

*В. К. БИШИМБАЕВ<sup>1</sup>, К. К. ЛЕПЕСОВ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Мажилис Парламента РК, г. Астана,

<sup>2</sup>РГП «Национальный центр технологического прогнозирования» КП МИНТ РК, г. Алматы)

## **СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ МЕТАЛЛОВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

### **Аннотация**

В работе рассмотрены аспекты развития Третьей мировой индустриальной революции по созданию «декарбонизированной» энергетики, преимущества процессов получения и использования водорода путем разложения воды энергоаккумулирующими веществами (ЭАВ) на основе металлических сплавов в сравнении с другими методами. Показана роль водорода как экологически чистого энергоносителя взамен угля и углеводородного сырья в энергетике и транспорте ближайшего будущего. Комплексное использование продуктов разложения воды алюминиевыми ЭАВ (водород, металлооксиды, пар и теплота реакции) позволяет уже на современном этапе положительно оценить эффективность проектов замкнутого цикла металлородной энергетики. Предполагается, что замена алюминиевой матрицы ЭАВ на железокремниевые и алюмо-железо-кремниевые системы позволит в разы снизить себестоимость водорода и внести существенный вклад в решение практических проблем его использования.

**Ключевые слова:** энергетика, сплавы металлов, водород, вода.

**Кілт сөздер:** энергетика, металл қоспалары, сутегі, су.

**Keywords:** energy, metal alloys, hydrogen, water.

В XXI веке в эпоху постиндустриальной революции человечество переживает трудные времена из-за надвигающегося истощения природных ресурсов, глобального потепления атмосферы Земли, опустынивания, недостатка воды и других подобных вызовов. Решение задач по замедлению климатических изменений, разумному ресурсо- и энергосбережению являются важнейшими приоритетами XXI века. Развитие мировой экономики и, конечно, экономики Казахстана, невозможно без проведения модернизации и обновления топливно-энергетического и промышленного секторов экономики, становления, постоянного уточнения и расширения инновационных программ.

Президент Казахстана Н. А. Назарбаев неоднократно подчеркивает [1], что всемерное использование ресурсосберегающих технологий, развитие национальной инновационной системы страны, элементов «зеленой экономики» и применение экологически чистых инновационных технологий является основой индустриальной политики Казахстана. Для успешного развития в этих процессов рамках третьей мировой индустриальной революции, Казахстан должен двигаться к постиндустриальному миру, в котором правит триада «образование – наука – инновации».

Энергетика является базовой отраслью развития мирового производства, которая удовлетворяет около 80% мировых потребностей в энергии за счет сжигания природного минерально-органического сырья (уголь, газ, нефть и т.д.) [1, 2]. Затяжной глобальный экономический и энергоэкологический кризис XXI века вызвал в рамках Третьей индустриальной революции, стремительное развитие разнообразных видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и **поиска замены углеводородного сырья на новый доступный и экологически чистый энергоноситель – водород** [2-4]. Для предотвращения таких кризисов Третья индустриальная революция, парадигма которой – формирование так называемой «зеленой» – водородной экономики, должна коренным образом реформировать основы цивилизации, создав новую энергетику **без участия углеродного топлива**. Концепция Третьей индустриальной революции уже принята Международными организациями при ООН (ЮНИДО – ведомство ООН по делам промышленного развития), Евросоюзе и поддерживается многими ведущими европейскими лидерами, известными экономистами и политиками. Водородная экономика – это альтернативная энергетика ближайшего будущего, которая должна обеспечить устойчивое развитие и энергетическую безопасность мирового сообщества и помочь в решении экономических, социальных и экологических проблем. В связи с этим инфраструктура сложившегося традиционного топливно-энергетического комплекса должна будет претерпеть существенные изменения при постепенной замене углеродсодержащих энергоносителей на водород, получаемый из воды с помощью электролиза, альтернативных (атомная энергетика) и ВИЭ. Полагается, что уже к концу XXI века потребность в водороде достигнет 700–800 млн тонн в год и прогнозируется использование от его объема производства: в топливно-энергетическом комплексе до 20%, транспортных средствах до 50%, нефтехимии и металлургии до 15–20%, а также в бытовой сфере, в том числе продажах водорода и сервисе [2, 3, 5-7]. В связи с этим особую актуальность приобретают разработки методов получения, хранения, транспортировки и конверсии водорода в электрическую энергию.

В водородной энергетике существуют самые разнообразные способы получения водорода, которые зависят от исходного сырья [5-12]: а) из ископаемого природного минерально-органического сырья (ПМОС), причем до 96% водорода в настоящий период производится методом парофазной конверсии органического сырья; б) из воды и пара путем электролиза, фотолиза, радиолитического и др. Получение водорода требует значительных капитальных затрат, как на его производство, так и эксплуатационных расходов на снижение выбросов в атмосферу больших количеств CO<sub>2</sub> при использовании ПМОС [5, 6, 9-12].

Очевидно, что получение водорода из угля и углеводородов и использование подходов атомно-водородной энергетике видимо является полумерой и переходным этапом от

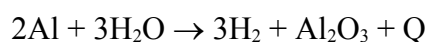
традиционной энергетики к водородной. Рост цен на ПМОС, сырьевые и экологические ограничения стимулируют разработки технологических процессов получения водорода в основном из воды [5, 6, 9-12]. С 1970-х гг. в мире началось бурное развитие исследований в области водородной энергетики, которое в конце 1990-х годов привело к разработке и старту ряда международных и национальных программ под эгидой Международной ассоциации по водородной энергетике (ИАНЕ), Международного энергетического агентства (IEA) и др., направленных на коммерциализацию разработок по водородным технологиям, топливным элементам [3, 6, 10-12]. Основные мировые научные центры Европы, Америки, Азии ведут здесь интенсивные исследования в области водородной экономики [3].

Интенсивное использование водорода в качестве энергоносителя связано, однако, с рядом принципиальных проблем сдерживающих развитие этой отрасли энергетики: низкая объемная энергоемкость в связи с малой плотностью водорода при нормальном давлении, а также проблемы с транспортировкой, хранением и распределением водорода, не высокая пока рентабельность электрохимических генераторов. Однако методы получения, хранения, распределения водорода и конверсии химической энергии в электротепловую постоянно совершенствуются. Особое внимание и значение в связи с этим получили работы по разложению воды энергоаккумулирующими веществами (ЭАВ) [5, 6, 8-12]. в первую очередь алюминием и сплавами на его основе. ЭАВ можно многократно окислять и восстанавливать, то есть использовать в качестве рабочего тела при получении энергии. Следовательно, используя ЭАВ в замкнутом цикле при получении водорода из воды, а затем возвращая его в производственный цикл, можно обойтись без углеводородного сырья. Результатом сжигания водорода является вода: если водород получен из воды, то сжигание водорода возвращает воду в природу, и, таким образом, не нарушается круговорот воды в природе. В тоже время в полностью замкнутом цикле в полном соответствии с парадигмой водородной – «зеленой» экономики, когда для регенерации ЭАВ используются ВИЭ, мы практически имеем малоотходную технологию получения электро- тепловой энергии [5, 6, 9, 10]. Так одним из ведущих ученых мирового уровня и пионеров применения алюминиевых сплавов для получения водорода считается американский ученый, профессор Jerry Woodall, Калифорнийский Университет, лауреат Национальной медали США в области технологий [8-10]. В России одним из ведущих центров в этой области является Объединенный институт высоких температур РАН РФ, в ряде институтов НАН Украины ведутся обширные исследования в области получения водорода электролизом, разработки и применения ЭАВ (Институт общей и неорганической химии им. Вернадского), в Институте проблем машиностроения проведен большой цикл исследований по применению ЭАВ для питания автомобильных двигателей водородом, причем последний получают на борту автомобиля из воды с помощью ЭАВ [11, 12]. Следует также отметить обзоры российских программы по атомно-водородной энергетике, разработки по интегрированным энергоустановкам, где водородный энергоноситель используется в сочетании двигателей внутреннего сгорания и топливных электрохимических элементов, а также производству и применению активированного алюминия для синтеза наноструктурированных катализаторов нефтехимии и нефтепереработки [5, 6, 8, 11, 12].

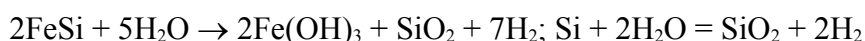
Область водородной энергетики с применением алюминиевых сплавов ряд авторов обозначают как алюмоводородная энергетика [12]. Для эффективного сжигания алюминиевых энергоаккумулирующих систем в воде разработаны химические, механохимические, физико-химические и физические способы активации алюминия и его сплавов [5, 6, 8-12]. Так сплав алюминия с добавками небольших количеств галлия, индия и олова весьма эффективен в процессе получения водорода из воды и в Казахстане в конце 1970-х годов в Институте органического катализа и электрохимии АН КазССР велись исследования по разложению воды сплавами на основе алюминия. Были созданы

ряд составов энергоаккумулирующих веществ на основе металлического алюминия [5, 6, 10-12], которые к сожалению не могли быть использованы для коммерческих целей в энергетике. Однако на современном этапе развития водородной энергетики использование подобного сплава, кроме прочего, экономически оправдано в результате комплексного использования продуктов реакции [5, 6, 8-10, 12] и такой способ, как полагают ученые, уже в скором времени может составить конкуренцию современным видам топлива, используемым в транспортной и энергетической индустрии. Считается что, эта инновация может найти применение во всех сферах потребления как в мобильных устройствах для выработки энергии, так и в больших промышленных установках.

При внесении этого сплава в воду алюминий вступает в реакцию окисления, в результате которой выделяется водород и тепловая энергия (Q), а алюминий переходит в форму оксида по суммарной реакции:



Кроме водорода, тепловой энергии и оксида алюминия ценным продуктом реакции является, пар высокого давления, который можно подавать к потребителю для получения электроэнергии и конденсированной воды, доведенной до качества питьевой воды. Применение алюмоводородных генераторов позволяет решить проблему безопасности перспективных транспортных средств и подвижных агрегатов с водородными двигательными установками. Алюминий является безопасным и эффективным источником получения водорода (один объем алюминия обеспечивает при сжигании в воде генерацию 3243 объемов водорода, а один объем жидкого водорода при газификации образует 850 объемов водорода) [5, 6, 8-10, 12]. Срок хранения алюминия практически неограничен и его запасы, по сравнению с углеводородными горючими, являются компактными (плотность алюминия – 2,7 г/см<sup>3</sup>; плотность углеводородных горючих – менее 0,8 г/см<sup>3</sup>). Главным недостатком алюмоводородных технологий является высокая стоимость алюминия, его сплавов и модифицирующих добавок, не менее 2000 долл. США/тн. Расчеты специалистов, в том числе и наши, показывают, что полное коммерческое использование продуктов сжигания алюминия позволяет снизить себестоимость выработки энергии, до менее чем двух российских рублей [5, 6, 8-10, 12] или в пересчете на отечественные деньги порядка 10 тенге за киловатт-час. За годы независимого Казахстана в стране появился ряд новой инновационной продукции, в том числе, такие как производство алюминия различных марок, а также ферросилициевых сплавов. Разработка металловодородных технологий разложения воды на основе железокремниевых и алюмо-железо-кремниевых систем позволит в разы снизить стоимость процессов и внести существенный вклад в решение практических проблем использования водорода. Реакция окисления, например, феррокремния водой выглядит следующим образом:



Таким образом в Казахстане имеются дополнительные возможности в 3–5 и более раз снижения затрат себестоимости за счет использования ЭАВ более дешевого чем металлический алюминий и недефицитных восстановителей. Следовательно себестоимость электроэнергии водородных установок 2–3 тенге за кВт-ч сравнима и даже может быть ниже себестоимости энергии вырабатываемыми ГЭС.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Назарбаев Н.А. Глобальная энергоэкологическая стратегия устойчивого развития в XXI веке. – Москва-Астана, 2011.

2 Jeremy Rifkin. The third industrial revolution. – New York, 2011. – P. 291.

3 Лепесов К.К., Таурбаев Т.И., Мусабек Г.К., Сейтбаткалов С.К. Инновационный Казахстан: Современное состояние мировой фотовольтаики и проекты солнечной энергетики Казахстана. – Алматы: Национальный Центр Технологического Прогнозирования КП МИНТ РК, 2012.

4 Бишимбаев В.К. К новым вершинам научного прогресса // Газета Литер от 29 ноября 2012 г.

5 Лепесов К.К., Мукаев С.Б., Лепесов С.К. Роль металловодородной энергетики в развитии водородной экономики // Журнал Ядерное Общество Казахстана. – 2011. – № 3-4. – С. 88-93.

6 Лепесов К.К., Мукаев С.Б., Лепесов С.К. Водородная экономика XXI века // Журнал Промышленность Казахстана. – 2012. – № 3(72). – С. 26-30.

7 Бишимбаев В.К., Лепесов К.К. и др. Вызовы и риски развития солнечно-водородной энергетики в РК // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. – 2012. № 4.

8 Лепесов К.К. и др. Перспективы развития нановодородной энергетики в Казахстане. // Труды 1-ой Международной инновационной школы «Энергия, вода и химия». – Актау, 2011. – С. 119-125.

9 Ziebarth J.T., Woodall J.M., Kramer R.A., Go Choi, Liquid Phase-enabled Reaction of Al-Ga and Al-Ga-In-Sn Alloys with Water // International Journal of Hydrogen Energy. – 2011. – Vol. 36. – P. 5271-5279.

10 Презентация профессора Jerry M. Woodall и Kyle Montgomery – Making Hydrogen, Калифорнийский университет, США, 2012.

11 Козин Л.Ф. Водородная энергетика и экология. – Киев, 2002.

12 Жук А.З., Клейменов Б.В., Школьников Е.И., Шейндлин А.Е. и др. Алюмоводородная энергетика. – М.: ОИВТ РАН, 2007. – 278 с.

## REFERENCES

1 Nazarbaev N.A. Global'naja jenergojekologičeskaja strategija ustojchivogo razvitija v XXI veke. – Moskva-Astana, 2011.

2 Jeremy Rifkin. The third industrial revolution. – New York, 2011. – R. 291.

3 Lepesov K.K., Taurbaev T.I., Musabek G.K., Sejtbatkalov S.K. Innovacionnyj Kazahstan: Sovremennoe sostojanie mirovoj fotovol'taiki i proekty solnečnoj jenergetiki. – Almaty: Kazahstana. Nacional'nyj Centr Tehnologicheskogo Prognozirovanija KP MINT RK, 2012.

4 Bishimbaev V.K. K novym vershinam nauchnogo progressa // Gazeta Liter ot 29 nojabrja 2012g.

5 Lepesov K.K., Mukaev S.B., Lepesov S.K. Rol' metallovodorodnoj jenergetiki v razvitii vodorodnoj jekonomiki // Zhurnal Jadernoe Obshestvo Kazahstana. – 2011. – № 3-4. – S. 88-93.

6 Lepesov K.K., Mukaev S.B., Lepesov S.K. Vodorodnaja jekonomika XXI veka // Zhurnal Promyshlennost' Kazahstana. – 2012. – № 3(72). – S. 26-30.

7 Bishimbaev V.K., Lepesov K.K. i dr. Vyzovy i riski razvitija solnečno-vodorodnoj jenergetiki v RK // Jenergetika i toplivnye resursy Kazahstana. – 2012. – № 4.

8 Lepesov K.K. i dr. Perspektivy razvitija nanovodorodnoj jenergetiki v Kazahstane. Trudy 1-oj Mezhdunarodnoj innovacionnoj shkoly «Jenergija, voda i himija». – Aktau, 2011. – S. 119-125.

9 Ziebarth J.T., Woodall J.M., Kramer R.A., Go Choi, Liquid Phase-enabled Reaction of Al-Ga and Al-Ga-In-Sn Alloys with Water // International Journal of Hydrogen Energy. 2011. – Vol. 36. – R. 5271-5279.

10 Prezentacija professora Jerry M. Woodall i Kyle Montgomery – Making Hydrogen, Kalifornijskij universitet, SShA, 2012.

11 Kozin L.F. Vodorodnaja jenergetika i jekologija. – Kiev, 2002.

12 Zhuk A.Z, Klejmenov B.V., Shkol'nikov E.I., Shejndlin A.E. i dr. Aljumovodorodnaja jenergetika. – M.: OIVT RAN, 2007. 278 s.

## **Резюме**

*У. К. Бишімбаев<sup>1</sup>, К. К. Лепесов<sup>2</sup>*

(<sup>1</sup>ҚР Парламент мәжілісі, Астана қ.,

<sup>2</sup>ҚР ИЖТМ ӨК «Ұлттық технологиялық болжау орталығы», Алматы қ.)

**МЕТАЛСУТЕКТІ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ҚАЗІРГІ ДАМУ ЖОЛЫ**

Ұсынылып отырған жұмыста «декарбонатты» энергетиканы құрудың үшінші әлемдік индустриалдық көтеріліс дамуының аспектісі, металл қоспалары негізінде қуат көзін шоғырландырушы (ҚКШ) заттектердің көмегімен су бөлшектерін ыдырату жолы арқылы сутекті өндіру үдерісі мен қолдану артықшылығы қарасты-рылып отыр. Жақын болашақта энергетика мен тасымал құралдарында көмір мен көмірсутек шикізатының орнына экологиялық таза қуат көзін тасымалдаушы заттек ретінде сутектің мәні мен маңызы баяндалады. Су бөлшектерінің алюминийлі ҚКШ (сутек, металлотықтар, бу және реакция жылулығы) заттектердің көме-гімен ыдыраған өнімдерді кешенді қолдану, қазіргі күннің өзінде металсутекті энергетиканың тұйық циклді жобаларының оңтайлығын бағалауға мүмкіндік береді. Алюминийлі матрица ҚКШ заттектерінің теміркрем-нийлі және алюминий-темір-кремнийлі жүйелерімен ауыстыру, сутектің өзіндік құнын бірнеше есе азайтуға және оны қолданудың тәжірибелік мәселелерін шешуге елеулі үлес тигізеді деген болжам бар.

**Кілт сөздер:** энергетика, металл қоспалары, сутегі, су.

## Summary

*U. Bishimbaev<sup>1</sup>, K. Lepessov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Majilis Parliament RK, Astana,

<sup>2</sup>RSE "National Center for Technology Foresight", Almaty)

## MODERN METAL HYDROGEN ENERGY DEVELOPMENT

The questions of 'decarbonise' energy based on hydrogen as an environmentally friendly energy instead of coal and hydrocarbons. Shows the benefits and processes for the use of hydrogen by decomposition of energy substances (ES) on the basis of metal alloys in comparison with other methods. Integrated use of water decomposition products aluminum ES (hydrogen, metal oxides, steam and heat of reaction) can already at this stage to assess the effectiveness of projects positively vicious cycle metall hydrogen energy. It is assumed that the replacement of the aluminum matrix and the ES on iron-silicon or/and aluminum-iron-silicon system will at times reduce the cost of hydrogen and contribute significantly to the solution of practical problems of using it.

**Keywords:** energy, metal alloys, hydrogen, water.

*Поступила 27.03.2013г*