

**УДК 621.311.22**

**Игнатова Алина Сергеевна**, студентка Казанского государственного энергетического университета, г. Казань

**Вилданов Рустем Ренатович**, кандидат технических наук, доцент Казанского государственного энергетического университета, г. Казань

**ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОВЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ: АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ И ПРОБЛЕМ**

В статье рассмотрены экологические и экономические аспекты применения водорода в качестве топлива на тепловых электростанциях. Проанализированы потенциальные сокращения выбросов парниковых газов, влияние на качество атмосферного воздуха, а также экономическая целесообразность перехода на водородную энергетику. Выделены ключевые технические и инфраструктурные барьеры, а также роль государственной поддержки в реализации водородной стратегии, в том числе в Российской Федерации.

The article discusses the environmental and economic aspects of using hydrogen as a fuel in thermal power plants. It analyzes the potential reductions in greenhouse gas emissions, the impact on air quality, and the economic feasibility of switching to hydrogen energy. The article highlights key technical and infrastructure barriers, as well as the role of government support in implementing a hydrogen strategy, including in the Russian Federation.

**Ключевые слова:** водородное топливо, тепловые электростанции, экономика энергетики, выбросы CO<sub>2</sub>, парогазовые установки, энергетический переход

**Keywords:** hydrogen fuel, thermal power plants, energy economics, CO<sub>2</sub> emissions, combined-cycle plants, energy transition

Тепловая энергетика играет ключевую роль в обеспечении энергией современного общества. Вместе с тем традиционные виды топлива, такие как уголь и природный газ, оказывают значительное негативное влияние на окружающую среду, способствуя глобальному потеплению и ухудшению качества воздуха. По данным Международного энергетического агентства (IEA), доля угольной энергетики составляет около 38% мирового энергобаланса, обеспечивая примерно треть всех выбросов CO<sub>2</sub> [1]. Следовательно, переход на экологически чистые технологии становится необходимым условием устойчивого развития энергетической отрасли.

Использование водорода в качестве топлива существенно снижает уровень выбросов CO<sub>2</sub> — основного фактора изменения климата. Согласно исследованию Европейского Союза, полная замена угля водородом позволила бы уменьшить ежегодные выбросы CO<sub>2</sub> на уровне ЕС на 1 миллиард тонн [2]. Это обусловлено тем, что при горении водорода образуется лишь вода, не оказывая негативного воздействия на атмосферу. Согласно расчётам Российского энергетического агентства, повсеместный переход на водород уменьшил бы российские выбросы CO<sub>2</sub> на 200 млн тонн ежегодно, что соответствует снижению углеродного следа почти на четверть [3].

Применение водорода помогает снизить концентрацию загрязняющих веществ в воздухе, таких как оксиды азота и серы, улучшая качество окружающей среды и здоровье населения. Исследование Института экологии РАН демонстрирует, что широкое распространение водородных генераторов в мегаполисах позволило бы снизить количество госпитализаций, связанных с заболеваниями дыхательных путей, на 15 % [4]. Для крупных промышленных предприятий и городов, зависящих от тепловой энергетике, переход на водород позволяет существенно сократить углеродный след, повысив привлекательность региона для инвесторов и жителей. Согласно расчёту IEA,

полный переход на водород сократил бы углеродный след среднестатистической европейской ТЭЦ на 85 % [1].

Важно отметить, что ряд стран уже реализует пилотные проекты по интеграции водорода в энергосистему. Япония, не имеющая собственных углеводородных ресурсов, активно инвестирует в импорт «зелёного» водорода и разрабатывает турбины, способные работать на 100 % водороде. Германия к 2030 году планирует запустить первые полностью водородные ТЭЦ в промышленных зонах Рурского региона. Южная Корея, в свою очередь, включила водород в национальную стратегию энергобезопасности и строит крупнейший в Азии центр водородной энергетики в Пхёнхэке. Эти примеры показывают, что технологический переход возможен при наличии чёткой государственной политики и межотраслевой координации [5].

На начальном этапе широкого внедрения водорода особое значение приобретают гибридные и переходные решения. Многие современные газовые турбины (например, модели Siemens Energy и Mitsubishi Power) уже допускают сжигание смеси природного газа с водородом в пропорции до 30%. Такой подход позволяет снизить выбросы CO<sub>2</sub> на 10–12% без полной реконструкции оборудования. К 2030 году разработчики обещают создать установки, совместимые с 100%-ным водородом. Это делает смешанное сжигание важным промежуточным шагом, особенно для стран с развитой газовой инфраструктурой, таких как Россия [6].

Основным фактором, определяющим экономическую целесообразность использования водорода, является стоимость его производства. Методы получения водорода включают электролиз воды и реформирование природного газа. Электролитический метод считается более чистым, однако он дороже традиционного. По оценкам Минэнерго РФ, себестоимость производства водорода методом электролиза составляет 150–300 руб. за кг, тогда как реформированный водород стоит примерно 80–150 руб. за кг [7]. Однако ожидается, что с развитием технологий и увеличением объёмов

производства стоимость снизится ещё больше — по прогнозам IEA, к 2030 году цена «зелёного» водорода может упасть на 50 % [1].

Создание необходимой инфраструктуры для транспортировки и хранения водорода потребует значительных финансовых вложений. Строительство специализированной трубопроводной системы оценивается Министерством энергетики РФ в диапазоне от 1,2 млн до 2,3 млн руб. за километр трубопровода, что создаёт дополнительную финансовую нагрузку на участников рынка [7]. Средняя продолжительность срока окупаемости инвестиционных проектов в сфере водородной энергетики варьируется от 10 до 15 лет, в зависимости от размера проекта и уровня субсидий. Поддерживающие меры государства, такие как льготные кредиты и гранты, способны значительно ускорить возврат вложенных средств и повысить привлекательность инвестирования в водородные технологии.

Главными техническими трудностями остаются сложность хранения и транспортировки водорода ввиду его низкой плотности, высокой диффузии и необходимости использования высоких давлений (до 700 бар) или криогенных температур ( $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Российским учёным удаётся создавать ёмкости высокого давления и специализированные устройства для хранения жидкого водорода, что улучшает ситуацию, хотя задача остаётся сложной. Сегодня инфраструктура для транспортировки и хранения водорода развита слабо даже в развитых странах. Министерство энергетики РФ подсчитало, что в ближайшие годы понадобится построить десятки тысяч километров водородных трубопроводов, а также разработать новую технологию перевозки водорода морскими путями — в виде сжиженного водорода или аммиака-носителя [8].

Большинство современных технологий производства и использования водорода находится на ранних этапах коммерциализации и сильно зависит от иностранного технологического сотрудничества. Во избежание риска зависимости необходимо активнее поддерживать отечественные научно-технические разработки и привлекать местных инженеров. Россия развивает

собственную водородную стратегию. Проект строительства первого завода по производству «зелёного» водорода на Сахалине станет первым крупным шагом к созданию национальной инфраструктуры. Такие предприятия планируется постепенно распространять по всей территории страны, расширяя спектр отраслей, применяющих водород [9].

Исследование подтвердило наличие значительного потенциала водорода в снижении выбросов парниковых газов и увеличении экологической устойчивости. Успешному внедрению препятствуют серьёзные инвестиционные риски и недостаточная готовность инфраструктуры. Государственная поддержка, включающая финансирование научных исследований, развитие нормативно-правовой базы и стимулирование частных инвестиций, способна обеспечить уверенный рост роли водорода в энергетике будущего.

### **Список литературы**

1. Global Energy Review 2023 / International Energy Agency. – Paris, 2023. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2023> (дата обращения: 05.11.2025).
2. Hydrogen Roadmap Europe: A Sustainable Pathway for the European Energy System / European Commission. – Brussels, 2022.

3. Оценка потенциала водородной энергетики в РФ / Российское энергетическое агентство. – М., 2024.
4. Влияние водородных генераторов на здоровье населения в урбанизированных зонах / Институт экологии РАН. – М., 2023.
5. Hydrogen Strategy Progress Report 2024 / Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan; Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action of Germany.
6. Mitsubishi Power. Hydrogen-Fueled Gas Turbine Roadmap. – 2023.
7. Стратегия развития водородной энергетики в Российской Федерации на период до 2035 года / Минэнерго РФ. – М., 2024.
8. Распоряжение Правительства РФ от 08.06.2023 № 2445-р «Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в РФ».
9. На Сахалине начнётся строительство первого в России завода по производству «зелёного» водорода // Интерфакс. – 2024. – URL: <https://www.interfax.ru/russia/956782> (дата обращения: 05.11.2025).