Традиционным приемом получения электретов является помещение материала в электрическое поле с целью принудительной поляризации материала. В применении к разработанным материалам аналогичный прием осуществляли путём помещения исходных смесей на время $\tau = 30 - 60$ секунд в однородное электрическое поле между двумя изолированными плоскими обкладками при различных напряжениях внешнего электрического поля между обкладками с последующим отверждением в нормальных условиях (табл. 1).

Таблица 1

Влияние полярности внешнего электрического поля на поверхностную плотность электрических зарядов

<i>Напряжение внешнего электрического поля, В</i>	<i>Полярность внешнего электрического поля (над чертой – над образцом, под чертой – под образцом)</i>	<i>Продолжительность обработки полем, с</i>	<i>Поверхностная плотность электрического заряда $\cdot 10^9$, Кл/м²</i>
35	+/-	60	75
35	-/+	60	92
40	+/-	30	65
40	-/+	30	106

Основными параметрами такого вида обработки являются напряжение, продолжительность и полярность. Среди параметров в выбранном интервале значений наиболее существенным является полярность внешнего поля. При объяснении влияния полярности необходимо учитывать, что, как правило, потенциал верхней поверхности образца выше потенциала нижней поверхности, то есть собственные потенциалы образца имеют расположение +/-.

Если верхняя наружная обкладка имеет знак +, то на верхней поверхности образца индуцируется отрицательный заряд, а на нижней поверхности – соответственно положительный, то есть наведенное электрическое поле ослабляет собственное поле образца. Этим объясняется, почему наибольшая поверхностная плотность заряда наблюдается при расположении отрицательной обкладки над образцом: в этом случае наведенное и собственное электрическое поле образца имеют одинаковую направленность. При этом наблюдается максимальная величина σ порядка 10^{-7} Кл/м².

1. Студенцов В.Н. Разработка технологии полимерного электрета для микрофонов на основе реактопласта / В.Н. Студенцов, В.В. Марценюк // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2016. – Серия 1. – № 3. – С. 103-108;
2. Мурадов А. Б. Применение ультрафиолетового излучения в технологии армированных реактопластов / Мурадов А.Б., Черёмухина И.В., Студенцов В.Н., Кузнецов В.А // Вестник СГТУ. – 2007. - № 1. – С. 102–107.

Суфиянов Р.Ш.

Производство водорода методом пиролиза природного газа

*Бронницкий филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
(Россия, Бронницы)*

doi: 10.18411/trnio-11-2021-274

Аннотация

Принятая в Евросоюзе водородная Стратегия предусматривает полный отказ от использования к 2050 году углеводородов в качестве топлива для автомобилей с переходом на альтернативный вид топлива – водород. При этом само производство водорода должно быть без углеродного следа с использованием возобновляемых источников энергии.

Рассмотрены наиболее часто используемые технологии получения водорода и более подробно рассмотрен пиролиз природного газа (метана). Отражены основные преимущества и недостатки данного процесса.

Ключевые слова: Водородная Стратегия ЕС, водородная энергетика России, водород, пиролиз метана, преимущества и недостатки.

Abstract

The hydrogen strategy adopted in the European Union provides for a complete abandonment of the use of hydrocarbons as a fuel for cars by 2050, with the transition to an alternative type of fuel - hydrogen. At the same time, the production of hydrogen itself should be without a carbon footprint using renewable energy sources. The most frequently used technologies for hydrogen production are considered and the pyrolysis of natural gas (methane) is considered in more detail. The main advantages and disadvantages of this process are reflected.

Keywords: EU Hydrogen Strategy, hydrogen energy in Russia, hydrogen, methane pyrolysis, advantages and disadvantages.

Мировая структура по спросу и предложениям энергоресурсов и энергетических услуг, в условиях декарбонизации, заинтересована в создании глобального рынка продукта – энергоносителя, в производстве которого отсутствуют прямые выбросы в атмосферу диоксида углерода и других загрязняющих веществ. Основным сырьем для промышленного производства водорода в настоящее время является природный газ (метан). Порядка 6 % мирового потребления природного газа направляется на производство водорода [1]. На пути широкомасштабного производства водорода имеются две основные проблемы: экономические и экологические.

Первая проблема вызвана с относительно высокой себестоимостью получаемого водорода и на нее влияет ряд факторов, среди них цена на сырье и стоимость получения водорода из данного вида сырья.

Вторая проблема связана с необходимостью сокращения углеродного следа до минимальных значений, и она в настоящее время выходит в мире на передний план и станет в ближайшие годы ключевым определяющим фактором при производстве и реализации водорода.

В июле 2020 года Европейской комиссией принята водородная Стратегия Европейского союза (ЕС) и за последующие 30 лет Стратегией предусмотрен полный отказ от автотранспорта, использующего нефтепродукты и природный газ. Энергию к 2050 году в Евросоюзе должны будут получать только за счет использования водородных топливных элементов и электроэнергии, производимой из возобновляемыми источников энергии (ВИЭ).

Стратегия предусматривает три основных этапа роста производства зеленого водорода: к 2024 году порядка миллиона тонн; к 2030 году до 10 миллионов тонн; к 2050 году в энергобалансе ЕС доля водородного топлива возрастет до 13-14% [2, 3].

Энергопереход к ВИЭ (солнечную, ветровую) и водородную энергетику предусматривается и в России. Распоряжением Правительства РФ от 12 октября 2020 года № 2634-р также утверждена «дорожная карта» по развитию водородной энергетики в РФ до 2024 года [4].

Целью плана мероприятий, направленных на развитие водородной энергетики в нашей стране является организация современной энергетики, основанной на прогрессивных технологиях получения и использования водорода. Среди них:

- разработка мер поддержки, стимулирующих внутренний спрос на водород и технологические решения на основе его использования в сфере промышленного производства, энергетики и транспорта;
- обеспечение создания, производства и применения пилотных установок производства водорода без выбросов углекислого газа и др.

По прогнозам российских экспертов в ближайшие десятилетия нефть и газ в мировом энергобалансе останутся в районе 54% и в перспективе «углеродный характер» в мировой энергетике уменьшится, но полностью не исчезнет [5]. Тем не менее, наметился тренд в сторону возрастания использования ВИЭ и по данным Международного Энергетического Агентства (МЭА) для принятия весомых мер для борьбы с глобальным потеплением, необходимо свести к минимуму выбросы трех основных источников диоксида углерода: транспорта, тепловых электростанций и промышленности [6] (рис. 1).

К наиболее часто применяемым технологиям производства водорода относятся: паровая конверсия метана (SMR), электролиз воды и пиролиз метана. Данные процессы связаны с различными химическими методами извлечения водорода из других химических соединений.

Технология производства водорода паровой конверсией метана в настоящее время является наиболее распространенной, с ее помощью получают более 80% промышленного водорода. Использование данной технологии оправдано с экономической точки зрения при крупнотоннажном производстве водорода, который используется на месте его производства, минуя проблематичные процессы его хранения и транспортирования. Экологические же показатели процесса в связи с высоким углеродным следом не отвечают современным требованиям.

Рисунок 1. Мировое производство электроэнергии по видам топлива [6]

Процесс получения водорода электролизом характеризуется высоким КПД [7], но и очень высокой энергоемкостью. При его проведении используются различные типы электролизеров, среди них наиболее распространенными являются водно-щелочные, электролизеры с твердым полимерным электролитом и твердооксидные электролизеры [8].

Одним из перспективных методов получения водорода является пиролиз метана. Для получения водорода электролизом потребуется от 2,5 до 8 кВт·ч электроэнергии, а в результате пиролиза расходуется от 0,7 до 3,3 кВт·ч [9]. В результате пиролиза (крекинга) метана углеводороды разделяются на водород и твердый углерод, который может применяться в качестве промышленного сырья (технического углерода) для производства углеродных материалов (углеродного волокна, графена, шин, бетона и др.). Одним из преимуществ технологии является то, что данный метод не требует улавливания и подземного хранения углекислого газа.

Эндотермическая химическая реакция разложения метана, протекающая с поглощением теплоты (Q) и протекающая без доступа кислорода, имеет следующий вид:

Пиролиз метана проводят в трех конфигурациях систем - плазма, расплавленный металл и термический газ. В сравнении с электролизом и SMR, с системой улавливания и хранения CO_2 (CCS) и без CCS, наименьшие выбросы вызываются плазменной системой, использующей возобновляемую электроэнергию.

При плазменном пиролизе источником энергии служит электроэнергия и отсутствуют выбросы диоксида углерода, которые не образуются в результате проведения процесса. Еще одним преимуществом применения плазменных реакторов для пиролиза метана является то, что они обеспечивают быстрый запуск процесса, который может обеспечиваться и за счет ВИЭ, что позволит снизить до минимума углеродный след.

Технология, в которой метан подвергается пиролизу с помощью расплавленных металлов (олово, свинец, медь, железо и др.) обладает определенными преимуществами. Во-первых, использование расплавленных металлов в качестве источника теплоты позволяет обеспечить эффективную передачу тепловой энергии при осуществлении эндотермического процесса пиролиза метана, а во-вторых, образующийся в результате реакции (1) углерод, самопроизвольно отделяется, поднимаясь на поверхность металла.

В результате проведения пиролиза метана в обычных газовых реакторах (реакторы с неподвижным или псевдоожиженным слоем) происходит дезактивация катализатора в результате отложения образующегося углерода (сажи) на поверхности его частиц. Восстановление свойств катализатора является достаточно трудоемким и сложным процессом, что оказывает существенное влияние на себестоимость получения водорода, и связана еще с увеличением углеродного следа.

Анализ технологий производства водорода с учетом углеродного следа, приведенный в работе [10], показывает, что наиболее предпочтительной технологией является пиролиз метана в плазме, при условии использования электроэнергии, полученной из возобновляемых источников энергии.

Исследования, связанные с поиском методов декарбонизированного водорода, выходят на новую стадию, в которой участвуют не только химики, экологи, экономисты, но и политики. При этом важно, чтобы здравый смысл и реальная забота о будущем нашей планеты, главенствовали в данных современных парадигмах и стратегиях.

1. IEA. The Future of Hydrogen. Report prepared by the IEA for the G20, Japan. Электронный ресурс: www.iea.org.
2. Водородная стратегия ЕС 2020-2050. Электронный ресурс: teo.ru.
3. Аксютин О., Ишков А., Романов К., Тетеревлев Р. Роль российского природного газа в развитии водородной энергетики. Электронный ресурс: <https://energypolicy.ru/>.
4. Документы – Правительство России. Электронный ресурс: <http://government.ru/docs/40703/>.
5. В Госдуме назвали срок перехода России на альтернативную энергетику. Электронный ресурс: <https://news.rambler.ru/scitech/46950668-v-gosdume-nazvali-srok-perehoda-rossii-na-alternativnuyu-energetiku/>.
6. Информация МЭА. Электронный ресурс: <https://www.iea.org/>.
7. Григорьев С.А., Порембский В.И., Фатеев В.Н., Самсонов Р.О., Козлов С.И. Получение водорода электролизом воды: современное состояние, проблемы и перспективы // Транспорт на альтернативном топливе, №3 (3) май, 2008. – С.62-69.
8. Суфиянов Р.Ш. Получение водорода электролизом // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 71-2. С. 64-68.
9. Конопляник А. Чистый водород из природного газа. Электронный ресурс: <https://www.gazprom.ru/press/news/reports/2020/pure-hydrogen/>.
10. Sebastian Timmerberga, Martin Kaltschmitta, Matthias Finkbeinerb. Hydrogen and hydrogen-derived fuels through methane decomposition of natural gas – GHG emissions and costs. Электронный ресурс: www.sciencedirect.com.