Поэтому для расчетов неизвестных компонентов деформированного состояния требуется использовать модели упругости и пластичности

Пример оценки прочности трубопровода по разработанному методу

Представим исходные данные для выполнения оценки прочности трубопровода при воздействии комплекса нагрузок. Имеем магистральный нефтепровод наружного диаметра $D = 820$ мм; толщина стенки $\delta = 10$ мм; внутренний диаметр $d = 800$ мм. Марка трубной стали 09Г2С, ее механические характеристики: предел прочности $\sigma_B = 570$ МПа; предел текучести σ_T



Диагностический робот АО «Транснефть-Диаскан»

Источник: diascan.transneft.ru

= 357 МПа; коэффициент деформационного упрочнения $m = 0,133$; деформация, соответствующая пределу прочности, $\epsilon_B = 50\,643$ мкм/м согласно формуле (16); деформация, соответствующая пределу текучести, $\epsilon_T = 1502$ мкм/м согласно формуле (3). Внутреннее давление $p = 6$ МПа; температурный перепад $\Delta T = 40$ °С.

Расчеты дают следующие результаты. Кольцевое напряжение $\epsilon_{\text{кц}} = 240$ МПа и продольное напряжение $\epsilon_{\text{пр}} = -26,88$ МПа по формулам (18) и (19) соответственно. Кольцевая деформация $\epsilon_{\text{кц}} = 1204$ мкм/м, продольная деформация $\epsilon_{\text{пр}} = -480$ мкм/м, радиальная деформация $\epsilon_{\text{рад}} = -310$ мкм/м по формулам (20), (21) и (5) соответственно. Упругая составляющая интенсивности деформаций $\epsilon_{ie} = 1235$ мкм/м.

Значения пластической составляющей интенсивности деформаций ϵ_{ip} согласно эмпирической формуле (13) и итоговой интенсивности деформаций ϵ_i согласно равенству Генки — Беляева (22) в зависимости от соотношения радиуса изгиба трубы к ее наружному диаметру $R_{\text{изг}}/D$ (в диапазоне от 50 до 550) приведены в таблице 2.

Соотношение предела прочности к пределу текучести $\sigma_B/\sigma_T = 1,60$. Назначим коэффициент запаса по напряжениям n не более 1,60, чтобы выполнять оценку прочности в терминах деформаций.

Назначенные значения коэффициента запаса по напряжениям n , расчетные значения коэффициента запаса по деформациям n_ϵ по формуле (17), предельные деформации

Значения воздействий не всегда поддаются определению в ходе эксплуатации трубопровода, особенно это касается непроектных поперечных нагрузок из-за перемещения грунта в сложных инженерных условиях

ции $\epsilon_{\text{пред}}$ по формуле (15) приведены в таблице 3. Кроме того, в данной таблице представлены значения минимально допустимого соотношения радиуса изгиба трубы к ее наружному диаметру $(R_{\text{изг}}/D)_{\text{мин}}$, полученные исходя из решения уравнения $\epsilon_i(R_{\text{изг}}/D) = \epsilon_{\text{пред}}$.

Например, если задан коэффициент запаса по напряжениям $n_\sigma = 1,60$, то $(R_{\text{изг}}/D)_{\text{мин}} = 439$. Таким образом, обосновано занижение нормативной величины $(R_{\text{изг}}/D)_{\text{мин}}$ с 1000 до 439 для трубопровода номинального диаметра 800 мм.

Если коэффициент запаса по напряжениям $n_\sigma > \sigma_B/\sigma_T$ ($n_\sigma > 1,60$), то оценку прочности следует производить по ме-

Таблица 2. Расчетные значения пластической составляющей интенсивности деформаций ϵ_{ip} по (13), итоговой интенсивности деформаций по (22) в зависимости от соотношения радиуса изгиба трубы к ее наружному диаметру $R_{\text{изг}}/D$ в диапазоне от 50 до 550

$R_{\text{изг}}/D$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
ϵ_{ip} , мкм/м	14 907	4 633	2 339	1 440	988	727	560	447	367	307	262
ϵ_{ip} , мкм/м	16 143	5 868	3 574	2 675	2 224	1 962	1 796	1 683	1 602	1 543	1 497



Газопровод на Ямале

Автор: Михаил Дышлюк, ЭП

Таблица 3. Назначенные значения коэффициента запаса по напряжениям n_σ , расчетные значения коэффициента запаса по деформациям n_ϵ согласно (17), предельные деформации согласно (15) и минимально допустимые значения соотношения радиуса изгиба трубы к ее наружному диаметру $(R_{изг}/D)_{мин}$, полученные из условия прочности в терминах деформаций

n_σ	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60
n_ϵ	7,19	9,55	12,55	16,34	21,09	26,98	34,26
$\epsilon_{пред}, \text{ мкм/м}$	7044	5304	4035	3099	2402	1877	1478
$(R_{изг}/D)_{мин}$	93	123	162	210	271	346	439

туду допускаемых напряжений. В данной статье этот метод подробно не рассматривается.

Практическое значение и новизна полученных в статье результатов

Для достоверной оценки прочности и надежности трубопровода, подверженного совокупности нагрузок и воздействий, в данной статье предлагается вычислять деформации трубы по выведенным эмпирическим формулам и использовать способ прочностного расчета по допускаемым деформациям. Значения нагрузок и воздействий не всегда поддаются определению в ходе эксплуатации трубопровода, особенно это касается непроектных поперечных нагрузок из-за перемещения грунта в сложных инженерных условиях. Такие нагрузки приводят к появлению дополнительных изгиб-

ных напряжений и деформаций. Одновременно трубопровод перемещается и изменяется его кривизна и радиус изгиба. А вот значение радиуса изгиба определяется в ходе выполнения диагностических работ с большой степенью достоверности. При этом используются геодезические методы и внутритрунная диагностика. В выведенных эмпирических формулах для расчета изгибных деформаций используется именно величина радиуса изгиба, а не величина изгибающей нагрузки.

В работе учитывается, что материал трубопровода при воздействии комплекса нагрузок и воздействий может работать не только упруго, но и упруго-пластически. Поэтому в статье используются выражения, выведенные согласно деформационной теории пластичности Ильюшина.

В статье учитывается не только изгибающая нагрузка, но и внутреннее давление на трубопровод, а также температурный перепад стенки трубы. Поэтому разработан-



Нефтепровод в Западной Сибири

Автор: Михаил Дышлюк, ЭП



Магнитная система для диагностики толстостенных трубопроводов АО «Транснефть-Диаскан»
Источник: diascan.transneft.ru

ная методика позволяет оценить прочность трубопровода при комбинированной нагрузке, что особенно актуально для магистральных газо- и нефтепроводов, проложенных в сложных геодинамических условиях, в том числе в обводненных, болотистых, сейсмоопасных районах, в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов.

К новизне работы следует отнести использование равенства Генки — Беляева (22), которое позволяет оценивать деформации и прочность материала за пределом упругости.

Новизной обладает формула (17), которая позволяет вычислить коэффициент за-

паса по деформациям при упруго-пластическом деформировании материала.

Оценка прочности осуществляется в терминах деформаций, а не напряжений, поскольку предполагается, что трубопровод работает в упруго-пластической стадии деформирования [6]. Такой подход используется реже. Как правило, прочностные расчеты выполняются в терминах напряжений.

Таблица 3 содержит обоснованные расчетами данные по минимально допустимому значению соотношения радиуса изгиба трубы к ее наружному диаметру, на которые можно ориентироваться при выполнении ра-

Строительство нефтепровода

Автор: Михаил Дышлок, ЭП



Для дальнейшего совершенствования предложенной методики оценки прочности трубопровода планируется продолжить экспериментальные исследования с использованием труб, имеющих другие геометрические параметры

бот по оценке технического состояния трубопровода. При этом не используется консервативный метод оценки прочности изогнутого трубопровода, рассмотренный во введении статьи.

Для дальнейшего совершенствования предложенной методики оценки прочности трубопровода планируется продолжить экспериментальные исследования с использованием труб, имеющих другие геометрические параметры; по большей части — другую толщину стенки для приближения к условию тонкостенности цилиндрической оболочки.

Заключение

Разработан метод оценки деформированного состояния и прочности трубопровода, испытывающего следующие виды нагрузок и воздействий: изгибающая сила, внутреннее давление и температурный перепад. Результатом применения метода является величина минимально допустимого соотношения радиуса изгиба трубопровода к его наружному диаметру.

Получены эмпирические формулы (9)–(12) для расчета деформаций, а также формула (13) для вычисления интенсивности деформаций трубы при воздействии на нее изгибающей нагрузки, причем использовался метод тензометрии, модели упругости и пластичности.

Предложено использовать равенство Генки — Беляева (22) для расчета интенсивности деформаций трубопровода при воздействии комплекса нагрузок и воздействий.

Предложена формула (17) для вычисления коэффициента запаса по деформациям, когда прочностные расчеты выполняются за пределами упругости материала.

Представлен пример применения разработанного метода оценки прочности трубопровода. Получены минимально допустимые соотношения радиуса изгиба трубы к ее наружному диаметру ($R_{изг}/DN$)_{мин} при различных значениях коэффициента запаса прочности (табл. 3).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. СП 86.13330.2022 «Магистральные трубопроводы». URL: <https://nav.tn.ru/cloud/iblock/171/171e038545eb8f3ae0855a1e2e23a0c8/SP-86.13330.2022-Magistralnye-truboprovody.pdf?ysclid=mnvy1slkso107655230>.
2. Гумеров А. К., Сильвестров С. А. Совершенствование методов оценки допустимых значений радиуса упругого изгиба трубопровода // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16, № 4. С. 96–107.
3. Усманов Р. Р., Чучкалов М. В., Яровой А. В., Исламов И. М., Аскарлов Г. Р., Аскарлов Р. М., Китаев С. В. О зависимости радиусов изгиба линейной части магистральных газопроводов от группы класса прочности трубной стали // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. № 6. С. 60–74.
4. Гаспарянц Р. С. Методология расчета на прочность и долговечность труб и сварных соединений с дефектами // Нефтепромысловое дело. 2008. № 2. С. 35–41.
5. Макаров Г. И. Математические основы мониторинга напряженно-деформированного состояния стенки трубы магистрального нефтепровода // Трубопроводный транспорт. Теория и практика. 2007. № 1. С. 92–95.
6. Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
7. Игнатик А. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния трубы при силовом воздействии: Монография. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. 208 с.
8. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Сопротивление материалов: Учеб. пособие. М.: ЛЕНАНД, 2022. 560 с.

Квантовая энергетика: новая парадигма управления энергией, информацией и вычислениями

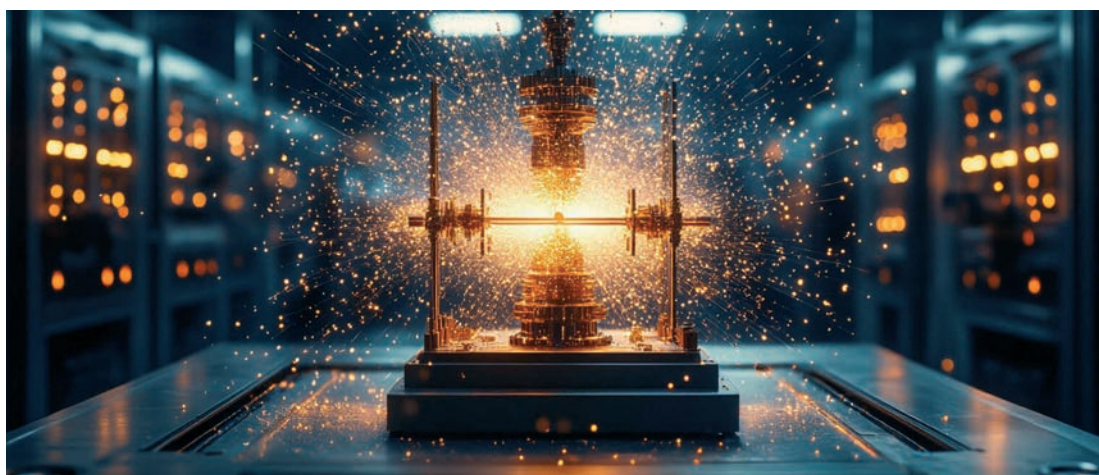
Quantum Energy: a New Paradigm for Managing Energy, Information, and Computations

Виталий ПЕЛЕШЕНКО

Доцент кафедры информатики
Высшей школы кибертехнологий,
математики и статистики РЭУ
им. Г. В. Плеханова, к. т. н.
E-mail: peleshenko.va@rea.ru

Vitaliy PELESHENKO

Associate Professor at the Department of Computer
Science, Higher School of Cyber Technologies,
Mathematics and Statistics, Plekhanov Russian
University of Economics, PhD in Engineering
E-mail: peleshenko.va@rea.ru



Квантовые технологии

Источник: strategyjournal.ru

Аннотация. В статье обосновывается необходимость переосмысления энергетической отрасли как квантово-информационной системы, функционирование которой должно описываться на языке фундаментальных физических констант. Рассматривается реформа Международной системы единиц (СИ) 2019 года, зафиксировавшая значения постоянной Планка, элементарного заряда и других констант, что придало измерениям энергии неизменный квантовый базис. Анализируется роль эмергии как меры совокупных энергетических затрат природы и информационной энергетики как области, связывающей термодинамику с обработкой данных. Детально исследуются квантовые эффекты в электричестве и магнетизме, включая сверхпроводимость (с акцентом на квантование магнитного потока $\Phi_0 = h/2e$), спинтронику и магнонику, а также достижения молекулярной физики в создании материалов для сбора энергии. Отдельное внимание уделено последним прорывам 2024–2025 годов в области альтермагнетизма, гибридизации магنونных мод и вакуумной электроники, которые приближают реализацию высокоэффективной беспроводной передачи энергии, в том числе для орбитальных энергетических систем, а также новейшим результатам по интеграции квантовых батарей в вычислительные архитектуры и созданию элементов квантовой памяти в России. В синтезе делается вывод о формировании единого каркаса квантовой энергетики как прикладной фундаментальной физики.

Ключевые слова: квантовая энергетика, фундаментальные константы, сверхпроводимость, спинтроника, магноника, информационная энергетика, альтермагнетизм, энергоэффективность, квантовые батареи, квантовая память

Abstract. The article substantiates the necessity of rethinking the energy sector as a quantum-information system, the functioning of which must be described in the language of fundamental physical constants. The reform of the International System of Units (SI) of 2019 is considered, which fixed the values of Planck's constant, the elementary charge and other constants, thereby providing energy measurements with an invariable quantum basis. The role of emergy as a measure of the total energy costs of nature and information energetics as a field linking thermodynamics with data processing are analyzed. Quantum effects in electricity and magnetism are examined in detail, including superconductivity (with an emphasis on magnetic flux quantization $\Phi_0 = h/2e$), spintronics and magnonics, as well as advances in molecular physics in the creation of materials for energy harvesting. Special attention is paid to the latest breakthroughs of 2024–2025 in the field of altermagnetism, hybridization of magnon modes and vacuum electronics, which bring closer the realization of highly efficient wireless energy transmission, including for orbital energy systems, as well as to the newest results on the integration of quantum batteries into computing architectures and the creation of quantum memory elements in Russia. The synthesis concludes that a unified framework of quantum energetics is being formed as applied fundamental physics.

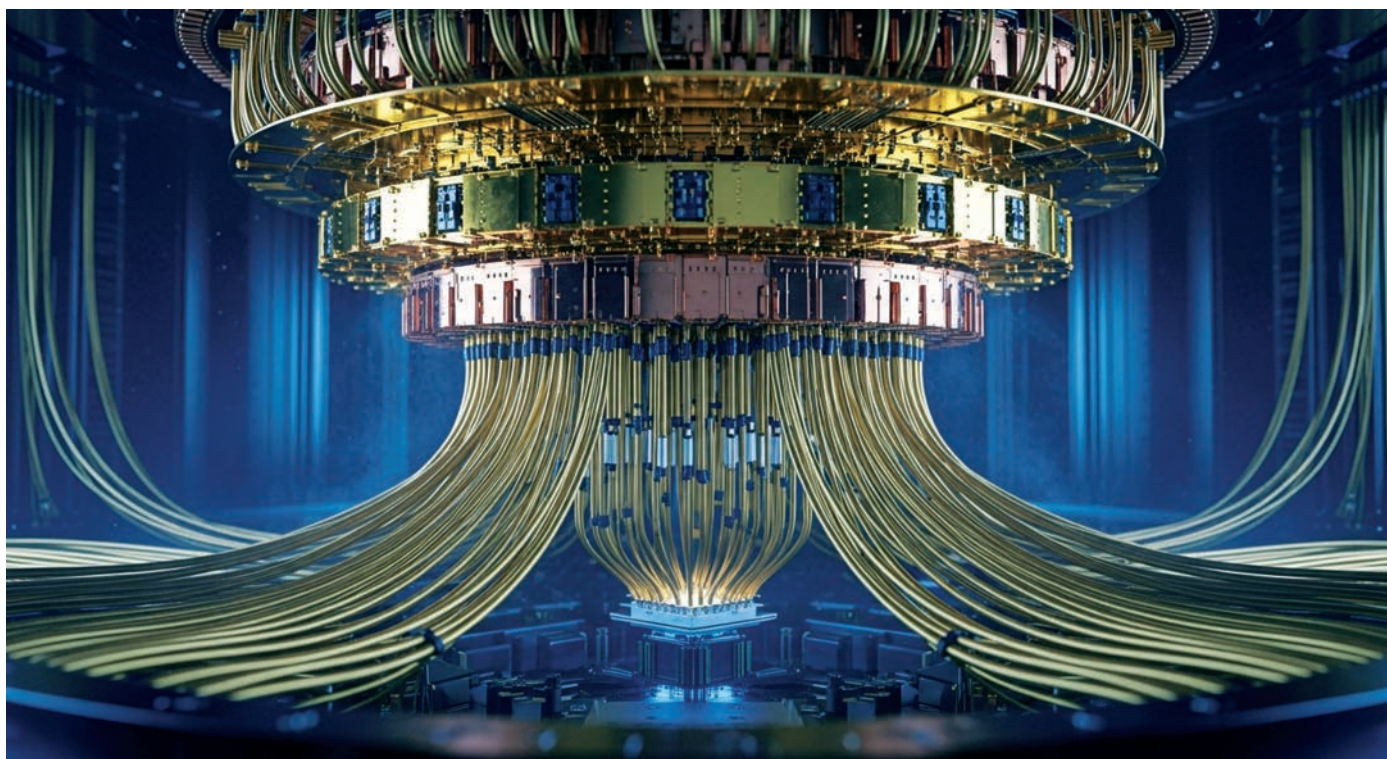
Keywords: quantum energetics, fundamental constants, superconductivity, spintronics, magnonics, information energetics, altermagnetism, energy efficiency, quantum batteries, quantum memory

Введение: энергетика как квантово-информационная система

«Не в том красота электричества и всех иных сил, что являются они внезапно, касаясь поочередно каждого из чувств наших и тотчас исчезая во мраке непостижимого. Подлинная красота — в законе, что объемлет силу и делает ее послушной разуму; и разум, постигший сии письмена, уже ныне способен в значительной мере повелевать ею... и в этом величие познания: ибо, постигая закон, мы обретаем власть», — написал Майкл Фарадей в 1870 году [1].

Классическая картина мировой энергетики, сформировавшаяся в ходе второй промышленной революции и базирующаяся на эмпирических законах Ома, Ампера — Максвелла и Джоуля — Ленца, описывает процессы генерации, передачи и распределения электроэнергии исключительно в терминах макроскопических величин: напряжения, тока и сопротивления. Эти усредненные характеристики огромного количества носителей заряда принципиально не способны отразить микро-

скопические физические механизмы, определяющие поведение вещества на атомарном и субатомном уровнях. Однако стремительный и необратимый рост глобального энергопотребления, спровоцированный экспоненциальным развитием информационно-коммуникационных технологий (от масштабирования гигантских дата-центров, суммарное энергопотребление которых уже сегодня оценивается в сотни тераватт-часов с прогнозом удвоения к 2030 году, до лавинообразного внедрения систем искусственного интеллекта и технологий блокчейна), со всей очевидностью обнажает фундаментальную исчерпанность возможностей традиционной линейной техногенной логики. Существенные потери при передаче энергии на дальние расстояния, неумолимо описываемые законом Джоуля — Ленца и достигающие в глобальном масштабе величины порядка 1500 ТВт•ч ежегодно, а также критическое старение базовой инфраструктуры настоятельно требуют поиска принципиально иных, глубоко физически обоснованных путей кардинального повышения эффективности. Ключевой тезис настоящей работы заключается в том, что



Квантовый компьютер

Источник: ixbt.com



Работа инженера квантовых технологий

Источник: nytimes.com

современная энергетика должна рассматриваться через призму фундаментальных физических констант и квантово-информационных процессов, поскольку только такой подход позволяет осуществить переход от устаревшей макроскопической «мощностной» парадигмы к прецизионному управлению микроскопическими состояниями материи.

Базис: фундаментальные единицы СИ и константы

Отправной точкой для столь радикального квантового переосмысления энергетической парадигмы служит историческая реформа Международной системы единиц (СИ), вступившая в силу 20 мая 2019 года. Принципиальное изменение заключалось в окончательном отказе от привязки основных единиц измерения к уникальным физическим артефактам, таким как международный прототип килограмма, и в переходе к фиксации точных численных значений семи фундаментальных констант, среди которых для теории и практики энергетики ключевое значение приобретают постоянная Планка h , эле-

ментарный электрический заряд e , постоянная Больцмана k и скорость света в вакууме c [2]. Единица энергии (джоуль), как и прежде, формально выводится как произведение килограмма, квадрата метра и обратного квадрата секунды ($1 \text{ Дж} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$); однако теперь килограмм, метр и секунда определяются исключительно через фиксированные значения вышеупомянутых фундаментальных констант, в частности через постоянную Планка $h =$

Необратимый рост мирового энергопотребления, спровоцированный развитием информационных технологий, обнажает фундаментальную исчерпанность возможностей традиционной линейной техногенной логики

$6,62607015 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, скорость света с и частоту перехода в атоме цезия. Это означает, что эталоны и все без исключения измерения энергии оказались напрямую и неразрывно связаны с квантовой природой микромира, что придает энергетической метрологии абсолютную воспроизводимость и универсальность. Сам фундамент энергетических измерений оказался квантованным, что делает неизбежным распространение последовательного квантового подхода на все звенья единой цепи — от процессов генерации и преобразования до транспортировки и конечного потребления энергии.

Эмергия и информационная энергетика: расширение концептуальных границ

В контексте углубленного поиска скрытых резервов эффективности, не учитываемых классической экономикой, особую значимость приобретает понятие эмергии, введенное Говардом Одумом [3]. Эмергия, определяемая как совокупная доступная энергия одного вида (обычно солнечная),

Квантование магнитного потока $\Phi_0 = h/2e$, пронизывающего сверхпроводящее кольцо, служит прямым и неопровержимым экспериментальным доказательством парного механизма проводимости

прямо или косвенно затраченная на производство продукта или услуги и измеряемая в солнечных эмджоулях, позволяет объективно оценить «энергетическую память» процессов и в полной мере учесть скрытый, но неоспоримый вклад природы в формирование всех используемых человечеством энергетических ресурсов. Данный подход выступает связующим звеном между физикой, экологией и экономикой,



Работа инженера квантовых технологий

Источник: NBC News YouTube

предоставляя методологический инструмент для учета скрытых экосистемных процессов при реализации долгосрочных энергетических стратегий, в том числе: Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года (распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523 р); Комплексной государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» (постановление Правительства РФ от 09.09.2023 № 1473); Федерального закона от 23.11.2009 № 261 ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» (в части повышения энергоэффективности экономики); Федерального закона от 02.07.2021 № 296 ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» (в целях снижения углеродного следа энергетического сектора).

Параллельно с эмергийным анализом активно развивается концепция информационной энергетики, которая в фундаментальном слое оперирует неразрывной связью информации и энтропии. Краеугольным камнем здесь выступает принцип Ландауэра, устанавливающий минимальное количество энергии, необходимое для необратимого стирания одного бита информации, равное $kT \cdot \ln 2$ [4]. В термодинамике энтропия S классически определяется через число

Энергетика должна рассматриваться через призму квантово-информационных процессов. Это позволяет перейти от устаревшей макроскопической парадигмы к прецизионному управлению микроскопическими состояниями материи

микросостояний Ω , доступных системе при данном макроскопическом состоянии: $S = k_B \ln \Omega$; в теории информации Клод Шеннон ввел аналогичную меру неопределенности $H = -\sum p_i \log_2 p_i$, где p_i — вероятности реализации отдельных состояний. Уменьшение энтропии прямо соответствует приобретению информации, что делает энтропию количественной мерой скрытой информации о системе. Физическими носителями информации могут выступать различные степени свободы материи: от сложных молекулярных структур (ДНК, РНК) до фундаменталь-

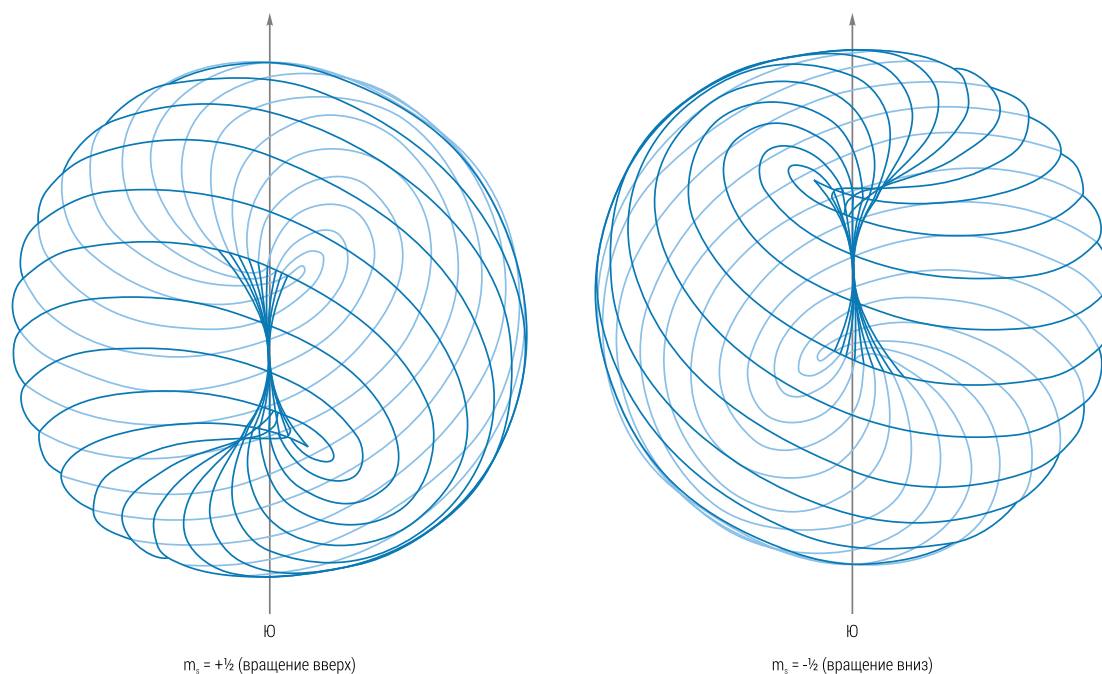


Рис. 1. Спин-орбитальная модель электрона

ных квантовых степеней свободы, таких как спин частицы или поляризация фотона [5]. Каждый тип носителя накладывает свои ограничения на скорость передачи и энергетическую стоимость операций, определяемые тепловыми флуктуациями и квантовой неопределенностью, что задает практические границы для концепций «интернета энергии». В технологическом слое информационная энергетика воплощается в цифровых подстанциях, где информационные потоки управляют энергетическими, и в идее «информационных батарей» — использования избыточной энергии возобновляемых источников для выполнения ресурсоемких вычислений в центрах обработки данных, что позволяет рассматривать результат вычислений как форму накопленной энергии.

Квантовые явления в электричестве и магнетизме и их энергетические приложения

Квантовый взгляд раскрывает глубокую взаимосвязь заряда, спина и коллек-

тивных возбуждений, открывая принципиально новые возможности управления энергией. Классическое представление об электричестве как упорядоченном движении электронов сталкивается с парадоксами. Например, при токе 1 А через проводник сечением 1 мм² скорость дрейфа электронов — всего 0,075 мм/с. Однако ток распространяется почти со скоростью света благодаря квантовым эффектам: электроны проявляют волновые свойства, избегая столкновений с кристаллической решеткой. Современные модели (рис. 1) описывают электрон как частицу со спином $\pm\frac{1}{2}\hbar$, а уравнение Дирака в сочетании с уравнениями Максвелла объясняет его поведение в электромагнитных полях.

Явление сверхпроводимости демонстрирует, что при определенных условиях электроны теряют индивидуальность и объединяются в куперовские пары с эффективным зарядом $2e$, образуя макроскопическое когерентное состояние, способное переносить электрический ток без какого-либо сопротивления. Квантование

Квантовый компьютер МГТУ и ВНИИА «Росатома»

Источник: atomic-energy.ru





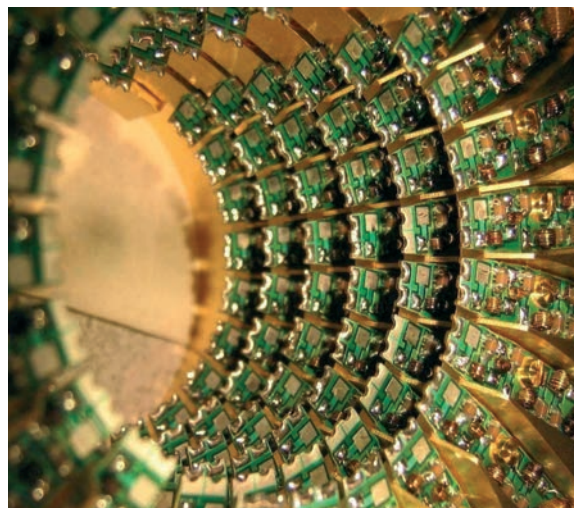
Квантовый компьютер МГТУ и ВНИИА «Росатома»
Источник: atomic-energy.ru

магнитного потока $\Phi_0 = h/2e$, пронизывающего сверхпроводящее кольцо, служит прямым и неопровержимым экспериментальным доказательством парного механизма проводимости. Недавние теоретические исследования, выполненные группой К. Траченко и соавторов, показывают, что сама возможность существования высокотемпературной сверхпроводимости заложена в значениях фундаментальных констант h , e и массы электрона m_e ; выведенный ими теоретический верхний предел критической температуры находится в диапазоне сотен — тысяч кельвинов, что принципиально допускает сверхпроводимость при комнатной температуре и выше [7]. Дискуссии вокруг потенциального материала LK-99 лишь подтверждают сложность, но и принципиальную достижимость этой цели.

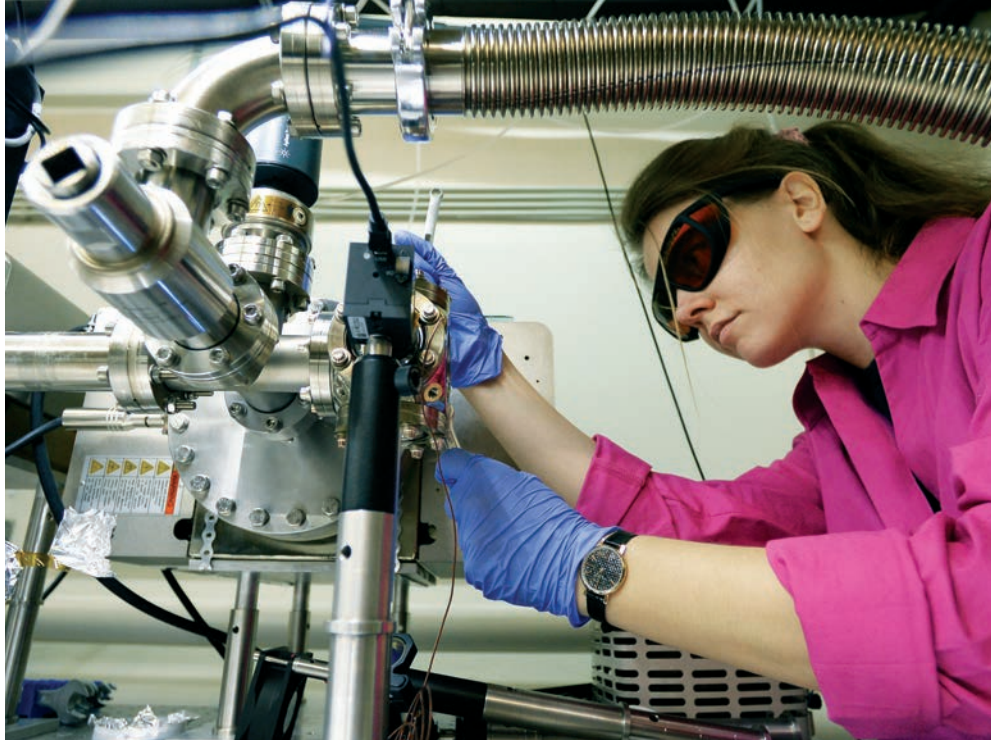
Однако движение электрического заряда — это отнюдь не единственный способ переноса энергии и информации. Спин электрона как внутренняя степень свободы может выступать в роли самостоятельного носителя: в отличие от переноса заряда, перенос спина принципиально не сопровождается джоулевым нагревом. Спинтроника, бурно развивающаяся область, эффективно использует это фундаментальное свойство для создания энергонезависимой памяти нового поколения, где информация кодируется направлением спина [8]. Магноника, идущая еще дальше, оперирует коллективными возбуждениями спинов в упорядоченных магнитных структурах — квазичасти-

цами, называемыми магнонами. Эти квазичастицы, являясь бозонами, способны распространяться в магнитных материалах подобно волнам, эффективно перенося энергию и информацию без какого-либо перемещения физического заряда. Явления гибридизации различных мод магнонов открывают прямой путь к созданию нейроморфных процессоров со сверхнизким энергопотреблением, приближая энергосбережения на элементарные операции к фундаментальному пределу, диктуемому принципом Ландауэра [9].

Параллельно активно развивается концепция квантовых батарей, базирующаяся на фундаментальных коллективных эффектах сверхизлучения и сверхпоглощения, предсказанных Р. Дике. Ансамбль из N квантовых элементов (например, двухуровневых систем), находящихся в запутанном состоянии и связанных с общим фотонным полем резонатора, способен взаимодействовать с этим полем с интенсивностью, пропорциональной N^2 , а не N . Это обеспечивает нелинейно быструю зарядку: энергия запасается не в отдельных элементах, а в коллективных модах, а разрядка через сверхизлучение высвобождает накопленную энергию за доли секунды. Интеграция таких батарей в вычислительные архитектуры позволит эффективно рекуперировать энергию внутри самого процессора, существенно увеличивая число доступных кубитов при той же внешней подводимой мощности [10].



Квантовый компьютер
Источник: skillbox.ru



Апробация квантовых технологий

Источник: strana-rosatom.ru

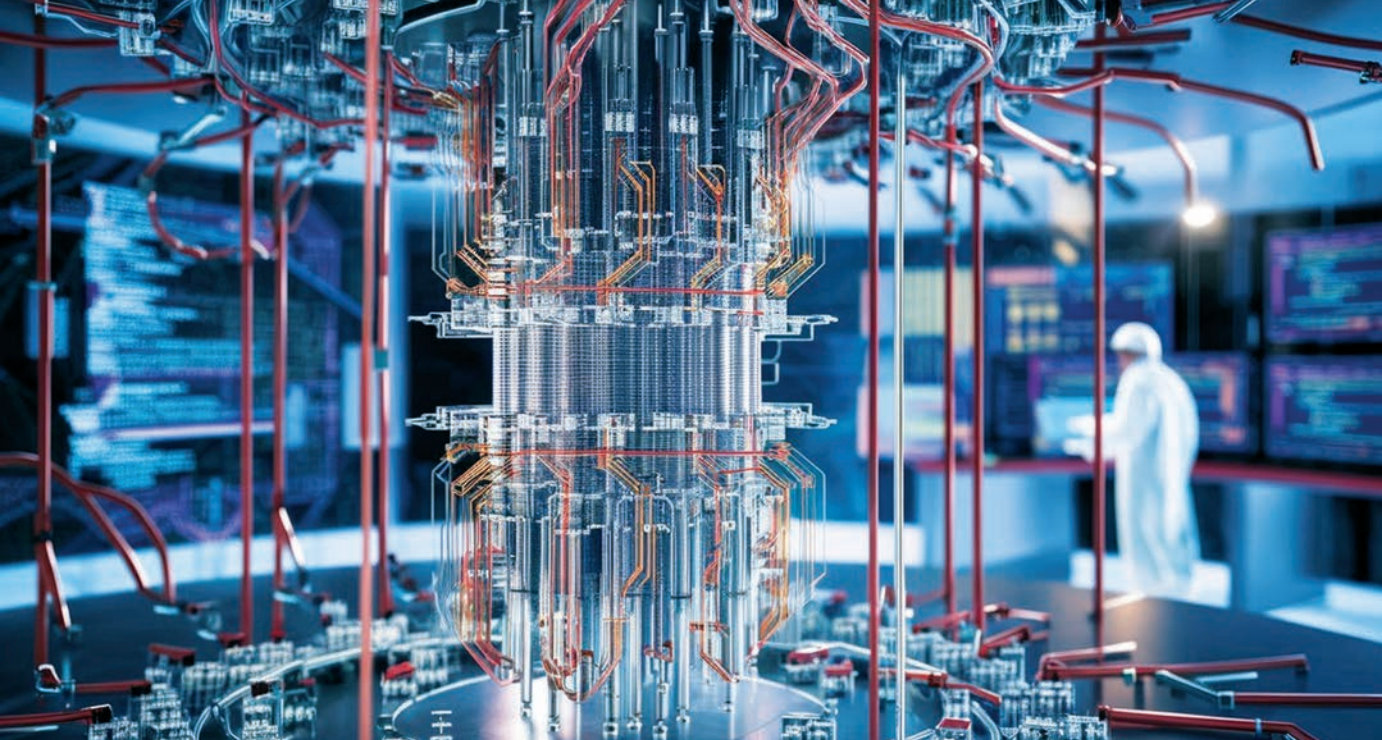
Молекулярный дизайн, беспроводная передача и синтез энергетических технологий на квантовых принципах

Практическая реализация квантовых принципов требует создания конкретных материалов и устройств. Молекулярный дизайн на стыке квантовой физики и современного материаловедения, опираясь на фундаментальные константы e , m_e и постоянную тонкой структуры α , позволяет целенаправленно конструировать среды, способные эффективно извлекать полезную энергию из «брозовых» полей окружающего пространства.

Перспективным направлением является разработка гибких полимерных матриц с включением наночастиц магнитных оксидов, например цинк-кобальтового феррита, способных преобразовывать переменное магнитное поле в электрическое напряжение. Оптимизация состава путем частичного замещения ионов в кристаллической решетке позволяет кратно увеличивать эффективность такой генерации, открывая путь к автономному питанию носимой электроники, медицинских имплантов и распределенных сенсорных сетей, работающих исключительно за счет энергии, прежде остававшейся полностью невостремленной. Важным институциональным контекстом для успешного развития этих технологий в России становится утвержденный Правительством РФ в декабре 2025 года масштабный национальный проект «Технологическое обеспечение биоэкономики», создающий условия для скорейшей трансляции фундаментальных результатов в прикладные разработки.

Природа издавна демонстрирует впечатляющие прообразы: фотосинтез, где квантовая когерентность обеспечивает почти 100-процентную эффективность переноса энергии электронного возбуждения к реакционному центру [11], и молекулы ДНК, хранящие колоссальные объемы наследственной информации в последовательности нуклеотидов с минимальной

Спин электрона как внутренняя степень свободы может выступать в роли самостоятельного носителя: в отличие от переноса заряда, перенос спина принципиально не сопровождается джоулевым нагревом



50-кубитный квантовый компьютер на ионах иттербия, расположенный в лаборатории Физического института им. П. Н. Лебедева РАН

Источник: Ferra.ru

диссипацией, стимулируют создание гибридных материалов, способных выполнять функции хранения и обработки информации при минимальных энергетических затратах. Глубокое изучение этих совершенных биологических механизмов напрямую перекликается с насущными задачами квантовой энергетики.

Для адекватного описания, понимания и точного моделирования столь сложных квантовых систем необходим единый и строгий формализм, и здесь на первый план выходит квантовая теория поля. Квантовая электродинамика, описывающая все известные электромагнитные взаимодействия как обмен квантами соответствующих полей, предоставляет универсальный язык, на котором можно последовательно и непротиворечиво описывать поведение сложного вещества и его отклик на любые внешние воздействия [12]. Развитие численных симуляций КЭД на специализированных квантовых процессорах, в том числе с использованием многоуровневых квантовых ячеек (кудитов), вплотную приближает возможность направленного компьютерного проектирования материалов с заранее заданными уникальными электромагнитными и энергетическими свойствами — от высокотемпературных сверхпроводников до метаматериалов с управляемой прозрачностью. Тем самым квантовая теория поля становится надеж-

ным мостом, связывающим микроскопические фундаментальные константы с макроскопическими, практически значимыми свойствами материалов.

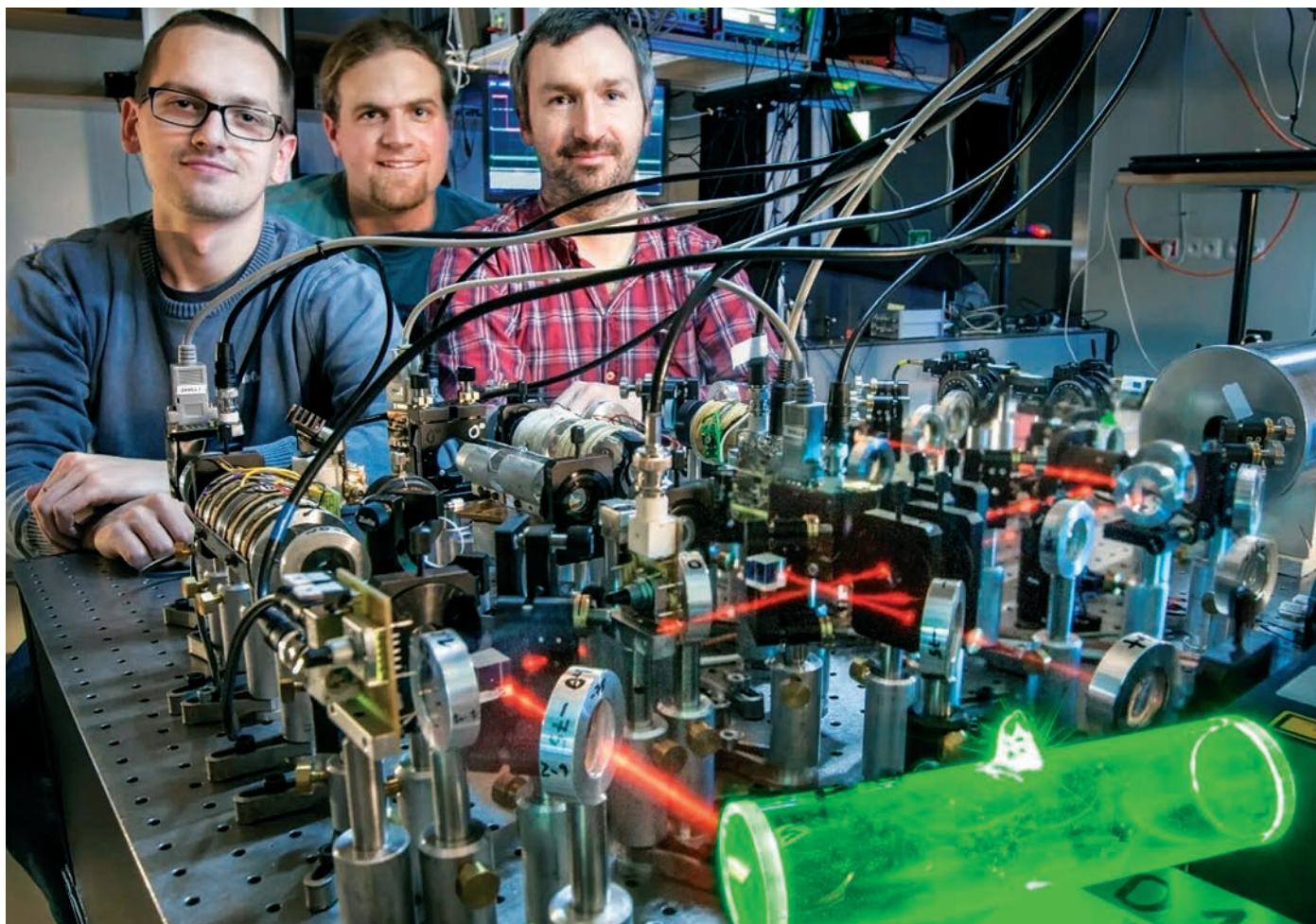
Наиболее зримым, впечатляющим и коммерчески значимым воплощением квантовых принципов в современной энергетике становятся устройства вакуумной электроники, обеспечивающие настоящий прорыв в беспроводной передаче энергии. Разработка и создание магнетронов с так называемым «холодным катодом», работа которых основана на принципе автоэлектронной эмиссии (чисто квантовом туннельном эффекте), позволили поднять коэффи-

Перспективным направлением является разработка гибких полимерных матриц с включением наночастиц магнитных оксидов, способных преобразовывать переменное магнитное поле в электрическое напряжение

циент полезного действия таких мощных генераторов до 85 % и более, одновременно увеличив их выходную мощность до сотен киловатт при полном сохранении компактных габаритов. Кардинальная замена традиционных термокатодов, требующих значительной энергии для разогрева, на холодные, работающие за счет квантового туннелирования, резко снижает массу и энергопотребление самих передатчиков, что делает совершенно реалистичной давнюю концепцию орбитальных солнечных электростанций, способных круглосуточно, вне зависимости от погоды и времени суток, передавать накопленную энергию на Землю сфокусированными микроволновыми пучками, и, кроме того, открывает широкие перспективы для интеграции высокомогущной беспроводной зарядки в структуру интеллектуальных сетей (Smart Grid) будущего.

Синтез: единый каркас квантовой энергетики

Все рассмотренные выше направления — молекулярный дизайн, биоинспирированные материалы, квантово-полевое моделирование, беспроводная передача энергии — развиваются отнюдь не изолированно, а в тесной взаимосвязи. Проведенный в работе всесторонний анализ убедительно демонстрирует, что фундаментальные константы $\hbar$, e , m_e , α и k образуют тот самый единый, незыблемый каркас, который жестко связывает воедино, казалось бы, далекие области: сверхпроводимость, спинтронику, магнонику, информационную термодинамику и материаловедение [2]. Магистральное развитие энергетики будущего, таким образом, неуклонно направлено на решительный переход от устаревшей макро-



Пример работы квантовых технологий

Источник: newatlas.com

Наиболее коммерчески значимым воплощением квантовых принципов в современной энергетике становятся устройства вакуумной электроники, обеспечивающие прорыв в беспроводной передаче энергии

скопической логики простого наращивания генерирующих мощностей к принципиально новой логике прецизионного управления квантовыми и информационными состояниями вещества, что и позволяет минимизировать диссипативные потери и вплотную приблизить реальные энергетические процессы к фундаментальным термодинамическим пределам, заданным принципом Ландауэра и законами квантовой теории [4]. Связь информации и термодинамики проявляется не только в строгом принципе Ландауэра, но и в гораздо более широком контексте — от классического мысленного эксперимента с демоном Максвелла до современных экспериментальных реализаций информационно-управляемых тепловых машин. Информация о микроскопических состояниях системы может быть, в принципе, непосредственно преобразована в полезную механическую работу, а значит, информация объективно выступает таким же фундаментальным ресурсом, как энергия или вещество. В рамках активно развивающейся термодинамики вычислений устанавливаются точные, неумолимые энергетические затраты на фундаментальные операции записи, считывания и необратимого удаления данных, причем в идеальных обратимых вычислениях эти затраты могут быть сделаны сколь угодно малыми, стремясь к нулю при квазистатическом проведении процесса. Однако любая, даже малейшая необратимость, неизбежно вызванная взаимодействием с окружением, ведет к диссипации энергии, что и задает принципиально неустра-

нимую нижнюю границу энергопотребления для любых реальных вычислительных устройств. Именно к этой фундаментальной границе и стремятся сегодня все передовые разработки в области спинтроники, магноники и квантовых вычислений, интегрируя информационные процессы непосредственно в физическую ткань самого материала [8, 9]. Квантовая энергетика, таким образом, предстает перед нами как грандиозный междисциплинарный проект, органично охватывающий все звенья единой цепи: от принципиально новых способов квантовой генерации (орбитальные станции, молекулярные преобразователи) и сверхпроводящей передачи до эффективного хранения (квантовые батареи) и интеллектуальной обработки информации об энергопотоках (спинтронные процессоры, квантовые сенсоры).



Квантовый компьютер
Источник: habr.com



Моделирование с помощью квантовых технологий

Источник: Gorodenkoff, depositphotos.com

Заключение

Проведенное в настоящей работе комплексное исследование позволяет со всей определенностью утверждать, что современная мировая энергетика вступает в решающую фазу глубокой и неизбежной концептуальной трансформации, главной движущей силой которой выступает неуклонная интеграция фундаментальных квантовых представлений во все без исключения звенья энергетического цикла — от первичной генерации и транспортировки до конечного хранения и интеллектуального анализа сопутствующей информации. Историческая реформа Международной системы единиц 2019 года, навсегда зафиксировавшая значения постоянной Планка h , элементарного заряда e и других фундаментальных констант, создала тот необходимый и достаточный метрологический базис для этого эпохального перехода, придав самим единицам энергии неизменный, не зависящий от случайных артефактов универсальный квантовый статус [2].

Всесторонне рассмотренные в работе фундаментальные явления — макроскопическая сверхпроводимость с ее квантованием магнитного потока $\Phi_0 = h/2e$, спинтроника и магноника, оперирующие спиновыми степенями свободы электрона, новаторские концепции квантовых батарей

на основе коллективных эффектов Дике, а также новые классы материалов для эффективного сбора так называемой «бросовой» энергии — убедительно демонстрируют, что сколь-нибудь существенное и кардинальное повышение эффективности энергетических процессов принципиально достижимо лишь при условии решительного перехода от примитивной макроскопической «мощностной» логики к тонкому и прецизионному управлению квантовыми состояниями вещества [6, 7, 10, 11]. Ключевую, определяющую роль в этом сложнейшем синтезе играют достижения самого

Разработка магнетронов с «холодным катодом», работа которых основана на принципе автоэлектронной эмиссии, позволили поднять коэффициент полезного действия таких мощных генераторов до 85 %

последнего времени в таких передовых областях, как физика альтермагнетиков, гибридизация магнанных мод, практическая интеграция квантовых батарей в вычислительные архитектуры, создание надежных элементов квантовой памяти, разработка энергоэффективных композитных преобразователей магнитного поля и создание высокоэффективных магнетронов с холодным катодом. Эти впечатляющие прорывы не только со всей очевидностью подтверждают практическую реализуемость квантовых принципов, но и вплотную приближают долгожданную эру высокоэффективной беспроводной и орбитальной энергетики, полностью интегрированной с интеллектуальными сетями и масштабируемыми квантовыми вычислителями.

В еще более широком, мировоззренческом контексте квантовая энергетика предстает перед нами как грандиозный междисциплинарный проект, органично объединяющий физику конденсированного состояния, современную квантовую теорию поля, термодинамику информации и передовую молекулярную инженерию. Фундаментальные константы — h , e , m_e , α и k — образуют тот самый общий, универсальный язык, который надежно связы-

вает эмергивную оценку природных ресурсов [3] с термодинамической «ценой» бита информации [4]. Именно в строгих рамках этого единого физического каркаса становится возможным окончательное преодоление ограничений классической электротехники и долгожданный выход на качественно новый уровень энергоэффективности, вплотную приближающий реальные энергетические устройства к фундаментальным пределам, раз и навсегда установленным непреложными законами квантовой физики. Дальнейшее стремительное развитие всей отрасли будет теперь определяться главным образом скоростью и успешностью масштабирования передовых лабораторных прототипов до уровня серийных промышленных решений. Тот знаменательный факт, что Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций и ЮНЕСКО провозгласили 2025 год Международным годом квантовой науки и технологий, является ярким свидетельством всемирного признания квантовых технологий безусловным глобальным приоритетом и дает все основания полагать, что начавшийся процесс их практического внедрения уже с 2026 года носит поистине необратимый и революционный характер.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Faraday M. *The life and letters of Faraday* / ed. by Dr. Bence Jones. 2nd ed. London: Longmans, Green, and Co., 1870. Vol. II. P. 404.
2. Newell D. B., Cabiati F., Fischer J., et al. *The CODATA 2017 values of h , e , k , and NA for the revision of the SI* // *Metrologia*. 2018. Vol. 55, no. 1. P. L13–L16.
3. Odum H. T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. New York: Wiley, 1996. 370 p.
4. Landauer R. *Irreversibility and heat generation in the computing process* // *IBM Journal of Research and Development*. 1961. Vol. 5, no. 3. P. 183–191.
5. Feynman R. P. *There's plenty of room at the bottom* // *Engineering and Science*. 1960. Vol. 23, no. 5. P. 22–36.
6. Пелешенко В. А. Использование квантовых эффектов для хранения и передачи энергии // *Энергия будущего: инновации, технологии и перспективы развития электроэнергетики: материалы Всероссийской научной конференции*. Владимир, 26 марта 2025 г. Симферополь: Ариал, 2025. С. 23–33.
7. Пелешенко В. А. *Квантовые технологии: монография*. М.: Научная библиотека, 2025. 184 с.
8. Nikitov S. A., Safin A. R., Sadovnikov A. V., et al. *Magnonics: a new research area in spintronics and spin wave electronics* // *Physics-Uspekhi*. 2020. Vol. 63, no. 10. P. 945–974.
9. Chumak A. V., Vasyuchka V. I., Serga A. A., Hillebrands B. *Magnon spintronics* // *Nature Physics*. 2015. Vol. 11, no. 6. P. 453–461.
10. Ferraro D., Campisi M., Andolina G. M., Pellegrini V., Polini M. *High-power collective charging of a solid-state quantum battery* // *Physical Review Letters*. 2018. Vol. 120, no. 11. P. 117702.
11. Romero E., Augulis R., Novoderezhkin V. I., et al. *Quantum coherence in photosynthesis for efficient solar-energy conversion* // *Nature Physics*. 2014. Vol. 10, no. 9. P. 676–682.
12. Dirac P. A. M. *The relativistic wave equation of the electron* // *Proceedings of the Royal Society A*. 1928. Vol. 117, no. 778. P. 610–624.

Исследование мирового опыта ведущих организаций по применению водородной энергетики

Research on the Global Experience of Leading Organizations in the Application of Hydrogen Energy

Елена СУХАРНИКОВА
Заведующий сектором инновационных программ ООО «НИИ Транснефть»
E-mail: SuharnikovaEI@transneft.ru

Elena SUHARNIKOVA
Head of the Innovation Programs Sector,
Research Institute of Transneft
E-mail: SuharnikovaEI@niitnn.transneft.ru

Александр БАЧУРИН
Ведущий научный сотрудник сектора инновационных программ ООО «НИИ Транснефть», к. т. н.
E-mail: BachurinAI@transneft.ru

Alexander BACHURIN
Leading researcher in the innovation programs sector, Research Institute of Transneft, Candidate of Technical Sciences
E-mail: BachurinAI@niitnn.transneft.ru

Дмитрий ВОЛОХОВ
Ведущий научный сотрудник сектора инновационных программ ООО «НИИ Транснефть», аспирант Уфимского государственного нефтяного технического университета
E-mail: VolokhovDI@transneft.ru

Dmitrii VOLOKHOV
Leading researcher in the Innovation programs sector, Research Institute of Transneft, postgraduate student at Ufa state petroleum technological university
E-mail: VolokhovDI@transneft.ru

Аннотация. Мировая водородная энергетика развивается в условиях трансформации глобальной энергетической системы и усиления климатической повестки. На фоне декарбонизации промышленности и транспорта формируется новый спрос на низкоуглеродный водород, что требует переосмысления стратегий его производства, хранения и транспортировки. В статье проведен анализ текущего состояния мирового спроса на водород, ключевых драйверов роста и стратегических программ ведущих стран, определяющих перспективы формирования устойчивой водородной энергетики.

Ключевые слова: декарбонизация, водородная энергетика, возобновляемые источники энергии, энергетическая инфраструктура

Abstract. The global hydrogen energy sector is developing in the context of the transformation of the global energy system and the strengthening of the climate agenda. As industry and transportation decarbonize, there is a new demand for low-carbon hydrogen, which requires a rethinking of strategies for its production, storage, and transportation. This article analyzes the current state of global hydrogen demand, key drivers of growth, and the strategic programs of leading countries that shape the future of sustainable hydrogen energy.

Keywords: decarbonization, hydrogen energy, renewable energy sources, energy infrastructure



Водородная энергетика

Источник: shutterstock.com

Введение

В условиях глобальной декарбонизации и снижения влияния на окружающую среду водородная энергетика в мире рассматривается как одно из ключевых направлений трансформации энергетических систем. Водород выполняет роль современного универсального энергоносителя, обеспечивая интеграцию возобновляемых источников энергии, декарбонизацию промышленности, развитие низкоуглеродного транспорта и формирование новых рынков. Международное аналитическое агентство (МЭА) и крупные организации формируют стратегии внедрения водородных технологий и реализуют пилотные и промышленные проекты. По оценкам различных экспертов, водород может занять пятую часть общего предложения первичной энергии к 2050 году. Вместе с тем модели развития водородной энергетики существенно различаются в зависимости от ресурсной базы стран, уровня технологической зрелости, структуры энергопотребления и приоритетов промышленной политики.

Актуальность исследования определяется потребностью в адаптации между-

народных практик к национальным уровням и формировании научно обоснованных рекомендаций по развитию водородной отрасли. В рамках статьи проведен анализ стратегий, инструментов поддержки и реализуемых проектов ведущих мировых организаций в сфере водородной энергетики.

Исследование текущего состояния и перспектив развития водородной энергетики

Перспективы развития мировой водородной энергетики

Популяризация водорода в текущей конъюнктуре мирового топливно-энергетического комплекса обусловлена уже устоявшимся трендом реализации Целей устойчивого развития (ЦУР). Генеральная ассамблея ООН разработала ЦУР в качестве «плана достижения лучшего и более устойчивого будущего для всех», среди них есть цели, напрямую затрагивающие во-



Производство водорода в Китае

Источник: news.cgtn.com



Водородный топливный элемент

Источник: eenewseurope.com

просы экологии (ЦУР-6, ЦУР-12, ЦУР-14, ЦУР-15) и климата (ЦУР-7, ЦУР-9, ЦУР-13). В контексте реализации ЦУР в 2015 году было принято Парижское соглашение, целью которого является снижение прироста глобальной средней температуры. В рамках реализации целей соглашения ООН и региональные организации проводят семинары и круглые столы для создания национальных руководств и принципов.

В 2019 году Евросоюз разработал законодательную инициативу The European Green Deal («Зеленая сделка»), целью которой является достижение 100 % углеродной нейтральности всеми государствами ЕС к 2050 году. В 2020-м Европейская комиссия представила новую стратегию сокращения выбросов метана, а также «Целевой план по климату», задача которого – сократить объемы выбросов парниковых газов на 55 % по сравнению с уровнями 1990 года к 2030-му. По оценкам международной консалтинговой компании KPMG, в базовом сценарии развития событий потери российских экспортеров составят 33 млрд евро за 2025–2030 годы, в отрицательном сценарии они могут достигнуть 47 млрд евро за 2022–2030 годы [1], причем нагрузка в большей степени ляжет на экспортеров природного газа, нефти, черных металлов и энергетического угля. Также изменения происходят на на-

циональном уровне: в 2020-м Китай выступил с заявлением о намерении достичь углеродной нейтральности к 2060 году [2]. Одновременно о стремлении к углеродной нейтральности к 2050 году заявили Япония и Южная Корея. В 2021-м обязательство снизить уровень нетто-выбросов CO₂ до нулевого уровня к 2050 году взяла на себя и Канада [3].

Одним из перспективных источников энергии, которые позволяют существенно снизить выбросы CO₂, достичь углеродной нейтральности, а также содействовать достижению ЦУР является водород. Среди прорывных технологий в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ) водород обладает наибольшей практиче-

Среди прорывных технологий в области возобновляемых источников энергии водород обладает, пожалуй, наибольшей практической применимостью в различных секторах экономики

ской применимостью в различных секторах экономики, включая автомобильный транспорт, электрогенерацию, химическую промышленность, тяжелую металлургию, авиаперевозки, морские перевозки, производство низкоуглеродных продуктов, космос и т.д.

В декабре 2025 года Европарламент и Совет ЕС согласовали правила полного прекращения поставок: срок запрета импорта российского СПГ – с 25 апреля 2026 года, запрета на трубопроводный газ – с 17 июня 2026 года и окончательно с 30 сентября 2027 года.

В связи с этим продолжается политика «углеродного регулирования», увеличиваются субсидии на ВИЭ, развиваются проекты по декарбонизации, в рамках которых ЕС планирует переоборудовать газопроводы. На данный момент спрос на водород

Установка по производству водорода на АЭС Nine Mile Point в США

Источник: atomic-energy.ru



Хранилище жидкого водорода

Развитие водородной энергетики происходит по нескольким параллельным направлениям: масштабирование электролиза, развитие технологий хранения, создание инфраструктуры, внедрение топливных элементов

не позволяет этому источнику энергии эффективно конкурировать с традиционными. Тем не менее с 2000 года, по данным МЭА, спрос на новое «голубое топливо» постоянно растет. Основной спрос на водород генерирует химическая и металлургическая промышленность, а к 2030 году спрос на этот газ составит 180 млн тонн, что в два раза превысит текущий [4].

В зарубежных странах активное развитие водородной энергетики началось с 2018 года, когда Япония приняла собственную водородную стратегию. В мире суще-

Источник: hydrogentechnology.blogspot.com



Производство водорода

Источник: shutterstock.com

ствуется свыше 2,5 тыс. водородных производственных проектов, 100 проектов по транспортировке, а также около 80 проектов по хранению и 97 портов для морской транспортировки водорода [6].

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 05.08.2021 № 2162-р утверждена концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. Задача по развитию водородной энергетики также закреплена в ключевом отраслевом документе стратегического планирования – распоряжении Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р (ред. от 15.02.2025) «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года».

В последние годы в РФ также сформирована база пилотных и перспективных водородных проектов, отраженных в «Атласе российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака», сформированном в 2021 году Минпромторгом России совместно с субъектами Российской Федерации, промышленными и энергетическими организациями (рис. 1) [7].

Текущее состояние спроса на водород в мире

Современный глобальный спрос на водород характеризуется устойчивым ро-



Рис. 1. Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака [7]

стом, обусловленным как традиционным промышленным потреблением, так и формирующимися новыми секторами применения. На текущем этапе водород становится частью энергетической системы крупнейших стран мира, однако на данный момент его доля относительно невелика. По данным МЭА, спрос на водород в 2024 году составил около 100 млн тонн, что на 2 % больше, чем в 2023-м [8]. Основная часть спроса по-прежнему сосредоточена в традиционных отраслях, таких как нефтепереработка и химическая промышленность. В категорию «другое» входят незначительные объемы спроса в промышленности, на транспорте, при производстве электроэнергии.

Применение водорода в нефтепереработке

Нефтепереработка является крупнейшим текущим потребителем данного газа. Водород, используемый в этом секторе, как правило, производится локально путем парового риформинга метана, выделяется из побочных газов нефтехимических процессов или поставляется в качестве товарного водорода. Нефтеперерабатывающие заводы используют его для удаления примесей и переработки тяжелых фракций нефти в более легкие продукты. Использование



Автобус с топливными элементами
Источник: Scharfsinn, depositphotos.com

водорода с низким уровнем выбросов в нефтепереработке может стать доступным способом создания большого спроса на водород с низким уровнем выбросов и способствовать расширению масштабов производства.

Химическое производство и производство стали

В данном секторе водород используется в основном для производства аммиака (60 %), 30 % – для производства метанола и 10 % – для производства стали. Синтезированный из водорода аммиак также используется для производства удобрений.

Производство водорода

Источник: hydrogentechnologyge.blogspot.com





Водородный корабль Energy Observer

Источник: Twitter.com @ROKAutomation

Производство аммиака

В сельском хозяйстве развиты процессы производства азотных удобрений. В свою очередь, удобрения производятся с использованием аммиака. Ряд промышленных производств синтезируют аммиак из водорода, который в дальнейшем применяется в сельском хозяйстве и других отраслях промышленности. Учитывая перспективы роста производства водорода, такие предприятия готовы производить водород и аммиак параллельно.

Водород в транспортном секторе

Один из наиболее быстро развивающихся сегментов – водородные топливные элементы. Они применяются в тяжелом коммерческом транспорте, автобусах и ж/д, а крупнейшие автопроизводители наращивают выпуск и тестирование водородных моделей, стимулируя спрос на низкоуглеродный водород. Применение водорода в транспортном секторе и для генерации электроэнергии на текущий момент ограничено. В транспортном секторе годовая потребность в водороде составляет менее 30 тыс. тонн, около 0,035 % от совокупного спроса. При этом, по оценке МЭА, в 2024 году количество продаж электромобилей превысило 17 млн единиц,

что составило порядка 20 % от общих продаж.

Применение водорода в производстве микрочипов

Водород применяется в фотолитографии в глубоком ультрафиолете для производства микропроцессоров. Для такого типа производства необходимо использование сверхчистого водорода.

Морской транспорт

В морском секторе судоходные компании инвестируют в водородные технологии и «е-топливо» на его основе из синтетического аммиака и метанола для соответствия требованиям Международной морской организации (ИМО) по сокращению выбросов. Основные участники отрасли объявили о планах по разработке морских двигателей, работающих на стопроцентном аммиачном топливе.

Водород в авиации

В авиационном секторе наблюдаются аналогичные инициативы. Компания Airbus в 2020-м обнародовала план разработки к 2035 году новых концепций водородных самолетов, рассчитанных на 200 пассажиров и дальность полета 3700 км [9]. По оценкам экспертов, прямое использование водорода в коммерческой авиации не станет коммерчески целесообразным до середины 2030-х или позже, применение синтетического авиакеросина на основе водорода в качестве топлива для существующих самолетов может получить распространение к 2030 году.

Водород в электрогенерации

На текущий момент водород имеет лишь незначительное присутствие в электроэнергетическом секторе. Немногие страны поставили четкие цели по использованию водорода или топлива на его основе для электрогенерации, а ряд других стран также признали в своих национальных стратегиях в области водорода потенциал водорода как низкоуглеродного ва-

Водород постепенно трансформируется из специализированного промышленного элемента в стратегический энергоноситель, играющий важную роль в процессах глобального энергетического перехода

рианта для производства электроэнергии и тепла, позволяющего обеспечить гибкость в энергосистемах с высокой долей переменной возобновляемой энергии.

Водородопроводы и водородные проекты в нефтетранспортных компаниях

В США уже порядка 2,5 тыс. км водородопроводов, сделанных из высокопрочной стали (при определенном давлении и прочности стали не происходит водородного охрупчивания). В ФРГ планируют строительство ветки водородопроводов (порядка 6000 км). В Европе уже появилась система сертификации водородопроводов (сертифицируют DNV и TUV). Запланировано строительство первого в истории трансграничного водородопровода между ФРГ и Норвегией. Также в перспективе рассматривается создание водопровода между Испанией и Францией (H2Med).

По данным МЭА, когда транспортировка водорода по трубопроводам достигнет эффекта масштаба, она станет самым дешевым вариантом транспортировки, особенно в случае использования переоборудованных трубопроводов. Трубопроводы большого диаметра могут быть дешевле на больших расстояниях, но их строительство более сложное, особенно если они пересекают разные юрисдикции.

Драйверы роста спроса на водород в мире

Развитие ВИЭ и избыточная электрогенерация

Развитие ВИЭ стало одним из ключевых факторов стимулирования водородного перехода в ряде крупнейших стран мира, обеспечивающих полностью экологически чистое производство водорода. За счет роста количества используемых ВИЭ произошло значительное снижение себестоимости производимой ими энергии. При этом стоит отметить, что ВИЭ имеют ряд недостатков, в частности проблемы избыточной электрогенерации. Эти факторы привели страны к поиску наиболее оптимального метода хранения электроэнергии, получаемой с применением ВИЭ, с целью последующего использования в периоды повышенного спроса или для поставок в энергодефицитные районы. Таким

образом, водород становится элементом системной гибкости энергосистем, обеспечивая аккумуляцию и интеграцию ВИЭ в энергетический баланс.

Зрелость технологий электролиза

Другим драйвером, способствующим развитию водородной энергетики, является зрелость ряда технологий производства водорода: расширение применения водородных технологий позволило значительно снизить стоимость их использования. Технологии электролиза достигли достаточной зрелости, чтобы расширить производство и внедрение, а также обеспечить значительное снижение затрат.

На Европу приходится около 40 % глобальных установленных мощностей, и она останется доминирующим регионом благодаря стимулирующей политической поддержке за счет многочисленных водородных стратегий.

Государственная поддержка водородных проектов

Следствием возросшего интереса к проблемам экологии и связанного с ним интереса к «зеленому» водороду стало внедрение в национальные стратегии крупнейших стран планов по развитию и использованию водорода во всех сферах экономики. Механизмы углеродного регулирования повышают конкурентоспособность производимого из природного газа без улавливания CO₂ низкоуглеродного водорода по сравнению с «серым» (получаемым путем паровой конверсии метана). В свою очередь, переход к водородной энергетике, анонсированный ря-

Устойчивый рост водородной энергетики возможен при условии синхронизации технологического развития, государственной поддержки и долгосрочного спроса со стороны промышленности и транспорта



Водородный автобус КАМАЗ-6290

Источник: sdelanounas.ru

дом крупнейших стран мира, гарантирует производителям значительный спрос на водород в ближайшем будущем.

Развитие новых технологий в области водорода

Среди немаловажных факторов, способствующих реализации водородного перехода, необходимо отметить внедрение водорода в различные сферы экономики, включая сталелитейную промышленность, электрогенерацию, автомобильную отрасль и др. Отмечается, что двигатели на водородном топливе обладают рядом конкурентных преимуществ перед электродвигателями, уже вышедшими на этап коммерциализации, при использовании на крупнотоннажном транспорте. В крупнейших странах разрабатываются и реализуются крупные промышленные проекты по переходу к производству углеродно-нейтральной продукции (например, реализуемый компаниями LKAB, Vattenfall и Энергетическим агентством Швеции проект по производству углеродно-нейтральной стали на заводе шведской компании SSAB). Использование водорода в широком ряде отраслей позволяет ожидать более высокий спрос на него в будущем, что также будет способствовать росту интереса к развитию водородной энергетики.

По прогнозу МЭА, основанному на принятых правительствами стран стратегиях развития, к 2030 году доля энергии, генерируемой с использованием ВИЭ, вырастет

более чем на 60 % относительно уровня 2019-го. В соответствии со сценарием устойчивого развития целью к 2030 году является увеличение объемов производимого водорода до 7,92 Мт/г (что предполагает среднегодовые темпы роста около 36 %).

Производственные мощности «зеленого» водорода к 2030 году, по оценке Водородного совета [10], достигнут 90 ГВт за счет роста числа электролизеров. Однако для достижения целевого показателя в 90 ГВт потребуется увеличить объем производственных мощностей, которые будут вводить в эксплуатацию ежегодно. По прогнозам Водородного совета, к 2050 году на долю водорода будет приходиться 18 % спроса на энергоносители. Ежегодно водородный сектор экономики (включая продажи и самого водорода, и соответствующего оборудования) будет приносить 2,5 трлн долл. США выручки. Водородный совет отмечает не только экономическую, но и социальную значимость развития новой отрасли: к 2050 году будет создано 30 млн рабочих мест в водородном секторе. Также в отчете отмечается значительный рост конечного спроса на водород со стороны всех отраслей экономики (от электрогенерации до промышленности и транспорта) к 2050 году: по прогнозам организации, спрос в период с 2020 по 2050 год увеличится с 10 до 78 ЭДж. Ожидается, что к 2050-му водород может заменить более 10 млн баррелей в сутки нефти.

По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), к 2050 году объем производства «зеленого» водорода составит 19 ЭДж в год, что будет соответствовать 5 % конечного потребления энергоресурсов в мире. В соответствии со сценарием IRENA 1,5 °C, предусматривающим ограничение глобального потепления в XXI веке в пределах 1,5 °C, в 2050 году общий объем производства «зеленого» и «голубого» водорода составит 74 ЭДж (или 12 % от конечного потребления).

Анализ стратегических программ/планов развития водородной энергетики в зарубежных странах

Глобальная активизация усилий в пользу декарбонизации означает, что подавляющее большинство стран тем или иным образом установили общие цели в

области возобновляемых источников энергии. Правительственные заявления, касающиеся водородной энергетики, с начала 2018 года включают введение различных целевых программ, направленных на устранение барьеров на пути разработки и коммерциализации водорода, а также стимулов, направленных на поощрение инвестиций в водородную промышленность.

Принятые меры политики включают:

- создание механизмов финансирования;
- выявление целей применения водорода;
- введение новых норм по механизмам субсидирования;
- создание инвестиционных фондов;
- введение налоговых льгот.

Как правило, эти меры реализуются для осуществления декарбонизации и обеспечения энергетической безопасности. Информация о хронологии введения государственных инициатив в области во-

Таблица 1. Государственные инициативы в области водородной энергетики

№ п/п	Год	Государственные инициативы			
		Программы НИОКР	Концептуальный документ	Дорожная карта	Стратегия
1	2018	Франция	США ЕС	—	—
2	2019	Нидерланды	Новая Зеландия Канада	Корея ЕС Япония	Япония Австралия
3	2020	Китай	Португалия	Россия Испания	Корея Нидерланды Норвегия Германия ЕС Португалия Чили Финляндия Канада Франция
4	2021	Сингапур Австралия Норвегия США Великобритания Франция Португалия Испания Канада	Эстония Испания Италия Узбекистан Польша Италия	Норвегия Австралия Франция Финляндия США Италия	Япония Чехия Венгрия Великобритания Колумбия Корея Португалия ФРГ Словакия
5	2022	—	Литва	КНР Нидерланды	Сингапур
6	2023	Франция Дания Эстония	Индия Аргентина Франция	Турция Италия	Турция

дородной энергетики по странам представлена в таблице 1.

Выводы

Водород постепенно трансформируется из специализированного промышленного элемента в стратегический энергоноситель, играющий важную роль в процессах глобального энергетического перехода. Несмотря на то, что основной объем спроса по-прежнему сосредоточен в традиционных секторах, наиболее динамичный рост формируется в транспортном секторе, энергетическом хранении, промышленном секторе. Анализ стратегических программ ведущих стран показал, что развитие водородной энергетики осуществляется в рамках комплексных политик, сочетающих климатические цели, индустриальное развитие и обеспечение энергетической безопасности. Ключевыми инструментами реализации выступают государственные субсидии, налоговые стимулы, механизмы контрактов на разницу стандартизации и формирование инфраструктуры транспортировки и хранения водорода.

Технологическое развитие водородной энергетики происходит по нескольким параллельным направлениям: масштабиро-

вание электролиза, развитие технологий хранения (криогенное, химическое, подземное), создание трубопроводной и морской инфраструктуры, внедрение топливных элементов в транспорте и промышленности. При этом существенными ограничениями остаются высокая капиталоемкость проектов, вопросы безопасности, проблемы водородного охрупчивания материалов и необходимость создания нормативной базы. Исследование лучших мировых практик показывает, что устойчивый рост водородной энергетики возможен при условии синхронизации технологического развития, государственной поддержки и формирования долгосрочного спроса со стороны промышленности и транспорта водорода. Таким образом, мировой опыт подтверждает, что водородная энергетика становится одним из ключевых элементов трансформации топливно-энергетического комплекса, а дальнейшее ее развитие будет определяться темпами технологических инноваций, снижением стоимости производства и созданием инфраструктуры транспортировки и хранения. Полученные результаты могут быть использованы при формировании национальных стратегий и разработке прикладных решений в сфере трубопроводного транспорта и энергетической инфраструктуры.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Энергетический бюллетень. Трансграничное углеродное регулирование: вызовы и возможности. Выпуск № 98. Москва, 2021. URL: <https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energy/2021.pdf>.
2. China pledges to become carbon neutral before 2060 // The Guardian. 2020. 22 Sept. URL: <https://www.theguardian.com/environment/2020/sep/22/china-pledges-to-reach-carbon-neutrality-before-2060>.
3. Canada upgrades decarbonization plan. URL: <https://ihsmarkit.com/research-analysis/canada-upgrades-decarbonization-plan.html>.
4. Global Hydrogen Review 2021. Международное энергетическое агентство IEA // Официальный сайт IEA.org. URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>.
5. Hydrogen: Net Zero Emissions Guide, September 2023 // International Energy Agency (IEA). URL: <https://www.iea.org/reports/hydrogen-2156>.
6. МЭА. База данных проектов в области производства водорода и водородной инфраструктуры. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-production-and-infrastructure-projects-database>.
7. Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака // Официальный сайт Минпромторга России. URL: <https://minpromtorg.gov.ru/storage/797ced43-043d-4b4e-b72b-3d36984adb7/documents/663f0df0-8439-4152-a8ea-2c4d0d36ffe4/008cee19-8ce0-4107-9013-74288ef21298.pdf>.
8. Outlook for World Energy 2025, November 2025 // International Energy Agency (IEA). URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025>.
9. Towards the world's first zero-emission commercial aircraft, Airbus // Официальный сайт Airbus.com. URL: <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe>.
10. Hydrogen Council // Официальный сайт Hydrogencouncil.com. URL: <https://hydrogencouncil.com/>.



Здесь встречи ведут к результату!

Промышленно-энергетический форум TNF —
главная площадка нефтегазовой отрасли страны

Определяем ключевые тренды
нефтегазового и энергетического
комплекса страны



Создаем прямой диалог
лидеров рынка: заказчиков
и производителей



Презентуем новейшие
технологии для повышения
эффективности отрасли



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА



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

Будь в курсе основных направлений развития ТЭК!

energy-policy.ru

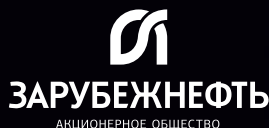
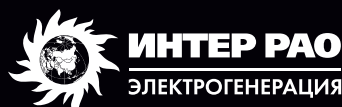
Уважаемые авторы! С требованиями к оформлению и отправке статей, а также с правилами рецензирования вы можете ознакомиться по ссылке:

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



НАШИ ПАРТНЕРЫ

 ПРОМСЫРЬЕИМПОРТ





ISSN 2409-5516



Источник фото на обложке:
[nostalgic, depositphotos.com](https://depositphotos.com)