

2.6.6

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ (ТЕХНИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ) NANOTECHNOLOGY AND NANOMATERIALS

DOI: 10.33693/2313-223X-2023-10-3-11-25

УДК: 62

ГРНТИ: 47.09.48

EDN: NQBORL



Перспективы солнечной энергетики: роль современных гелиотехнологий в производстве водорода

Р.Х. Рахимов^{1, 2, a} ©, В.П. Ермаков^{1, b} ©

¹ Институт материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце»
Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Институт возобновляемых источников энергии,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

^a E-mail: rustam-shsul@yandex.com

^b E-mail: labimanod@uzsci.net

Аннотация. В данной статье исследуются перспективы использования солнечной энергии для производства водорода в качестве альтернативного источника энергии. Автор обсуждает ограничения водородной энергетики, включая экономическую неэффективность производства водорода. *Основной целью работы* является повышение рентабельности и решение экологических и энергетических проблем, связанных с производством водорода. Предлагается использовать современные гелиотехнологии и гелиоматериалы для оптимизации процесса производства водорода. В статье также рассматриваются технологические проблемы, связанные со сжиганием водорода в присутствии азота, и необходимость дальнейших исследований для создания экологически безопасной и экономически эффективной водородной энергетики. Обсуждается вопрос о экологической чистоте водорода, а также отмечается необходимость использования экологически чистых и условно чистых источников энергии для производства водорода. В заключение, статьи подчеркивается, что водород имеет потенциал стать чистым источником энергии, за счет развития гелиоматериаловедения, что требует дальнейших исследований и технологических улучшений для его коммерциализации.

Ключевые слова: солнечная энергия, водород, альтернативный источник энергии, экономическая неэффективность, рентабельность, экологические проблемы, энергетические проблемы, гелиотехнологии, гелиоматериалы, функциональная керамика, коммерциализация

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Рахимов Р.Х., Ермаков В.П. Перспективы солнечной энергетики: роль современных гелиотехнологий в производстве водорода // Computational Nanotechnology. 2023. Т. 10. № 3. С. 11–25. DOI: 10.33693/2313-223X-2023-10-3-11-25. EDN: NQBORL

Prospects of Solar Energy: The Role of Modern Solar Technologies in the Production of Hydrogen

R.Kh. Rakhimov^{1, 2, a} ©, V.P. Yermakov^{1, b} ©

¹ Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Science of Uzbekistan,
Tashkent, Republic of Uzbekistan

² Institute of Renewable Energy Sources,
Tashkent, Republic of Uzbekistan

^a E-mail: rustam-shsul@yandex.com

^b E-mail: labimanod@uzsci.net

Abstract. This article explores the prospects of using solar energy for hydrogen production as an alternative energy source. The author discusses the limitations of hydrogen energy, including the economic inefficiency of hydrogen production. *The main objective of the study* is to increase profitability and address the environmental and energy issues associated with hydrogen production. The use of modern heliotechnologies and heliomaterials is proposed to optimize the hydrogen production process. The article also examines technological problems related to hydrogen combustion in the presence of nitrogen and emphasizes the need for further research to create environmentally safe and economically efficient hydrogen energy. The issue of hydrogen's environmental cleanliness is discussed, and the necessity of using environmentally clean and conditionally clean energy sources for hydrogen production is noted. In conclusion, the article emphasizes that hydrogen has the potential to become a clean energy source through the development of heliomaterials science, which requires further research and technological improvements for its commercialization.

Key words: solar energy, hydrogen, alternative energy source, economic inefficiency, profitability, environmental problems, energy problems, solar technologies, solar materials, functional ceramics, commercialization

FOR CITATION: Rakhimov R.Kh., Yermakov V.P. Prospects of Solar Energy: The Role of Modern Solar Technologies in the Production of Hydrogen. *Computational Nanotechnology*. 2023. Vol. 10. No. 3. Pp. 11–25. (In Rus.) DOI: 10.33693/2313-223X-2023-10-3-11-25. EDN: NQBORL

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время растет интерес к водородной энергетике как альтернативному источнику энергии, который может стать основным энергоносителем в различных устройствах.

Несмотря на ряд неоспоримых преимуществ водородной энергии, она сталкивается и с некоторыми ограничениями. В первую очередь, это касается низкой экономической и экологической эффективности производства водорода.

Цель данной работы заключается в повышении рентабельности производства водорода и поиске путей решения экологических и энергетических проблем. Предлагается использование современных гелиотехнологий и гелиоматериалов, которые при правильном подходе могут сделать производство водорода прибыльным и выгодным с различных точек зрения, а также решить имеющиеся задачи.

Таким образом, статья исследует перспективы развития водородной энергетике и пути преодоления

существующих ограничений для ее дальнейшей коммерциализации. С одной стороны, водород является потенциально чистым источником энергии, поскольку при его сгорании образуется только вода, что представляется экологически безопасным процессом. Однако следует отметить, что водород редко используется в чистом виде и обычно сжигается вместе с воздухом, содержащим азот. При повышенной температуре, молекулы азота и кислорода воздуха начинают реагировать между собой, образуя токсичные вещества, такие как оксиды азота, которые являются источником загрязнения окружающей среды. Эта проблема является неотъемлемой частью технологических вызовов, связанных с использованием водорода.

С другой стороны, считается, что водород является удобным и потенциально дешевым топливом для различных устройств. Однако на данный момент неясно, как экономически эффективно производить водород в промышленных масштабах, что означает необходимость дальнейших исследований и разработок для реализации этой концепции.

Рахимов Р.Х., Ермаков В.П.

Таким образом, водород может стать чистым источником энергии, но для этого необходимо решить технологические проблемы, связанные со сжиганием водорода в присутствии азота. Дальнейшие исследования и улучшения технологий необходимы для создания экологически безопасной и экономически эффективной водородной энергетики.

В научных кругах широко обсуждается вопрос о том, является ли водород действительно самым экологически чистым топливом. Несмотря на многие достоинства, этот вид энергетики также имеет ряд недостатков, которыми часто пользуются противники водородной энергетики.

Для того чтобы понять, почему электроэнергетика может быть хуже, чем основанная на сгорании топлива, необходимо рассмотреть процесс получения электроэнергии. Все источники энергии, о которых идет речь, являются вторичными накопителями, полученными с помощью генераторов энергии. В большинстве случаев для получения электроэнергии используются неэкологически чистые источники энергии, такие как уголь. Следовательно, при использовании такой электроэнергии, мы загрязняем окружающую среду не менее, а то и более, чем при использовании углеводородного топлива в двигателях внутреннего сгорания.

Аналогично, для получения водорода также необходимо затратить электроэнергию. Если эта электроэнергия получена из неэкологически чистых источников, то и получаемый водород будет загрязнен. Однако, если используются экологически чистые источники энергии, например, гидроэлектростанции или атомные электростанции, то и производство электроэнергии и водорода не будет загрязнять окружающую среду [1].

Необходимо также отметить, что производство водорода может осуществляться различными способами, и не все они экологически и экономически оправданы. Например, дешевыми способами производства являются реакция металла с кислотой и выделение водорода из растворов различных соединений. Однако, такие методы производства не являются экологически чистыми и экономически выгодными.

Исторически, водород был впервые получен в больших количествах путем пропускания нагретой воды через жерло железной пушки. Однако, в настоящее время, водород производят в основном путем реформинга или парогазовой конверсии угля или углеводородного сырья взаимодействием с водяным паром. Такой метод производства водорода включает в себя ряд недостатков, которые присущи обычной углеводородной энергетике [1].

В качестве энергоносителя, водород должен быть неуглеродным и не загрязнять окружающую среду не только оксидами азота, но и другими способами. При обсуждении экологичности использования водорода, необходимо учитывать не только прямое загрязнение химическими веществами, но и выброс парни-

ковых газов, таких как углекислый газ или метан. Если производство водорода осуществляется путем конверсии углерода, то углерод все равно будет выброшен в атмосферу в виде углекислого газа.

В то же время, использование водорода может привести к определенным преимуществам в плане КПД. Это связано с тем, что водород может использоваться в электрохимических процессах с более высоким КПД, чем традиционные способы преобразования энергии. Таким образом, несмотря на некоторые недостатки, использование водорода в качестве энергетического носителя может быть более эффективным и экологически благоприятным в долгосрочной перспективе.

Существуют и другие методы борьбы с выбросами углекислого газа и CO, например, превращение их в жидкое топливо. CO, на самом деле, представляет собой полезный химический продукт, который может быть использован для производства метанола и других ценных веществ. Таким образом, вместо выбрасывания CO можно использовать его повторно. Вещества, полученные в результате этого процесса, также могут быть использованы в качестве источника энергии.

Метан можно разложить на чистый водород и жидкие топлива, которые могут быть использованы в различных приложениях. Это может снизить уровень выбросов парниковых газов и обеспечить дешевое производство других продуктов.

Однако с углем ситуация более сложная, т.к. природный уголь сам по себе достаточно загрязнен. Поэтому, необходимо улавливать загрязняющие вещества, которые были в исходном угле.

Один из основных способов получения водорода – это электролиз. Этот метод является более дорогим, чем производство водорода из углеводородного сырья, но при этом абсолютно экологически чистым. Разложение воды позволяет получить отдельно водород и кислород. Однако, следует учитывать, что получение водорода при помощи электролиза требует большого количества электроэнергии. Закон сохранения энергии говорит нам, что вложенная энергия в разложение воды будет больше, чем полученная энергия при его сжигании. Тем не менее, установки электролиза оправданы в городских условиях, особенно если имеются избытки возобновляемой альтернативной энергии, полученной, например, от солнечных панелей.

Электростанции, включая атомные, обеспечивают постоянную мощность, рассчитанную на максимальные нагрузки, превышающие с некоторым запасом потребности конечных потребителей.

В связи с этим, наблюдается избыток производства электроэнергии, особенно в периоды, когда потребление электроэнергии ниже, например, ночью. Для утилизации этих избытков электроэнергии может быть использован метод производства водорода. Этот метод особенно актуален для атомных электростанций, поскольку изменение их мощности является сложной задачей, а сама мощность огромна.

Водород может быть произведен путем электролиза, что позволяет получить экологически чистый продукт, если электроэнергия, используемая в процессе, произведена из возобновляемых источников энергии. Однако, если нет избытков электроэнергии, то производство водорода может быть осуществлено из углеводородных источников, но в этом случае необходимо утилизировать продукты, получающиеся при этом процессе [2; 3].

Таким образом, производство водорода является одним из методов утилизации избытков электроэнергии, что может сделать его условно бесплатным. Однако, для обеспечения экологической чистоты производства водорода необходимо использовать электроэнергию, полученную из возобновляемых источников, а также учитывать возможные негативные последствия производства из углеводородных источников.

В настоящее время ученые и инженеры рассматривают различные технологии, направленные на снижение выбросов парниковых газов, в том числе на производство водорода. Однако, существуют и другие методы борьбы с выбросами углекислого газа и CO, например, превращение метана в углерод и водород при температурном разложении, так называемый крекинг. Полученный углерод может быть использован в различных производствах, в зависимости от его формы, например, как носитель для катализаторов. Главное преимущество этого метода заключается в том, что он не приводит к выбросу углекислого газа в атмосферу [4; 5].

Хотя производство водорода из углеводородов не является самым экологически чистым методом, он уже сейчас широко используется в промышленности, например, при производстве маргарина. Крупнотоннажное производство водорода также является необходимым для сельского хозяйства, в частности, для производства азотных удобрений. Аммиак, получаемый из соединения азота и водорода, используется для удобрения почвы.

Таким образом, различные методы производства водорода имеют свои преимущества и недостатки, и выбор метода зависит от конкретных условий производства и экономических факторов. Однако в целом, производство водорода из возобновляемых источников энергии является наиболее экологически чистым и устойчивым решением, что может способствовать снижению выбросов парниковых газов и улучшению экологической обстановки в мире.

В локальных производствах водород является важным продуктом, используемым в различных отраслях, включая транспортную. Однако, использование водорода в качестве топлива для транспортных средств сопряжено с некоторыми техническими проблемами. В частности, водород является легким и плохо сжимаемым газом, что затрудняет его хранение и транспортировку. Для перевозки водорода используются баллоны высокого давления, которые могут быть выполнены из легких и прочных материалов, таких как

углепластик, но сжатие газа требует дополнительной энергии. Еще одним способом хранения и транспортировки водорода является его сжижение, но это требует очень низких температур, близких к абсолютному нулю, и способствует быстрой утечке газа при высоких температурах [1].

Существует также технология перевозки сжиженного водорода, аналогичная перевозке сжиженного природного газа, но для сжижения водорода требуется больше энергии. Кроме того, при высоких температурах водород испаряется, что необходимо учитывать при транспортировке и хранении.

Один из перспективных способов перевозки водорода – это его химическое связывание. Например, метан уже содержит связанный водород, и его можно превратить в водород с помощью конвертора на газовой заправке. Однако этот метод требует очистки газа от примесей и не является самым эффективным.

Таким образом, выбор наиболее подходящего способа хранения и транспортировки водорода зависит от конкретных условий и требует учета различных факторов, включая технические, экономические и экологические.

Существуют химические соединения, которые способны обратимо поглощать и выделять водород при изменении условий. Например, толуол может подвергаться гидрированию в присутствии катализатора, образуя циклогексан с водородом, который может быть затем дегидрирован, выделяя водород. Аналогичным образом, при нагревании аммиак разлагается на водород и азот.

Эти соединения могут использоваться для перевозки водорода в жидком состоянии, что может упростить транспортировку и хранение водорода. Однако, для использования водорода в качестве источника для топливных элементов требуется очень чистый водород с содержанием органических соединений менее 5 ppm, т.е. менее 5 миллионных долей загрязнителей CO в водороде. Очистка водорода является важной частью процесса его производства, но может повлечь за собой дополнительные затраты.

Существуют топливные элементы, которые во многом способны решить эти проблемы. Топливный элемент – это устройство, которое способно работать при низких температурах, преобразуя химическую энергию водорода в электрическую энергию без необходимости предварительного нагрева. Основным достоинством данного устройства является его высокий коэффициент полезного действия и полное отсутствие выбросов.

В зависимости от способа использования, водород может принести значительные экологические преимущества или же не настолько значительные. Несмотря на то, что при сжигании водорода выбросы гораздо меньше, чем при сжигании углеводородного топлива, выбросы все же имеются. В случае использования водорода в электрохимическом устройстве, таком как топливный элемент, выбросов не наблюдается.

Рахимов Р.Х., Ермаков В.П.

В процессе преобразования тепловой энергии в электроэнергию, необходимо пройти множество стадий, которые сопровождаются загрязнением окружающей среды, а также усложнением конструкции устройства, включающее движущиеся части, высокие температуры и различные смазочные материалы. В отличие от этого, топливный элемент, как и любое электрохимическое устройство, имеет простую конструкцию, в которой отсутствуют движущиеся части. Все компоненты топливного элемента неподвижны и легко заменяемы. Несмотря на то, что в настоящее время такие компоненты являются дорогостоящими, это больше связано с недостаточным объемом продаж на рынке, который только начинает развиваться. Существует вероятность, что с увеличением объемов производства, стоимость таких компонентов уменьшится, и стоимость электроэнергии, производимой топливным элементом, станет конкурентоспособной по сравнению с традиционными способами производства электроэнергии.

В больших производствах очистка водорода может быть легко реализуема, но в локальных производствах, где производство небольшое, это может быть сложно. Однако, такие проекты активно развиваются, включая Японию, которая стремится уменьшить свою зависимость от атомной энергии и переходит на использование природного газа и сжиженного природного газа. В Японии также активно развивается водородная инфраструктура, и в ближайшее время мы сможем оценить экологическую и экономическую эффективность этих проектов.

Вот наиболее значимые моменты, связанные с использованием водорода в качестве топлива:

- использование водорода как топлива может быть экологически эффективным, но зависит от способа его использования. При горении водорода выделяются оксиды азота (NO_x), в то время как при использовании в топливных элементах эти выбросы отсутствуют;
- водород может быть получен из углеводородов, электролизом воды и высокотемпературным крекингом метана. Самым экологически эффективным способом является электролиз;
- «чистый» водород можно производить из возобновляемых источников энергии и атомной энергетики с использованием избыточной энергии;
- существуют проблемы с хранением и транспортировкой водорода, такие как сжатие, сжижение и химическая связь, которые мешают его широкому применению;
- использование водорода в топливных элементах с высоким КПД является перспективным направлением, которое может быть использовано в транспорте, портативных устройствах и при резервном электроснабжении;
- производство водорода может осуществляться путем паровой конверсии углеводородов, электролиза воды и высокотемпературного крекинга метана;

- электролиз является наиболее экологически эффективным методом, но требует значительных затрат электроэнергии;
- оптимизация технологий и масштабирование рынка необходимы для снижения стоимости производства и инфраструктуры для водорода;
- использование водорода создает потенциал для создания новой отрасли и экспорта инновационных решений.

Рассмотрим экономические аспекты использования водорода.

- Высокая стоимость производства и инфраструктуры для хранения и транспортировки водорода является одним из основных препятствий для широкого использования этого топлива. Однако, с увеличением масштабов производства и совершенствованием технологий, стоимость производства и инфраструктуры должна снижаться.
- Экономическая эффективность использования водорода может быть достигнута путем использования дешевого ночного электричества для электролиза воды. Это может помочь снизить затраты на производство водорода.
- В перспективе, топливные элементы могут стать конкурентоспособными, особенно в области транспорта и резервного электроснабжения, благодаря их высокой производительности и экологической чистоте.
- Примеры внедрения водорода в Японии включают строительство заправочной инфраструктуры для водородного транспорта, внедрение топливных элементов для электроснабжения жилых районов, использование избыточной электрической энергии электростанций для производства водорода, а также государственную поддержку водородных технологий.

Рассмотрим случаи, когда водород не является экологически чистым топливом.

- Водород, полученный из ископаемых топлив методом паровой конверсии содержит выбросы CO_2 , что делает его менее экологически чистым, чем водород, полученный из возобновляемых источников.
- При сжигании водорода на воздухе при высоких температурах образуются оксиды азота (NO_x), что является нежелательным с экологической точки зрения.
- Водород, полученный из метода электролиза, который использует «грязное» электричество от сжигания угля, также содержит выбросы CO_2 на стадии производства.
- Низкий КПД процесса конверсии углеводородов в водород приводит к более высоким выбросам CO_2 на единицу энергии, чем при прямом сжигании топлива.
- Примеси в исходном сырье, таких как уголь или газ, могут загрязнять получаемый водород, что делает его менее пригодным для использования в топливных элементах, где требуется высокая чистота водорода.

Таким образом, для получения экологически чистого водорода необходимо использовать возобновляемую энергию, совершенствовать технологии для повышения КПД процессов и глубокого очищения водорода от примесей.

С экологической точки зрения, наиболее чистыми методами производства водорода являются:

- электролиз воды с использованием возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергия. При этом процесс не сопровождается выбросами парниковых газов;
- высокотемпературный пиролиз метана, который приводит к образованию элементарного углерода и водорода без выделения CO_2 . Углерод может быть утилизирован, например, для производства технического углерода;
- конверсия биомассы в синтез-газ и последующее производство водорода. Использование возобновляемого биосырья, например, микроводорослей делает этот метод углеродно-нейтральным;
- фотобиологическое получение водорода с помощью водорослей и цианобактерий за счет энергии солнца, без выбросов CO_2 ;
- термическое разложение воды с использованием высокотемпературного ядерного тепла, является безуглеродным способом производства водорода;
- основными признаками экологичного производства водорода являются использование возобновляемых источников энергии и отсутствие выбросов парниковых газов.

Использование избыточной ночной электроэнергии электростанций позволяет получить «бесплатный» водород с помощью следующих механизмов:

- использование постоянной мощности станций, рассчитанной на пиковые нагрузки;
- наличие ночного избытка электроэнергии из-за низкого спроса на электроэнергию;
- эффективное использование этого избытка для электролиза с минимальными затратами;
- накопление полученного водорода для дневного потребления.

Кроме того, к другим способам получения дешевого или «бесплатного» водорода можно отнести:

- использование избыточной мощности возобновляемых источников энергии для электролиза воды;
- утилизацию попутного нефтяного газа путем конверсии его в водород вместо традиционного сжигания;
- переработку органических отходов в синтез-газ и последующее получение водорода;
- использование избыточного водорода из производства аммиака и нефтепереработки;
- применение экспериментальных биотехнологий, например, фотобиосинтеза водорослями.

Таким образом, наличие дешевого или «бесплатного» источника энергии для производства водорода является ключевым фактором снижения его себестоимости. Использование ночной избыточной электро-

энергии электростанций является одним из наиболее эффективных способов получения «бесплатного» водорода, но существуют и другие экологически чистые методы производства водорода, которые могут быть более пригодными в конкретных условиях. Важно также учитывать экологические последствия производства и использования водорода с учетом всего жизненного цикла, включая добычу и транспортировку сырья, процессы производства и хранения водорода, а также использование его в различных приложениях.

Фотокатализаторы являются перспективным направлением использования солнечной энергии для производства водорода. Принцип работы заключается в том, что под воздействием света, фотокатализатор (часто TiO_2) генерирует электроны и дырки, которые могут быть использованы для разложения воды или органических соединений с выделением водорода. Это позволяет получать водород как из воды, так и из различных органических отходов и биомассы. Преимущества данного процесса включают использование возобновляемой солнечной энергии, экологичность и возможность утилизации отходов. Однако, основной проблемой является невысокий КПД преобразования солнечного света, который составляет порядка 10%.

Существуют также другие способы использования солнечной энергии для производства водорода. Один из них – использование солнечных концентраторов для получения высоких температур, которые могут быть применены в термохимических циклах разложения воды. Еще один способ – использование солнечных батарей с последующим электролизом воды, который имеет более высокий КПД (до 20–30%). Фотобиологическое производство водорода с помощью водорослей и цианобактерий также является перспективным направлением. Кроме того, существуют гибридные системы, совмещающие солнечные батареи и фотокатализ.

В целом, использование солнечной энергии для производства водорода представляет экологически чистый и перспективный способ, однако, КПД процессов пока недостаточно высокий. Развитие технологий может привести к повышению эффективности данных процессов.

Фотокаталитическое производство водорода представляет перспективное направление использования солнечной энергии в процессе производства водорода. Оно основывается на принципе работы фотокатализатора, который генерирует электроны и дырки под действием света и разлагает воду или органические соединения с выделением водорода. Часто в качестве фотокатализатора используется TiO_2 . Фотокаталитическое производство может быть применено для получения водорода как из воды, так и из различных органических отходов и биомассы. Основными преимуществами этого метода являются использование возобновляемой солнечной энергии, экологичность и возможность утилизации отходов. Однако основной

Рахимов Р.Х., Ермаков В.П.

проблемой данного метода является невысокий коэффициент производительности преобразования солнечного света (порядка 10%).

Кроме фотокаталитического производства, существует несколько других путей использования солнечной энергии для производства водорода. Солнечные концентраторы могут быть использованы для получения высоких температур, которые могут быть применены в термохимических циклах разложения воды. Солнечные батареи также могут быть использованы для получения водорода путем электролиза воды с последующим выделением водорода. При этом, коэффициент производительности процесса более высокий (до 20–30%). Фотобиологическое производство, использующее водоросли и цианобактерии, также может быть применено для получения водорода. Гибридные системы, совмещающие солнечные батареи и фотокатализ, также представляют перспективное направление. В целом, использование солнечной энергии для производства водорода представляет экологически чистый и перспективный подход. Однако, необходимо учитывать, что коэффициент производительности процессов производства водорода из солнечной энергии пока не очень высокий. Развитие технологий может привести к увеличению эффективности данных процессов.

Фотобиологическое производство водорода с использованием водорослей и цианобактерий представляет собой перспективное направление, использующее возобновляемые источники энергии для получения водорода экологически чистым путем. Принцип работы основан на способности особых фотосинтетических микроорганизмов, таких как водоросли и цианобактерии, расщеплять молекулы воды с выделением водорода под действием солнечного света, что является частью их естественного метаболизма.

Преимущества этого метода включают использование возобновляемой солнечной энергии, экологичность, возможность культивирования водорослей на открытых прудах и фотобиореакторах, а также интеграцию с очисткой сточных вод. Однако, существуют некоторые проблемы, такие как невысокий выход водорода в расчете на биомассу, необходимость предварительной обработки биомассы для извлечения водорода и высокая стоимость оборудования.

Для коммерциализации данного метода требуется повышение его эффективности и снижение стоимости. Один из путей повышения эффективности производства водорода с помощью водорослей заключается в применении полимер-керамических композитных пленок [12], которые позволяют повысить выход целевого продукта на 30–50%, за счет активации фитохрома и других регуляторов метаболизма, особенно в сочетании с традиционными методами повышения роста и развития микроорганизмов. Кроме того, их применение позволяет снизить потерю воды в 4–6 раз.

Другие традиционные методы повышения эффективности фотобиологического производства водорода включают селекцию и генную инженерию водорослей для повышения выхода водорода, оптимизацию условий культивирования, иммобилизацию водорослей на носителях, предварительную обработку биомассы, двухстадийные процессы, конструирование эффективных фотобиореакторов, гибридные системы, интеграцию с утилизацией отходов и получением побочных продуктов.

Наиболее эффективными для фотобиологического производства водорода считаются зеленые водоросли (*Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella vulgaris* и др.), цианобактерии (*Nostoc*, *Anabaena*), диатомовые водоросли (*Phaeodactylum tricornutum*), красные водоросли (*Porphyridium cruentum*) и экстремофильные водоросли. Также ведутся работы по созданию генно-модифицированных штаммов водорослей с улучшенными характеристиками для выделения водорода, а также комбинации нескольких видов водорослей в одной системе для повышения эффективности.

Одной из основных проблем в области использования водорода в качестве энергоносителя является высокая стоимость его производства, хранения и транспортировки, что связано, в частности, с технологическими особенностями производства и низкой энергетической плотностью водорода. Кроме того, необходимо создание обширной инфраструктуры заправочных станций, а также установление единых стандартов и регулирования, в связи с чем возникают сложности с безопасностью из-за высокой пожароопасности водорода.

Другая проблема заключается в невысоком КПД и высокой стоимости топливных элементов, что ограничивает их практическое применение. Кроме того, существуют проблемы хранения и транспортировки водорода, т.к. он имеет низкую плотность.

Несмотря на эти проблемы, водород имеет значительный потенциал как энергоноситель будущего. Исчерпание нефти и газа делает водород привлекательным в долгосрочной перспективе, а развитие возобновляемой энергетики открывает путь к «зеленому» водороду, получаемому из возобновляемых источников энергии. Кроме того, существует потенциал для создания распределенной энергетики, что может улучшить энергетическую безопасность и снизить зависимость от импорта энергоресурсов.

Прогресс в области топливных элементов и хранения водорода может также способствовать расширению применения этого энергоносителя. Растущая обеспокоенность изменениями климата и поддержка со стороны стран и компаний также могут стать факторами, способствующими развитию использования водорода в качестве энергоносителя. В целом, решение существующих проблем может сделать водород ключевым энергоносителем будущего.

Разработана функциональная керамика, позволяющая преобразовать энергию первичного излучения

(Солнца, ламп накаливания, ТЭНов и т.д.) в импульсное инфракрасное излучение с регулируемым фронтом нарастания импульса [6–10]. Плотность преобразованной энергии в импульсе может достигать 320 Вт/см². При увеличении подаваемой мощности на галогеновую лампу, покрытую такой керамикой, частота следования импульсов растет, с увеличением подаваемой мощности. После определенной подаваемой на лампу мощности, частота следования импульсов доходит до 434 имп./с и далее не увеличивается.

Это может быть объяснено тем, что накопление энергии имеет фононный механизм. Действительно, если сопоставить максимальную частоту генерации импульсов и скорость звука в керамике, – т.к. фононы, это механические колебания осцилляторов, то наблюдается хорошее соответствие полученных результатов.

Суть процесса заключается в том, что, изменяя соотношение между двумя типами материалов – функциональной керамики, генерирующей импульсы высокой плотности и керамики прозрачной в широком диапазоне инфракрасного диапазона, можно регулировать наклон фронта нарастания импульса. Этот наклон воздействует как излучение с длиной волны, соответствующей синусоиде этого наклона. Таким образом, энергия первичного источника преобразуется в фононы, которые затем трансформируются функциональной керамикой в импульсное инфракрасное излучение. Если в лазерах энергия может накаливаться в виде фотона, то в керамике, из-за ее структуры, состоящей из отдельных мелких частей, а не в виде моно или поликристалла, такой путь накопления энергии исключается. Зато энергия может накапливаться в виде фононов, которые потом, могут перейти в фотоны. Мы наблюдаем импульсы излучения высокой плотности. У импульса есть фронт нарастания энергии. Крутизну этого фронта можно рассматривать, как синусоиду, соответствующую определенной длине волны. Таким образом, керамика превращает энергию первичного источника в колебания решетки (фононы), которые, накапливаясь преодолевают энергетический барьер и выделяют-ся во внешнюю среду в виде фотонов ИК-диапазона. Но, из-за фронта нарастания импульса, они могут оказывать эффект, как и излучение с длиной волны, соответствующей наклону фронта нарастания импульса, как части синусоиды.

Таким образом:

- 1) в керамике, в отличие от лазеров, энергия не может накапливаться в виде фотонов из-за особенностей ее структуры;
- 2) вместо этого в керамике энергия накапливается в виде фононов – механических колебаний решетки;
- 3) накопленные фононы затем преодолевают энергетический барьер и превращаются в фотоны инфракрасного диапазона, образуя импульсы излучения высокой плотности;

- 4) наклон фронта этих импульсов действует как излучение определенной длины волны, соответствующей частоте синусоиды этого наклона.

Таким образом, в целом происходит преобразование энергии первичного источника в фононы, затем в фотоны ИК-диапазона с особыми свойствами из-за формы импульса.

Суть согласования генерации импульсов функциональной керамикой по всему объему заключается в следующем.

Допустим, имеется каскадная система преобразования световой энергии, которая может активироваться и собственным, генерируемым излучением. В этом случае выделившийся осциллятором первый импульс в любой конкретной точке объема преобразователя, поглощаясь другим осциллятором, где накопленная энергия еще не достигла энергии активации и не может преодолеть энергетический барьер, поднимает уровень энергии носителей заряда до уровня энергии активации. Получив недостающую часть энергии, этот носитель заряда преодолевает энергетический барьер, высвобождает накопленную энергию в виде фотона. При этом, как бы наблюдается цепная реакция, приводящая к синхронизации генерации импульсов с незначительным временным отставанием, которое обусловлено временем, необходимым для прохождения света от одного осциллятора до других, а также и с инерционностью системы поглощение-генерация в объеме функциональной керамики.

Учитывая, что керамика имеет объем, а процессы, о которых сказано выше происходят в этом объеме, то можно сделать вывод, что импульс в глубинных слоях может поглощаться осцилляторами, находящимися на поверхности излучателя. Таким образом, синхронная генерация импульсов идет на поверхности излучателя, но, преимущественно за счет процессов, идущих во всем объеме.

Этот фактор очень важен, т.к. позволяет в определенных пределах регулировать режим генерации импульсов.

Действительно, при очень тонких слоях, если генерированный осциллятором фотон поглотился другим осциллятором, то он просто бы транслировался на него.

Когда же толщина излучателя большая, то фотоны, высвобожденные в объеме, активируют поверхностные осцилляторы. Теперь уже фотоны этих осцилляторов беспрепятственно могут выделяться во внешнюю среду.

Таким образом:

- 1) в объеме керамики происходит цепная реакция – первый импульс от одного осциллятора поднимает энергию соседних до уровня активации, запуская их;
- 2) это приводит к синхронизации импульсов с небольшим временным сдвигом из-за инерционности и распространения света;

Рахимов Р.Х., Ермаков В.П.

3) импульсы из глубины объема могут поглощаться поверхностными осцилляторами, что позволяет преодолеть энергетический барьер и излучить фотон.

В действительности, процесс идет значительно эффективнее, т.к. исходные фотоны имеют высокую квантовую энергию, а генерированные – более низкую.

От глубины обратной связи будет зависеть не только синхронность генерации импульсов, но и их параметры. Чем более чувствительна система к поглощению собственного излучения (положительная обратная связь большой глубины), тем более крутой фронт нарастания импульса будет наблюдаться. Другими словами, можно регулировать один из основных параметров ИК-излучения – фронт нарастания импульса.

Таким образом:

- 1) исходные фотоны обладают большей энергией, чем генерируемые фотоны;
- 2) глубина обратной связи (чувствительность к собственному излучению) влияет не только на синхронность, но и на параметры импульсов;
- 3) чем выше положительная обратная связь, тем круче фронт нарастания импульса;
- 4) есть возможность регулировать важный параметр – крутизну фронта импульса ИК-излучения.

Следует особо подчеркнуть, что увеличение мощности нагревателя не сильно сказывается на параметрах импульса. Увеличивается лишь частота следования импульсов.

Обратимся к известным аналогам, например, CO₂-лазеру.

CO₂-лазер – это газовый лазер, т.е. основа данного лазера углекислый газ, который возбуждается при помощи электричества. CO₂-лазер имеет длину волны около 10,6 мкм и в первую очередь подходит для обработки неметаллов и большинства пластиков. Однако, это немного спорный момент, поскольку современные CO₂-лазеры являются достаточно мощными и могут отлично справляться даже с 20 мм сталью. Если рассчитать температуру излучения, генерируемого этим лазером по закону Вина, то она соответствует $T = 2898/10,6 \text{ мкм} = 273,4 \text{ К}$ или 0 °С. Таким образом, возникает полное противоречие между получаемыми экспериментальными результатами и законом Вина.

В действительности, никакого противоречия нет. Дело в том, что фронт нарастания импульса, если рассматривать его, как часть синусоиды, соответствует очень высокой температуре. Это отлично вписывается в нашу модель генерации.

Вторым аспектом проблемы преобразования керамикой энергии первичного излучения, является механизм накопления энергии. Если в лазерах энергия может накапливаться в виде фотонов и при достижении определенного их количества преодолевается энергетический барьер и генерируется излучение, то функциональная керамика не может накапливать фотоны, а работает каскадно с широким спектром первичного

излучения. Энергия накапливается в виде фононов и, за счет положительной обратной связи, преодолевается энергетический барьер, что приводит к синхронному выбросу фотонов со всей поверхности излучателя-преобразователя.

Еще один пример генерации импульса, который объясняется предложенным механизмом.

Как известно, температура поверхности Солнца находится на уровне 6000 К. На солнечных пятнах, она еще ниже и находится на уровне 2000 градусов. Магнитное поле удерживает выброс фотонов до определенного предела – преодоления энергетического барьера. После этого, температура импульса, соответствует 10 млн градусам и даже выше. По нашему мнению, здесь также работает представленный выше механизм. Например, геомагнитная буря с очень яркой вспышкой на Солнце 1 сентября 1859 г. Она была замечена и записана независимо британскими астрономами Ричардом Кристофером Каррингтоном и Ричардом Ходжсоном – первые записи солнечной вспышки. Геомагнитная буря такого масштаба, происходящая сегодня, привела бы к широкомасштабным перебоям в электроснабжении, отключениям электроэнергии и повреждениям из-за длительных перебоев в электросети. Но и сейчас наблюдаются такие же выбросы энергии в виде фотонов.

В последние годы появились публикации, посвященные преобразованию ИК-излучения в видимое и генерации фотонов из фононов [11–13].

Авторы предлагают сначала сместить спектр излучения в видимую область. Это позволит разработать недорогие способы обнаружения загрязнений, отслеживания раковых заболеваний, проверки газовых смесей и дистанционного зондирования внешней Вселенной.

Инфракрасным светом называют электромагнитное излучение с длиной волны большей, чем у красного видимого света (но меньшей, чем у микроволнового радиоизлучения). Излучение этого диапазона несет меньше энергии, чем видимый свет, и его недостаточно для того, чтобы его могли уловить фоторецепторы наших глаз, а также многие другие детекторы. Тем не менее, этот диапазон спектра содержит много информации: например, тепловое излучение объектов вокруг нас, которое можно «увидеть» при помощи тепловизора. В научных исследованиях инфракрасную спектроскопию используют для дистанционного и неразрушающего изучения структуры химических и биологических веществ. Оба подхода, предложенные в новых исследованиях, для смещения инфракрасного излучения в видимую область используют колебания химических связей в молекулах, удерживаемых на подложке.

При взаимодействии с молекулами энергия, которую несет инфракрасный свет, преобразуется в колебательную энергию. Параллельно с этим на ту же поверхность направляют луч лазера, который приносит дополнительную энергию и позволяет перевести колебания в видимую область спектра.

Ключевая разница подходов состоит в конструкции наноантенн, которые концентрируют инфракрасный свет и луч лазера на молекулах. Ученые из Швейцарии, Китая, Испании, Германии и Нидерландов перемежали молекулы слоями металлических наноструктур. А исследователи из Великобритании, Бельгии и Испании «зажали» молекулы в нанобороздки, окруженные крошечными кусочками золота [11].

В обоих случаях процесс преобразования был когерентным, так что вся информация, изначально содержащаяся в инфракрасном излучении, переносилась в видимый свет. Это упростит детекцию инфракрасного излучения, поскольку после преобразования в видимый диапазон его сможет «поймать» даже камера мобильного телефона. Размеры предложенных систем не превышают нескольких микрометров, так что его можно включать в большие массивы пикселей. Кроме того, заменяя тип молекул в резонаторе, можно будет настраивать приборы на разные диапазоны частот.

Пока эффективность преобразования не очень высокая, однако обе исследовательские группы работают над дальнейшей оптимизацией этих недорогих молекулярных детекторов инфракрасного света.

ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Молекулы имеют богатые сигнатуры в своих спектрах на инфракрасных длинах волн и, как правило, доступны с помощью специальных спектроскопических приборов. Чен и др. и Ксомалис и др. [24], сообщили об оптомеханическом преобразовании частоты из средней инфракрасной области в видимую область с использованием молекулярных колебаний, связанных с плазмонной нанокапсулой, в условиях окружающей среды. Используя различные конструкции наноантенны, один с наночастицами на резонаторе, а другой с наночастицами в канавке, оба подхода демонстрируют способность преобразовывать колебания молекул в нанорезонаторе в среднем инфракрасном диапазоне в длины волн видимого света. Этот эффект может быть использован для упрощения инфракрасной спектроскопии, возможно, с чувствительностью к одной молекуле.

Когерентное взаимодействие сигналов между оптической и механической областями обеспечивается оптико-механическими взаимодействиями. Экстремальная связь между светом и веществом, получаемая путем ограничения света объемами в режиме наноразмерного масштаба, может затем получить доступ к одной чувствительности фотонов среднего инфракрасного диапазона (MIR). Здесь использовали инфракрасное поглощение и комбинационную активность молекулярных колебаний в плазмонных наноотверстиях для демонстрации преобразования частоты вверх. Авторы преобразовали входящий свет длиной волны примерно в 10 мкм в видимый свет с помощью усиленного поверхностным комбинационным рассеянием (SERS)

в дважды резонансных антеннах, которые увеличили конверсию более чем на 10^{10} . Они показали 140%-е усиление антистоксового излучения SERS, когда насос MIR был настроен на частоту молекулярных колебаний, получив наименьшую обнаруживаемую мощность от 1 до 10 мкВт на квадратный микрометр при комнатной температуре. Эти результаты имеют потенциал для недорогих крупномасштабных инфракрасных детекторов и спектроскопических методов.

Таким образом, фотон-фонон-фотонный механизм преобразования позволяет накапливать энергию в виде фононов, чтобы потом преобразовать их импульсное фотонное излучение.

ВОЗМОЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЕРАМИКИ В ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

На основе изложенного материала, мы видим несколько путей применения функциональной керамики в водородной энергетике.

Применение композитных пленок в выращивании микроводорослей, как источников жирных кислот

В дальнейшем они могут быть переработаны в топливо для производства электроэнергии. За счет этого электричества можно будет производить водород, фактически, получить его за счет солнечной энергии.

В фундаментальной работе по использованию микроводорослей, как источника биотоплива, проводится глубокий анализ преимуществ, которые обусловлены получением биотоплива из микроводорослей. Эта оценка технологии свидетельствует о том, что микроводоросли массового культивирования обладают потенциалом для производства бензина и дизельного топлива по конкурентоспособным ценам по сравнению с обычными видами топлива. Однако для соответствия стандартам производительности, изложенным в анализе, требуются дальнейшие исследования. Эти необходимые усовершенствования, такие как повышение продуктивности, выхода липидов, толерантности видов микроводорослей к солености и температуре, а также усовершенствование конструкции системы культивирования и методов сбора урожая, осуществимы и уже применялись в контролируемых условиях [14].

Микроводоросли по потенциальному энергетическому выходу в 8–25 раз превосходят пальмовое масло и в 40–120 раз – рапсовое, что позволяет относить их к типичным представителям растительных маслических культур. Самым большим преимуществом является то, что 1 М/т биомассы водорослей поглощает 1,6 М/т диоксида углерода, производя при этом 1,2 М/т кислорода [15].

Также установлено, что наибольшее поглощение диоксида углерода происходит в длинноволновой области спектра от 600 до 700 нм. Вторая область

Рахимов Р.Х., Ермаков В.П.

поглощения CO_2 – фиолетово-синяя, от 380 до 490 нм. Зеленая область спектра не поглощается хлорофиллом, поэтому вносит минимальный вклад в рост микроводорослей [16; 17].

Авторы [18] объясняют механизм спектральной чувствительности зеленой области света. Показано, что максимум поглощения приходится на длину волны 550 нм, которая соответствует полосам поглощения пигментов фикоцианина и фикоэритрина, входящих в состав фотосинтетического белка фикоэритрина. Это обусловлено наличием данного пигмента у цианобактерий, красных водорослей и криптофитов. Именно благодаря фикоэритрину глубоководный фитопланктон поглощает свет с максимумом в диапазоне 500–560 нм.

В следующем исследовании [19] изучалось влияние интенсивности света на рост микроводорослей Северного полушария. Было установлено, что увеличение интенсивности света не только повышает биомассу видов *Desmodesmus* sp. и *Scenedesmus obliquus*, но и концентрацию жирных кислот. Кроме того, наблюдались изменения в составе жирных кислот, улучшающие качество биотоплива. По мнению авторов, данные виды перспективны для оптимизации производства биомассы и биотоплива. Также было показано, что рост концентрации жирных кислот сопровождался снижением содержания белка. Это открывает возможности для целенаправленной «специализации» микроводорослей путем регулирования соотношения белка и жирных кислот.

Для выращивания в пустыне наиболее подходящей культурой является хлорелла, содержащая достаточное количество липидов и способная расти при повышенной температуре.

Для оптимального роста хлореллы важны:

- освещенность 2000–3000 лк, хлорелла нуждается в ярком свете, не переносит прямое солнечное излучение;
- рН 6,5–7,5;
- температура 25–30 °С, но может расти от 15 до 35 °С; композитные фотокатализаторы позволяют поддерживать эту температуру при значительных колебаниях окружающей среды;
- концентрация CO_2 1–5% для фотосинтеза.

Кроме перечисленных факторов, необходимо контролировать концентрацию минеральных веществ, аэрацию, микробиологический состав среды и другие условия в соответствии с требованиями для всех растений.

Таким образом, в научной литературе подробно описаны спектральные характеристики, необходимые для оптимального роста различных микроводорослей. Это позволит разработать оптимальные характеристики композитных фотокатализаторов для выращивания микроводорослей.

Вторым этапом в производстве микроводорослей является их сушка. В работах [1; 23–31] был представлен пленочно-керамический композит для эффективной сушки различных биологических объек-

тов с использованием солнечной энергии. Благодаря применению такого композита процесс сушки может быть осуществлен с минимальной потерей активных веществ. Кроме того, получаемую в ходе сушки воду можно перерабатывать и повторно использовать, что очень важно в пустынных районах.

Применение композитов также позволяет проводить низкотемпературную стерилизацию, благодаря чему можно получать высококачественную продукцию.

На основании представленного материала можно сделать следующие выводы:

- 1) правильный подбор спектральных характеристик фотокатализатора для выращивания микроводорослей позволяет достичь ряда преимуществ по сравнению с другими методами;
- 2) ускоряется рост и развитие организмов;
3. увеличивается продолжительность эффективно-го светового дня для фотосинтеза;
- 4) стабилизируется температурный режим;
- 5) снижается испарение влаги;
- 6) осуществляется стимуляция процессов при низких температурах;
- 7) повышается КПД использования солнечной энергии;
- 8) повышается надежность систем;
- 9) обеспечивается эффективная сушка за счет солнечной энергии;
- 10) решается ряд экологических и экономических вопросов.

Таким образом, предлагаемая технология имеет широкий спектр преимуществ для выращивания и переработки микроводорослей. Полученное таким образом биотопливо можно назвать «бесплатным» благодаря тому, что оно получено за счет солнечной энергии, с поглощением большого объема CO_2 . Кроме того, микроводоросли могут выращиваться в морской воде, а реакторы устанавливаться в зонах пустыни. Для Узбекистана это имеет огромное преимущество, т.к. страна состоит на 70% из пустынь. Особенно это стимулирует восстановление экологической, энергетической и экономической ситуации в зоне Арала. Применение композитов не только позволит стабилизировать температуру, но и снижает потери воды в 4–6 раз, позволяет повысить урожайность микроводорослей в 1,5–2 раза, по сравнению с традиционными методами.

Как было показано, применение функциональной керамики позволяет значительно повысить эффективность многих технологий. В частности, значительно снизить ресурсные и временные затраты в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Эти факторы позволяют сделать производство водорода, топливных элементов, гидридов, например, магния и т.д. высокорентабельным [23; 31].

Кроме перечисленного, имеется много операций в водородной энергетике, где применение функциональной керамики позволит выйти на новый уровень высокоэффективных технологий.

Применение функциональной керамики для производства водорода

Что же касается возможности применения функциональной керамики в качестве высокоэффективных катализаторов для производства водорода из воды, здесь имеются, как минимум, два направления:

- 1) преобразование всего солнечного спектра в излучение с энергией расщепления воды на водород и кислород;
- 2) преобразование солнечного спектра в длину волны работы фотокатализаторов, например, TiO_2 .

Предварительные результаты показали, что применение покрытий из фотокатализаторов на кварцевых трубках, позволяют генерировать водород из воды за счет внешнего светового излучения. В настоящее время четыре типа таких фотокатализаторов проходят лабораторные испытания в Узбекистане и Германии.

Это далеко не полный перечень возможностей применения функциональной керамики в водородной и другой энергетике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение приводим основные выводы о водородной энергетике и роли функциональной керамики.

1. Водородная энергетика привлекает все больший интерес в качестве альтернативного источника энергии и может стать основным энергоносителем в различных устройствах.
2. Производство водорода сталкивается с ограничениями, включая низкую экономическую эффективность. Использование современных гелиотехнологий и гелиоматериалов может значительно повысить рентабельность производства водорода.
3. Сжигание водорода в присутствии азота является технологической проблемой, т.к. может приводить к образованию токсичных веществ, загрязняющих окружающую среду. Экономическая и экологическая эффективность производства водорода в промышленных масштабах требует дальнейших исследований и разработок в области создания новых, эффективных фотокатализаторов, а также разделительных мембран, систем хранения водорода, основанных на новых принципах, разработки топливных элементов на доступных материалах.
4. Водород является потенциально чистым источником энергии, т.к. его сгорание порождает только воду, что является экологически безопасным процессом. Выбор экологически чистых источников энергии и технологий для производства водорода является ключевым для сохранения его экологической чистоты. Дальнейшие исследования и улучшения технологий необходимы для создания экологически без-

опасной и экономически эффективной водородной энергетике.

Эти выводы отражают основные аспекты, выдвигаемые в статье, и подчеркивают важность развития солнечной энергетике для производства водорода в будущем.

Еще несколько слов относительно возможностей функциональной керамики в улучшении водородной энергетике.

1. Функциональная керамика представляет собой перспективный материал, который может быть использован для оптимизации гелиотехнологий и повышения эффективности производства водорода.
2. Функциональная керамика может быть применена в солнечных коллекторах и реакторах, обеспечивая более эффективное поглощение солнечного излучения и повышение температуры рабочей среды.
3. Функциональная керамика обладает высокой термической стабильностью и химической инертностью, что делает ее привлекательным материалом для использования в высокотемпературных процессах, связанных с производством водорода.
4. Дальнейшие исследования и разработки в области фотокатализаторов на основе функциональной керамики могут привести к разработке новых материалов и технологий, которые увеличат эффективность и экономическую целесообразность производства водорода.
5. Использование функциональной керамики в водородной энергетике может способствовать развитию экологически чистых и энергоэффективных решений, способных удовлетворить потребности водородного рынка и содействовать его коммерциализации.

Несколько слов относительно пленочно-керамического композита на основе функциональной керамики:

1. Пленочно-керамический композит, основанный на функциональной керамике, представляет собой перспективный материал для различных приложений в водородной энергетике.
2. Пленочно-керамический композит обладает высокой поверхностной активностью и способностью к эффективному поглощению солнечного излучения, что способствует повышению эффективности теплиц, парников, гелиосушилок, солнечных коллекторов и концентраторов.
3. Использование пленочно-керамического композита может повысить эффективность процессов конверсии солнечной энергии в тепло и электричество, которые необходимы для производства водорода.
4. Пленочно-керамический композит может быть использован в системах фотокатализа, где он может обеспечить эффективное разложение

Рахимов Р.Х., Ермаков В.П.

воды на водород и кислород под воздействием преобразованного солнечного света.

5. Пленочно-керамический композит может быть произведен с использованием различных технологий, таких как сол-гель метод, каонатный метод, за счет нанопокрывтия и вакуумного напыления на различные подложки, что обеспечивает гибкость в его производстве и адаптации к различным приложениям, в частности, позволит использовать для стабилизации температуры в жилых и других помещениях.
6. Дальнейшие исследования и разработки в области пленочно-керамического композита на основе функциональной керамики могут привести к созданию более эффективных и экономически выгодных материалов для энергосберегающих технологий и производства водорода.

Таким образом, использование пленочно-керамического композита может способствовать развитию экологически чистых и энергоэффективных технологий водородной энергетики, что является важным шагом в направлении устойчивого и экологически безопасного энергетического будущего. Кроме того:

- 1) применение пленочно-керамического композита может способствовать повышению урожайности микроводорослей. Этот материал может быть использован для создания подложек, на которых микроводоросли могут расти и развиваться более эффективно. Увеличение урожайности микроводорослей имеет важное значение для производства биомассы, включая водород, для возобновляемых источников энергии и других приложений;

- 2) пленочно-керамический композит может быть применен в процессах восстановления и регенерации пустынных зон. Благодаря своим физико-химическим свойствам, он может помочь удерживать влагу, улучшать почву и создавать благоприятные условия для роста растений. Это может быть особенно полезно при использовании композита в системах полива и орошения в пустынных районах;
- 3) при использовании пленочно-керамического композита в процессе восстановления зоны Арала, он может помочь улучшить качество почвы и сохранить влагу в регионе, что способствует росту растительности и восстановлению экосистемы. Это может иметь положительный вклад в экологическое восстановление и улучшение жизненных условий для местного населения;
- 4) в проблемных регионах, где существуют экономические, экологические и энергетические проблемы, пленочно-керамический композит может быть использован для создания инновационных и устойчивых решений. Например, он может использоваться для создания солнечных коллекторов, солнечных печей или других систем, которые могут обеспечивать доступ к энергии и улучшать экономическое благополучие в этих регионах.

Эти выводы подчеркивают потенциал пленочно-керамического композита для решения различных проблем в различных областях, включая повышение урожайности, регенерацию пустынных зон, восстановление экосистем и решение экономических и энергетических проблем.

Литература

1. Рахимов Р.Х. Керамические материалы и их применение. Разработка функциональной керамики с комплексом заданных свойств. Т. 1. Лондон: Lambert Academic Publishing, 2022. С. 278.
2. Аминов Р.З., Байрамов А.Н. Системная эффективность водородных циклов на основе внепиковой электроэнергии АЭС // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2011. № 4. С. 52–61.
3. Аминов Р.З., Байрамов А.Н. Оценка конкурентной эффективности получения водорода методом электролиза воды на основе внепиковой электроэнергии // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2016. № 4. С. 84–90.
4. Солодова П.Л., Минигулов Р.Р., Емельянычева Е.А. Водород как перспективным энергоносителем. Современные методы получения водорода // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 3. С. 137–140.
5. Ключников А.Д., Петин С.Н. Повышение энергетической и экологической эффективности производства водорода на базе комплексного использования природного газа на предприятиях черной металлургии // Вестник Московского энергетического института. 2008. № 3. С. 18–23.
6. Rakhimov R.K., Kim E.V. US Patent No. 5,472,720 registration date 05.12.1995.

References

1. Rakhimov R.Kh. Ceramic materials and their application. Development of functional ceramics with a set of specified properties. Vol. 1. L.: Lambert Academic Publishing, 2022. P. 278.
2. Aminov R.Z., Bayramov A.N. System efficiency of hydrogen cycles based on off-peak NPP electricity. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energy*. 2011. No. 4. Pp. 52–61. (In Rus.)
3. Aminov R.Z., Bayramov A.N. Evaluation of the competitive efficiency of hydrogen production by water electrolysis based on off-peak electricity. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energy*. 2016. No. 4. Pp. 84–90. (In Rus.)
4. Solodova P.L., Minigulov R.R., Yemelyanycheva E.A. Hydrogen as a promising energy carrier. Modern methods of hydrogen production. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2015. Vol. 18. No. 3. Pp. 137–140. (In Rus.)
5. Klyuchnikov A.D., Petin S.N. Improving the energy and environmental efficiency of hydrogen production based on the integrated use of natural gas at ferrous metallurgy enterprises. *Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute*. 2008. No. 3. Pp. 18–23. (In Rus.)
6. Rakhimov R.K., Kim E.V. US Patent No. 5,472,720 registration date 05.12.1995.

7. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Возможный механизм стабилизации температуры солнечного воздухонагревателя с применением трехслойной композитной пленки с каскадным преобразованием спектра // Гелиотехника. 2011. № 2. С. 65–68.
8. Рахимов Р.Х., Саидов М.С. Солнечно-радиационный нагрев и импульсная фотолюминесценция микрозернистой керамики с межзеренными гетерослоями // Гелиотехника. 2001. № 2. С. 71–74.
9. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Солнечный воздухонагреватель с применением композита полиэтиленовая пленка-керамика на основе оксида железа // Гелиотехника. 2010. № 1. С. 59–62.
10. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Солнечный воздухонагреватель с применением трехслойной композитной пленки с каскадным преобразованием спектра // Гелиотехника. 2010. № 2. С. 43–44.
11. Xomalis A. et al. Supplementary Materials for Detecting mid-infrared light by molecular frequency upconversion in dual-wavelength nanoantennas. J.J. Baumberg (cor. author). DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abk2593>.
12. Xue Jiang, Chengzhi Shi, Zhenglu Li et al. Direct observation of Klein tunneling in phononic crystals // Science. 2020. Vol. 370. Issue 6523. Pp. 1447–1450. DOI: 10.1126/science.abe2011.
13. Suto K.H., Nakajima M., Hamazaki T. Thermal and near infrared sensor for carbon observation Fourier-transform spectrometer on the Greenhouse Gases Observing Satellite for greenhouse gases monitoring // Appl. Opt. 2009. No. 48. Pp. 6716–6733. DOI: 10.1364/AO.48.006716.
14. Neenan B., Feinberg D., Hill A., McIntosh R., Terry K. Fuels from microalgae: Technology status, potential, and research requirements. Golden, CO: Solar Energy Research Institute, 1986. P. 224.
15. Макарова Е.И., Отурина И.П., Сидякин А.И. Прикладные аспекты применения микроводорослей – обитателей водных экосистем // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2009. Вып. 20. С. 120–133.
16. Геворгиз Р.Г., Шматок М.Г., Лелеков А.С. Расчет КПД фотобиосинтеза у низших фототрофов. 1. Непрерывная культура // Экология моря. 2005. Вып. 70. С. 31–36.
17. Геворгиз Р.Г., Малахов А.С. Пересчет величины освещенности фотобиореактора в величину облученности: учеб.-метод. пособие. Севастополь: ООО «Колорит», 2018. 60 с.
18. Ефимова Т.В. Действие спектрального состава света на структурные и функциональные характеристики микроводорослей: Автореф. дис. URL: <https://www.dissercat.com/content/deistvie-spektralnogo-sostava-sveta-na-strukturnye-i-funktsionalnye-kharakteristiki-mikrovod>
19. Nzayisenga J.C., Farge X., Groll S.L. et al. Effects of light intensity on growth and lipid production in microalgae grown in wastewater // Biotechnology for Biofuels and Bioproducts. 2020. Vol. 13. Art. number 4.
20. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Применение функциональной керамики в процессах стерилизации // Comp. Nanotechnol. 2021. Т. 8. № 1. С. 84–94. DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2021-8-1-84-94>.
21. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Фононный механизм преобразования в керамических материалах // Comp. Nanotechnol. 2017. № 4. С. 21–35.
22. Рахимов Р.Х. Большая солнечная печь // Comp. Nanotechnol. 2019. Т. 6. № 2. С. 141–150. DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2019-6-2-141-150>.
23. Рахимов Р.Х., Рашидов Х.К., Ермаков В.П. и др. Особенности синтеза функциональной керамики с комплексом
7. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. A possible mechanism for stabilizing the temperature of a solar air heater using a three-layer composite film with cascade spectrum transformation. *Heliotechnika*. 2011. No. 2. Pp. 65–68. (In Rus.)
8. Rakhimov R.Kh., Saidov M.S. Solar-radiation heating and pulsed photoluminescence of micrograin ceramics with intergrain heterolayers. *Heliotechnika*. 2001. No. 2. Pp. 71–74. (In Rus.)
9. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Solar air heater using composite polyethylene film-ceramics based on iron oxide. *Heliotechnika*. 2010. No. 1. Pp. 59–62. (In Rus.)
10. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Solar air heater using a three-layer composite film with cascade spectrum conversion. *Heliotechnika*. 2010. No. 2. Pp. 43–44. (In Rus.)
11. Xomalis A. et al. Supplementary Materials for Detecting mid-infrared light by molecular frequency upconversion in dualwavelength nanoantennas. J.J. Baumberg (cor. author). DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abk2593>.
12. Xue Jiang, Chengzhi Shi, Zhenglu Li et al. Direct observation of Klein tunneling in phononic crystals. *Science*. 2020. Vol. 370. Issue 6523. Pp. 1447–1450. DOI: 10.1126/science.abe2011.
13. Suto K.H., Nakajima M., Hamazaki T. Thermal and near infrared sensor for carbon observation Fourier-transform spectrometer on the Greenhouse Gases Observing Satellite for greenhouse gases monitoring. *Appl. Opt.* 2009. No. 48. Pp. 6716–6733. DOI: 10.1364/AO.48.006716.
14. Neenan B., Feinberg D., Hill A., McIntosh R., Terry K. Fuels from microalgae: Technology status, potential, and research requirements. Golden, CO: Solar Energy Research Institute, 1986. P. 224.
15. Makarova E.I., Oturina I.P., Sidyakin A.I. Applied aspects of the use of microalgae – inhabitants of aquatic ecosystems. *Ecosystems, Their Optimization and Protection*. 2009. Issue 20. Pp. 120–133. (In Rus.)
16. Gevorgiz R.G., Shmatok M.G., Lelekov A.S. Calculation of photobiosynthesis efficiency in lower phototrophs. 1. Continuous culture. *Ecology of the Sea*. 2005. Issue 70. Pp. 31–36. (In Rus.)
17. Gevorgiz R.G., Malakhov A.S. Recalculation of the illumination value of the photobioreactor into the irradiance value: Textbook-method. stipend. Sevastopol: LLC “Kolorit”, 2018. 60 p.
18. Efimova T.V. The effect of the spectral composition of light on the structural and functional characteristics of microalgae: Abstract of the dis. URL: <https://www.dissercat.com/content/deistvie-spektralnogo-sostava-sveta-na-strukturnye-i-funktsionalnye-kharakteristiki-mikrovod>
19. Nzayisenga J.C., Farge X., Groll S.L. et al. Effects of light intensity on growth and lipid production in microalgae grown in wastewater. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2020. Vol. 13. Art. number 4.
20. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Application of functional ceramics in sterilization processes. *Comp. Nanotechnol.* 2021. Vol. 8. No. 1. Pp. 84–94. (In Rus.) DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2021-8-1-84-94>.
21. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Phonon transformation mechanism in ceramic materials. *Comp. Nanotechnol.* 2017. No. 4. Pp. 21–35. (In Rus.)
22. Rakhimov R.Kh. Big solar furnace. *Comp. Nanotechnol.* 2019. Vol. 6. No. 2. Pp. 141–150. (In Rus.) DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2019-6-2-141-150>.

Рахимов Р.Х., Ермаков В.П.

- заданных свойств радиационным методом. Ч. 4 // *Comp. Nanotechnol.* 2016. No. 2. С. 77–80.
24. Рахимов Р.Х., Мухторов Д.Н. Исследование пленочно-керамического композита в гелиосушке // *Comp. Nanotechnol.* 2022. Т. 9. № 1. С. 132–138. DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2022-9-1-132-138>.
25. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Возможный механизм стабилизации температуры солнечного воздухонагревателя с применением трехслойной композитной пленки с каскадным преобразованием спектра // *Гелиотехника.* 2011. № 2. С. 65–68.
26. Рахимов Р.Х., Саидов М.С. Солнечно-радиационный нагрев и импульсная фотолюминесценция микрозернистой керамики с межзеренными гетерослоями // *Гелиотехника.* 2001. № 2. С. 71–74.
27. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Солнечный воздухонагреватель с применением композита полиэтиленовая пленка-керамика на основе оксида железа // *Гелиотехника.* 2010. № 1. С. 59–62.
28. Рахимов Р.Х., Ермаков В.П., Рахимов М.Р. Солнечный воздухонагреватель с применением трехслойной композитной пленки с каскадным преобразованием спектра // *Гелиотехника.* 2010. № 2. С. 43–44.
29. Rakhimov R.Kh., Mukhtorov D.N. Investigation of the efficiency of using a film-ceramic composite in a solar dryer // *Applied Solar Energy.* 2022. Vol. 58. No. 2. Pp. 273–278.
30. Rakhimov R.Kh., Yermakov V.P., Rakhimov M.R. Synthesis of materials by the radiation method and their application // *Applied Solar Energy.* 2022. Vol. 58. No. 1. Pp. 165–171. ISSN 0003-701X.
31. Рахимов Р.Х., Рашидов Х.К., Ермаков В.П. и др. Ресурсосберегающая, энергоэффективная технология получения глинозема из вторичных каолинов ангренского месторождения // *Comp. nanotechnol.* 2016. № 1. С. 45–51.
23. Rakhimov R.Kh., Rashidov H.K., Ermakov V.P. et al. Features of the synthesis of functional ceramics with a set of specified properties by the radiation method. Part 4. *Comp. Nanotechnol.* 2016. No. 2. Pp. 77–80. (In Rus.)
24. Rakhimov R.Kh., Mukhtorov D.N. Investigation of a film-ceramic composite in a solar cell. *Comp. Nanotechnol.* 2022. Vol. 9. No. 1. Pp. 132–138. (In Rus.) DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2022-9-1-132-138>.
25. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. A possible mechanism for stabilizing the temperature of a solar air heater using a three-layer composite film with cascade spectrum transformation. *Heliotechnika.* 2011. No. 2. Pp. 65–68. (In Rus.)
26. Rakhimov R.Kh., Saidov M.S. Solar-radiation heating and pulsed photoluminescence of micrograin ceramics with intergrain heterolayers. *Heliotechnika.* 2001. No. 2. Pp. 71–74. (In Rus.)
27. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Solar air heater using composite polyethylene film-ceramics based on iron oxide. *Heliotechnika.* 2010. No. 1. Pp. 59–62. (In Rus.)
28. Rakhimov R.Kh., Ermakov V.P., Rakhimov M.R. Solar air heater using a three-layer composite film with cascade spectrum conversion. *Heliotechnika.* 2010. No. 2. Pp. 43–44. (In Rus.)
29. Rakhimov R.Kh., Mukhtorov D.N. Investigation of the efficiency of using a film-ceramic composite in a solar dryer. *Applied Solar Energy.* 2022. Vol. 58. No. 2. Pp. 273–278.
30. Rakhimov R.Kh., Yermakov V.P., Rakhimov M.R. Synthesis of materials by the radiation method and their application. *Applied Solar Energy.* 2022. Vol. 58. No. 1. Pp. 165–171. ISSN 0003-701X.
31. Rakhimov R.Kh., Rashidov H.K., Ermakov V.P. et al. Resource-saving, energy-efficient technology for producing alumina from secondary kaolins of the Angren deposit. *Comp. Nanotechnol.* 2016. No. 1. Pp. 45–51. (In Rus.)

Статья проверена программой Антиплагиат

Р е ц е н з е н т: Раджапов С.А., доктор физико-математических наук; главный научный сотрудник лаборатории полупроводниковых высокочувствительных датчиков; Физико-технический институт Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан

Статья поступила в редакцию 04.08.2023, принята к публикации 10.09.2023
The article was received on 04.08.2023, accepted for publication 10.09.2023

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Рахимов Рустам Хакимович, доктор технических наук; заведующий лабораторией № 1; Институт материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан; Институт возобновляемых источников энергии; Ташкент, Республика Узбекистан. ORCID: 0000-0001-6964-9260; E-mail: rustam-shsul@yandex.com

Ермаков Владимир Петрович, старший научный сотрудник лаборатории № 1; Институт материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан; Ташкент, Республика Узбекистан. ORCID: 0000-0002-0632-6680; E-mail: labimanod@uzsci.net

ABOUT THE AUTHORS

Rustam Kh. Rakhimov, Doctor of Engineering; Head at the Laboratory No. 1; Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan; Institute of Renewable Energy Sources; Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0000-0001-6964-9260; E-mail: rustam-shsul@yandex.com

Vladimir P. Yermakov, senior research at the Laboratory No. 1; Institute of Materials Science of the Academy of Science of Uzbekistan; Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: 0000-0002-0632-6680; E-mail: labimanod@uzsci.net