



ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ РАЗРЯДЫ В ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СРЕДЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

А.Ф. Гайсин¹, Ф.М. Гайсин², Л.Н. Багаутдинова², А.А. Хафизов³, Р.И. Валиев³,
Е.В. Газеева¹

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Россия

³Казанский федеральный университет, г. Набережные Челны, Россия

ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-5300-9880>

LNBagautdinova@kai.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Комплексное исследование воздействия плазмы электрического разряда постоянного тока в газожидкостной среде неорганических смесей с целью получения газообразного водорода. Получить вольтамперные, вольт-секундные и ампер-секундные характеристики разряда при различных концентрациях электролита. Изучить процесс электролиза, пробоя, зажигания разряда и течения разряда в диэлектрической трубке при постоянном токе. *МЕТОДЫ.* Для решения поставленной задачи проводились экспериментальные исследования на модельной установке, которая состоит из системы электропитания, разрядной камеры, аппаратуры контроля и управления работой установки и измерения характеристик электрического разряда. Для анализа устойчивости разряда были получены зависимости пульсации напряжения и тока разряда во времени. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Проведены экспериментальные исследования между электролитическим катодом и электролитическим анодом при постоянном токе и при атмосферном давлении со следующими параметрами: напряжение разряда $U=0,1-1,5$ кВ, ток разряда $I=0,02-2,3$ А, межэлектродное расстояние $l=100$ мм, в качестве электролитов использовались 1%, 3% и 5% растворы хлорида натрия в водопроводной воде. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Показано, что электрический пробой и зажигание устойчивого во времени разряда зависит от проводимости газожидкостной среды электролита. Характер вольт-амперных характеристик зависит от происходящих случайных процессов в газожидкостной среде, что связано с многочисленными пробоями, происходящими в газожидкостной среде электролита, горением и затуханием микроархивов, возникновением пузырьков, движением электролита внутри диэлектрической трубки. Показано, что генерация водорода и водородосодержащих компонентов может идти как на стадии электролиза, так и при горении разряда. Особенностью данного способа является то, что электрические разряды в трубке увеличивают выделение водорода. В данной установке могут быть использованы неорганические жидкости определенного состава и концентрации. Результаты экспериментальных исследований позволили разработать и создать малогабаритную установку для получения газообразного водорода. Испытания показали, что малогабаритную установку можно взять как основу промышленной установки для получения газообразного водорода.

Ключевые слова: электроэнергетика, электрический разряд, плазма, газожидкостная среда, пробой, газообразный водород.

Для цитирования: Гайсин А.Ф., Гайсин Ф.М., Багаутдинова Л.Н., Хафизов А.А., Валиев Р.И., Газеева Е.В. Плазменно-электролитные разряды в газожидкостной среде для получения водорода // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 2. С. 27-35. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-2-27-35.

PLASMA-ELECTROLYTE DISCHARGES IN A GAS-LIQUID MEDIUM FOR THE PRODUCTION OF HYDROGEN

AF. Gaysin¹, FM. Gaysin², LN. Bagautdinova², AA. Khafizov³, RI. Valiev³,
EV. Gazeeva¹

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

²Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI,
Kazan, Russia

³Kazan Federal University, Kazan, Russia

ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-5300-9880>

LNBagautdinova@kai.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* Comprehensive study of the effect of direct current electric discharge plasma in a gas-liquid medium of inorganic mixtures in order to obtain gaseous hydrogen. Obtain volt-ampere, volt-second and ampere-second characteristics of the discharge at various concentrations of electrolyte. Study the process of electrolysis, breakdown, discharge ignition and discharge flow in a dielectric tube at a constant current. *METHODS.* To solve this problem, experimental studies were carried out on a model installation, which consists of a power supply system, a discharge chamber, equipment for monitoring and controlling the operation of the installation and measuring the characteristics of an electric discharge. To analyze the stability of the discharge, the time dependences of the voltage ripple and the discharge current were obtained. *RESULTS.* Experimental studies were carried out between the electrolytic cathode and the electrolytic anode at constant current and at atmospheric pressure with the following parameters: discharge voltage $U = 0.1-1.5$ kV, discharge current $I = 0.02-2.3$ A, interelectrode distance $l = 100$ mm, 1%, 3% and 5% solutions of sodium chloride in tap water were used as electrolytes. *CONCLUSION.* It is shown that electrical breakdown and ignition of a discharge that is stable in time depends on the conductivity of the gas-liquid medium of the electrolyte. The nature of the current-voltage characteristics depends on the random processes occurring in the gas-liquid medium, which is associated with numerous breakdowns occurring in the gas-liquid medium of the electrolyte, combustion and attenuation of microdischarges, the appearance of bubbles, and the movement of the electrolyte inside the dielectric tube. It is shown that the generation of hydrogen and hydrogen-containing components can occur both at the stage of electrolysis and during discharge combustion. A feature of this method is that electrical discharges in the tube increase the release of hydrogen. In this installation, inorganic and organic liquids of a certain composition and concentration can be used. The results of experimental studies made it possible to develop and create a small-sized installation for producing gaseous hydrogen. Tests have shown that a small-sized plant can be taken as the basis for a industrial plant for the production of hydrogen gas.

Keywords: electric power, electric discharge, plasma, gas-liquid medium, breakdown, hydrogen gas.

For citation: Gaysin AF, Gaysin FM, Bagautdinova LN, Khafizov AA, Valiev RI, Gazeeva EV. Plasma-electrolyte discharges in a gas-liquid medium for the production of hydrogen. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021; 23(2):27-35. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-2-27-35.

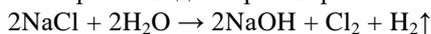
Введение

Водород является одним из самых перспективных видов топлива. Создание водородного генератора с минимальными затратами является первоочередной задачей современной энергетики. Водород практически не встречается на земле в чистом виде и должен извлекаться из других соединений. Разнообразие способов получения водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики. В настоящее время наиболее доступным и дешевым процессом является паровая конверсия метана и природного газа [1-3], а также пиролиз угля [4, 5]. Согласно прогнозам, она будет использована только в начальной стадии перехода к водородной экономике. Запасов природного газа и метана остается мало, а производство водорода из угля является экологически грязным. Плазма способна эффективно разлагать водородосодержащие молекулы органических соединений [6, 7] с образованием газообразных продуктов, в

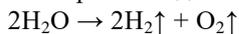
которых доля водорода составляет более 90%, а уровень КПД порядка 60-70% в зависимости от состава исходной смеси. Однако этот процесс требует громоздкого и дорогого оборудования, а также потребляет метан, который сам является топливом и ценным сырьем для химической промышленности. Существуют плазмохимические методы, которые объединяют конверсию углеродосодержащих газов или твердых веществ и плазму дугового разряда, сверхвысокочастотного разряда [8]. Существуют экспериментальные данные [9-13] по получению водородосодержащих газов при воздействии низкотемпературной плазмы электрического разряда, проходящего через водные растворы электролитов. Одновременно одной из главных целей внедрения водородной энергетики является снижение выброса парниковых газов. Такими источниками может быть энергия ветра или солнечная энергия, позволяющая производить электролиз воды.

Электролиз воды является менее затратным с точки зрения капитальных вложений.

Электролиз водных растворов солей:



Электролиз водных растворов гидроксидов активных металлов (гидроксида калия)



Кроме того, существует промышленная технология электролиза химически чистой воды, без применения каких-либо добавок.

Разрабатываются различные новые технологии производства водорода. Так, например, в Лондоне заявили возможности получения водорода из мусора.

В 2019 г. в Германии началось строительство крупнейшей в мире установки по производству 1300 тонн водорода ежегодно методом электролиза.

Производство водорода может быть сосредоточено на централизованных крупных предприятиях, что понижает себестоимость производства, но требует дополнительных расходов на доставку водорода к водородным автозаправочным станциям. Другим вариантом является маломасштабное производство непосредственно на специально оборудованных водородных автозаправочных станциях.

В настоящее время эффективность промышленного процесса электролиза достигла теоретической и значительно уступает паровой конверсии метана по скорости энергоэффективности. Кроме того, электролиз требует предварительной подготовки.

Целью данной работы является комплексное исследование воздействия плазмы электрического разряда постоянного и переменного тока в газообразной среде неорганических смесей с целью получения газообразного водорода. Изучение парогазовых разрядов постоянного тока [14-17] позволит производить расчеты и измерения для генерации водородосодержащих компонентов.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования по получению газообразного водорода проводились на модельной установке, которая состоит из системы электропитания, разрядной камеры, аппаратуры контроля и управления работой установки и измерения характеристик электрического разряда. Разрядная камера представляет собой два специальных стеклянных сосуда, которые соединены между собой диэлектрической трубкой с электролитом. Характер движения электролита может регулироваться вручную. Металлическими проводами подводятся положительный и отрицательный потенциалы к электролиту от источника питания постоянного тока. В качестве электролита использовался хлорид натрия, ввиду его сильной растворимости и доступности.

В качестве электродов использованы медные провода диаметром 1,5 мм, внутренний диаметр диэлектрической трубки 10 мм. Токи и напряжения измеряются щитовыми приборами PA1 и PA2 класса точности 0,5 и 1,5, установленными на пульте управления. Высоковольтный источник питания обеспечивает регулируемое постоянное напряжение до 4000 В при номинальном токе 10 А. Для анализа устойчивости разряда были получены зависимости пульсации напряжения и тока разряда во времени с помощью универсального аналого-цифрового преобразователя *Sensor-CASSY*. Полученные с преобразователя данные обрабатывали на компьютере в программе *CASSY Lab*. Для увеличения пределов измерения напряжения *Sensor-CASSY* подключали через делитель напряжения. Для измерения силы тока использовали трансформатор тока марки AC1010. Для фото и видеofиксации эксперимента использовали цифровую видеокамеру *4K Canon XC10*. Скорость видеосъемки 50 кадров в секунду.

Обсуждение результатов

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований электрического разряда постоянного тока, генерируемого в диэлектрической трубке с

электролитом для получения водорода. В результате были получены осциллограммы тока и напряжения разряда (рис.1).

После включения источника питания в промежутке времени от $t = 0-10$ с. наблюдается электролиз, далее происходит пробой с резким увеличением тока и падением напряжения. После пробоя возникают самые разные виды разрядов в зависимости от приложенного напряжения и давления. На данной осциллограмме в промежутке времени от $t = 10-180$ с. наблюдаются колебания тока и напряжения разряда, соответствующие множеству микроразрядов, возникающих в пузырьках газа.

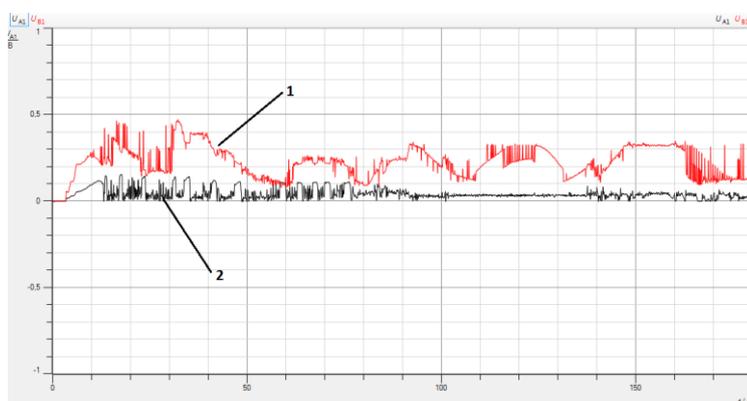


Рис.1. Графическое отображение в программе CASSY Lab:

1- напряжение, 2- ток.

Fig. 1. Graphical display in the CASSY Lab program:

1-voltage, 2-current.

На рис. 2 (а-д) представлены фотографии процесса развития разряда в диэлектрической трубке между металлическим катодом и анодом. На рис. 2 а представлена трубка без разряда, на рис. 2 б со стороны катода идет образование пузырьков газа водорода. Далее на рис. 2 в-г электролиз становится более интенсивным, и на рис. 2 д после пробоя загорается разряд.

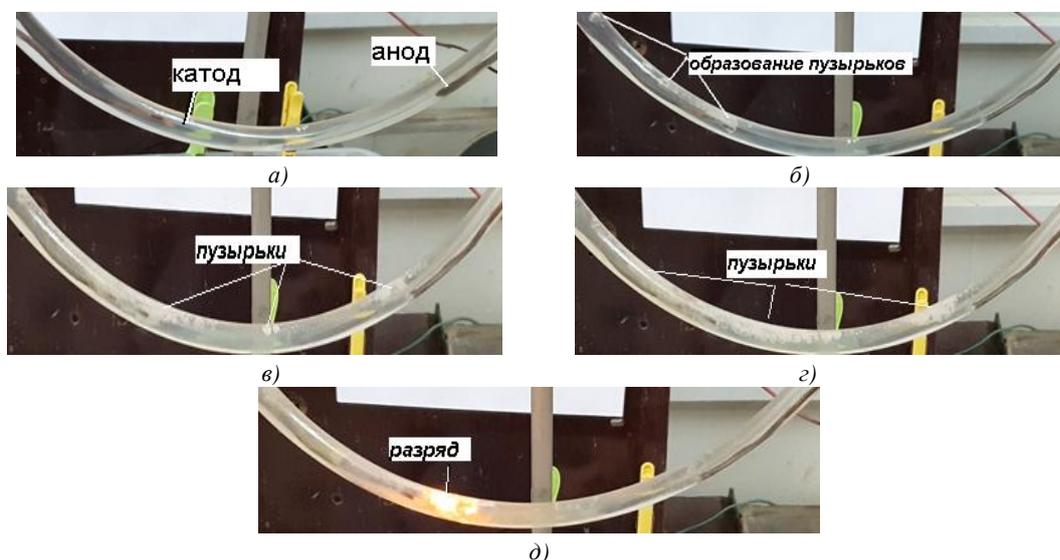


Рис.2. Картина развития разряда постоянного тока в диэлектрической трубке между двумя металлическими электродами.

Fig. 2. A picture of the development of a DC discharge in a dielectric tube between two metal electrodes.

Осциллограммы (рис.1) преобразованы в вольт-амперные, вольт-секундные и ампер-секундные характеристики (рис. 3-5). Было проведено сравнение для 1%, 3% и 5% раствора хлорида натрия с одним и тем же межэлектродным расстоянием $l=100$ мм. При небольших концентрациях горит нормальный объемный разряд в газожидкостной среде и вольт-амперные характеристики имеют почти горизонтальный характер (рис. 3а, 4 а, 5 а), что закономерно общему характеру развития разряда. На графиках (рис. 3-5) проведена аппроксимация кривых в виде линейной (крив. 1) и полиномиальной (крив. 2)

аппроксимации. Аппроксимация в виде полинома является одним из наиболее распространенных способов аппроксимации и заключается в представлении нелинейной зависимости в виде полинома (многочлена) в n -ой степени относительно рабочей точки. На данных графиках произведена аппроксимация в виде полинома 6-ой степени.

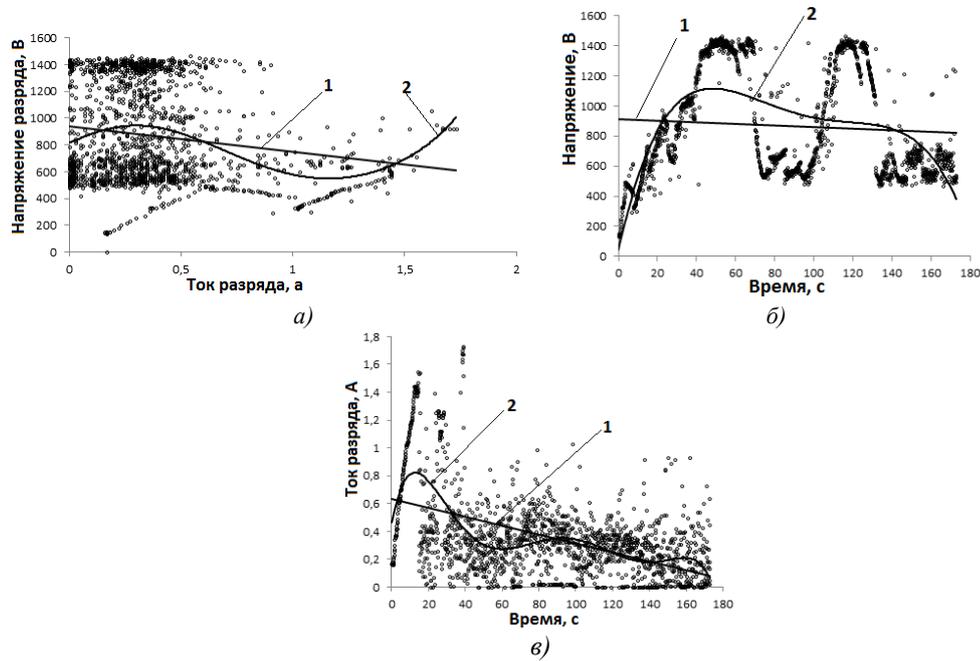


Рис.3. Электрические характеристики разряда постоянного тока в диэлектрической трубке между двумя медными электродами в 1 %-ном растворе NaCl при межэлектродном расстоянии $l=100$ мм: а) вольт-амперная, б) вольт-секундная, в) ампер-секундная характеристики.

Fig.3. Electrical characteristics of a DC discharge in a dielectric tube between two copper electrodes in a 1 % NaCl solution at an interelectrode distance $l=100$ mm: a) volt-ampere, b) volt-second, c) ampere-second characteristics.

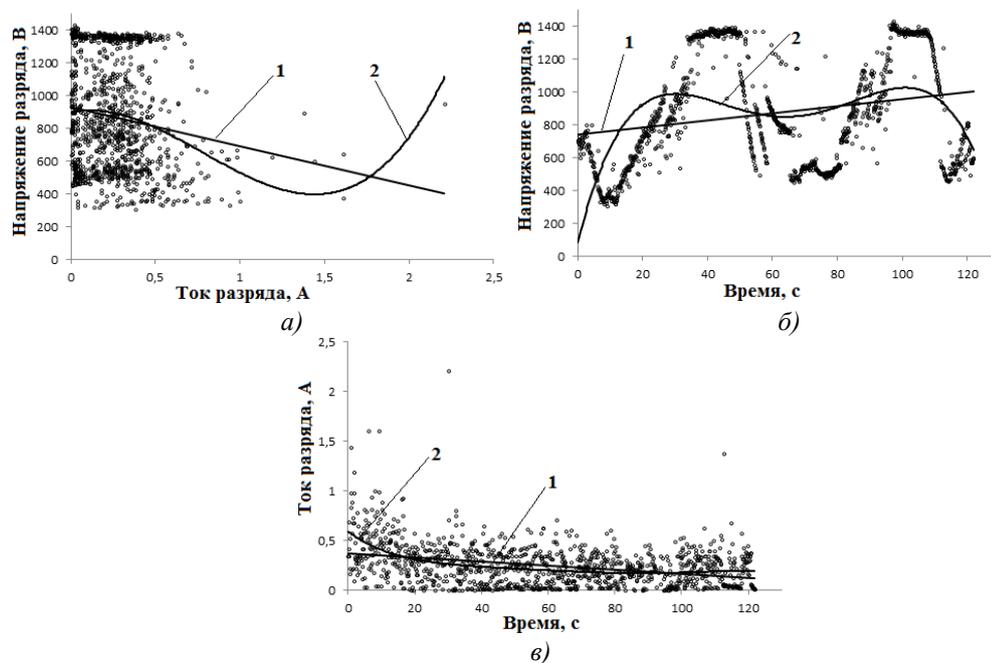


Рис.4 . Электрические характеристики разряда постоянного тока в диэлектрической трубке между двумя медными электродами в 3 %-ном растворе NaCl при межэлектродном расстоянии $l=100$ мм: а) вольт-амперная, б) вольт-секундная, в) ампер-секундная характеристики

Fig 4. Electrical characteristics of a DC discharge in a dielectric tube between two copper electrodes in a 3 % NaCl solution at an interelectrode distance $l=100$ mm: a) volt-ampere, b) volt-second, c) ampere-second characteristics

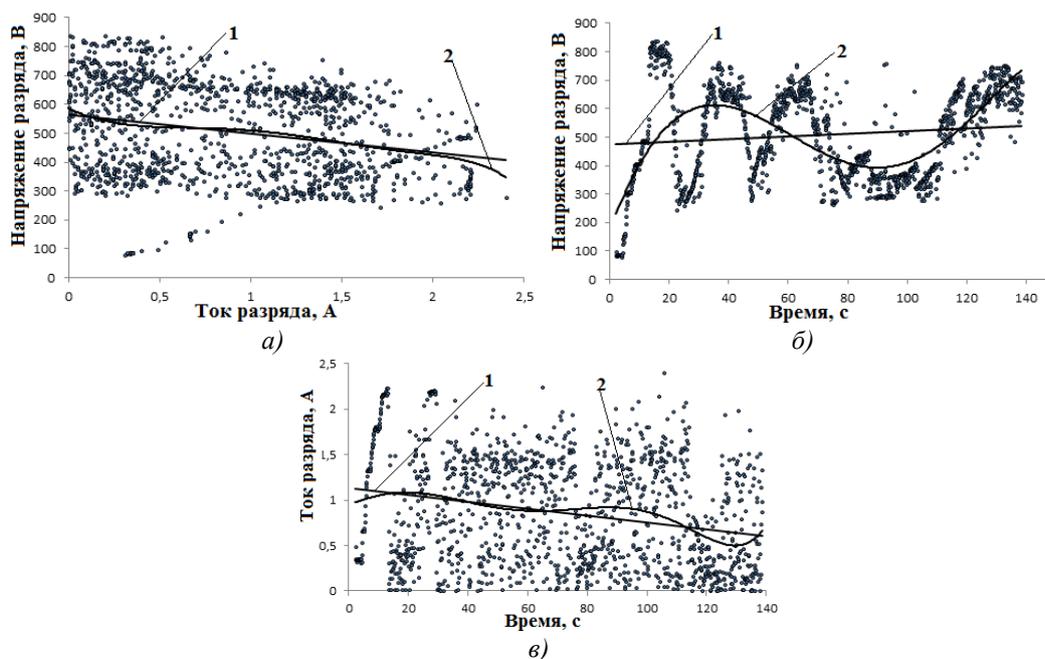


Рис.5. Электрические характеристики разряда постоянного тока в диэлектрической трубке между двумя медными электродами в 5 %-ном растворе NaCl при межэлектродном расстоянии $l=100$ мм: а) вольт-амперная, б) вольт-секундная, в) ампер-секундная характеристики.

Fig 5. Electrical characteristics of a DC discharge in a dielectric tube between two copper electrodes in a 5 % NaCl solution at an interelectrode distance $l=100$ mm: a) volt-ampere, b) volt-second, c) ampere-second characteristics.

Сравнение кривых (рис. 3–5) показало, что электрический пробой и зажигание устойчивого во времени разряда зависит от проводимости газожидкостной среды электролита. Так, при 1% растворе хлорида натрия пробой происходит при напряжении $U=727$ В, в 3%-ном- при $U=599$ В, в 5%- ном растворе при $U= 496$ В. Характер вольт-секундных и ампер-секундных характеристик (рис. 3 б, 3 в, 4 б, 4 в, 5 б, 5 в) зависит от происходящих случайных процессов в газожидкостной среде и имеют как падающий, так и возрастающий вид. Это связано с многочисленными пробоями, происходящими в газожидкостной среде электролита, горением и затуханием микрозарядов, возникновением пузырьков, движением электролита внутри диэлектрической трубки.

Заключение

Анализ осциллограмм тока и напряжения, а также результаты видеофиксации разряда дают нам понятие об образовании водорода не только в момент электролиза до зажигания разряда. Нестационарные микрозаряды после пробоя также позволяют генерировать газообразный водород в газожидкостной среде с неорганическими электролитами. Особенностью данного способа является то, что электрические разряды в трубке увеличивают выделение водорода.

Результаты экспериментальных исследований позволили разработать и создать малогабаритную установку для получения газообразного водорода. Для повышения производительности водорода количество изолированных разрядных ячеек увеличивают. Испытания показали, что малогабаритную установку можно взять как основу промышленной установки для получения газообразного водорода. Изолированные друг от друга разрядные ячейки позволят существенно увеличить мероприятия по технике безопасности.

Литература

1. Хорсанов Г.Л., Колесов В.В., Коробейников В.В. и др. Исследование возможности конверсии метана в синтез-газ и водород с использованием водяного пара быстрых натриевых реакторов // Труды регионального конкурса проектов фундаментальных научных исследований. Выпуск 22. 2017. С.254-261.
2. Fan, Z., Weng, W., Zhou, J., et al. Catalytic decomposition of methane to produce hydrogen: A review // Journal of Energy Chemistry. 2021. N58. pp.415-430.
3. Мальцев В.А., Нерушев О.А., Новопашин С.А. Способ получения водорода и углеродных нанотрубок из углеводородного газа. Патент РФ на изобретение

RU 2414418 C2. 20.03.2011. Доступно по: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37744491>. Ссылка активна на 02.04.2021.

4. Yan, X., Li, Y., Sun, C., et al. Hydrogen production from absorption-enhanced steam gasification of *Enteromorpha prolifera* and its char using Ce-doped CaO material // *Fuel*. 2021. Vol.287, N1. 119554.

5. Liu, S., Guo, L., Jin, H., et al. Hydrogen production by supercritical water gasification of coal: A reaction kinetic model including nitrogen and sulfur elements // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020. Vol.45, N56. pp. 31732-31744.

6. Булычев Н.А., Казарян М.А., Этираи А., и др. Плазменный разряд в жидкофазных средах под действием ультразвуковой кавитации как метод синтеза газообразного водорода // *Краткие сообщения по физике ФИАН*. 2018. Т.45. № 9.

7. Wang, L., Yang, C., Thangavel, et al. Enhanced hydrogen production in microbial electrolysis through strategies of carbon recovery from alkaline/thermal treated sludge // *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2021. Vol 15. N4. pp.56.

8. Жерлицын А.Г., Корженко Д.В., Шиян В.П. Получение водорода из природного газа в плазме СВЧ- разряда при атмосферном давлении. *Газовая промышленность*, 2018. № 11 (777). С. 104-113.

9. Галимзянов И.И., Гайсин А.Ф., Фахрутдинова И.Т., и др. Некоторые особенности развития электрического разряда между струйным анодом и жидким катодом // *Теплофизика высоких температур*. 2018. Т. 56. № 2. С. 306-309.

10. Mezei P., Ceserfalvi T. Electrolyte cathode atmospheric glow discharge for direct solution analysis // *Applied Spectroscopy Reviews*. 2007. Vol.42, N.6. pp. 573 – 604. DOI: 10.1080/05704920701624451.

11. Садриев Р.Ш., Гайсин А.Ф., Насыбуллин Р.Т., и др. Некоторые особенности дуги переменного тока малой мощности и низкой частоты между твердым и жидким электродами // *Теплофизика высоких температур*. 2020. Т. 58. № 3. С. 465-468.

12. Гайсин Ал.Ф., Кашапов Н.Ф. Исследование физических процессов в зоне газового разряда между жидкими электродами // *Прикладная механика и техническая физика*. 2018. Т.4 № 350. С. 19-22.

13. Akhatov M. F., Kayumov R. R., Mardanov R. R., et al. Voltage drop in the jet electrolytic cathode // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. 1588 (1) 012004. DOI: 10.1088/1742-6596/1588/1/012004

14. Takseitov, R.R., Galimova, R.K., Yakupov, Za.Y. Calculation of portable properties of some real gas mixtures at high temperatures // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. 1588(1). 012065.

15. Багаутдинова Л.Н., Садриев Р.Ш., Гайсин А.Ф., и др. Некоторые особенности диэлектрического барьерного разряда с жидким и твердым электродами // *Теплофизика высоких температур*. 2019. Т.57. № 6. С. 953-956.

16. Гайсин А.Ф., Басыров Р.Ш., Сон Э.Е. Модель тлеющего разряда между электролитическим анодом и металлическим катодом // *Теплофизика высоких температур*. 2015. Т.53. № 2. С.193.

17. Gajsin F.M., Galimova R.K., Khakimov R.G. Vapor-gas discharge with nontraditional electrodes // *Elektronnaya Obrabotka Materialov*. 1994. №5. pp.27–29. (In Russ).

Авторы публикации

Гайсин Азат Фивзатович – д-р. техн. наук, профессор, Казанский государственный энергетический университет.

Гайсин Фивзат Миннебаевич – д-р. физ.-мат. наук, профессор, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ.

Багаутдинова Лилия Наилевна – канд. техн. наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ.

Хафизов Алмаз Анзянович – старший преподаватель, Казанский федеральный университет.

Валиев Рамиль Ильдарович – старший преподаватель, Казанский федеральный университет.

Газеева Елена Владимировна - канд. техн. наук, доцент, Казанский государственный энергетический университет.

References

1. Khorasanov G.L., Kolesov V.V., Korobeinikov V.V. i dr. Issledovanie vozmozhnosti konversii metana v sintez-gaz i vodorod s ispol'zovaniem vodyanogo para bystrykh natrievykh reaktorov // Trudy regional'nogo konkursa proektov fundamental'nykh nauchnykh issledovaniy. Vypusk 22. 2017. S.254-261. (In Russ).
2. Fan, Z., Weng, W., Zhou, J., et al. Catalytic decomposition of methane to produce hydrogen: A review // Journal of Energy Chemistry. 2021;58:415-30. doi.org/10.1016/j.jechem.2020.10.049.
3. Mal'tsev V.A., Nerushev O.A., Novopashin S.A. Sposob polucheniya vodoroda i uglernykh nanotrubok iz uglevodorodnogo gaza. Patent RF na izobretenie RU 2414418 C2. 20.03.2011. Dostupno po: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37744491>. Ssylka aktivna na 02.04.2021.
4. Yan, X., Li, Y., Sun, C., et al. Hydrogen production from absorption-enhanced steam gasification of *Enteromorpha prolifera* and its char using Ce-doped CaO material. *Fuel*. 2021; 287:1. doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119554.
5. Liu, S., Guo, L., Jin, H., et al. Hydrogen production by supercritical water gasification of coal: A reaction kinetic model including nitrogen and sulfur elements. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020;45(56):31732-44. doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.166.
6. Bulychev N.A., Kazaryan M.A., Chaikov L.L., et al. Plasma discharge in liquid phase media under ultrasonic cavitation as a technique for synthesizing gaseous hydrogen. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*. 2018; 45(9):263-266. (In Russ). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38623630>.
7. Wang, L., Yang, C., Thangavel, et al. Enhanced hydrogen production in microbial electrolysis through strategies of carbon recovery from alkaline/thermal treated sludge. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2021;15(4):.56. doi.org/10.1007/s11783-020-1348-4.
8. Zherlitsyn A.G., Korzhenko D.V., Shiyan V.P. Poluchenie vodoroda iz prirodnogo gaza v plazme SVCh- razryada pri atmosfernom davlenii. *Gazovaya promyshlennost'*. 2018; 11 (777):104-113. (In Russ).
9. Galimzyanov I.I., Gaisin A.F., Fakhrudinova I.T., et al. Characteristics of the development of electric discharge between jet anode and liquid cathode. *High Temperature*. 2018; 56(2): 296–298 (In Russ).
10. Mezei P., Ceserfalvi T. Electrolyte cathode atmospheric glow discharges for direct solution analysis. *Applied Spectroscopy Reviews*. 2007;42(6): 573 – 604. DOI: 10.1080/05704920701624451.
11. Bagautdinova L.N., Sadriev R.S., Gaisin A.F., et al. Features of a low-power, low-frequency, ac arc between solid and liquid electrodes. *High Temperature*. 2020; 58(3):441–443. (In Russ). doi.org/10.1134/S0018151X20030037. (In Russ).
12. Gaisin A.F., Kashapov N.F. Investigation of physical processes in the gas discharge region between liquid electrodes. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2018; 59 (4):591-593. (In Russ). doi.org/10.1134/S002189441804003X. (In Russ).
13. Akhatov M. F., Kayumov R. R., Mardanov R. R., et al. Voltage drop in the jet electrolytic cathode. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1588 (1):012004. DOI: 10.1088/1742-6596/1588/1/012004. (In Russ).
14. Takseitov R.R., Galimova R.K., Yakupov Za.Y. Calculation of portable properties of some real gas mixtures at high temperatures. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1588(1). 012065. DOI: 10.1088/1742-6596/1588/1/012065. (In Russ).
15. Bagautdinova L.N., Sadriev R.S., Gaisin A.F., et al. Some Features of Dielectric Barrier Discharge with Liquid and Solid Electrodes. *High Temperature*. 2019; 57(6): 944–7. (In Russ). doi.org/10.1134/S0018151X19060051. (In Russ).
16. Gaisin A.F., Basyrov R.S., Son, E.E. Model of glow discharge between an electrolytic anode and a metal cathode. *High Temperature*. 2015;53(2):188–192. doi.org/10.1134/S0018151X1502008X. (In Russ).
17. Gaisin F.M., Galimova R.K., Khakimov R.G. Vapor-gas discharge with nontraditional electrodes. *Elektronnaya Obrabotka Materialov*. 1994;(5):27–29. www.elibrary.ru/item.asp?id=41703426. (In Russ).

Authors of the publication

Azat F. Gaysin - Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Fivzat M. Gaysin - Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan, Russia

Liliya N. Bagautdinova- Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan, Russia.

Almaz A. Khafizov- Kazan Federal University, Kazan, Russia.

Ramil I. Valiev- Kazan Federal University, Kazan, Russia.

Elena V. Gazeeva- Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Получено

11 марта 2021г.

Отредактировано

25 марта 2021г.

Принято

06 апреля 2021г.