

В.В. Земсков, В.И. Прасолов⁵**ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ
POWER-TO-HEAT: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И УГРОЗЫ**

Финансовый университет при Правительстве РФ
Москва, Россия

В современных реалиях обеспечение энергетической безопасности страны является важнейшим условием существования и развития государства. Поэтому процессы энергосбережения должны обеспечивать траекторию устойчивого роста экономики: от получения конечной продукции с добавлением новой стоимости до определения степени использования возобновляемых видов энергии в валовом внутреннем продукте страны. Показано, что одной из современных тенденций перехода к устойчивому развитию является сокращение выбросов углекислого газа за счет использования возобновляемых источников энергии. В качестве новой угрозы экономической безопасности страны указана ее технологическая отсталость в области использования «зеленого» водорода в целях устойчивого развития. Приведен обзор развития водородных технологий в развитых странах мира. Показано наличие у России достаточного научно-технологического потенциала для решения задач водородной энергетики. Отмечены ее преимущества и проблемные зоны. Обоснована потребность создания необходимой инфраструктуры для развития водородной энергетики в России, а также внедрения стимулирующих функций налогового законодательства страны.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, устойчивое развитие, возобновляемые источники энергии, водородная энергетика, углеродная нейтральность.

В настоящее время лучшая мировая практика эффективного государственного управления свидетельствует о том, что процесс повышения энергоэффективности производства базируется на разработке и применении принципиально новых технологий, способствующих переходу к новому технологическому укладу, имеющих специфические свойства полезности и ценности с точки зрения использования новых источников возобновляемых видов энергии, которые в дальнейшем будут составлять основу безуглеродной экономики.

Следует заметить, что передовые развитые страны Европы давно форсируют процессы по государственной поддержке возобновляемых источников энергии через разработку «дорожной карты», предполагающей

⁵ Участники Международной научной конференции «VI Сенчаговские чтения».

поэтапное снижение доли углеводорода при производстве товаров, работ и услуг⁶. В результате проведенных мероприятий в Европейском Союзе объемы инвестиций в возобновляемые источники энергии достигли 74,5 млрд дол. США и выросли на 27% по сравнению с прошлым годом. Рост объемов инвестиций связан с внедрением на территории Европы ветро-энергетических установок, что способствовало в свою очередь значительному снижению затрат на производство энергии.

По данным Bloomberg New Energy Finance, в 2019 году по сравнению с 2018 годом объем инвестиций в возобновляемую энергетику увеличились на 1% и составили 282,2 млрд долл. США⁷.

Основная мировая тенденция устойчивого развития – за счет использования возобновляемых источников энергии добиться сокращения выбросов углекислого газа. Это может привести к смене технологического уклада с формированием нового мирового рынка энергии.

А как оценивается вклад России в мировое производство возобновляемых источников энергии? По различным данным экспертов, доля возобновляемых источников энергии в России составляет всего от 0,1 до 0,2%, что значительно меньше, чем развитые страны. Это означает, что Россия находится на самом начальном пути развития и предстоит сделать колоссальные усилия по минимизации новых вызовов и угроз, наращиванию объема инвестиции в возобновляемые источники энергии.

В качестве новых вызовов и угроз экономической безопасности страны выделяется продолжающаяся длительное время технологическая отсталость от высокоразвитых стран в области использования «зеленого» водорода в целях устойчивого развития, что свидетельствует о наличии системных рисков, отраслевых рисков и рисков регулирования. В настоящее время в качестве основного технологического процесса производства водорода используется метод электролиза воды – по терминологии профессиональных сообществ «зеленый» водород, который можно получить в процессе переработки угля, природного газа. Специалисты энергетической компании «Газпром» отмечают, что с помощью метода пиролиза метана для производства 1 куб. м водорода необходимо израсходовать 0,7–3,3 кВт*ч энергии, а методом электролиза – 2,5–8 кВт*ч энергии⁸.

В целях внедрения и эффективного использования новых технологий необходимо минимизировать влияния негативных рисков.

⁶ EUROPE 2020: A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth [Electronic resource]. – Mode for access: http://eunec.vlor.be/detail_bestanden/doc014%20Europe%202020.pdf.

⁷ Bloomberg New Energy Finance. Размер глобальных инвестиций в ВИЭ в 2019 году вырос на 1%. [Электронный ресурс] <https://in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/27675-razmer-globalnyh-investicii-v-vie-v-2019-godu-vyros-na-1.html> (дата обращения 25.12.2020).

⁸ Чистый водород из природного газа [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazprom.ru/press/news/reports/2020/pure-hydrogen/>

В качестве системных рисков можно отметить:

- отсутствие программных документов по целеполаганию;
- недостаточный объем инвестиций в производство возобновляемых источников энергии;
- затратные мероприятия по получению конечной продукции и др.

К отраслевым рискам относятся:

- техническая отсталость отрасли;
- отсутствия достаточного объема инвестиций на прикладные научные исследования в области разработки и освоения новых технологий, основанных на использовании «зеленого» водорода;
- повышение степени изношенности оборудования.

К рискам регулирования относятся:

- отсутствия налоговых преференций для хозяйствующих субъектов, занимающихся изысканием новых видов энергии;
- отсутствие эффективного взаимодействия механизма государственно-частного партнерства и др.

При анализе существующей нормативной базы использования водорода в России установлено, что в настоящее время чистый водород используется лишь в сервисной деятельности некоторых отраслей промышленности⁹. Все это свидетельствует об отсутствии в нашей стране эффективной промышленной политики, регулирующей производство, транспортировку, хранение и использование чистого водорода в промышленных масштабах, что существенно повлияло бы на уменьшение выбросов углекислого газа в природную среду.

Ученые, экологи и политики многих стран мира открыто заявляют о целесообразности перехода на безуглеродную экономику. Нобелевский лауреат премии мира, председатель международного комитета премии «Глобальная энергия» Рае Квон Чунгом¹⁰ справедливо полагает, что будущей основой безуглеродной экономики является водород.

Нет необходимости говорить, что переход на водородные источники является вариантом для решения ряда проблем генерации энергии, как для возобновляемых источников энергии, так и для углеводородных ресурсов. С одной стороны, производство водорода теоретически позволит преобразовывать, хранить и накапливать энергию, вырабатываемую любым основным ресурсом. Водород, с другой стороны, является экологическим чистым энергетическим ресурсом из-за отсутствия выбросов загрязняющих веществ на этапе его сжигания. Однако водородная энергетика находится на

⁹ ГОСТ Р 51673-2000 Водород газообразный чистый. Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vashdom.ru/gost/51673-2000/>

¹⁰ Первый во вселенной Интернет портал Глобальная энергия [Электронный ресурс]. – URL: <https://globalenergyprize.org/ru/2020/06/30/pervyj-vo-vselennoj/>

начальном этапе развития и еще не готова к крупномасштабному и повсеместному внедрению в глобальную энергетическую систему.

Если понятие «водородная энергетика», сформированное в середине семидесятых годов прошлого века, дало толчок углубленным исследованиям и разработкам, практически заложившим основу современным технологиям водородного топлива, то сегодня все активнее используются возобновляемые источники энергии и водородная энергетика в том числе.

Проведем краткий обзор развития водородных технологий в наиболее развитых странах мира. Не трудно заметить, что наиболее активно водородные технологии развиваются в странах, имеющих ограниченные топливные ресурсы и высокое потребление энергии.

Япония, сильно зависящая от импорта углеводов, наиболее продвинулась в процессе внедрения водородной технологии. По принятой в 2014 году дорожной карте страна приступила к построению базирующегося на водороде общества. Использование водорода по намеченным планам должно обеспечить рост до 10 млн тонн в 2050 году по сравнению с 200 тонн в 2018 году. Уже сегодня по японским дорогам передвигаются машины с водородным двигателем, число которых превысило 2,5 тысяч.

Сосед Японии КНР еще 2014 году решением Компартии приступила к «четырем революциям» в энергетике, ориентированным на создание безопасной и эффективной энергетической системы. По производству водорода и топливных элюентов на его основе Китай лидирует в мире. Водород открывает для Китая путь к чистой энергетике, достижению целей энергетической независимости и конкурентоспособности. Страна планирует, что к 2040 году водород будет составлять 10% китайской энергосистемы.

Согласно планам, уже к 2050 г. страна произведет 60 млн тонн в год водорода, что составит 10 % энергопотребления страны. Китайцы планируют к 2030 году обновить автопарк страны за счет производства автомобилей на водородных топливных элементах, число которых планируется довести до 2 млн машин.

В 2017 году Европейский Союз запустил проект «Объединенная технологическая инициатива по топливным элементам и водороду». Планируется инвестировать 1,8 млрд евро в пятилетку на энергетический переход к водородному топливу. В мае 2020 года Еврокомиссия представила план восстановления экономики после кризиса, и в нем отмечается, что водородная энергетика может стать одной из основных сфер финансирования. Общий объем финансирования водородного направления составит около € 2 млрд, из которых часть будет направлена на развитие «чистого» железнодорожного транспорта и дополнительно более € 20 млрд – на развитие «чистого» общественного транспорта.

В Нидерландах создается «Водородная долина» в провинциях Гронинген и Дренте, реализующая «зеленый» проект получения водорода из

воды с помощью возобновляемых источников энергии. Свое согласие участвовать в проекте выразили *Engie, Shell, Gasunie, Nuon, BioMCN*, и другие участники.

Для энергетического развития Великобритании планирует добавление водорода в природный газ, используемый для отопления, так как добавление водорода в метан повышает температуру и скорость горения метано-водородной смеси, на 8-15% снижаются выбросы парниковых газов и канцерогенов. В 2017 году Чили запустила проект микросетей производства электроэнергии на водороде.

Сегодня, по оценкам Водородного совета, мировой спрос на водород составляет около 116 млн тонн. При этом на чистый водород приходится 74 млн тонн в год, и еще около 42 млн тонн водорода используется при смешивании с другими видами газов.

Не смотря на достаточные запасы энергоносителей, Россия пытается не отставать в развитии водородной энергетики. Минэнерго России разработало «дорожную карту» «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года»¹¹ в соответствии с которой «Газпром» и «Росатом» начнут производить в России «чистый» водород уже в 2024 году. Основной целью документа является стимулирование производства и экспорта водорода на мировой рынок.

Несмотря на отставание от передовых стран мира, наша страна имеет высокий научный и технологический потенциал, способный решать задачи водородной энергетики на уровне ведущих научных центров мира. В связи с тем, что развитие водородной энергетики достаточно затратное мероприятие, и решение задач исключительно за бюджетные средства будет не совсем правильно, необходимо развитие государственно-частного партнерства в особенности, при реализации крупных инфраструктурных проектов. Мешают нам в этом высокая затратность, низкий внутренний спрос на водород и недостаточная конкурентоспособность наших технологий.

В России ситуация неоднозначная: у нас высокая доля углеводородов в энергосистеме сохранится еще достаточно долго, а декарбонизация далека от попадания в драйверы отечественной энергополитики, хотя все больше внимания уделяется возобновляемым источникам энергии и водородной энергетике в том числе. Сегодня небольшая часть энергии производится на возобновляемые источники энергии – меньше 1%, поэтому не столь остра необходимость развития системы хранения энергии. А что касается энергобезопасности, эта система у нас одна из самых надежных, стабильных, за исключением ряда небольших районов, и подкреплена разнообразием ресурсов.

¹¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р «План мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года»

Какие преимущества есть у России для развития водородной энергетики? В первую очередь, обширные ресурсы для производства водорода: ископаемое топливо, дешевая электроэнергия, гидро- и атомная энергетика, развитая газотранспортная структура, высокий технологический уровень. По мнению исследователей, на сегодняшний день процесс производства водорода можно начать из этих составляющих:

- производство водорода из метана, такой водород называют «голубым»;
- производство водорода из метана, такой водород называют «бирюзовым» за счет применения новых технологий по минимизации выбросов углекислого газа, что значительно дешевле чистого водорода.

Все это позволяет нам стать активными игроками на рынке водородной энергетики.

Как уже отмечалось ранее, разрабатываемые документы носят не нормативный характер, а декларативный, так как упираются в проблемы промышленного производства водорода и являются энергозатратными с видимым присутствием углеродного топлива, что не решает задач выбросов в атмосферу большого количества загрязнителей. Но, несмотря на это, водородная энергетика уже активно развивается, правда пока в лабораторных условиях.

Сформируем проблемные зоны водородной энергетики.

Во-первых, это получение водорода. Развивающиеся сегодня в мире восполняемые энергетические проекты, основанные на реальных научно-технических решениях, обеспечат в ближайшие годы быстрое вхождение водородной энергетики в жизнь индустриально развитых стран. В мире насчитывается более сотни технологий производства водорода, ряд из которых уже получили распространение – это, например, химические технологии конверсии углеводородного сырья (природного газа и угля).

Во-вторых, хранение и транспортировка водорода. Компактное и безопасное хранение водорода является важнейшей проблемой, от решения которой зависит будущее водородной энергетики. Для промышленного использования водорода различают крупномасштабные и мелкомасштабные системы, которые должны обеспечивать безопасное его хранение. Системы хранения водорода отличаются от всех других аккумулирующих систем тем, что вынуждены работать в неблагоприятных условиях, криогенных температурах, или при очень высоком давлении. В мире широко используются физические и химические методы хранения водорода, которые были предложены департаментом энергетики США.

Одним из возможных технологических решений представляется использование газопроводов для перемещения водорода. Сегодня различными учеными предлагаются как минимум два варианта; как по уже существующим трубопроводам природного газа, или и по специальным водород-

ным трубопроводам. Обращение к созданию специализированных трубопроводов, что достаточно затратное в начальной стадии реализации проекта, связано с тем, что традиционно используемые трубы из металла не всегда подходят из-за высокой летучести H_2 . В транспортировке водорода, как и в его производстве, основное внимание сегодня уделено снижению затрат, что, на наш взгляд, будет определять темпы развития водородной энергетики.

В-третьих, использование водородного топлива. Рассматриваются варианты замены в долгосрочной перспективе нефти, природного газа и угля. Решение этих вопросов может быть осуществлено за счет наращивания объемов инвестиций в научные и прикладные исследования по разработке и внедрению новых технологий. Достаточно сказать, что при сжигании 1 кг водорода выделяется до 140 МДж энергии, что делает водород самым энергоёмким источником химической энергии. В энергетике водород может использоваться как природный газ, только с более высоким уровнем КПД. С эффективностью в 99% водород станет самым распространённым энергоносителем к середине 21 века. Использование водорода позволит развивать не только мощные электростанции с газовыми турбинами, но и найдет применение в домашних хозяйствах. Применение мини-электростанций снижает значительно риски обесточивания из-за повреждения ЛЭП. Не будем исключать и другие области применения водорода, это и транспорт, и металлургия, и получение побочных продуктов для химической отрасли.

Еще одной областью применения водорода является производство синтетических газов, востребованных в химической промышленности как сырье и в общей концепции *powerto-X*, и в частности *power-to-ammonia* (электроэнергия в аммиак) или, *power-to-chemicals* электроэнергия в химикаты или, *powerto-methane* (электроэнергия в метан).

Водородное топливо, производимое в целях развития возобновляемых источников энергии может стать основой безуглеродных технологий в сложно декарбонизируемых промышленных отраслях. Однако без учета рисков и угроз использование водородной энергетики в современных условиях представляется не эффективным, не преодолена высокая стоимость водородного сырья. Для решения этих вопросов требуются и масштабные инвестиции, и усилия ученых всего мира для решения технологических проблем. В настоящее время не существует эффективных с экономической точки зрения способов получения водорода в промышленных масштабах, поэтому вопросы снижения стоимости стоят актуально. Для снижения себестоимости производства водорода необходимо совершенствовать технологии производства, хранения, транспортировки, увеличения потребляемых мощностей, снижения стоимости первичных источников энергии. Развитие водородной энергетики сдерживается и отсутствием необходимой инфраструктуры как мобильной, так и стационарной.

В связи с принятием плана мероприятий по развитию водородной энергетики, необходимо кардинально изменить систему налогообложения, сделав упор на развитие стимулирующих функций налогового законодательства страны.

Будущее водородной энергетики возможно и лежит в плоскости решения поставленных проблем. Россия, располагающая сегодня большими природными ресурсами и мощным интеллектуальным потенциалом, должна совершить прорыв в водородную энергетику. Магистральными путями развиваться должны стать три элемента «образование-исследования-инновации». Для того чтобы обеспечить реализацию этих мер, необходимо совершенствование (а где-то и создание новой) нормативной базы, которая позволит обеспечить безопасное применение водорода. Предусматриваются также развитие международного сотрудничества в этой сфере и выход на зарубежные рынки.

© Земсков В.В., Прасолов В.И., 2022

Библиографический список

- [1] Лазарян С.С., Черноталова М.А. Глобальная угроза роста неравенства // Научно-исследовательский финансовый институт. Финансовый журнал. 2017. № 3. С. 34–46.
- [2] Вирабян С.Н. Основные тенденции и перспективы развития возобновляемых источников энергии в России // Российский Экономический Интернет-Журнал. №1. 2020. С. 12.
- [3] Пермякова Н.К. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в России. – Текст: электронный // матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти проф. Данилова Н.И. Екатеринбург: УрФУ, 2019. С. 629-632.
- [4] Абу Таха Р., Даим Т. Многокритериальные приложения в анализе возобновляемых источников энергии, обзор литературы. Управление исследованиями и технологиями в электроэнергетике. 2013. с. 17-30.
- [5] Аль-Бермани А.Г. Создание технологий водородной энергетики // Молодой ученый. 2014. № 18. С. 217-219. <https://moluch.ru/archive/77/13321>
- [6] Безруких П.П., Безруких П.П. Об индикаторах состояния энергетики и эффективности возобновляемой энергетики в условиях экономического кризиса // Вопросы экономики 2014. № 8. С. 92-105.
- [7] Глассли В.Е. Геотермальная энергия: возобновляемые источники энергии и окружающая среда. Второе издание. 2014. 423 с.
- [8] Котов Д.В. Пути повышения эффективности топливно-энергетического комплекса в условиях развития альтернативной энергетики / Нефтегазовое дело. 2014. Т. 12. № 1. С. 183-189.
- [9] Мешников В.И., Терунов Е.И. Основы водородной энергетики. СПб.: Летц, 2010. 288 с.

- [10] Попель О.С., Тарасенко А.Б. О перспективных направлениях развития водородной энергетики в России Возобновляемые источники энергии: матер. Всеросс. науч. конф. М.: Наука, 2020. С.17-23.
- [11] Шалимов Ю.Н. Водород в системах традиционной и альтернативной энергетики / Ю.Н. Шалимов [и др.] // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2013. № 5/1. С. 10-44.
- [12] Яздани-Чамзини А., Фуладгар М.М., Завадскас Э.К., Мойни С.Х.Х. 2013. Выбор оптимального источника возобновляемой энергии с использованием многокритериальных решений. Журнал экономики и управления бизнесом 14 (5). С. 957-978.
- [13] Barilo N. // Hydrogen Safety Panel, Safety Knowledge Tools, and First Responder Training Resources, Hydrogen Program Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, Washington, DC, May 1, 2019.
- [14] Brandon, N.P. Clean energy and the hydrogen economy / N.P. Brandon, Z. Kurban // Philos. Trans. R. Soc. A. 2017. Vol. 375. P. 1-17. J. Meissner, M. Abs, M. Cleland, A. Herer, Y. Jongen, F. Kuntz, A. Strasser. X-ray treatment at 5 MeV and above // Radiation Physics and Chemistry. 2000, v.57, p.647-651.
- [15] Ion Beam Applications Company. Belgium. Producer of the Rhodotron EB and X-ray facility. <http://www.iba.com>.
- [16] V.T. Lazurik, V.M. Lazurik, G. Popov, Yu. Rogov. Simulation Tool for Scanning X-Ray Beams Irradiator // Proceedings of the Particle Accelerator Conference (PAC-2003), Portland. OR.USA, 2003, p.1080-1082.
- [17] V.T. Lazurik, S.A. Pismenesky, G.F. Popov, D.V. Rudychev, V.G. Rudychev. An increase of utilization efficiency of X-ray beam // Radiation Physics and Chemistry. 2007, v.76, №11, p.17871791.
- [18] LEONI Studer Hard AG Company, Switzerland. Owner of the world's first x-ray sterilization plant that uses IBA's new Rhodotron TT-1000 system. <http://www.leonistuderhard.com>
- [19] V.T. Lazurik, V.M. Lazurik, G. Popov, Yu. Rogov. Modeling of processes of an irradiation for industrial radiation technologies // Journal of Kharkiv University. Mathematical modeling. Information technologies series. 2011, №960, iss.16, p.177194.
- [20] Nordian. Canadian Irradiation Center. Producer of gamma irradiators. <http://www.mdsnordion.com>
- [21] Hajiyev, N., Smolag, K., Abbasov, A., Prasolov, V. Energy War Strategies: The 21st Century Experience 2020 Energies13(21),en13215797
- [22] Zhiznin, S.Z. Energy security: Theoretical interpretations and quantitative evaluation / S.Z. Zhiznin, V.M. Timokhov, V. Dineva // International Journal of Energy Economics and Policy. - 2020. - Vol. 10. - No. 2. - P. 390-400.
- [23] Hanley, E.S. The role of hydrogen in low carbon energy futures-A review of existing perspectives / E.S. Hanley, J.P. Deane, B.P.O' Gallachoir // Renewable Sustainable Energy Rev. - 2018. - Vol. 82. - P. 3027-3045.
- [24] Dodds, P.E. Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review / P.E. Dodds [et al.] // Int. J. Hydrogen Energy. - 2015. - Vol. 40. - P. 2065-2083.

- [25] Prokofieva, E.N., Erdyneyeva, K.G., Galushkin, A.A., [et al.] Risk based ecological economics to engineering students//Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education 14(3), с. 753-764

V.V. Zemskov, V.I. Prasolov

PROBLEMS OF IMPLEMENTATION OF POWER-TO-HEAT TECHNOLOGIES: NEW CHALLENGES AND THREATS

Financial University under the Government of the Russian Federation
Moscow, Russia

Abstract. In modern realities, ensuring the energy security of the country is the most important condition for the existence and development of the state. Therefore, energy saving processes should provide a trajectory for sustainable economic growth: from obtaining final products with the addition of new value to determining the degree of use of renewable types of energy in the country's gross domestic product. It is shown that one of the current trends in the transition to sustainable development is the reduction of carbon dioxide emissions through the use of renewable energy sources. As a new threat to the economic security of the country, its technological backwardness in the field of using "green" hydrogen for sustainable development is indicated. An overview of the development of hydrogen technologies in the developed countries of the world is given. It is shown that Russia has sufficient scientific and technological potential to solve the problems of hydrogen energy. Its advantages and problem areas are noted. The necessity of creating the necessary infrastructure for the development of hydrogen energy in Russia, as well as introducing incentive functions of the country's tax legislation, is substantiated.

Key words: energy security, sustainable development, renewable energy sources, hydrogen energy, carbon neutrality.

References

- [1] Lazaryan, S.S., Chernotalova, M.A. (2017). [Global threat of growth of inequality] *Nauchno-issledovatel'skij finansovyj institut. Finansovyj zhurnal* [Scientific Research Financial Institute. Financial magazine]. No. 3. pp. 34-46. (In Russ).
- [2] Virabyan, S.N. (2020). [The main trends and prospects for the development of renewable energy sources in Russia]. *Rossijskij Jekonomicheskij Internet-Zhurnal* [Russian Economic Internet Journal]. No.1. P.12. (In Russ).
- [3] Permyakova, N.K. (2019). [Prospects for the use of renewable energy sources in Russia]. *Yekaterinburg* [Yekaterinburg]. pp. 629-632. (In Russ).

- [4] Abu Taha, R., Daim, T. (2013). *Multicriteria applications in the analysis of renewable energy sources*. Management of research and technology in the electric power industry. pp. 17-30.
- [5] Al-Bermani, A.G. (2014). *Creation of hydrogen energy technologies*. Young scientist. No. 18. pp. 217-219.
- [6] Bezrukikh, P.P. (2014). [On indicators of the state of energy and the efficiency of renewable energy in the context of the economic crisis]. *Voprosy jekonomiki* [Issues of Economics]. No. 8. pp. 92-105. (In Russ).
- [7] Glassley, V.E. (2014). [Geothermal Energy: Renewable Energy Sources and the Environment]. *Vtoroe izdanie* [The Second Edition]. 423 p. (In Russ).
- [8] Kotov, D.V. (2014). [Ways to improve the efficiency of the fuel and energy complex in the context of the development of alternative energy]. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business]. V. 12. No. 1. pp. 183-189. (In Russ).
- [9] Meshnikov, V.I., Terunov, E.I. (2010). [Fundamentals of hydrogen energy]. *Letts* [Letts]. 288 p. (In Russ).
- [10] Popel, O.S., Tarasenko, A.B. (2020). [On promising directions for the development of hydrogen energy in Russia Renewable energy sources]. *M* [M.] pp.17-23. (In Russ).
- [11] Shalimov, Yu.N. (2013). [Hydrogen in the systems of traditional and alternative energy]. *ISJAEE* [ISJAEE]. No. 5/1. pp. 10-44. (In Russ).
- [12] Yazdani-Chamzini, A., Fooladgar, M.M., Zawadskas, E.K., Moini, S.H.Kh. (2013). *Selecting the Optimal Renewable Energy Source Using Multi-Criteria Decisions*. Journal of Economics and Business Management. 14(5). pp. 957-978.
- [13] Barilo, N. (2019). *Hydrogen Safety Panel, Safety Knowledge Tools, and First Responder Training Resources, Hydrogen Program Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting*. Washington, DC.
- [14] Brandon, N.P. (2017). *Clean energy and the hydrogen economy*. Radiation Physics and Chemistry. pp. 647-651.
- [15] Ion Beam Applications Company. Belgium. Producer of the Rhodotron EB and X-ray facility. [Electronic resource]. Available at: <http://www.iba.com>.
- [16] Lazurik, V.T., Lazurik, V.M., Popov, G., Rogov, Yu. (2003). [Simulation Tool for Scanning X-Ray Beams Irradiator]. [Portland]. pp. 1080-1082. (Russian Translation).
- [17] Lazurik, V.T., Pismenesky, S.A. (2007). [The increase in utilization efficiency of X-ray beam]. [Radiation Physics and Chemistry]. No. 11. pp.1787-1791. (Russian Translation).
- [18] LEONI Studer Hard AG Company, Switzerland. Owner of the world's first x-ray sterilization plant that uses IBA's new Rhodotron TT-1000 system. [Electronic resource]. Available at:<http://www.leoni-studerhard.com>
- [19] Lazurik, V.T., Lazurik, V.M., Popov, G., Rogov, Yu. (2011). [Modeling of processes of an irradiation for industrial radiation technologies]. [Journal of Kharkiv University]. No. 960, iss.16. pp. 177-194. (Russian Translation).
- [20] Nordian. Canadian Irradiation Center. Producer of gamma irradiators. [Electronic resource]. Available at: <http://www.mdsnordion.com>

-
- [21] Hajiyeu, N., Smolag, K., Abbasov, A., Prasolov, V. Energy War Strategies: The 21st Century Experience. [Electronic resource]. Available at: en13215797
- [22] Zhiznin, S.Z. (2020). [Energy security: Theoretical interpretations and quantitative evaluation]. [International Journal of Energy Economics and Policy]. Vol. 10. No. 2. pp. 390-400. (Russian Translation).
- [23] Hanley, E.S. (2018). *The role of hydrogen in low carbon energy futures-A review of existing perspectives*. Renewable Sustainable Energy Rev. Vol. 82. pp. 3027-3045.
- [24] Dodds, P.E. (2015). *Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review*. Hydrogen Energy. Vol. 40. pp. 2065-2083.
- [25] Prokofieva, E.N., Erdyneyeva, K.G., Galushkin, A.A. [Risk based ecological economics to engineering students]. [Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education]. 14(3). pp. 753-764. (Russian Translation).