



РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА В СИСТЕМЕ «АЛЮМИНИЙ + ЩЕЛОЧЬ»

Г.Ф. Терентьев, Е.В. Курьянова, В.Н. Курьянов, М.М. Султанов

Филиал НИУ «МЭИ» в г. Волжском
404110 г. Волжский, Волгоградская обл., пр. Ленина, д. 69
Тел.: (8443) 210160, факс: (8443) 210166, e-mail: vfmei@vfmei.ru

Заключение совета рецензентов: 03.09.15 Заключение совета экспертов: 06.09.15 Принято к публикации: 09.09.15

На основе патентных исследований определено направление экспериментальных работ по способу получения водорода в системе «алюминий + водный раствор щелочи». Разработана методика лабораторных исследований для получения водорода в системе «алюминий + щелочь», проведены экспериментальные исследования режимов получения водорода в системе «алюминий + щелочь» в лабораторных условиях и экспериментальные исследования получения устойчивых суспензий алюминия в воде на основе загустителя агар-агар, а также экспериментальные исследования по проверке схемы проточного реактора водорода. Представлен анализ по результатам экспериментальных работ по способу получения водорода в системе «алюминий + водный раствор щелочи», рассмотрены возможности регулирования рабочего процесса в проточном реакторе получения водорода в системе «алюминий + водный раствор щелочи».

Ключевые слова: водород, алюминий, водный раствор щелочи, водная суспензия алюминия, загуститель агар-агар, алюминиевая пудра.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES PRODUCTION OF HYDROGEN IN THE SYSTEM OF “ALUMINUM + ALKALINE”

G.F. Terentyev, E.V. Kuryanova, V.N. Kuryanov, M.M. Sultanov

Volzhsy Branch of the National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
69 Lenin str., Volzhsky, Volgograd reg., 404110, Russia
Tel.: (8443) 210160, fax: (8443) 210166, e-mail: vfmei@vfmei.ru

Referred: 03.09.15 Expertise: 06.09.15 Accepted: 09.09.15

On the basis of the patent research determined the direction of experimental work on a process for producing hydrogen in the “aluminum + aqueous solution of alkali.” The technique of laboratory studies to produce hydrogen in the “aluminum + lye”, experimental studies of hydrogen production mode in the “aluminum + lye” in the laboratory and experimental studies of obtaining stable suspensions of aluminum in water-based thickener agar-agar, as well as experimental studies to verify the circuit flow reactor hydrogen. The analysis of the results of experimental studies on the method of hydrogen production in the “aluminum + aqueous solution of alkali,” considered the possibility of regulating the working process in a flow reactor for producing hydrogen in the “aluminum + aqueous solution of alkali.”

Keywords: hydrogen, aluminum, alkali aqueous solution, an aqueous suspension of aluminum, viscosifying agent agar, aluminum powder.



Геннадий Федорович
Терентьев
Gennady F. Terentyev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника».

Образование: Ленинградский механический институт (1962).

Область научных интересов: водородная энергетика, диагностика энергетического оборудования, теория горения, энергетические установки.

Публикации: 160.

Author information: Ph.D., associate professor, professor of the department "Heat and power engineering and thermal engineering" of the Volzhsky branch of "National Research University "MPEI".

Education: Leningrad Mechanical Institute (1962).

Research interests: hydrogen power, diagnostics of power equipment, theory of combustion, power plants.

Publications: 160.



Елена Викторовна
Курьянова
Elena V. Kuryanova

Сведения об авторе: ассистент кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника».

Образование: ВФ МЭИ (2006).

Область научных интересов: альтернативная энергетика, диагностика энергетического оборудования.

Публикации: 15.

Author information: assistant of Heat Engineering Department of Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute.

Education: Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute (Technical University) (2006).

Research interests: renewables, equipment diagnostics.

Publications: 15.



Василий Николаевич
Курьянов
Vasily N. Kuryanov

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» ВФ МЭИ.

Образование: ВФ МЭИ (2006).

Область научных интересов: диагностика систем, энергоэффективность оборудования.

Публикации: 25.

Author information: Ph. D. (Tech.), associate professor of Heat Engineering Department Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute.

Education: Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute (Technical University) (2006).

Research interests: renewables, energy efficiency of equipment.

Publications: 25.



Махсуд Мансурович
Султанов
Maqsood M. Sultanov

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника».

Образование: ВФ МЭИ (2001).

Область научных интересов: исследование и оптимизация режимов работы ТЭС.

Публикации: 27.

Author information: Ph.D., associate professor of the department "Heat and power engineering and thermal engineering" of the Volzhsky Branch of MPEI.

Education: Volzhsky Branch of the Moscow Power Engineering Institute (Technical University) (2001).

Research interests: the study and optimization of thermal power plant operation.

Publications: 27.

Концепция экологически чистой водородной энергетики, часто называемая «водородной экономикой», включает [1]:

1. Производство водорода из воды с использованием невозобновляемых источников энергии (углеводороды, атомная энергия, термоядерная энергия).
2. Производство водорода с использованием возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, энергия морских приливов, биомасса и т.д.).
3. Надежная транспортировка и хранение водорода.
4. Широкое использование водорода в промышленности, на транспорте (наземном, воздушном, водном и подводном), в быту.
5. Обеспечение надежности и безопасности водородных энергетических систем.

Объектом исследования являются патентные разработки использования алюминия для получения водорода и использования полученного водорода в различных отраслях [2, 3].

Методика лабораторных исследований для получения водорода в системе «алюминий + щелочь»

По технике безопасности в условиях проведения лабораторных работ запрещено работать с водородом в больших количествах из-за его взрывоопасности, поэтому для проведения экспериментов была собрана лабораторная установка по получению водорода на основе системы алюминиевой пудры ПАП-1 и раствора щелочи NaOH, которая представлена на рис. 1.



Рис. 1. Прибор для определения молярной массы эквивалента металла

Fig. 1. The device for determining the molecular weight equivalent metal

Метод основан на измерении объема водорода, который выделяется из водного раствора щелочи при химическом взаимодействии с металлом (алюминием).

Установка позволяет измерять выход водорода в небольших количествах. Установка состоит из двух бюреток (1), укрепленных на штативе (2) и соединенных резиновой трубкой (3), заполненных водой. Одну из бюреток сверху закрывают пробкой с отводной трубкой, к которой присоединяют пробирку, где происходит реакция (4). Другая бюретка служит приемником для воды, вытесняемой водородом.

Объем выделившегося водорода определяется по разности уровней воды в любой из бюреток до и после опыта при давлении в закрытой бюретке, равном атмосферному.

Экспериментальные исследования режимов получения водорода в системе «алюминий + щелочь» в лабораторных условиях

Для проведения экспериментов по получению водорода была использована алюминиевая пудра и водный раствор щелочи NaOH.

Первая серия опытов была направлена на пригодность алюминиевой пудры ПАП-1 к растворению в щелочи. После проведения опытов с различным количеством алюминиевой пудры было найдено оптимальное количество для безопасного проведения экспериментов.

Серия опытов с различным количеством алюминиевой пудры

Для осуществления экспериментов брались навески алюминия разной массы и смешивались с одинаковым объемом раствора NaOH.

Массы навесок алюминиевого порошка, а также количество водорода на выходе указаны в табл. 1.

Таблица 1
Выход водорода от массы алюминиевой пудры
Table 1
The yield of hydrogen by weight aluminum powder

Масса Al пудры, г	Объем NaOH, мл	Объем выделившегося H ₂ , мл
0,008	30	6,5
0,024	30	21,5
0,03	30	27,6
0,051	30	54,4

Для проведения реакции алюминиевый порошок смешивался в колбе с 8% раствором щелочи NaOH. После этого колба закрывалась пробкой с трубкой, конец которой был в одной из бюреток экспериментальной установки. Когда в колбе начиналась реак-

ция выделения водорода, он по трубке попадал в бюретку и вытеснял воду в другую бюретку. По разности показателей на обеих бюретках определяется количество выхода водорода, т.к. водород не растворяется в воде. Реакция длится, пока алюминий полностью не растворится, это происходит в течение нескольких минут, в колбе остается лишь прозрачная жидкость (рис. 2).



Рис. 2. Колбы с прореагировавшим алюминием
Fig. 2. Flasks with reacted aluminum

В результате взаимодействия происходит бурная реакция получения водорода с выделением тепла. По результатам экспериментов прослеживается зависимость, из которой следует, что при одинаковом количестве щелочного раствора с увеличением массы алюминия наблюдается рост выхода водорода, зависимость почти линейная, она представлена на графике рис. 3. Из полученных результатов следует возможность регулирования получения водорода по линии расхода суспензии алюминия.

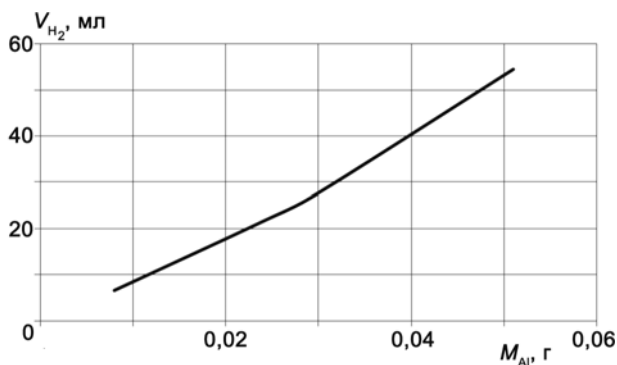


Рис. 3. Зависимость выхода водорода от массы вводимого алюминия
Fig. 3. The dependence of hydrogen yield on the mass of injected aluminum

Серия опытов с различными концентрациями раствора щелочи NaOH

Для осуществления экспериментов брались навески алюминия одной массы (0,03 г) и смешивались с различными концентрациями раствора NaOH.

Концентрации раствора NaOH, а также количество водорода на выходе указаны в табл. 2.

Таблица 2
Выход водорода от концентрации раствора NaOH
Table 2
Yield of hydrogen on NaOH solution concentration

Объем NaOH, мл	Концентрация NaOH, %	Объем выделившегося H_2 , мл	Время проведения реакции, с
30	0,4	14	840
30	1	25	720
30	2	27,2	600
30	4	30,4	450
30	8	30,8	260
30	15	31,6	210

Примечание: масса алюминиевой пудры 0,03 г.

При проведении экспериментов различные концентрации щелочи смешивались с алюминиевым порошком одинаковой массы. Масса алюминия (при которой реакция не будет выходить из-под контроля) была взята исходя из результатов предыдущего эксперимента, по оптимальному количеству выхода водорода. Так как трудно засечь время полного завершения реакции, оно бралось приблизительно из визуального наблюдения полного растворения алюминия и затухания реакции выделения водорода.

Реакция раствора щелочи концентрации 0,4% протекает очень медленно, реакция начинается лишь через 2-3 минуты после внесения массы алюминия в колбу. Сам процесс выделения водорода выглядит равномерно без резких скачков в начале реакции. После завершения реакции на дне колбы были видны нерастворившиеся частицы алюминия, которые не растворились даже спустя 30 минут.

По мере увеличения концентрации NaOH интенсивность выделения водорода возрастает. При остальных концентрациях алюминий полностью растворяется, нерастворенных частиц не наблюдалось.

Взаимодействие с 15% раствором щелочи характеризуется «взрывным» выходом водорода в начале реакции, т.е. водород выделяется очень бурно и интенсивно с последующим быстрым затуханием реакции.

Оптимальными концентрациями NaOH для равномерного получения водорода можно считать 4% и 8%. При таких концентрациях наблюдалось равномерное выделение водорода за весь период времени осуществления реакции.

На графике (рис. 4) представлена зависимость выхода водорода от концентрации щелочи, из которой следует, что при увеличении концентрации щелочи объем выделяемого водорода стремится к константе. Таким образом, определен максимальный выход водорода при данной массе алюминиевой пасты ПАП-1. Результаты исследования зависимости времени окончания реакции от концентрации щелочи

чи представлены на рис. 5. Исследования показали, что время завершения рабочего процесса выделения водорода в диапазоне концентрации 12-15% составляет порядка 200 секунд, т.е., как следует из графика, дальнейшее увеличение концентрации не сильно повлияет на время затухания реакции, она будет оставаться на данном уровне.

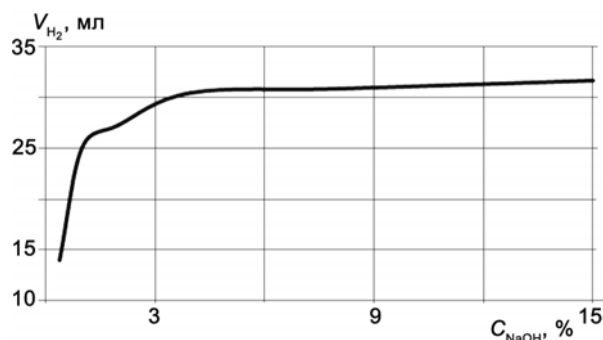


Рис. 4. Зависимость выхода водорода от концентрации щелочи

Fig. 4. The dependence of hydrogen yield on the concentration of alkali

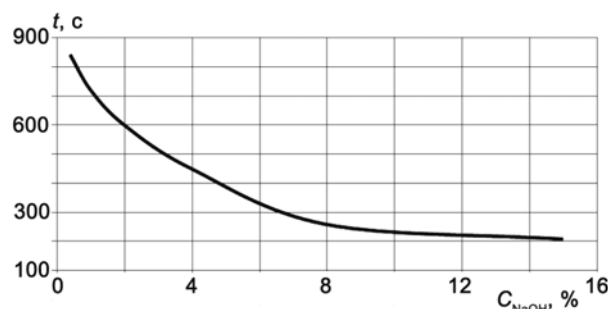


Рис. 5. Зависимость времени окончания реакции от концентрации щелочи

Fig. 5. The time for completion of the reaction of the alkali concentration

Из проведенных экспериментов следует, что при регулировании концентрации щелочи возможно управлять рабочим процессом получения водорода.

Список литературы

1. Кузык Б.Н., Яковец Ю.В. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике. М.: ИЭС, 2007.
2. Мокеев И.В., Терентьев Г.Ф. Моделирование рабочего процесса получения водородного топлива в системе «алюминий + раствор щелочи». «Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов»: Четвертая Всероссийская научно-практическая конференция, г. Волжский, 25-28 сентября 2012 г. // Сборник материалов конференции. Волжский: Филиал МЭИ в г. Волжском, 2012.
3. Коровин Н.В., Мингулина Э.И., Рыжова Н.Г. Лабораторные работы по химии. М.: Высшая школа, 2001.

References

1. Kuzyk B.N., Yakovets Yu.V. Rossiâ: strategiâ perehoda k vodorodnoj ènergetike. M.: IÈS, 2007.
2. Mokeev I.V., Terent'ev G.F. Modelirovanie raboçego processa poluèeniâ vodorodnogo topliva v sisteme «alûminij + rastvor šeloçi». «Resurso-ènergobereženie i èkologo-ènergetičeskaâ bezopasnost' promyšlennyh gorodov»: Çetvertaâ Vserossijskaâ nauèno-praktičeskaâ konferenciâ, g. Volžskij, 25-28 sentâbrâ 2012 g. // Sbornik materialov konferencii. Volžskij: Filial MÈI v g. Volžskom, 2012.
3. Korovin N.V., Mingulina È.I., Ryžova N.G. Laboratornye raboty po himii. M.: Vysšaâ škola, 2001.

Транслитерация по ISO 9:1995

