

ПОТЕНЦИАЛ ВОДОРОДА КАК ПРОМЕЖУТОЧНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Соловьёв И.С., Липатов М.С.

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия*

Ключевые слова: водород, промежуточный теплоноситель, высокотемпературный электролиз, ядерная энергетика, теплопроводность, теплоёмкость, возобновляемая энергия, энергетическая эффективность, устойчивая энергетика, водородные технологии.

Аннотация. В статье рассматривается потенциал водорода как промежуточного теплоносителя в различных промышленных и энергетических системах. Проанализированы преимущества и ограничения водорода по сравнению с традиционными теплоносителями, такими как вода, пар и масло. Особое внимание уделено применению водорода в ядерной энергетике и других высокотемпературных процессах, а также современным технологиям его производства, включая высокотемпературный электролиз пара. Рассмотрены перспективные направления развития водородных технологий и их роль в создании устойчивых энергетических систем.

POTENTIAL OF HYDROGEN AS AN INTERMEDIATE HEAT TRANSFER MEDIUM

Solovyov I.S., Lipatov M.S.

*Saint-Petersburg State University of Industrial Technology and Design,
Saint-Petersburg, Russia*

Keywords: hydrogen, intermediate coolant, high-temperature electrolysis, nuclear power, thermal conductivity, heat capacity, renewable energy, energy efficiency, sustainable energy, hydrogen technologies.

Abstract. The article considers the potential of hydrogen as an intermediate heat carrier in various industrial and power systems. The advantages and limitations of hydrogen in comparison with traditional heat carriers such as water, steam and oil are analysed. Special attention is paid to the application of hydrogen in nuclear power engineering and other high-temperature processes, as well as modern technologies of its production, including high-temperature vapour electrolysis. Promising directions of hydrogen technologies development and their role in creation of sustainable energy systems are considered.

В современном мире, где остро стоит вопрос о переходе к устойчивой и экологически чистой энергетике, водород всё чаще рассматривается как перспективный энергоноситель. Его потенциал, однако, выходит за рамки использования в качестве топлива для электрогенерации или транспортных средств. Уникальные свойства водорода делают его эффективным промежуточным теплоносителем в различных промышленных процессах и энергетических системах. Его применение в этой роли открывает новые возможности для повышения эффективности и снижения экологического следа многих производств.

Традиционно в промышленности и энергетике широко применяются вода, пар, различные масла и синтетические жидкости. Каждый из этих теплоносителей имеет свои преимущества и недостатки, определяющие область его применения. Вода, например, обладает высокой теплоёмкостью и доступностью, но её использование ограничено температурным диапазоном. Масла и синтетические жидкости могут работать при более высоких температурах, но их применение часто связано с экологическими рисками и высокой стоимостью [1]. Кроме того, многие традиционные теплоносители требуют значительных затрат энергии на перекачку и обладают относительно низкой теплопроводностью, приводя к потерям тепла. В этом контексте водород, со своими уникальными характеристиками, представляет собой привлекательную и экологически чистую альтернативу.

Одним из главных преимуществ водорода как теплоносителя является его высокая теплопроводность – около $0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ при температуре 20°C и атмосферном давлении. Это значительно выше, чем у многих других газообразных теплоносителей. Высокая теплопроводность позволяет эффективно передавать тепло от источника к потребителю с минимальными потерями энергии. Низкая плотность водорода ($0,0899 \text{ кг/м}^3$) и низкая вязкость упрощают его циркуляцию в системах теплообмена, снижая затраты на насосы и другое оборудование. Эти характеристики позволяют создавать компактные и высокоэффективные теплообменники. Кроме того, водород обладает высокой теплоёмкостью – приблизительно $14,3 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ при 20°C [2]. Это значит, что для передачи одного и того же количества тепла требуется меньший объем водорода по сравнению с другими теплоносителями.

Применение водорода как промежуточного теплоносителя особенно перспективно в ядерной энергетике и других высокотемпературных процессах. В перспективных атомных реакторах четвёртого поколения, где рабочие температуры значительно выше, чем в современных реакторах, водород может стать оптимальным решением для отвода тепла от активной зоны. В некоторых проектах высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов рассматривается использование водорода в качестве теплоносителя, что может существенно снизить стоимость производства электроэнергии и повысить безопасность и надёжность энергосистемы [2]. Однако, необходимо отметить, что использование водорода в таких системах требует решения ряда технологических задач, связанных с его потенциальной коррозионной активностью и взрывоопасностью. Современные технологии, такие как применение специальных покрытий для труб и теплообменников, а также совершенствование систем контроля и безопасности, позволяют эффективно минимизировать эти риски.

Несмотря на многочисленные преимущества, на пути к широкому применению водорода в качестве теплоносителя существуют определённые вызовы. Основной проблемой является его взрывоопасность. Системы хранения, транспортировки и использования водорода должны строго соответствовать строгим нормам безопасности. Утечки водорода могут

привести к снижению эффективности системы и нанести вред окружающей среде. Поэтому необходимы дальнейшие разработки новых материалов и технологий, обеспечивающих полную герметичность и безопасность водородных контуров. Другой важный аспект – это стоимость производства водорода. В настоящее время наиболее распространенный метод – паровой риформинг природного газа – сопровождается выбросами парниковых газов. Поэтому, развитие технологий производства водорода из возобновляемых источников энергии (например, с использованием энергии солнца или ветра через электролиз воды) является критически важным для обеспечения экологической устойчивости.

Одним из наиболее перспективных методов производства водорода с низким уровнем выбросов является высокотемпературный электролиз пара, также известный как твердооксидный электролиз. В отличие от традиционного низкотемпературного электролиза, этот метод использует высокие рабочие температуры, обычно в диапазоне от 700 до 1000°C. В этой технологии, вода первоначально преобразуется в пар, что позволяет использовать для этого процесса, например, отходящее тепло от промышленных установок, атомных электростанций или гелиотермальных систем, что существенно снижает зависимость от дополнительных источников энергии и позволяет повысить общую эффективность производства. Затем, полученный перегретый пар подается в электролизную ячейку, где под воздействием электрического тока происходит его разложение на водород и кислород. Высокие температуры способствуют уменьшению необходимой электрической энергии для электролиза, поскольку кинетика реакции разложения воды при высоких температурах является более благоприятной. Использование твердооксидного электролита позволяет минимизировать коррозионные процессы и обеспечивает долговечность оборудования. Кроме того, данный процесс позволяет получать более чистый водород, что особенно важно для его последующего применения. Применение высокотемпературного электролиза пара открывает путь к более экономичному и устойчивому производству водорода, позволяя не только сократить выбросы парниковых газов, но и эффективно использовать отходящее тепло от других процессов. Это делает высокотемпературный электролиз пара привлекательным для крупномасштабного промышленного внедрения и способствует развитию водородной экономики. Развитие данного направления исследований и технологий является важной составляющей для достижения целей по декарбонизации энергетического сектора и создания экологически чистых энергетических систем. Схема, представленная на рисунке 1, демонстрирует комплексный подход к производству водорода, интегрируя различные этапы и источники энергии.

На представленной схеме изображен процесс производства водорода методом высокотемпературного электролиза пара. Видно, что вода сначала проходит этап водоподготовки, затем нагревается в подогревателе и парогенераторе до 800°C. Полученный пар подается в электролизную

установку, где под воздействием электроэнергии происходит его разложение на водород и кислород. При этом показаны объемы производства водорода ($30\,000\text{ м}^3/\text{ч}$) и кислорода ($15\,000\text{ м}^3/\text{ч}$). Отдельно указано использование электроэнергии для подогрева и работы электролизной установки. Важной особенностью является также наличие реактора, который может представлять собой высокотемпературный источник тепла, обеспечивающий экономию энергии в данном процессе. Этот рисунок наглядно демонстрирует, как из воды и электроэнергии можно получить экологически чистый водород, готовый к дальнейшему использованию в качестве теплоносителя или топлива.

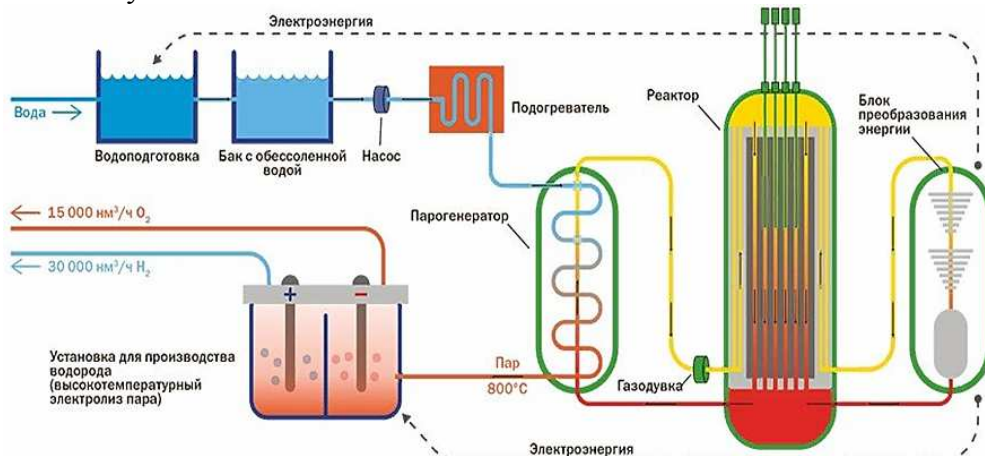


Рис. 1. Производство водорода методом высокотемпературного электролиза

Использование высокотемпературного электролиза пара, как видно из схемы, позволяет интегрировать различные энергетические системы, повышая общую эффективность. Тепло от атомных электростанций или солнечных концентраторов может быть использовано для нагрева пара, снижая затраты на электроэнергию в процессе электролиза.

Полученный с помощью высокотемпературного электролиза водород может использоваться в качестве теплоносителя в различных отраслях промышленности. Он может переносить тепло от высокотемпературных источников, таких как атомные реакторы или солнечные концентраторы, к потребителям, например, для нагрева металла в металлургической промышленности, проведения химических реакций или для теплоснабжения жилых массивов. Замкнутый цикл обращения водорода, минимизирующий его потери, позволяет эффективно использовать его теплопроводные свойства и создавать компактные и высокоэффективные системы теплообмена [3]. Для наглядного сравнения водорода с альтернативными теплоносителями приведем сравнительный анализ их основных характеристик (табл. 1).

Таблица 1 показывает, что водород обладает уникальными свойствами, которые делают его очень привлекательным теплоносителем. Его высокая теплоёмкость и теплопроводность, в сочетании с низкой плотностью, позволяют создавать компактные и эффективные системы теплообмена.

Табл. 1. Сравнительный анализ водорода с другими теплоносителями

Характеристика	Вода (20°C)	Пар (100°C)	Масло (200°C)	Водород (20°C)
Теплоёмкость (кДж/(кг·К))	4,18	2,0	2,0	14,3
Теплопроводность (Вт/(м·К))	0,6	0,024	0,12	0,18
Плотность (кг/м ³)	1000	0,6	850	0,0899
Рабочий температурный диапазон (°C)	0÷100	100÷300	-20÷350	Широкий
Экологичность	Высокая	Высокая	Средняя	Высокая

Активное развитие технологий хранения водорода, например, с использованием гидридов металлов, позволяет решить проблему безопасного и компактного хранения больших объёмов этого энергоносителя. Исследования в области нанотехнологий открывают возможности для создания более эффективных катализаторов, снижающих стоимость производства водорода. Постоянно появляются новые разработки в области повышения эффективности высокотемпературного электролиза, делая водород всё более конкурентоспособным теплоносителем.

Водород обладает значительным потенциалом как промежуточный теплоноситель и может сыграть ключевую роль в создании устойчивых и экологически чистых энергетических систем будущего. Несмотря на технологические вызовы, связанные с безопасностью и стоимостью, активное развитие водородных технологий, включая высокотемпературный электролиз пара, открывает широкие перспективы для его применения в различных отраслях промышленности и энергетики. Инвестиции в исследования и разработки, а также создание соответствующей инфраструктуры, являются необходимыми шагами для реализации полного потенциала водорода как эффективного и экологически чистого теплоносителя.

Список литературы

1. Зверева Э.Р., Мингалеева Г.Р., Валиуллин Б.Р., Зверев Л.О., Липатов М.С. Исследование реологических свойств композиционных суспензионных топлив // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, №1. – С. 143-153. – DOI: 10.30724/1998-9903-2023-25-1-143-153.
2. Сахабутдинов Р.З. Перспективы развития водородной энергетики // Нефтяная провинция. – 2022. – № 1(29). – С. 91-119. – DOI: 10.25689/NP.2022.1.91-119.
3. Малых Е.Б., Плотников В.А. Водородная энергетика: оценка перспектив развития // Естественно-гуманитарные исследования. – 2022. – № 41(3). – С. 216-220.

References

1. Zvereva E.R., Mingaleeva G.R., Valiullin B.R., Zverev L.O., Lipatov M.S. Investigation of rheological properties of composite suspension fuels // News of higher educational institutions. Energy problems. 2023, vol. 25, no. 1, pp. 143-153. DOI: 10.30724/1998-9903-2023-25-1-143-153.

2. Sahabutdinov R.Z. Prospects for the development of hydrogen energy // Oil Province. 2022, no. 1(29), pp. 91-119. DOI: 10.25689/NP.2022.1.91-119.
3. Malykh E.B., Plotnikov V.A. Hydrogen energy: an assessment of development prospects // Natural Sciences and Humanities research. 2022, no. 41(3), pp. 216-220.

Соловьёв Иван Сергеевич – студент	Solovyov Ivan Sergeevich – student
Липатов Максим Сергеевич – старший преподаватель кафедры теплосиловых установок и тепловых двигателей	Lipatov Maksim Sergeevich – senior lecturer of the Department of heat power plants and heat engines
110lms@mail.ru	

Received 19.02.2025