

УДК 621.311

## ПРОИЗВОДСТВО И ХРАНЕНИЕ ВОДОРОДА

Чернюк Д.В., Мысливец А.А.

Научный руководитель – старший преподаватель Секацкий Д.А.

Водород практически не встречается в природе в чистой форме и должен извлекаться из других соединений с помощью различных химических методов. Разнообразие способов получения водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики, так как повышает энергетическую безопасность и снижает зависимость от отдельных видов сырья. К ним относятся паровая конверсия метана и природного газа, газификация угля, электролиз воды, пиролиз, частичное окисление, биотехнологии. В данный момент наиболее доступным и дешёвым процессом является паровая конверсия.

Производство водорода можно осуществлять из различных источников сырья. Например, таких, как углеводороды (природный газ, уголь), биомасса, мусор, металлы, водоросли.

Благодаря паровой конверсии природного газа / метана можно получать водород разной чистоты: 95-98% или особо чистый. В зависимости от дальнейшего использования водород получают под различным давлением: от 1,0 до 4,2 МПа. Сырьё (природный газ или легкие нефтяные фракции) подогревается до 350-400° в конвективной печи или теплообменнике и поступает в аппарат десульфирования. Конвертированный газ из печи охлаждается в печи-утилизаторе, где вырабатывается пар требуемых параметров. После ступеней высокотемпературной и низкотемпературной конверсии СО газ поступает на адсорбцию СО<sub>2</sub> и затем на метанирование остаточных оксидов. В результате получается водород 95-98,5% чистоты с содержанием в нем 1-5% метана и следов СО и СО<sub>2</sub>. В том случае, если требуется получить особо чистый водород, установка дополняется секцией адсорбционного разделения конвертированного газа. В отличие от предыдущей схемы конверсия СО здесь одноступенчатая. Газовая смесь, содержащая Н<sub>2</sub>, СО<sub>2</sub>, СН<sub>4</sub>, Н<sub>2</sub>О и небольшое количество СО, охлаждается для удаления воды и направляется в адсорбционные аппараты, заполненные цеолитами. Все примеси адсорбируются в одну ступень при температуре окружающей среды. В результате получают водород со степенью чистоты 99,99%. Давление получаемого водорода составляет 1,5-2,0 МПа. В настоящее время данным способом производится примерно половина всего водорода. Себестоимость процесса \$2-5 за килограмм водорода. В будущем возможно снижение цены до \$2-\$2,50, включая доставку и хранение.

Газификация угля – старейший способ получения водорода. Уголь нагревают при температуре 800°-1300° Цельсия без доступа воздуха. Первый газогенератор был построен в Великобритании в 40-х годах XIX века. США предполагают построить электростанцию по проекту FutureGen, которая будет работать на продуктах газификации угля. Электричество будут вырабатывать топливные элементы, используя в качестве горючего водород, получающийся в процессе газификации угля. В декабре 2007 г. была определена площадка для строительства первой пилотной электростанции проекта FutureGen. В Иллинойсе будет построена электростанция мощностью 275 МВт. Общая стоимость проекта \$1,2 млрд. На электростанции будет улавливаться и храниться до 90 % СО<sub>2</sub>. Себестоимость процесса \$2-\$2,5 за килограмм водорода. В будущем возможно снижение цены до \$1,50, включая доставку и хранение.

Водород из биомассы получается термохимическим, или биохимическим способом. При термохимическом методе биомассу нагревают без доступа кислорода до температуры 500°-800° (для отходов древесины), что намного ниже температуры процесса газификации угля. В результате процесса выделяется Н<sub>2</sub>, СО и СН<sub>4</sub>. Себестоимость процесса \$5-\$7 за килограмм водорода. В будущем возможно снижение до \$1,0-\$3,0. В биохимическом процессе водород вырабатывают различные бактерии, например, *Rodobacter speriodes*. Возможно применение различных энзимов для ускорения производства водорода из

полисахаридов (крахмал, целлюлоза), содержащихся в биомассе. Процесс проходит при температуре 30° Цельсия при нормальном давлении. Себестоимость водорода около \$2 за кг.

В октябре 2006 года Лондонское Водородное Партнёрство опубликовало исследование о возможности производства водорода из муниципального и коммерческого мусора. Согласно исследованию, в Лондоне можно ежедневно производить 141 тонну водорода как пиролизом, так и анаэробным сбраживанием мусора. Из муниципального мусора можно производить 68 тонн водорода.

В 2007 году Университет Purdue (США) разработал метод производства водорода из воды при помощи алюминиевого сплава. Сплав алюминия с галлием формируется в пеллеты. Пеллеты помещают в бак с водой. В результате химической реакции производится водород. Галлий создаёт вокруг алюминия плёнку, предотвращающую окисление алюминия. В результате реакции создаётся водород и оксид алюминия. Из одного фунта ( $\approx 453$  г) алюминия можно получать более 2 кВт·ч энергии от сжигания водорода и более 2 кВт·ч тепловой энергии во время реакции алюминия с водой. В будущем, при использовании электроэнергии атомных реакторов 4-го поколения, себестоимость водорода, получаемого в ходе реакции, станет эквивалента цене бензина \$3 за галлон ( $\approx 3,8$  л).

Учёные калифорнийского университета в Беркли (UC Berkeley) 1999 году обнаружили, что если водорослям не хватает кислорода и серы, то процессы фотосинтеза у них резко ослабевают, и начинается бурная выработка водорода. Водород может производить группа зелёных водорослей, например, *Chlamydomonas reinhardtii*. Водоросли могут производить водород из морской воды, или канализационных стоков.

Хранение водорода – одно из промежуточных звеньев в жизненном цикле водорода от его производства до потребления. Разработка наиболее экономичных и эффективных способов хранения водорода представляет собой одну из главных технологических проблем водородной энергетики. Как правило, водород хранят в сжиженном, абсорбированном либо сжатом газообразном состоянии. Основные проблемы, требующие решения при разработке технологий хранения водорода, имеют отношение к обеспечению их рентабельности и безопасности, что напрямую связано с химическими и физическими свойствами водорода.

Хранение водорода может использоваться и как технология сглаживания естественных колебаний в объёмах электрической энергии, получаемой за счёт возобновляемых источников энергии, таких как ветер или солнце. Вырабатываемый в пиковые периоды избыток электрической энергии используется для получения водорода методом электролиза, а в периоды снижения выработки электроэнергии этот водород используется как топливо. КПД данной операции, однако, достаточно низок по сравнению, например, с гидроаккумулирующими электростанциями.

Наиболее перспективным методом считается хранение водорода в абсорбированном состоянии. Большинство материалов позволяют сорбировать не более 7-8 % водорода в массовой доле. В настоящее время разрабатывается несколько способов увеличения этого показателя. Добились успеха в этом Adam Phillips и Bellave Shivaram — они описали процесс синтеза композитного вещества на основе металлического титана, у которого способность сорбировать до 12,4 % водорода (массы).

Компьютерное моделирование показало возможность хранения водорода в бакиболах (кластерных углеродных структурах). Бакиболы являются представителями фуллеренов.

Достаточно необычный, но при этом весьма недорогой способ хранения водорода – с использованием карбонизированных волокон куриных перьев.

Ученые из Lawrence Berkeley National Laboratory совместно с Министерством энергетики США (U.S. Department of Energy) разработали новый композитный материал, состоящий из наночастиц магния и кристаллической решетки полиметилметакрилата.

### Литература

1. Экология: учебник / В. Н. Большаков [и др.]; под ред. Г. В. Тягунова, Ю. Г. Ярошенко. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Университетская книга: Логос, 2010. 504 с.

2. Экология: (Адаптированный курс для бакалавров)/ В. Н. Большаков [и др.]; под ред. Г. В. Тягунова, Ю. Г. Ярошенко. М. : КНОРУС, 2014. 377 с.
3. Абрамов А.И. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: Учеб. пособие /А.И.Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н.Ремезов и др. М.: Изд-во МЭИ, 2001. 378 с.
4. Экология энергетики: Учебное пособие/Под общей редакцией В.Я.Путилова. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 716 с.