



# ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АЛЮМИНИЯ С ВОДОЙ — БЕЗОТХОДНОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Б.В. Клейменов  
Ю.А. Мазалов  
А.В. Берш  
В.Е. Низовцев

Всемирная экологическая организация «Гринпис» в докладе «Глобальное потепление» приводит структуру мирового энергопотребления: нефть — 33%, уголь — 27%, природный газ — 18%, возобновляемые источники энергии — 17%, атомная энергия — 5% [1]. Российский журнал «Фактор» со ссылкой на «World Energy Council» публикует следующие данные: ископаемые виды топлив составляют 90% мирового потребления энергоресурсов, в том числе нефть — 40,1%, уголь — 27%, природный газ — 22,9%. Таким образом, современная энергетика на 90% базируется на невозобновляемых источниках (нефть, газ, уголь, торф, сланцы, ядерная энергия) и только на 10% — на нетрадиционных (ветровая, приливная, солнечная и геотермальная энергия).

➤ Энергетика, как система, состоит из нескольких относительно независимых стадий производства:

- добыча природных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР);
- хранение и переработка ТЭР;
- производство различных видов энергии;
- преобразование, передача, распределение и использование конечных видов энергии.

Необходимо отметить, что получение энергии на всех стадиях производства, по мнению специалистов, имеет экологический предел, особенно это относится к так называемым невозобновляемым энергетическим ресурсам. По мнению многих ученых, уровень годового про-

изводства энергии на Земле не должен превышать определенной величины, так как повышение средней температуры атмосферы, нарушение водоносных структур и гидрологического режима в гидросфере, загрязнение подземных и поверхностных источников воды, а также разрушение грунтов, просадка рельефа и загрязнение земной поверхности отходами добычи могут иметь весьма печальные последствия как для флоры и фауны, так и для человечества в целом.

Из вышеизложенного следует, что основным источником энергии в мире до настоящего времени является горение углеводородных топлив. Здесь изначальным процессом является горение как способ получения тепловой энергии. Способ высвобождения тепловой энергии в процессе горения топлива до настоящего времени ничуть не изменился. При этом известно, что механизм экзотермических реакций в процессе горения энергетически несовершенен [2].

Тепловая энергия в виде излучения и движения молекул продуктов горения выделяется в основном при переходе электронов в процессе окислительно-восстановительных реакций. Но эти реакции при свободном горении топлива протекают не непосредственно между молекулами исходных

веществ, а через определенные промежуточные стадии, в которых образуются активные промежуточные продукты. Большой частью такими продуктами являются свободные радикалы или атомы. На их образование тратится определенная часть энергии переноса электронов [3, 4].

Кроме вышеозначенного недостатка, при традиционном горении в воздушной среде обязательно выделение окислов азота, углерода, двуокиси серы, сажи и канцерогенных веществ (типа бензопирена), которые оказывают сверхотрицательное влияние практически на все элементы окружающей среды.

Наилучшая стратегия — изначальное внедрение «чистых» технологий. Это всегда дешевле, чем реконструкция существующих производств и установка оборудования для очистки.

В 1999 году в Кембридже (Англия) состоялась II Конференция круглого стола по новым источникам энергии. Основная тема обсуждения — инвестирование в экологически чистые технологии, используемые на транспорте. В результате обсуждений пришли к выводу: водород и электроэнергия — неразделимы. Получение электроэнергии в топливных элементах из водорода и кислорода воздуха — новая технология, которая будет развиваться, чтобы сыграть свою

роль в качестве эффективной системы преобразования энергии. Транспортные средства, оборудованные топливными элементами, к 2018 году могут стать основным видом продукции автомобилестроительных предприятий.

В Москве в декабре 2000 года состоялось Всероссийское совещание «Водород и топливные элементы» (Перспективы развития топливных элементов и других водородных технологий на транспорте и в энергетике России).

В Германии в апреле 2002 года проходила крупнейшая в мире специализированная выставка «Энергетика». Ее ключевой темой была тема производства энергии с использованием водорода и топливных элементов. Отмечено, что более 1000 компаний и организаций в мире участвуют в процессе коммерциализации технологии, основанной на использовании водорода.

В марте 2003 года в Парламенте Европейского Союза был проведен семинар по проблемам энергетического использования водорода. В рамках семинара была представлена концепция о наиболее реалистичных путях к «водородному обществу». Отмечено, что пока еще использование возобновляемых источников энергии освоено недостаточно, необходимо организовать эффективное и экологически чистое производство водорода.

На решение этих проблем направлена также комплексная Программа президиума РАН «Новые подходы к химии топлив и химической электроэнергетике» и, в частности, одно из ее направлений — «Разработка научных основ энергетике, использующей в качестве энергоносителя алюминий».

Подход, используемый при рассмотрении возможностей алюминия как энергоносителя, во многом сходен с подходом, используемым при разработке проблем водородной энергетике. Как и водород, алюминий производится из природного сырья. Алюминий является элементом, содержание которого в земной коре достаточно велико (8,8 масс.%). По распространенности алюминий занимает первое место среди металлов и третье (после кислорода

и кремния) — среди всех химических элементов.

В нормальных условиях алюминий инертен, так как при взаимодействии с кислородом воздуха покрывается тонкой оксидной пленкой. Его хранение и транспортировка более безопасны, чем хранение и транспортировка водорода, а потому не требуют создания какой-либо специальной инфраструктуры [5].

Несколько слов об аналогии между «алюминиевой» и «водородной» энергетиками.

Традиционное представление о схеме функционирования «водородной энергетике» включает в себя производство водорода из воды, накопление и транспортировку к местам потребления. Сжигание водорода или его использование в качестве топлива в электрохимических генераторах может осуществляться достаточно эффективно и не сопряжено с выделением вредных выбросов.

Водород можно рассматривать с двух взаимосвязанных точек зрения:

- как энергоноситель, позволяющий осуществлять «складирование» электроэнергии. (Основной «недостаток» такой электроэнергии связан с необходимостью ее немедленного использования, поскольку ее хранение в конденсаторах и аккумуляторах экономически нецелесообразно из-за высокой стоимости устройств и потерь энергии в них вследствие саморазряда);
- как средство, необходимое для создания глобальной экологически чистой энергетической системы.

Все вышеизложенное в полной мере относится и к «алюминиевой энергетике».

Сравним энергетическую ценность алюминия и водорода. По данным на 2004 год, цена водорода на местах производства в США составляет от 0,7 долл./кг; после доставки к потребителю стоимость возрастает до 2-3 долл./кг. Высшая теплота сгорания водорода в кислороде составляет 142 МДж/кг. Таким образом, величина стоимости энергии на единицу затрат при использовании водорода в качестве энергоносителя находится в пределах 15-21 долл./ГДж.

В настоящее время мировые цены на алюминий технической чистоты составляют 1,2-1,5 долл./кг. Энтальпия реакции окисления алюминия в кислороде с образованием окиси алюминия — 31,3 МДж/кг. Тогда стоимость энергии при использовании алюминия в качестве энергоносителя составит 38 долл./ГДж.

Однако необходимо учесть, что получаемые в ходе окисления алюминия водой продукты реакции (гидроксид и оксид алюминия) являются самостоятельными товарными продуктами. При условии их реализации стоимость алюминия как энергоносителя оказывается близкой к аналогичной величине для водорода: Al — 19 долл./ГДж.

Преимущество водорода как энергоносителя состоит в том, что его запасы практически неисчерпаемы. А при условии возвращения оксида алюминия в цикл производства металла отпадает необходимость в значительном расширении добычи бокситов и других алюминийсодержащих ископаемых, по крайней мере, в условиях стабильного уровня потребления алюминия в качестве энергоносителя.

Если электролиз алюминия будет происходить за счет возобновляемой энергии гидроэлектростанций или других возобновляемых источников, функционирование «алюминиевой энергетике» не должно приводить к значительному увеличению негативного воздействия на окружающую среду.

Наконец, широкое распространение энергоустановок, использующих в качестве энергоносителя алюминий и его сплавы, позволит энергетически эффективно решить проблему утилизации вторичного алюминия.

Известные в настоящее время технологии получения водорода при взаимодействии алюминия с водой не обеспечивают полноты окисления, являются малопроизводительными и основаны на применении дорогостоящих порошков ультрадисперсного алюминия, специальных легированных сплавов и катализаторов. Все это ведет к усложнению процесса, загрязнению получаемых продуктов посторонними примесями и увеличению стоимостных показателей.

Для обеспечения взаимодействия алюминия с водой предложено [6, 7, 8] использовать воду при до- и околокритических параметрах ее состояния или порошки алюминия, в которых защитная оксидная пленка заменена на полимерную водорастворимую.

Сформулированные два направления активации процесса взаимодействия алюминия с водой могут быть реализованы как независимо, так и совместно. Химически пассивные, даже в кипящей воде, алюминиевые порошки будут окисляться с высокой скоростью водой, находящейся в околокритическом состоянии, а повышение реакционной активности алюминия за счет замены диффузионно-непроницаемой оксидной пленки на водорастворимую полимерную позволит обеспечить достаточно высокую степень окисления при докритических параметрах состояния воды. При этом чем выше активность алюминия, тем ниже давление и температура процесса окисления.

В результате проведенных исследований установлено, что при сжигании 1 кг алюминия по вышеприведенной технологии получается 1165 л водорода высокой чистоты, что позволяет использовать этот процесс для получения водорода в автономных, высокопроизводительных и энергетически эффективных газогенерирующих устройствах. При утилизации образующегося водорода в тепловых и двигательных установках энергетический выход (30,6 МДж/кг) превышает затраты на регенерацию алюминия из оксида алюминия (26,3 МДж/кг). Получение энергии обеспечивается при полной регенерации исходных компонентов (алюминия и воды) без выбросов токсичных компонентов в атмосферу.

В настоящее время разработаны и испытаны лабораторная и макетная установки, в которых алюминий взаимодействует с водой при до- и околокритических параметрах ее состояния. Подтверждена эффективность процесса: скорость растворения алюминия (более 30 г/с) при полноте его сгорания около 99,9%. На макетной установке отработаны технологические режимы, обеспечивающие получение 2 куб. м водорода в час и 3 кг нанокристаллического гидроксида алюминия (бемита) высокой чистоты, а также режимы получения из бемита нанокристаллического корунда.

Разработанный способ характеризуется технологичностью, высокой производительностью, безотходностью и экологической безопасностью.

Проведенные нами исследования позволяют сделать вывод о том, что окисление алюминия водой при до- и околокритических параметрах ее состояния является эффективным способом получения водорода. Образующиеся при этом продукты: нанокристаллический гидроксид или оксид алюминия с высокой степенью чистоты — востребованы в качестве керамических, композиционных, электроизоляционных, абразивных, адсорбционных, каталитических и других материалов [9, 10, 11, 12, 13].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глобальное потепление: Доклад «Гринпис» / Под ред. Дж. Леггета. Пер с англ. — М.: Изд-во МГУ, 1993.
2. Хзмальян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. — М.: Энергия, 1976.
3. Семенов Н.Н. ЦЕПНЫЕ реакции. — М.: Госхимиздат, 1934.
4. Хингильвуд К.Н. Кинетика газовых реакций. — М.: ГТТИ, 1933.
5. Химическая энциклопедия /

Под ред. И.Л. Кнунянца — М.: Советская энциклопедия, 1990. — Т. 1, 2.

6. Патент РФ № 2158396. Способ сжигания металлосодержащих горючих. /Мазалов Ю.А.// 2000.

7. Патент РФ № 2165388. Способ получения водорода. /Мазалов Ю.А.// 2000.

8. Патент РФ по заявке № 2003119564 от 02.07.2003. Способ изготовления состава. /Чернованов В.И., Мазалов Ю.А., Соловьев Р.Ю. и др.

9. Неймарк И.Е. Основные факторы, влияющие на пористую структуру гидроокисных и окисных адсорбентов // Коллоидный журнал. — 1982. — Т. 4. — № 4. — С. 780-783.

10. Буянов Р.А., Криворучко О.П. Разработка теории кристаллизации малорастворимых гидроокисей металлов и научных основ приготовления катализаторов из веществ этого класса // Кинетика и катализ. — 1976. — Т. 17. — № 3. — С. 765-775.

11. Ермоленко Н.Ф., Эфрес М.Д. Регулирование пористой структуры окисных адсорбентов и катализаторов. — М.: Наука, 1991.

12. Козлова Е.Г., Емельянов Ю.И., Красий Б.В. и др. Новые катализаторы риформинга для получения бензина с октановым числом 96-98 // Катализ в промышленности. — 2003. — № 6.

13. Бортов В.Ю., Гаранин Д.И., Георгиевский В.Ю. и др. Сравнительные испытания катализаторов риформинга фирмы «АКСЕНС» // Нефтехимия и нефтепереработка. — 2003. — Вып. 2. — С. 10-17.



## ПРЕДПРИЯТИЕ «ЭРА»

Г. МОСКВА, ТЕЛ.: (095) 330 62 22, 332 92 18

Агрегаты бесперебойного электропитания, инверторы, конверторы, зарядные устройства, аква-, гелио-, ветро-, дизельгенераторы, источники питания, корректоры мощности, энергосберегающие контроллеры мощности, помехоподавляющие фильтры, преобразователи частоты, приборы контроля качества электроэнергии, стабилизаторы.

Системы - проектирование, монтаж, обслуживание, ремонт.