

УДК 620.9

РАЗВИТИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ: АНАЛИЗ ТЕКУЩИХ ТРЕНДОВ И ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Абрамова Д.А., аспирант, 4 курс;

Бирюков В.В., студент, 4 курс;

Лымарев Д.А., аспирант, 2 курс;

Мурашов В.А., аспирант, 1 курс;

Полканов С.В., аспирант, 2 курс

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

Аннотация: В работе проанализированы ключевые тенденции развития российской энергетики, включая рост потребления электроэнергии и структурные изменения в отрасли. Особое внимание уделено перспективам водородных технологий как инструмента декарбонизации в нефтепереработке, химической промышленности, металлургии и транспорте. Проанализированы сложности энергоснабжения отдалённых территорий, связанные с износом инфраструктуры, а также возможности комбинирования водорода с возобновляемыми источниками энергии для создания локальных энергосистем. В выводах подчёркивается необходимость гармонизации экономических и экологических приоритетов — в частности, модернизации генерирующих мощностей и развития технологий накопления энергии.

Ключевые слова: энергетика России, потребление электроэнергии, водородные технологии, декарбонизация, ВИЭ, энергоснабжение регионов, износ инфраструктуры, модернизация мощностей, накопление энергии.

В настоящий момент современное развитие энергетики проходит масштабную трансформацию, обусловленную технологическими, демографическими и экономическими факторами. Ключевыми драйверами выступают: усиление роли инженерного подхода, интеграция возобновляемых источников энергии, внедрение интеллектуальных сетей и совершенствование систем накопления энергии.

На рост энергопотребления влияют урбанизация, развитие промышленности и цифровизация экономики. Расширение мегаполисов требует наращивания энергетических мощностей не только ЖКХ, но и транспортной инфраструктуры, а рост промышленного сектора и распространение цифровых технологий (дата-центров, систем связи, интернета вещей) создают дополнительную нагрузку на энергосистемы. В этих условиях критически важно создать энергетическую инфраструктуру нового поколения, отвечающую требованиям безопасности (минимизация рисков аварий), устойчивости (работоспособность при колебаниях нагрузки) и гибкости (адаптация к новым технологиям).

Таким образом перед современной энергетикой стоит комплексная задача: обеспечить растущие потребности общества в энергии при сохранении экологической сбалансированности и экономической эффективности. Ее решение требует системного подхода с интеграцией инноваций и межотраслевой координации. Эта трансформация проявляется в нескольких принципиальных сдвигах: во-первых, в постепенном дополнении углеродной энергетики углеродонейтральной; во-вторых, в переходе от централизованного энергоснабжения к децентрализованным системам.

Растущий спрос на электроэнергию выступает одновременно и причиной, и следствием этих изменений. Он не только стимулирует трансформацию отрасли, но и ставит перед энергетическим сектором ряд неотложных задач: модернизацию существующих

генерирующих мощностей, повышение энергоэффективности действующих установок и ускоренное развитие новых источников энергии. Без решения этих задач невозможно обеспечить устойчивое развитие отрасли и ответить на вызовы будущего.

Исследование факторов и тенденций развития энергетики в России

Согласно данным АО «СО ЕЭС», в 2024 году объем потребления электроэнергии в России достиг 1 174 млрд кВт·ч, что на 3,1% превышает показатель 2023 года. С учетом изолированных энергосистем общий объем потребления составил 1 191,7 млрд кВт·ч — также с ростом на 3,1% [1].

Рост спроса на электроэнергию связан с несколькими важными процессами: активным развитием промышленного сектора, расширением городов, внедрением цифровых технологий в экономику, а также увеличением доли электротранспорта и распространением энергоемких бытовых устройств.

В связи с увеличением потребления перед энергетическим комплексом встают приоритетные задачи: необходимо наращивать объемы генерации, обновлять сеть инфраструктуру и повышать энергоэффективность системы, чтобы гарантировать стабильное и надежное энергоснабжение.

Подобная динамика, характеризующаяся опережающим ростом потребления над вводом генерирующего оборудования, потенциально несет в себе риски для стабильной и надежной работы энергосистемы. И хотя к 2042 году планируется создать стратегический резерв генерирующих мощностей в объеме 2% от прогнозируемого максимума потребления, проблема дефицита мощности при определенных условиях в энергосистеме остается актуальной. Для минимизации рисков необходимо ускорять темпы ввода новых генерирующих объектов и модернизировать сеть инфраструктуру. Особое внимание следует уделить развитию распределенной генерации и систем накопления энергии, способных оперативно компенсировать локальные дефициты мощности.

Топливно-энергетический комплекс

Также для создания новых энергетических мощностей необходимо учитывать текущие тенденции на энергетическом рынке, где наблюдается противоречивая ситуация: уже сейчас наблюдается незначительное снижение добычи нефти, которое при этом сопровождается ростом производства угля и газа (рис. 1 – 3). Такая тенденция обусловлена истощением традиционных месторождений, которые требуют все больших затрат на разработку новых, часто более сложных в освоении, источников. К 2035 году ожидается снижение добычи нефти на 11%, а рост добычи угля и газа на 22% и 9% соответственно. Рост газодобычи открывает новые возможности для энергетического сектора. Природный газ, как относительно экологически чистый ископаемый энергоноситель, приобретает роль переходного топлива в процессе перехода к низкоуглеродной экономике. Это стимулирует развитие газотурбинных технологий, расширение газотранспортной инфраструктуры и создание новых мощностей на основе комбинированных циклов.

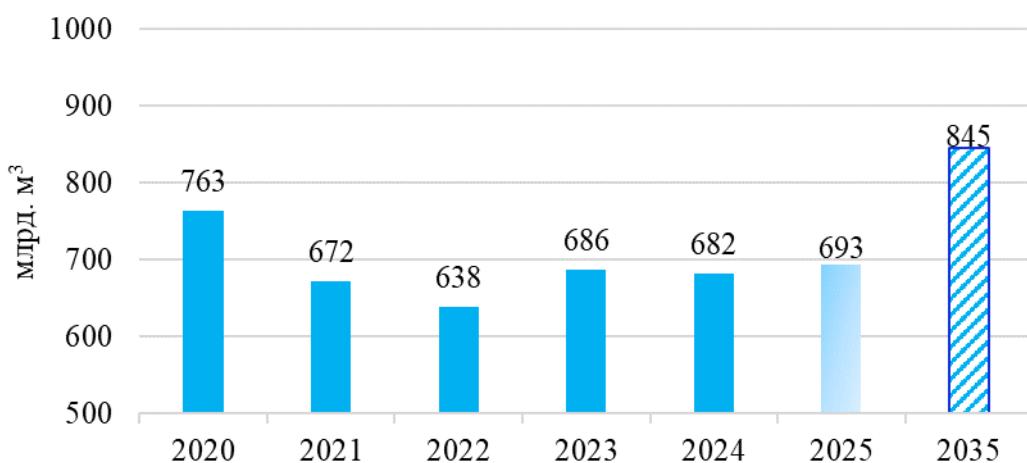


Рисунок 1 – Статистика и прогноз по добыче газа на период 2020 – 2035 гг.

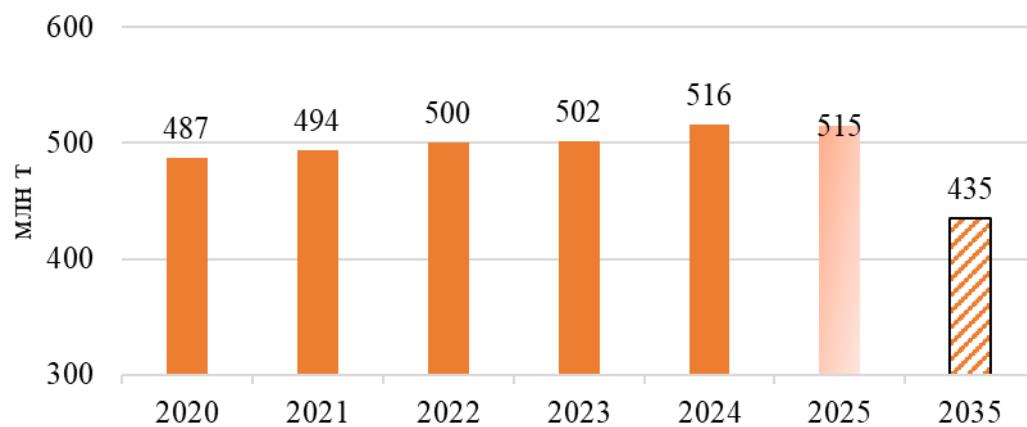


Рисунок 2 – Статистика и прогноз по добыче нефти на период 2020 – 2035 гг.

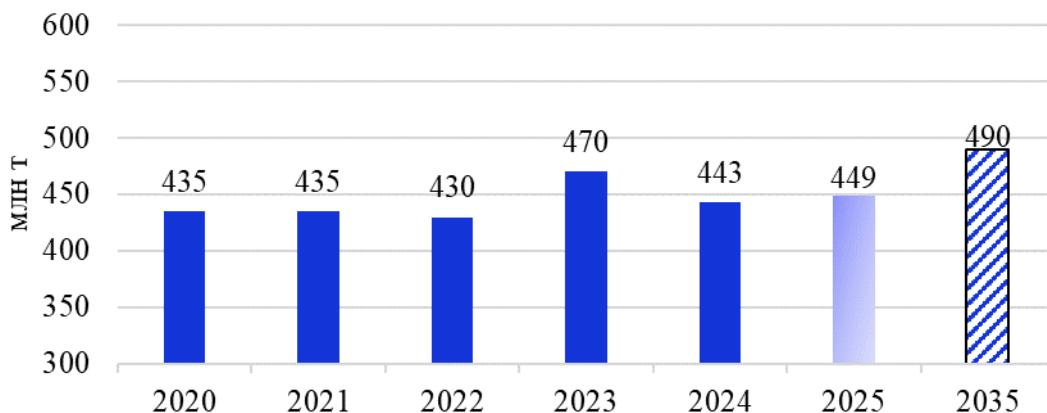


Рисунок 3 – Статистика и прогноз по добыче угля на период 2020 – 2035 гг.

При анализе данных российских и международных аналитических агентств за период с 2010 по 2024 год наблюдается стабильный рост с колебаниями цен на ископаемое топливо - нефть, уголь и природный газ (рис. 4). На российском рынке это объясняется рядом факторов: изменением структуры мирового энергопотребления, усилением конкуренции за экспортные рынки, технологическими ограничениями в добыче и транспортировке, а также сезонными изменениями спроса. Максимальный пик цен был зафиксирован в 2022 году,

когда стоимость 1 м³ достигла 119 рублей (\$1,32), а цена нефти составила 9801 рубль за баррель (\$108,6) [2].

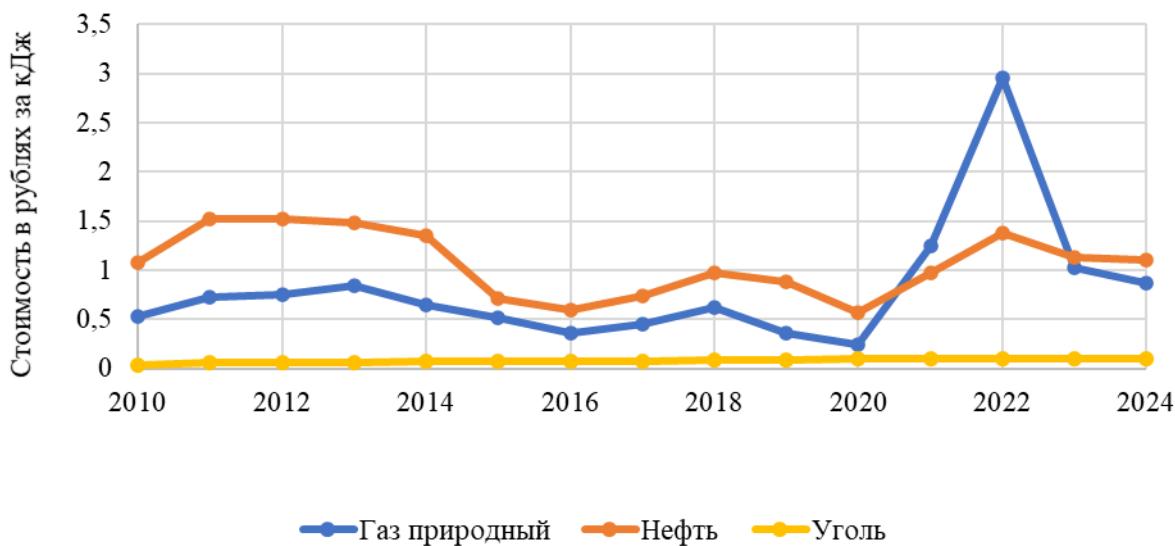


Рисунок 4 – Динамика российских цен на ископаемые энергоносители за период 2010 – 2024 гг.

Уголь остается востребованным источником энергии благодаря более предсказуемой динамике стоимости. Доля угля в энергетическом балансе значительна, особенно в регионах Сибири и Дальнего Востока. На 2024 год в России действуют 289 электростанций и 9 750 котельных, которые используют различные виды угля. Уголь оказывает наиболее негативное воздействие на экологическую среду по сравнению с другими видами ископаемого топлива.

Из-за неравномерного роста цен и потенциального увеличения выбросов парниковых газов в России наблюдается рост числа проектов в сфере возобновляемых источников энергии. В 2024 году установленная мощность солнечных и ветровых станций достигла 3 744 МВт, особенно в регионах с высокой ресурсной базой – таких как Краснодарский край, Ставрополье, Татарстан и Крым. Строятся крупные ветропарки («Андреевский», «Заполярный») и солнечные электростанции («Майнская», «Калужская СЭС»), что демонстрирует растущий интерес к поддержке «зеленой» генерации на федеральном и региональном уровнях.

Вместе с тем из-за недостаточного темпа роста мощностей ВИЭ пока невозможно полноценное замещение сжигания ископаемого топлива полностью «зеленой» энергетикой. В настоящее время темпы роста мощностей возобновляемых источников энергии остаются недостаточными для полного отказа от ископаемого топлива в пользу «зеленой» энергетики. Однако для успешного перехода к экологически чистому энергоснабжению необходимо создать все необходимые условия для развития перспективных направлений альтернативной энергетики, включая инновационные технологии производства и использования энергоносителей, например, водородная энергетика.

Развитие водородной энергетики в России

Отрасль нефтехимии.

Российская нефтеперерабатывающая отрасль – крупнейший потребитель водорода. В 2022 году в России переработано 276 млн тонн нефти (рис. 5), при этом водород широко используется для гидроочистки дизельного топлива и бензина.

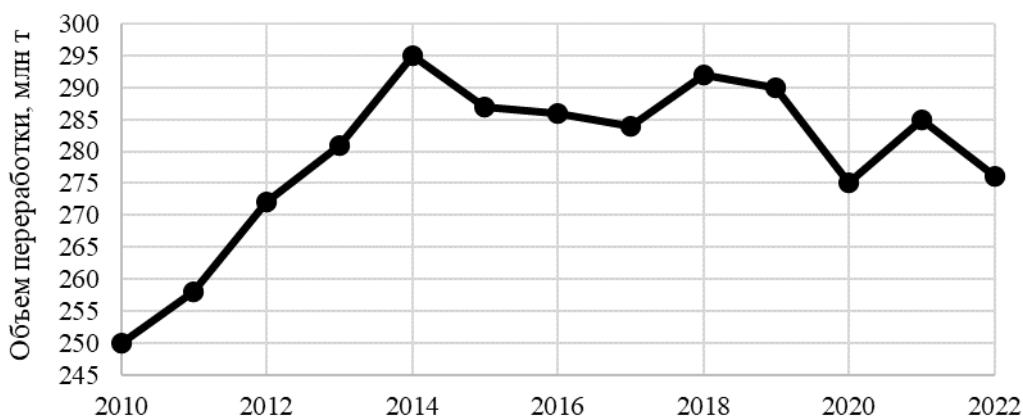


Рисунок 5 – Объем переработанной нефти в России (2010 – 2022 гг.) [3]

Доля низкосернистого дизельного топлива на рынке ЕС превышает 90 %, что требует от российских НПЗ увеличения объемов гидроочистки. Примерная потребность в водороде составляет 90 – 100 нм³ (около 8 – 9 кг) на каждую тонну гидроочищенного дизельного топлива.

В настоящее время суммарное потребление водорода на российских нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) оценивается в 1,5 – 2 млн т/год. Программа модернизации нефтеперерабатывающих мощностей [4] обязывает запуск новых установок гидроочистки и гидрокрекинга, что ведет к дальнейшему росту потребления водорода.

Промышленный сектор.

Российская химическая промышленность включает более 17 крупных заводов по производству аммиака – в 2023 году объем выпуска превысил 17 млн тонн. Для производства 1 м³ аммиака требуется примерно 1,5 м³ водорода. Для производства метанола также требуется значительный объем водорода: в 2023 году в России произведено 3,9 млн тонн метанола. В совокупности потребности химической отрасли превышают 4 млн тонн водорода в год.

В Стратегии [5] подчеркивается задача повышения экологичности технологий. Развитие «зеленого» и «низкоуглеродного» водорода позволит выпускать аммиак и метanol с меньшим углеродным следом.

Металлургия также рассматривается как приоритетное направление для внедрения водородных технологий. Производство стали традиционно связано с высокими выбросами углекислого газа из-за использования коксового угля в доменных печах. По оценкам Минприроды РФ, на металлургию приходится около 7 % всех национальных выбросов парниковых газов. Данный сектор промышленности в России выбрасывает 145 – 150 млн тонн СО₂ – экв. ежегодно [6].

Транспорт.

Развитие водородного транспорта в России связано с необходимостью минимизации углеродного следа (транспортный сектор 15% от общего объема выбросов СО₂ по стране) [7]. Цель внедрения водородных авто – создание устойчивой транспортной экосистемы, обеспечивающей нулевые выбросы СО₂, повышение энергоэффективности и укрепление позиций России как лидера на мировом рынке водородных технологий.

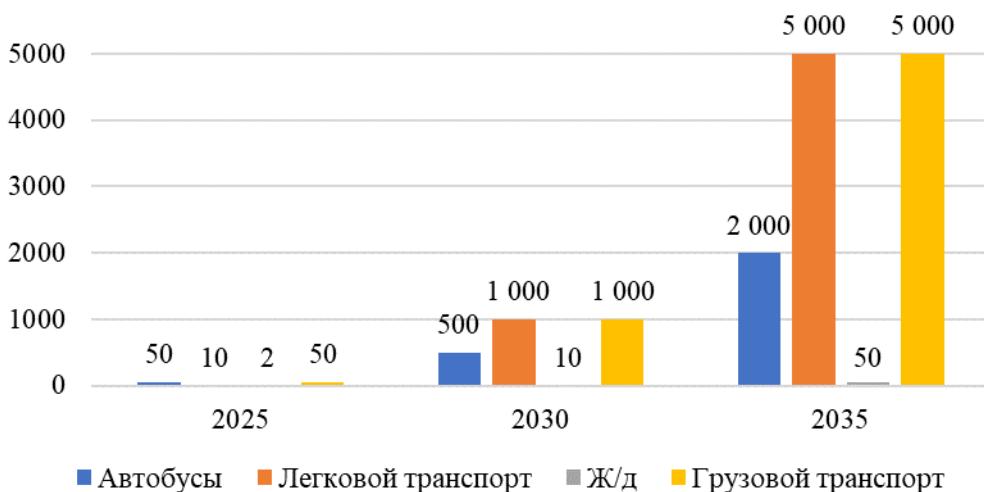


Рисунок 61 – Прогноз роста парка водородных автомобилей в России

В России на раннем этапе развитие водородных автобусов и водородных легковых автомобилей, это связано с необходимостью снижения транспортных выбросов, а также с целью выполнения экологических стандартов Минтранса РФ (рис. 6).

Применение водорода имеет значительные перспективы для грузового транспорта. Это направление обусловлено спросом со стороны логистических компаний и промышленных предприятий на устойчивые решения, позволяющие снизить углеродный след и соответствовать ужесточающимся экологическим нормативам.

Ещё одним перспективным способом использования водорода в транспортной сфере России становится создание водородного железнодорожного транспорта. Эта тенденция напрямую связана с необходимостью модернизации неэлектрифицированных участков сети РЖД — они составляют около 50 % общей протяжённости путей [8]. Внедрение водородных локомотивов способно решить сразу две ключевые задачи:

- сократить выбросы парниковых газов в отдалённых регионах (прежде всего на Дальнем Востоке и в Сибири), где эксплуатация дизельных тепловозов особенно негативно влияет на экологию;
- обеспечить бесперебойное движение поездов на участках, где электрификация экономически нецелесообразна или технически затруднена.

В отличие от прямого сжигания водорода в двигателях, современные проекты базируются на использовании топливных элементов, которые вырабатывают электричество для питания тяговых электродвигателей. Побочным продуктом такой установки являются лишь вода и пар, что делает водородный локомотив практически безуглеродным средством передвижения.

Уже сегодня в России ведутся активные разработки в этой области. Например, на Сахалине реализуется пилотный проект по созданию первого водородного пассажирского поезда на базе рельсового автобуса РАЗ. К 2024 году планируется создать опытный состав, а в период с 2025 по 2030 год — развернуть эксплуатацию поездов мощностью 150–160 кВт.

Кроме того, рассматриваются варианты сотрудничества РЖД с «Газпромом» по внедрению водородного подвижного состава на северных месторождениях. Идея заключается в производстве водорода непосредственно на месте — из газа с падающим давлением, — что позволит избежать затрат на транспортировку и дополнительно снизить парниковый эффект за счёт закачки выделяющегося CO₂ обратно в пласты.

Таким образом, водородный железнодорожный транспорт не только отвечает задачам декарбонизации, но и открывает новые возможности для повышения энергоэффективности и экологической безопасности транспортной системы России, особенно в труднодоступных и экологически чувствительных регионах.

Исследование отдельных факторов и перспектив развития водородной энергетики в России

Износ тепловых и электрических сетей.

В России наблюдается сильный износ тепловых и электрических сетей. Затраты на ремонт в некоторых регионах настолько велики, что выгоднее и эффективнее заменить изношенные установки новыми.

По информации Росстата, средний уровень износа тепловых сетей в РФ и составляет 30%, при общей протяженности более 167 тыс. километров [9]. Состояние тепловых сетей в России отражено в таблице 1.

Таблица 1. Состояние тепловых сетей РФ

№	Показатель	Всего	Диаметр			
			до 200	200-400	400-600	свыше 600
1.	Протяженность всех сетей	167 187	124 746	26 967	9 098	6 375
	в т. ч. протяженность сетей, нуждающихся в замене	50 270	37 623	7 767	2 743	2 136
	в т. ч. протяженность ветхих сетей	38 167	28 748	5 716	2 012	1 689
2.	Заменено сетей	3 250	2 541	483	156	68
3.	Доля замененных тепловых и паровых сетей на конец 2024 г.					
	от общей протяженности сети, %	1,94%	2,04%	1,79%	1,72%	1,08%
	от протяженности сетей, нуждающихся в замене	6,47%	6,76%	6,23%	5,71%	3,22%

Анализируя представленные данные о состоянии и замене тепловых сетей, можно сделать следующие выводы.

Прежде всего, общая картина демонстрирует значительный уровень износа инфраструктуры. Из 167 187 км общей протяженности сетей 50 270 км (около 30%) нуждаются в замене, причем большая часть из них — 38 167 км — классифицируется как ветхие. Это указывает на системную проблему, требующую масштабных и долгосрочных инвестиций в модернизацию теплоснабжения.

Распределение сетей по диаметрам показывает, что основная нагрузка приходится на сети малого диаметра (до 200 мм), которые составляют почти 75% от общей протяженности. Именно в этой категории сосредоточена и наибольшая доля проблемных участков: около 76% от всех сетей, нуждающихся в замене, и 75% от ветхих сетей. Это логично, учитывая их долю в системе, но также означает, что усилия по реновации должны быть в первую очередь сфокусированы на этом сегменте.

Объем проведенной замены сетей в 2024 году (3 250 км) выглядит крайне недостаточным на фоне существующих проблем. При таких темпах работ на полную замену только сетей, уже нуждающихся в реновации (50 270 км), потребуется более 15 лет, без учета дальнейшего старения остальной инфраструктуры. Низкая доля замененных сетей от общей протяженности (1,94%) и даже от нуждающихся в замене (6,47%) подтверждает, что текущие программы реновации не успевают за процессом износа.

Особое беспокойство вызывает ситуация с сетями большого диаметра (свыше 600 мм). Несмотря на то, что они составляют наименьшую долю в системе, процент их замены является самым низким — всего 1,08% от общей протяженности и 3,22% от нуждающихся в замене.

Учитывая стратегическую важность этих магистральных артерий для надежности всей системы теплоснабжения, их замедленная реновация создает значительные системные

риски и потенциально может привести к крупным авариям с серьезными социально-экономическими последствиями.

Очевидная недостаточность темпов реновации тепловых сетей и высокие риски аварийности актуализируют поиск альтернативных решений в сфере теплоснабжения. В условиях, когда масштабная модернизация централизованных сетей требует десятилетий и колоссальных инвестиций, особую значимость приобретают децентрализованные энергетические решения.

Одним из перспективных направлений выступает интеграция водородных технологий — в частности, применение топливных элементов на водороде в комбинации с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Такой подход позволяет:

- избежать капитально-ёмкого строительства «большой» инфраструктуры централизованного теплоснабжения в отдалённых и малонаселённых регионах;
- обеспечить надёжное энергоснабжение без прокладки протяжённых тепловых сетей, наиболее уязвимых к износу;
- снизить экологическую нагрузку за счёт использования чистого энергоносителя;
- повысить гибкость системы благодаря модульности водородных установок.

Таким образом, водородные технологии могут стать не просто дополнением к традиционной инфраструктуре, а самостоятельной альтернативой в регионах, где реновация тепловых сетей экономически нецелесообразна или технически затруднена. Их внедрение способно снизить зависимость от централизованных систем и минимизировать риски, связанные с высоким износом существующих сетей.

Проблемы энергоснабжения в труднодоступных регионах (Крайний Север и Дальний Восток)

Одним из важных вопросов для энергетики России остается энергоснабжение изолированных территорий. Большая часть таких удаленных энергосистем расположена в зоне Крайнего Севера и на Дальнем Востоке, причем для них характерна небольшая численность населения, неблагоприятные климатические условия и низкий уровень развития инфраструктуры.

Существенной проблемой для удаленных регионов является необходимость завоза топлива из других регионов, что обуславливает высокую стоимость электрической и тепловой энергии. Кроме того, объекты генерации на данных территориях характеризуются высокой степенью износа, сниженной тепловой экономичностью и высокими удельными расходами условного топлива (до 600 г. у. т./кВт·ч) [10]. Стоит также отметить, что в удаленных регионах, несмотря на высокий потенциал ВИЭ, существенную роль в энергоснабжении играют дизельные электростанции [11].

В описанных условиях актуальна разработка энергоэффективных, надежных и экологичных решений для электро- и теплоснабжения. Часто рассматриваются атомные станции малой мощности, и ВИЭ (ветряные, солнечные, геотермальные электростанции) [12]. Однако внедрение подобных источников энергии осложняется их ограниченной маневренностью. В связи с этим актуально использование водородных систем накопления энергии (СНЭ).

В настоящий момент в России не существует реализованных проектов систем энергоснабжения с водородными СНЭ. На конец 2025 года запланирован запуск первого проекта — круглогодичной арктической станции «Снежинка» в Ямало-Ненецком АО, создаваемой по инициативе Московского физико-технического института. Предполагается, что система энергоснабжения станции будет основана на ВИЭ с использованием батарей

литий-ионных аккумуляторов и водородной СНЭ. Для получения электрической и тепловой энергии планируется использование топливных элементов и водородных котлов соответственно. При применении жидкостного охлаждения электролизеров и топливных элементов появляется возможность также использовать для нужд теплоснабжения образующееся низкопотенциальное тепло [12].

Интеграция водородных технологий в системы децентрализованного теплоснабжения наиболее эффективна при комплексном использовании различных источников энергии.

Заключение

Таким образом можно сделать вывод, формирование новых энергетических мощностей должно учитывать необходимость баланса между экономическими интересами и экологическими целями. Особое внимание уделяется развитию технологий улавливания и хранения углерода, интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и совершенствованию энергоэффективных решений.

Еще одним способом декарбонизации при текущих тенденциях является развитие водородной энергетики, расширение использования ВИЭ, модернизация существующих мощностей с применением современных экологических решений и совершенствование систем накопления энергии.

Для эффективного решения энергетических задач необходимо оптимизировать структуру энергобаланса, развивать технологии снижения углеродного следа, стимулировать инвестиции в экологически чистые технологии и создавать эффективные механизмы регулирования энергетического сектора. Современные тенденции в добыче энергоресурсов требуют гибкого подхода к формированию энергетической политики, гармонично сочетающей экономические интересы с экологическими целями декарбонизации.

Полученные результаты позволяют сформировать основу для выработки стратегических решений в сфере развития водородных технологий, а также обоснованные выводы о дальнейших перспективах.

Список литературы

1. АО «Системный оператор Единой энергетической системы» Электронный ресурс // Официальный сайт. – URL: <https://www.so-ups.ru/> (дата обращения: 17.05.2025).
2. Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс] // Официальный сайт. – URL: <http://minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 09.07.2025).
3. Tradingeconomics.com_URL: <https://ru.tradingeconomics.com/commodity/brent-crude-oil> (дата обращения: 15.06.2025).
4. Постановление Правительства Российской Федерации № 89 «О соглашениях о модернизации» // Собрание законодательства РФ. – URL: <http://pravo.gov.ru/> (дата обращения: 16.06.2025).
5. Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса России на период до 2030 года // Утверждена приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и Министерства энергетики Российской Федерации от 8 апреля 2014 г. № 651/172. – URL: <http://minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 20.06.2025).
6. Национальный доклад о климатической повестке в России / Центр «Климатическая политика и экономика России» ИНП РАН; при поддержке Фонда Андрея Мельниченко. – URL: <https://ecfor.ru/publication/natsionalnyj-doklad-o-klimaticheskoy-povestke-v-rossii/> (дата обращения: 28.06.2025).
7. McKinsey & Company // Hydrogen Insights 2023: Состояние глобальной водородной экономики с углубленным анализом эволюции затрат на производство возобновляемого водорода. – URL: <https://www.hydrogencouncil.com/> (дата обращения: 01.07.2025).

8. Оценка привлекательности использования альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте / А. Э. Абрамян, Н. В. Капустина, Еремеева А. Е. // Вестник евразийской науки. 2023 – URL: <https://esj.today/PDF/01FAVN423.pdf> (дата обращения: 30.06.2025).
9. Федеральная служба государственной статистики // Официальный сайт. Статистические данные о количестве поврежденных тепловых сетей в России. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 30.06.2025).
10. Бердников Р., Холкин Д., Чausов И. Оптимизация систем энергоснабжения удаленных и изолированных территорий за счет управления энергетической гибкостью // – 2023. – №. 1. – С. 179. (дата обращения: 30.06.2025).
11. Аникин И. В., Филлипов А. М. ЭФФЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ РОССИИ //Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. – 2020. – С. 14-19. (дата обращения: 01.07.2025).
12. Карасевич В., Васильев Ю., Негримовский В. Перспективы автономного энергоснабжения изолированных объектов и поселений в арктических регионах РФ с применением водородных технологий //Энергетическая политика. – 2023. – №. 9 (188). – С. 62-69. (дата обращения: 01.07.2025).
13. Развитие локальной энергетики в удаленных районах Севера и Дальнего Востока России [Электронный ресурс] // GoArctic.ru : [сайт]. – URL: <https://goarctic.ru/work/razvitiie-lokalnoy-energetiki-v-udalennykh-rayonakh-severa-i-dalnego-vostoka-rossii/> (дата обращения: 09.11.2025).