УДК 62-622:504

ВОДОРОДНЫЕ ЭКОТЕХНОЛОГИИ – ИННОВАЦИОННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ И СТАЦИОНАРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В.В. Соловей, профессор, д.т.н., П.М. Канило, профессор, д.т.н.,
ИПМаш НАНУ,
А.В. Гриценко, профессор, д.геогр.н., Н.В. Внукова, доцент, к.геогр.н., ХНАДУ

Аннотация. *Одной из проблем топливно-энергетического комплекса Украины является развитие водородной энергетики. Использование водорода может стать достойной альтернативой сжигания низкореакционного угля.*

Ключевые слова: *водород, низкореакционные угли, двигатели внутреннего сгорания, экобезопасность, топливо.*

ВОДНЕВІ ЕКОТЕХНОЛОГІЇ – ІННОВАЦІЙНА СКЛАДОВА ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНОЇ І СТАЦІОНАРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

В.В. Соловей, професор, д.т.н., П.М. Каніло, професор, д.т.н.,
ІПМаш НАНУ,
А.В. Гриценко, професор, д.геогр.н., Н.В. Внукова, доцент, к.геогр.н., ХНАДУ

Анотація. *Однією з проблем паливно-енергетичного комплексу України є розвиток водневої енергетики. Використання водню може стати гідною альтернативою спалювання низькореакційного вугілля.*

Ключові слова: *водень, низькореакційне вугілля, двигуни внутрішнього згоряння, екобезпека, паливо.*

HYDROGEN ECOTECHNOLOGIES – INNOVATIVE CONSTITUENT OF THE PROBLEM OF ECOLOGICAL SAFETY INCREASE OF TRANSPORT AND STATIONARY ENERGY

V. Solovey, Professor, Doctor of Technical Science, P. Kanilo, Professor,
Doctor of Technical Science, IPMash NAS of Ukraine,
A. Hrytsenko, Professor, Doctor of Geografical Science,
N. Vnukova, Associate Professor, Candidate of Geografical Science, KhNAHU

Abstract. *One of problems of fuel and energy complex of Ukraine is development of hydrogen energy. The use of hydrogen can become the deserving alternative of incineration of low reaction coal.*

Key words: *hydrogen, low reaction coal, combustion engines, ecological safity, fuel.*

Введение

Большинство рассматриваемых сценариев развития энергетики опирается на гипотезу об эволюционном характере происходящих технологических изменений в сфере производства, распределения и потребления энергии. Согласно прогнозу экспертов Международного энергетического агентства, развитие мирового ТЭК в ближайшей перспективе

будет базироваться на замещении ископаемых топлив, обеспечивающих в настоящее время более 90 % объема потребности мирового сообщества в энергии альтернативными и возобновляемыми источниками энергии, в инфраструктуре которых важное место принадлежит водороду.

Анализ публикаций

Анализ тенденций развития топливно-энергетического сектора экономики индустриально развитых государств показывает, что радикальным средством разрешения энергоэкологических проблем является расширение сфер использования водорода в качестве универсального энергоносителя и технологического сырья. Такой подход лежит в основе стратегической концепции водородной энергетики и технологии, реализуемой в рамках ряда международных и национальных программ США, Канады, Германии, Японии, Исландии, Китая, России и других стран [1].

Характеризуя современное состояние водородной энергетики, следует отметить качественные изменения, прошедшие за последние десятилетия в этой области. Если ранее основное внимание уделялось технологическим и энергетическим аспектам, то в настоящее время на первый план выходят экологические и экономические составляющие проблемы создания межотраслевой инфраструктуры, обеспечивающей широкомасштабное использование водорода в транспортной и стационарной энергетике в качестве эффективного экологически чистого энергоносителя.

Сложившаяся экстремально тяжелая ситуация в топливно-энергетическом комплексе Украины, особенно в газовом секторе, может послужить дополнительным стимулом для ускорения темпов перехода к водородной экономике [2].

В связи с тем, что Украина располагает богатыми запасами каменного и бурого угля, в качестве перспективных технологий получения водорода следует рассматривать методы, базирующиеся на парофазной плазмохимической конверсии водорода из каменного и бурого углей, а также из торфа. Особого внимания заслуживает метод получения водорода путем подземной газификации угля. В этом случае его стоимость снижается в 2–3 раза по сравнению с другими технологиями. Кроме того, перспективным является способ получения водорода с помощью энергоаккумулирующих веществ, в частности, получаемых из минеральной составляющей энергетических углей в процессе их сжигания на тепловых электрических станциях.

Применение таких энерготехнологических схем позволит резко сократить, а в отдельных случаях – полностью вытеснить природные органические топлива из энергоемких производств. Поскольку природные органические энергоресурсы ограниченны и в перспективе газ и нефть будут дорожать быстрее, чем уголь и ядерное топливо, следует ожидать, что даже энергоемкие способы производства водорода, такие как электролиз, могут успешно конкурировать по удельной стоимости энергии в генерирующем водороде. При этом экономический эффект оказывается наибольшим, если одновременно решаются как технологические, так и энергоэкологические задачи.

Говоря об экологически более благоприятном воздействии водорода на биосферу по сравнению с традиционными энергоносителями, нельзя забывать о том, что сами технологии производства водорода ни в коем случае не должны оказывать вредного воздействия на окружающую среду. Нельзя допустить, чтобы экологически чистый энергоноситель производился с загрязнением окружающей среды, нанося ущерб, снижающий экономический эффект от внедрения водородных технологий. Поэтому в качестве перспективных первичных источников энергии для производства водорода, в первую очередь, следует рассматривать возобновляемые виды энергии, запасы которых характерны для многих регионов Украины.

Анализ показывает, что в настоящее время имеются объективные предпосылки для включения в планы развития топливно-энергетического сектора Украины конкретных водородных технологий и водородных энергетических систем [3]. Основными аргументами, свидетельствующими в пользу расширения масштабов производства и использования водорода, являются:
– наличие в Украине больших запасов бурого и каменного угля и развитой углехимической отрасли, которые могут служить ресурсной и

технологической базой для получения товарного водорода и синтетических топлив на его основе;
– имеющийся, но фактически не используемый в Украине значительный потенциал возобновляемых источников энергии, в том числе биоэнергетических ресурсов для получения экологически чистого энергоносителя – водорода.

Цель и постановка задачи

Целью работы является анализ перспектив использования водородных технологий в условиях топливно-энергетического сектора Украины.

Анализ перспектив использования водородного топлива с точки зрения его экологической безопасности

В качестве первых шагов по реализации в Украине предлагаемой концепции следует на основе системного анализа рассмотреть комплекс вопросов, касающихся перспектив крупномасштабного технологического и энергетического использования водорода с учетом конкретных условий функционирования территориально-промышленных мегаполисов, ориентируясь на их энергетическую и технологическую инфраструктуры.

Существенный вклад в дело развития водородных технологий вносит коллектив кафедры экологии ХНАДУ, который интенсивно развивает комплекс работ термодинамического, теплофизического и физико-химического плана, объединенных общей идеологией в рамках указанной проблемы. Как отмечалось, интерес к водороду как эффективному, экологически чистому энергоносителю носит весьма многоплановый характер, охватывающий широкий диапазон от чисто научных до сугубо практических задач. Интенсивное развитие фундаментальных и прикладных исследований в этой области обусловлено экономической и социальной важностью проблемы замены углеводородных ископаемых топлив альтернативными энергоносителями, среди которых водород занимает особенное место [4, 5].

К настоящему времени в содружестве с ИПМаш НАНУ разработаны методы получения водорода, базирующиеся на комплексном использовании электрической энергии и химического потенциала исходных продуктов, применяемых для получения водорода. В этих технологиях электроэнергия необходима лишь для инициирования химических реакций конверсии водородсодержащих композиций, а основной энерговклад в осуществление реакции вносится одним из реагентов. В качестве исходного сырья могут быть использованы некондиционные угли, продукты углеобогащения, органические отходы растительного и животного происхождения, коммунально-бытовые стоки и другие углеводородсодержащие вещества. В этом случае утилизируются отходы, что снижает антропогенную нагрузку на окружающую среду, а также производится экологически чистый энергоноситель, способный заменить природный газ в сфере промышленного и коммунального потребления, а также на транспорте.

Важное место занимают научно-исследовательские работы, направленные на поиск эффективных путей использования водорода в качестве экологически чистого топлива в транспортных энергоустановках.

Разработаны оригинальные системы использования водорода в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания, что резко снижает токсичность выхлопных газов транспортного средства и экономит углеводородное топливо.

Проведен комплексный анализ влияния химического состава и структуры углеводородных, в том числе высокоароматизированных топлив, на объём выбросов экоопределяющих ингредиентов с продуктами сгорания. Показано, что с увеличением в современных моторных топливах уровней содержания ароматических полициклических углеводородов резко возрастают выбросы канцерогенных углеводородов и твердых частиц в отработанных газах автотранспортных средств. Установлено, что экологохимическая опасность транспортных средств с ДВС в основном (на 90 % и более) определяется двумя парами супертоксикантов: «канцерогенные углеводороды + оксиды азота» и «канцерогенные углеводороды + твердые частицы». Предложена методика интегральной оценки экоканцерогенной опасности транспортных средств с ДВС и определения показателя их соответствия международным нормам [6]. Практическое воплощение эти технологии нашли при создании опытных

образцов автомобилей, использующих водород в качестве топлива.

Вместе с тем на основе анализа тенденций развития транспортной инфраструктуры можно заключить, что радикальным способом снижения загрязнения атмосферы в городских условиях является расширение использования электротяги для пассажирских перевозок (троллейбусы и автобусы с электродвигателями), а также электромобилей и автомобилей с силовой установкой на базе топливных элементов. С этой целью целесообразно использовать существующую инфраструктуру городского электротранспорта, включая линии электропередач, тяговые подстанции и другое оборудование для зарядки аккумуляторных батарей, электромобилей и получение водорода путем электролиза для силовых установок на базе топливных элементов [7].

Одним из масштабных проектов, направленных на улучшение сложившейся ситуации в ТЭК Украины, является реализация концепции, в основе которой лежит производство водорода путем газификации угля, а также электролиза воды с использованием электроэнергии, производимой на атомных и тепловых электростанциях. На начальном этапе произведенный водород мог бы использоваться как заменитель природного газа в промышленности и энергетике, в частности, для «подсветки» в энергоблоках ТЭС, использующих низкосортное угольное топливо, а впоследствии и на транспорте, и в коммунально-бытовой сфере [8].

Показано, что перспективным вариантом решения проблемы эффективного сжигания низкореакционных углей является использование водорода, который обеспечивает повышение реакционной способности топливной композиции. При этом существенно сокращается фаза неустойчивого развития цепных реакций, в результате чего интенсифицируется процесс воспламенения рабочей смеси, что приводит к значительному (в 3–4 раза) повышению интенсивности горения и повышению на 10–15 % полноты сгорания основного топлива. Поэтому применение высокотемпературных продуктов водородной газификации более эффективно в сравнении с традиционными «подсветочными» энергоносителями.

При складывающейся конъюнктуре цен на природный газ и стойкой тенденции к ее увеличению стоимость единицы энергии в водороде, получаемом путем электролиза в установках, разработанных в ХНАДУ и ИПМаш НАНУ, становится сопоставимой со стоимостью аналогичного показателя природного газа, при условии, что для производства водорода используется электроэнергия, отбираемая для обеспечения собственных нужд ТЭС [9].

Оригинальными звеньями в разрабатываемой технологии являются элементы электролизной техники, позволяющие снизить энергоемкость производства водорода, а также специальные горелочные устройства с предварительной зоной газификации угля, работающие по схеме пароугольной конверсии.

Последующий процесс реконструкции и замены имеющегося теплоэнергетического оборудования должен включать постепенное внедрение новых высокоэффективных энерготехнологий, основанных на использовании водорода и топливных элементов. Весомый вклад в диверсификацию энергопотоков может обеспечить развитие децентрализованных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии и водорода – их вклад в энергобаланс страны может быть увеличен до 2 % и, наряду с гидроэнергетикой (5,3 %), явиться эффективным средством восполнения дефицита пиковых высокоманевренных электрических мощностей в энергетическом комплексе Украины.

На основании результатов выполненного анализа можно заключить, что программу работ в области водородной энергетики целесообразно сформировать из отдельных целевых подпрограмм, представляющих собой технически замкнутый цикл отраслевого или территориально-производственного характера, имеющих самостоятельное экономическое значение и связанных между собой не столько научно-техническими решениями, сколько методологическими подходами к их реализации.

В качестве первоочередных проектов, которые могут быть реализованы в кратчайшие сроки с максимальной экономической эффективностью и имеющих важное значение для экономики Украины, можно выделить следующие работы.

1. Повышение эффективности эксплуатации мощных энергоблоков ТЭС ($N_э$ > 300 МВт) за счет использования водородных энергоаккумулирующих систем. (Пример отраслевого подхода к формированию программы. Он обеспечивает работу энергоблоков в базовом режиме, повышая надежность и экономичность эксплуатации оборудования с продленным ресурсом. Дополнительным эффектом является исключение потребления природного газа «подсветки»).

2. Повышение эффективности использования нетрадиционных и возобновляемых энергоресурсов в инфраструктуре топливно-энергетического комплекса АР Крым на основе использования водородных технологий. (Пример территориально-промышленного подхода. Он обеспечивает решение энергетических и экологических проблем региона).

3. Использование инфраструктуры металлургической и коксохимической отраслей промышленности Донецкого региона для получения водородсодержащих газов. (Пример регионально-отраслевой программы, при реализации которой доменные печи и коксохимические батареи могут быть использованы как газификационные установки для получения из угля синтез-газа, содержащего водород с последующим его выделением из смеси для использования в энергетических и технологических целях, в том числе и для получения жидкомоторных топлив).

Реализация программы развития водородной энергетики призвана стать полигоном освоения новых подходов к управлению социально-экономическим развитием государства. Это потребует от системы высшего образования корректировки учебных программ подготовки кадров, обладающих профессиональными знаниями в области нетрадиционной и водородной энергетики, способных к стратегическому мышлению и обладающих необходимыми знаниями в области долгосрочного прогнозирования социально-экономических процессов.

При подготовке специалистов-экологов важно сочетать фундаментальный подход с прикладной ориентацией обучения. Необходимо привлекать студентов к целевой научно-исследовательской работе, закладывать водородную тематику в процессы выполнения курсовых и дипломных работ экологического профиля. Важно также шире внедрять спецкурсы по проблемам водородной энергетики в различные формы дополнительного профессионального образования и повышения квалификации государственных служащих, работающих в сфере охраны окружающей среды.

Определенный положительный опыт в этом направлении накоплен в Харькове, где на базе трех академических институтов и девяти вузов создан Академический научно-образовательный комплекс, одним из аспектов работы которого является подготовка специалистов в области водородной тематики. Выпускники ХНАДУ и других вузов, выполнявшие дипломные работы по этой тематике, впоследствии стали высококвалифицированными специалистами и внесли существенный вклад в развитие новых водородных технологий в нашей стране. Исследовательские и образовательные программы по водородной энергетике уже реализуются в ряде ведущих вузов Киева, Харькова, Донецка, Одессы, Севастополя и других городов Украины.

При разработке современных образовательных программ целесообразно также использовать опыт ряда американских, японских и европейских вузов и компаний. Так, например, компания Heliocentris предлагает самый широкий выбор лабораторно-демонстрационных комплексов по водородной энергетике в мире. Сегодня Heliocentris развивает шесть направлений, представленных более чем тридцатью различными наборами оборудования – от простых лабораторно-демонстрационных комплексов до многофункциональных лабораторий для университетов.

Выводы

Реализация предлагаемого комплекса образовательных и научно-технических мероприятий, входящих в состав целевых программ государственного регулирования перехода к водородной энергетике наряду с законодательной поддержкой и направленных на изменение инфраструктуры топливно-энергетического комплекса, позволит решить ряд жизненно важных социально-экономических и политических проблем, обеспечивающих повышение устойчивости функционирования энергетической системы Украины путем переориентации ее на собственные энергоресурсы. Инновационные во-

дородные технологии призваны сыграть важную роль в диверсификации потоков энергоносителей в инфраструктуре ТЭК, что существенно снизит зависимость Украины от импорта углеводородных топлив и позволит улучшить состояние окружающей природной среды в наиболее экологически напряженных территориально-промышленных регионах.

Литература

1. Кузык Б.Н. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец. – М.: Институт экономических стратегий, 2007. – 400 с.
2. Мацевитый Ю.М. Обеспечение устойчивого функционирования энергетического комплекса Украины на основе инновационных технологий / Ю.М. Мацевитый, В.В. Соловей, Н.Г. Шульженко и др. // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2008. – № 3(13). – С. 9–13.
3. Мацевитый Ю.М. Применение водородных технологий для повышения энергоэффективности энергоблоков ТЭС в условиях дефицита природного газа / Ю.М. Мацевитый, В.В. Соловей, П.М. Канило // Вестник Инженерной академії Украины. – 2007. – № 2. – С. 148–152.
4. Соловей В.В. Активация водорода и водородсодержащих энергоносителей / В.В. Соловей, М.А. Оболенский, А.В. Бастеев. – К.: Наукова думка, 1993. – 168 с.
5. Абрамов Ю.А. Системы хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для бортовых энергетических установок / Ю.А. Абрамов, В.И. Кривцова, В.В. Соловей. – Х.: Фолио, 2002. – 368 с.
6. Канило П.М. Проблемы загрязнения атмосферы городов канцерогенно-мутагенными супертоксикантами / П.М. Канило, В.В. Соловей, К.В. Костенко // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 52. – С. 47–53.
7. Мацевитый Ю.М. Научные основы создания газотурбинных установок с термохимическим сжатием рабочего тела: монография / Ю.М. Мацевитый, В.В. Соловей, В.Н. Голощапов, А.В. Русанов. – К.: Наукова думка, 2011. – 251 с.
8. Мацевитый Ю.М. Перспективы использования водородных технологий для замены природного газа и мазута на твердотопливных ТЭС Украины / Ю.М. Мацевитый , В.В. Соловей, А.Л. Шубенко и др. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2006. – № 9. – С. 10–18.
9. Мацевитый Ю.М. Повышение энергоэффективности работы турбоустановок ТЭС и ТЭЦ путем модернизации, реконструкции и совершенствования режимов их эксплуатации: монография / Ю.М. Мацевитый, Н.Г. Шульженко, В.Н. Голщапов и др. – К.: Наукова думка, 2008. – 366 с.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 13 декабря 2012 г.