

УДК 001.895  
ББК 65.291.551  
JEL Q20, Q42, Q43

### **Инновационные разработки: водород как источник возобновляемой энергии**

**Шумаев Виталий Андреевич**, доктор экономических наук, профессор,  
академик РАЕН, НИИ Минобороны РФ, Москва  
E-mail: [vitshumaev@mail.ru](mailto:vitshumaev@mail.ru)

**Аннотация:** Одним из источников возобновляемой энергетики признана вода, находящаяся на нашей планете в огромных количествах. Однако вода состоит из водорода и кислорода. Если сжигать водород в кислороде получается вода и выделяется определенное количество тепловой энергии, которую ученые и пытаются приспособить для получения электроэнергии, а также механической энергии вращения. В последние годы в мире появились инновационные разработки по использованию водорода в качестве источника получения энергии. Этот процесс в настоящее время совершенствуется, и появляются практические решения данного вопроса, совершенствуются традиционные энергоустановки, появляются новые альтернативные способы получения электроэнергии, например, на основе использования солнечной энергии для получения электрической. Этот способ известен давно, но пока основан на применении панелей, которые имеют небольшой коэффициент полезного действия. Однако ученые всего мира заняты поиском и повышением эффективности получения солнечной электроэнергии. Пока это обходится дорого, но при этом происходит сохранность природы от загрязнений, получаемых в результате использования традиционных способов получения энергии, что может быть важнейшим в наше и будущее время.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, вода, водород, получение водорода, солнечные электростанции.

### **Innovative developments: hydrogen as a source of renewable energy**

**Vitaly A. Shumaev**, Doctor of Economics, Professor, Academician of the RAES,  
Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow  
E-mail: [vitshumaev@mail.ru](mailto:vitshumaev@mail.ru)

**Annotation:** One of the sources of renewable energy is recognized as water, which is on our planet in huge quantities. However, water consists of hydrogen and oxygen. If you burn hydrogen in oxygen, water is obtained and a certain amount of thermal energy is released, which scientists are trying to adapt to generate electricity, as well as mechanical rotational energy. In recent years, innovative developments on the use of hydrogen as a source of energy have appeared in the world. This process is currently being improved and practical solutions to this issue are emerging, traditional power plants are being improved, new alternative ways of generating electricity are emerging, for example, based on the use of solar energy to generate electricity. This method has been known for a long time, but so far it is based on the use of panels that have a small efficiency. However, scientists around the world are busy searching for and improving the efficiency of obtaining solar electricity. While it is expensive, but at the same time, nature is preserved from pollution resulting from the use of traditional methods of energy production, which may be important in our time and in the future.

**Keywords:** renewable energy sources, water, hydrogen, hydrogen production, solar power plants.

## **Введение**

Известно, что в мировой практике для получения энергии, используемой в качестве освещения, отопления, приведения механизмов в движение, применяется способ сжигания топлива. Основными источниками такого топлива являются природные ресурсы: нефть, нефтепродукты, уголь, ядерное топливо и другие горючие материалы, которые добываются из земных недр, сжигаются, образуя вредные выделения, и не возобновляются.

Одним из неограниченных ресурсов планеты является вода. Человек нашел способ использования ее для получения электричества: он построил плотины, водохранилища, из которых вода выливается через турбины, вращая их, а они, в свою очередь, вращают роторы генераторов, которые и вырабатывают электричество. Гидроэнергетика является чистой и возобновляемой. Однако сооружение гидроэлектростанций является дорогим событием и далеко не везде может быть осуществлено. Поэтому актуальной проблемой является поиск альтернативных вариантов использования воды для получения электроэнергии. Такой вариант найден: воду разделяют на водород и кислород и используют в энергетических установках и двигателях внутреннего сгорания в качестве источника движения (вращения).

Водородная энергетика является одной из альтернативных, возобновляемых и чистых («зеленых»), поэтому ее использование актуально в наше время, когда результаты человеческой деятельности на планете негативно проявляются, что отражается на изменении климата на всем земном шаре.

## **Обсуждение**

Поскольку вода состоит из водорода и кислорода: при их взаимодействии водород сгорает в кислороде и образуется вода. Ученые и инженеры задумались над использованием этого процесса для выработки энергии. Однако надо затратить энергию для разложения воды на составляющие, далее – сохранить их отдельно, затем использовать в механизме для соединения и получения энергии. Этот процесс, в принципе, удался, однако при этом для получения отдельно водорода из воды затрачивается больше энергии, чем получается при его сгорании. Но водород можно получать не только из воды: имеется много других способов и источников получения водорода. Над этим работают ученые всего мира. Некоторые из них показаны в данной статье.

Использование водорода в качестве горючего разрабатывается на основе инновационных подходов. Напомним, что под инновацией понимается результат комплекса взаимосвязанных видов деятельности по созданию новшеств, организации их производства и реализации на рынке на основе последовательного финансирования инвестиционного процесса на всех стадиях инновационной деятельности, начиная с науки<sup>1</sup>.

Несмотря на сложности и проблемы технологии получения и использования водорода, водородная энергетика показала свою состоятельность. В будущем предполагается водород сделать основным энергоресурсом. Пока рентабельность водородной энергетике меньше единицы, но учитывая экологический эффект (который пока не поддается конкретному расчету), эта технология будет развиваться и совершенствоваться.

Имеется отрицательный опыт использования водородной энергетике. Так, еще в 2010 году в Венеции была построена первая коммерческая водородная электростанция, которая себя не оправдала ни экономически, ни экологически. Собственникам пришлось отказаться от этого варианта.

С виду водородная электростанция не отличается от газовой тепловой.

Имеется проблема хранения водорода, которую решили путем сжижения.

## **Результаты**

В мировой практике уже появились технические средства, где вместо обычного топлива использован водород. Даже в России в 2019 году был запущен трамвай, движение которого происходит на водороде. Его испытания подтвердили состоятельность

---

<sup>1</sup> Шумаев, В.А. Инновационные подходы к развитию транспорта / В.А. Шумаев // Транспортное дело России. – 2017. – № 2(129). – С. 8-10.

использования водородных технологий на транспорте. Германия и Япония, например, окончательно приняли решения о развитии водородной энергетики в своих странах на транспорте, в металлургии, нефтехимической промышленности, энергетике и прочих производствах.

Израильская компания Aquarius Engines продемонстрировала малогабаритный водородный двигатель. Он весит всего 10 кг и имеет один цилиндр, в котором поршень перемещается между двумя головками двигателя. Он не требует регулярного обслуживания и даже использования масла. Использование более чистого топлива – водорода создало высокую привлекательность нового двигателя в странах, стремящихся сократить выбросы вредных газов.

Разработанный в США дирижабль H2 Clipper предназначен для перевозки грузов с использованием водородного топлива. Он способен перевезти в 8-10 раз больше груза (150 тонн), чем грузовой самолет, на расстояние более 9 700 км со скоростью 282 км/час. Высота полета – 3000 м. Значительным преимуществом водородного дирижабля является нулевой выброс углерода при стоимости перевозок в 4 раза дешевле, чем грузовым самолетом. Двигательная установка полностью электрическая и работает на жидком водороде. Дирижабль способен доставлять товары с завода непосредственно в распределительный центр, без использования наземного транспорта, благодаря вертикальному взлету и посадке.

В Швейцарии разработано передовое в техническом плане судно класса "люкс" длиной 19,5 метров, способное с комфортом разместить до десяти пассажиров. Это бесшумный и чистый катамаран, который не ограничен по запасу хода: фотоэлементы на крыше вырабатывают солнечную энергию, используемую для получения водородного топлива, обеспечивая судну автономность. Катамаран Aquon One имеет два электромотора по 134 л.с., по одному на корпусе. Внутри судна размещено 250 кв. м жилой площади с технологиями умного дома. Стоимость судна оценена в 6 млн. евро.

Одним из способов получения водорода является тепловой. Известно, что вода при температуре 1700 °С распадается на водород и кислород. Остается выработать такую температуру. Швейцарская компания "Clean Hydrogen Producers" создала установку, которая с помощью параболических зеркал концентрирует солнечную энергию в точке, где обеспечивает 2200 °С. Одна такая установка способна обработать до 100 л воды и произвести более 10 кг водорода в день. Производительность небольшая, но способ себя оправдал и можно работать над повышением КПД.

Оригинальный способ предложен Израильским институтом имени Вейцмана: водород получают с помощью солнечной энергии и цинка с его химическими свойствами. Сначала получают цинк в солнечной башне следующим образом: содержащийся в древесном угле оксид цинка нагревают до температуры 1200 °С, происходит химическая реакция, в результате которой получается чистый цинк. Его помещают в воду, он окисляется с выделением водорода, а оксид цинка повторно используют в солнечной башне. Водород направляется для хранения.

В США проводятся исследования по получению водорода с помощью ветряков и электроэнергии, как правило, солнечной. Они предполагают в будущем довести стоимость 1 кг водорода до \$4, а объем выработки водорода с помощью энергии ветра до 154 млрд. кг в год. Пока это экономически не выгодно, но, возможно, за этой технологией будущее.

Экологически эффективным способом получения водорода является переработка мусора, как пиролизом, так и анаэробным сбраживанием. Как показали исследования, только в Лондоне можно ежедневно производить 141 т водорода из отходов. Большое тихоокеанское мусорное скопление может стать источником производства водорода.

В Швеции провели исследования производства водорода из золы. Её размещают в бескислородной среде и смачивают водой, в результате чего образуется водород. Его всасывают и через трубы направляют на хранение в резервуар.

В США разработан метод производства водорода из воды с помощью алюминиевого сплава. Вначале производится сплав алюминия с галлием и формируется в топливные гранулы, которые помещаются в бак с водой. Происходит химическая реакция, в результате которой галлий создаёт на алюминии пленку, предотвращающую его окисление, получается оксид алюминия и выделяется водород.

Водород можно получить из биомассы термохимическим или биохимическим способами. При термохимическом способе биомассу нагревают без доступа кислорода до температуры 500–800 °С. В результате термохимического процесса выделяется H<sub>2</sub>, CO и CH<sub>4</sub>. Стоимость – 6 долларов за килограмм водорода. При биохимическом способе водород вырабатывают различные бактерии, например *Rhodobacter sphaeroides*. Процесс проводится при температуре 30 °С. Стоимость получения водорода при этом составляет около 2 долларов за килограмм.

Не менее проблемным, чем производство водорода, является его хранение для использования в нужном направлении. Воду можно разделять простым способом при помощи электричества. При этом получается водород и кислород, которые стремятся к соединению, что нехотят, поскольку горение водорода в кислороде необходимо только в нужном месте, например, в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. Для этого газы разделяют, охлаждают, сжижают, затем используют в качестве заправки. Однако это долгий и дорогой процесс. Инженеры, проектирующие специальные двигатели под заправку водой стремятся сделать процесс разделения водорода и кислорода в конструкции и затем направления их в камеру горения с выбросом воды. Это более эффективно, но находится в стадии исследований и проработок.

### **Выводы**

Таким образом, над использованием водорода в качестве альтернативного возобновляемого топлива работают во всем мире. Отработка и получение недорогих (окупаемых) вариантов дает надежду на большие перспективы применения водорода как одного из основных видов горючего для «зеленой» энергетики и технических средств.

### **Литература**

1. Мастепанов А.М. Водородная энергетика России: состояние и перспективы. *Энергетическая политика*. 2020;12(154):54-65. ISSN: 2409-5516. DOI 10.46920/2409-5516\_2020\_12154\_54.
2. Филиппов, С.П., Голодницкий А.Э., Кашин А.М. Топливные элементы и водородная энергетика. *Энергетическая политика*. 2020;11(153):28-39. – ISSN: 2409-5516. DOI 10.46920/2409-5516\_2020\_11153\_28.
3. Чаусов И.С., Холкин Д.В., Бурдин И.А., Тертышная А.И. Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива. *Энергоэксперт*. 2019;2(70):18-22. ISSN: 2075-6518.
4. Шумаев В.А. Инновационные подходы к развитию транспорта. *Транспортное дело России*. 2017;2(129):8-10. ISSN: 2072-8689.
5. Amerkhanov R.A., Grigorash O.V., Garkaviy K.A., Bogdan A.V., Tropin V.V. Concerning the concept of constructing combined ups systems. *Journal of Industrial Pollution Control*. 2017;33(1):797-803. ISSN: 0970-2083
6. Cooper Nathaniel, Horend Christian, Röben Fritz, Bardow Andre, Shah Nilay A framework for the design & operation of a large-scale wind-powered hydrogen electrolyzer hub. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(14):8671-8686. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.12.225>.
7. Hurskainen Markus, Ihonen Jari Techno-economic feasibility of road transport of hydrogen using liquid organic hydrogen carriers. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(56):32098-32112. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.186>.
8. Ishimoto Yuki, Voldsund Mari, Nekså Petter, Roussanaly Simon, Berstad David, Osk Stefania Gardarsdottir Large-scale production and transport of hydrogen from Norway to Europe and Japan: Value chain analysis and comparison of liquid hydrogen and ammonia as energy

carriers. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020; 45(58):32865-32883. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.017>.

9. Lebrouhi B.E., Djoupo J.J., Lamrani B., Benabdelaziz K., Kousksou T. Global hydrogen development – A technological and geopolitical overview. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(11):7016-7048. ISSN 0360-3199, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.12.076>.

10. Mark Z. Jacobson,<sup>1,5</sup> Mark A. Delucchi,<sup>2</sup> Zack A.F. Bauer,<sup>1</sup> Savannah C. Goodman,<sup>1</sup> William E. Chapman,<sup>1</sup> Mary A. Cameron,<sup>1</sup> Cedric Bozonnat,<sup>1</sup> Liat Chobadi,<sup>3</sup> Hailey A. Clonts,<sup>1</sup> Peter Enevoldsen,<sup>4</sup> Jenny R. Erwin,<sup>1</sup> Simone N. Fobi,<sup>1</sup> Owen K. Goldstrom,<sup>1</sup> Eleanor M. Hennessy,<sup>1</sup> Jingyi Liu,<sup>1</sup> Jonathan Lo,<sup>1</sup> Clayton B. Meyer,<sup>1</sup> Sean B. Morris,<sup>1</sup> Kevin R. Moy,<sup>1</sup> Patrick L. O'Neill,<sup>1</sup> Ivalin Petkov,<sup>1</sup> Stephanie Redfern,<sup>1</sup> Robin Schucker,<sup>1</sup> Michael A. Sontag,<sup>1</sup> Jingfan Wang,<sup>1</sup> Eric Weiner,<sup>1</sup> and Alexander S. Yachanin 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World. 2018; *Joule* 1 (1):108-121.

11. Mikovits Christian, Wetterlund Elisabeth, Wehrle Sebastian, Baumgartner Johann, Schmidt Johannes Stronger together: Multi-annual variability of hydrogen production supported by wind power in Sweden. *Applied Energy*. 2021;282(Part B): Article 116082. ISSN 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116082>.

12. Mohammed Al-Breiki, Yusuf Bicer Investigating the technical feasibility of various energy carriers for alternative and sustainable overseas energy transport scenarios. *Energy Conversion and Management*; 2020;209:Article 112652. ISSN 0196-8904. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112652>.

13. Petkov Ivalin, Gabrielli Paolo Power-to-hydrogen as seasonal energy storage: an uncertainty analysis for optimal design of low-carbon multi-energy systems. *Applied Energy*. 2020;274:Article 115197. ISSN 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115197>.

14. Panah Payam Ghaebi, Bornapour Mosayeb, Cui Xiaoti, Josep M. Guerrero Investment opportunities: Hydrogen production or BTC mining? *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(9):5733-5744. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.11.206>.

15. Pingkuo Liu, Xue Han Comparative analysis on similarities and differences of hydrogen energy development in the World's top 4 largest economies: A novel framework. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(16):9485-9503. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.038>.

16. Tang Ou, Rehme Jakob, Cerin Pontus, Huisingsh Donald Hydrogen production in the Swedish power sector: Considering operational volatilities and long-term uncertainties. *Energy Policy*. 2021;148(Part B): Article 111990. ISSN 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111990>.

17. Xiao Pengfei, Hu Weihao, Xu Xiao, Liu Wen, Huang Qi, Chen Zhe Optimal operation of a wind-electrolytic hydrogen storage system in the electricity/hydrogen markets. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(46):24412-24423. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.302>.

18. You Chanhee, Kwon Hweeung, Kim Jiyong Economic, environmental, and social impacts of the hydrogen supply system combining wind power and natural gas. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(46):24159-24173. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.095>.

19. Zhao Yang Dong, Jiajia Yang, Li Yu, Rahman Daiyan, Rose Amal A green hydrogen credit framework for international green hydrogen trading towards a carbon neutral future. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(2):728-734. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.084>.

20. Zhiznin S.Z., Timokhov V.M., Gusev A.L. Economic aspects of nuclear and hydrogen energy in the world and Russia. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(56):31353-31366. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.260>.

## Литература

1. Mastepanov A.M. Vodorodnaya energetika Rossii: sostoyanie i perspektivy (Hydrogen energy in Russia: state and prospects). *Energeticheskaya politika = Energy Policy*. 2020;12(154):54-65. ISSN: 2409-5516. DOI 10.46920/2409-5516\_2020\_12154\_54 (In Russ.).
2. Filippov, S.P., Golodnitskii A.E., Kashin A.M. Toplivnye elementy i vodorodnaya energetika (Fuel cells and hydrogen energy). *Energeticheskaya politika = Energy Policy*. 2020;11(153):28-39. – ISSN: 2409-5516. DOI 10.46920/2409-5516\_2020\_11153\_28 (In Russ.).
3. Chausov I.S., Kholkin D.V., Burdin I.A., Tertyshnaya A.I. Perspektivy Rossii na global'nom rynke vodorodnogo topliva (Prospects for Russia in the global hydrogen fuel market). *Energoekspert*. 2019;2(70);18-22. ISSN: 2075-6518 (In Russ.).
4. Shumaev V.A. Innovatsionnye podkhody k razvitiyu transporta (Innovative approaches to transport development). *Transportnoe delo Rossii = Transport business in Russia*. 2017;2(129):8-10. ISSN: 2072-8689 (In Russ.).
5. Amerkhanov R.A., Grigorash O.V., Garkaviy K.A., Bogdan A.V., Tropin V.V. Concerning the concept of constructing combined ups systems. *Journal of Industrial Pollution Control*. 2017;33(1):797-803. ISSN: 0970-2083
6. Cooper Nathaniel, Horend Christian, Röben Fritz, Bardow Andre, Shah Nilay A framework for the design & operation of a large-scale wind-powered hydrogen electrolyzer hub. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(14):8671-8686. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.12.225>.
7. Hurskainen Markus, Ihonen Jari Techno-economic feasibility of road transport of hydrogen using liquid organic hydrogen carriers. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(56):32098-32112. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.186>.
8. Ishimoto Yuki, Voldsund Mari, Nekså Petter, Roussanaly Simon, Berstad David, Osk Stefania Gardarsdottir Large-scale production and transport of hydrogen from Norway to Europe and Japan: Value chain analysis and comparison of liquid hydrogen and ammonia as energy carriers. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020; 45(58):32865-32883. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.017>.
9. Lebrouhi B.E., Djoupo J.J., Lamrani B., Benabdelaziz K., Kousksou T. Global hydrogen development – A technological and geopolitical overview. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(11):7016-7048. ISSN 0360-3199, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.12.076>.
10. Mark Z. Jacobson,<sup>1,5</sup> Mark A. Delucchi,<sup>2</sup> Zack A.F. Bauer,<sup>1</sup> Savannah C. Goodman,<sup>1</sup> William E. Chapman,<sup>1</sup> Mary A. Cameron,<sup>1</sup> Cedric Bozonnat,<sup>1</sup> Liat Chobadi,<sup>3</sup> Hailey A. Clonts,<sup>1</sup> Peter Enevoldsen,<sup>4</sup> Jenny R. Erwin,<sup>1</sup> Simone N. Fobi,<sup>1</sup> Owen K. Goldstrom,<sup>1</sup> Eleanor M. Hennessy,<sup>1</sup> Jingyi Liu,<sup>1</sup> Jonathan Lo,<sup>1</sup> Clayton B. Meyer,<sup>1</sup> Sean B. Morris,<sup>1</sup> Kevin R. Moy,<sup>1</sup> Patrick L. O'Neill,<sup>1</sup> Ivalin Petkov,<sup>1</sup> Stephanie Redfern,<sup>1</sup> Robin Schucker,<sup>1</sup> Michael A. Sontag,<sup>1</sup> Jingfan Wang,<sup>1</sup> Eric Weiner,<sup>1</sup> and Alexander S. Yachanin 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World. 2018;Joule 1 (1):108-121.
11. Mikovits Christian, Wetterlund Elisabeth, Wehrle Sebastian, Baumgartner Johann, Schmidt Johannes Stronger together: Multi-annual variability of hydrogen production supported by wind power in Sweden. *Applied Energy*. 2021;282(Part B): Article 116082. ISSN 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116082>.
12. Mohammed Al-Breiki, Yusuf Bicer Investigating the technical feasibility of various energy carriers for alternative and sustainable overseas energy transport scenarios. *Energy Conversion and Management*; 2020;209:Article 112652. ISSN 0196-8904. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112652>.
13. Petkov Ivalin, Gabrielli Paolo Power-to-hydrogen as seasonal energy storage: an uncertainty analysis for optimal design of low-carbon multi-energy systems. *Applied Energy*. 2020;274:Article 115197. ISSN 0306-2619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115197>.

14. Panah Payam Ghaebi, Bornapour Mosayeb, Cui Xiaoti, Josep M. Guerrero Investment opportunities: Hydrogen production or BTC mining? *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(9):5733-5744. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.11.206>.
15. Pingkuo Liu, Xue Han Comparative analysis on similarities and differences of hydrogen energy development in the World's top 4 largest economies: A novel framework. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(16):9485-9503. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.038>.
16. Tang Ou, Rehme Jakob, Cerin Pontus, Huisingh Donald Hydrogen production in the Swedish power sector: Considering operational volatilities and long-term uncertainties. *Energy Policy*. 2021;148(Part B): Article 111990. ISSN 0301-4215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111990>.
17. Xiao Pengfei, Hu Weihao, Xu Xiao, Liu Wen, Huang Qi, Chen Zhe Optimal operation of a wind-electrolytic hydrogen storage system in the electricity/hydrogen markets. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(46):24412-24423. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.302>.
18. You Chanhee, Kwon Hweeung, Kim Jiyong Economic, environmental, and social impacts of the hydrogen supply system combining wind power and natural gas. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(46):24159-24173. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.095>.
19. Zhao Yang Dong, Jiajia Yang, Li Yu, Rahman Daiyan, Rose Amal A green hydrogen credit framework for international green hydrogen trading towards a carbon neutral future. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022;47(2):728-734. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.084>.
20. Zhiznin S.Z., Timokhov V.M., Gusev A.L. Economic aspects of nuclear and hydrogen energy in the world and Russia. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(56):31353-31366. ISSN 0360-3199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.260>.