

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЛИЗА И КОНСТРУИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА

Причина А.С.

г. Красноярск, МБОУ «Средняя школа № 64», 10 класс

Руководитель: Фадеев А.А., доцент кафедры ТМС, кандидат технических наук,  
СибГУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск

В последнее время в мире обострились проблемы топливной энергетики: в связи быстрым ростом экономик мира увеличилось потребление топлива, что в свою очередь сказывается на экологии: загрязнение воздуха, воды, почв.

Широкое использование нетрадиционных источников энергии [1] (Ветроэнергетика, солнечная энергетика, геотермальная энергия и др.) сдерживается либо низкой эффективностью оборудования (ветроэнергетика) либо большой рассеянностью (солнечная энергетика)

Одним из перспективных направлений получения новых видов энергии является водородная энергетика [2] (получения водорода и использования его в качестве топлива в различных устройствах и технологических процессах), имеющая свои явные плюсы:

1. Доступность сырья (получение водорода возможно из различных веществ, минералов – уголь, вода, электролиты);
2. При сжигании водорода образуется значительно меньше вредных веществ
3. Высокая энергоёмкость водорода, за счет чего его можно использовать в существующих авиационных, автомобильных двигателях без существенных переделок
4. Использование в различных областях (химия, пищевая промышленность, металлургия), где потребность в водороде только возрастает.

Однако массовое использование водорода как топливо сдерживается следующими факторами:

- Взрывоопасность (образует с воздухом взрывоопасные смеси)
- Низкая температура сжижения (возникают трудности по хранению и его транспортировке)
- Трудности при хранении (высокая проницаемость молекул водорода).
- Высокая энергоёмкость при получении водорода в промышленных масштабах

Одним из перспективных направлений получения водорода является электролиз воды. Использование данного способа получения водорода совместно с традицион-

ным двигателем (внутреннего сгорания) (по аналогии с применением газо-бензиновых систем в двигателях внутреннего сгорания [4]) даст следующие преимущества:

- Повышение экологичности двигателя (снижение выбросов в окружающую среду)
- Экономия топлива (за счет высокой энергоёмкости водорода)
- Повышение КПД двигателя
- Универсализация и миниютиаризация установки для получения водорода

Цель данной работы: исследование процесса электролиза и конструирование универсальной установки для получения и использования водорода.

Теоретические и практические работы в данной области энергетики в мире проводятся с переменным успехом: есть отдельные наработки по устройствам использования водорода в качестве топлива, однако бытовой сектор где можно было бы применить водородную энергетику охвачен слабо;  
Задачи работы:

- 1) Изучение процессов электролиза воды в водных растворах при различных параметрах процесса (при различных электродах и электродных схемах, напряжениях, электролитах);
- 2) Анализ и обработка полученной экспериментальной информации, выделение существенных факторов влияющих на процесс;
- 3) Разработка конструкций установок электролиза воды различного назначения.

### Теоретическая часть

Цель – изучение процесса электролиза для дальнейшей оптимизации процесса получения водорода исходя из условий низкого энергопотребления максимального получения объема водорода и минимизации конструкций.

Электролизом называется совокупность процессов, происходящих при прохождении электрического тока через электрохимическую систему, состоящую из двух электродов и расплава или раствора электролита [3].

Электрод, на котором происходит восстановление, называется катодом, а элект-

трод, на котором происходит окисление, называется анодом.

При подаче электрического тока на электроды на границе металл-раствор могут происходить следующие явления: прежде всего это – образование двойного электрического слоя, окисление или восстановление металла электрода в зависимости от, того чем является электрод: катодом или анодом, образование оксидной пленки, восстановление водорода (на аноде) и кислорода на (катоде).

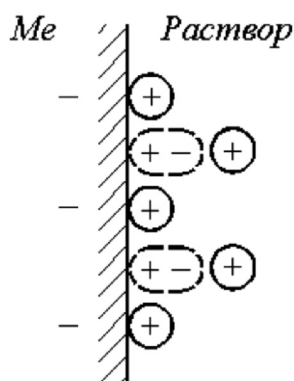


Рис. 1 Двойной электрический слой

В данном случае исследования проводятся с использованием титановых (анод) и стальных (катод) электродов.

При соприкосновении двух электропроводящих фаз между ними возникает разность электрических потенциалов, что связано с образованием двойного электрического слоя, (рис. 1) т.е. несимметричного распределения заряженных частиц у границы раздела фаз. Причинами возникновения скачка потенциала между двумя фазами являются, например, адсорбция молекул воды на металле.

Строение двойного электрического слоя играет важную роль, т.к. для протекания процесса на электроде необходимо, чтобы заряженная частица (ион) прошла через двойной электрический слой либо из раствора к электроду, либо в обратном направлении, при этом ион будет испытывать влияние электрического поля двойного слоя, зависящее от строения поля.

По Гельмогольцу (1879), двойной электрический слой можно уподобить плоскому конденсатору, одна из обкладок которого совпадает с плоскостью, проходящей через поверхностные заряды в металле, а другие – с плоскостью, соединяющей центры тяжести зарядов ионов, находящихся в растворе, но притянутых электростатическими силами к поверхности металла.

Пассивация (образование окисного слоя) активного титана, объясняемая первоначальным возникновением окисла TiO, в принципе возможна при очень низком анодном потенциале ( $\varphi_0 = -1,3$  В).



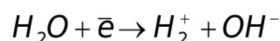
При повышении потенциала анод покрывается слоем окислов непостоянного состава, стандартный потенциал ( $\varphi_0 = -0,86$  В) соответствует реакции образования высшего окисла.



В стационарном состоянии невозможен слой, состоящий только из низших окислов. В слое есть полный набор окислов, но расстояние, на котором завершается изменение состава, уменьшается с ростом напряжения на слое. Следует различать толстый слой, на внутренней стороне, которого расположены низшие окислы (TiO), а на внешней (у раствора) – высшие окислы (TiO<sub>2</sub>). Внешняя часть слоя может быть однородной по составу и содержать только высшие окислы.

Развитие окисного слоя происходит следующим образом (рис. 2).

1. На границе слоя с раствором может протекать реакция разложения воды на границе между раствором 1 и внешней поверхностью окисного слоя 2.



в результате чего в раствор переходят ионы водорода  $H^+$ , а вглубь под действием электрического поля  $E_c$  движутся ионы кислорода  $O^{2-}$ ;

2. Частичное (или полное) вытеснение анионами электролита  $A^-$  кислорода из окислов на внешней границе окисного слоя, в итоге, в раствор переходят растворимые соединения (например,  $TiOA_2$ ), диссоциирующие на катионы ( $TiO^+$ ) и анионы ( $A^-$ ), а ионы кислорода  $O^{2-}$  движутся вглубь под действием поля  $E_c$ ;

3. Миграция ионов кислорода  $O^{2-}$  в поле  $E_c$  к границе между слоем 2 и металлом 3, окисление (или до окисления) титана ионами кислорода на внутренней границе слоя (или в самом слое); перенос заряда электронами  $e^-$ , освобожденными после реакции окисления или до окисления титана ионами кислорода.

Анодное растворение титана в условиях электролиза (происходит через промежуточную стадию образования окислов). Согласно экспериментальным данным растворение начинается примерно при 10 В.

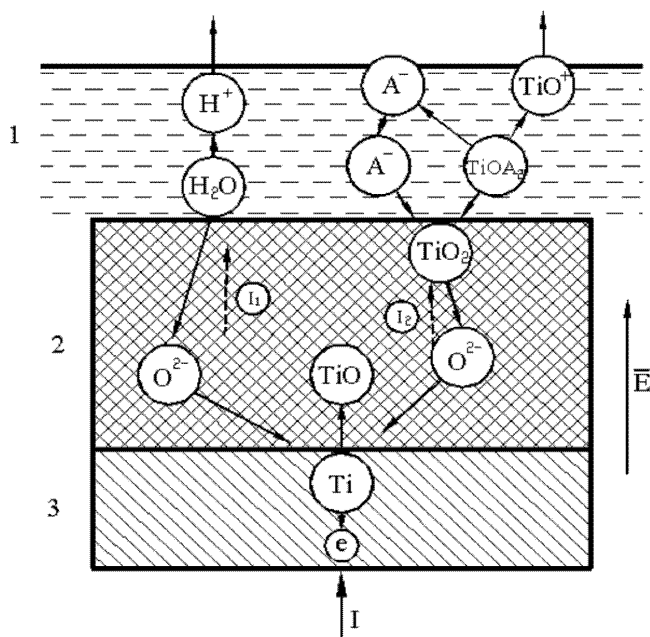


Рис. 2. Окисный слой титанового электрода

**Экспериментальная установка и проведение опытов**

Гидролизер мокрого типа устроен следующим образом (рис. 3)

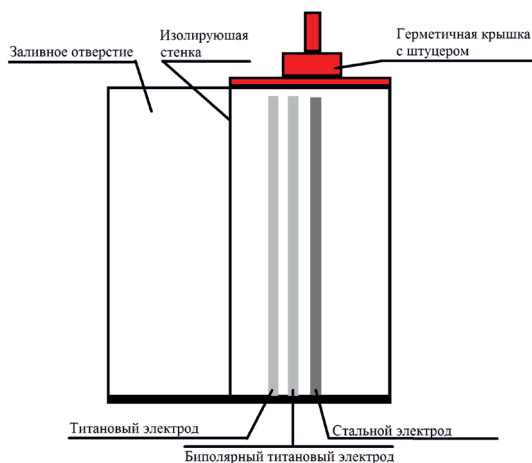


Рис. 3. Схема установки экспериментальной установки

В герметичном отсеке находятся три электрода, находящиеся друг от друга на расстояние 2 миллиметра. Электрод из нержавеющей стали является анодом, титановый электрод – катод, посередине расположен биполярный титановый электрод (такой тип электродов не нуждается в механическом соединении с источником питания). В негерметичное заливное отверстие

заливается электролит. В нижней части изолирующей стенки находится отверстие, через которое вода проходит в герметичную часть. Согласно законам физики полученный газ выходит через штуцер, не попадая в заливное отверстие.

Гидрозатвор (рис. 4) – небольшая емкость на три четвертых заполненная водой. В крышки присутствует два штуцера, на вход и выход газа. Входной штуцер обладает трубкой доводчиком газа до дна. После выхода газа из доводчика он поднимается вверх, после заполняет не заполненную водой полость и выходит через выходной штуцер.

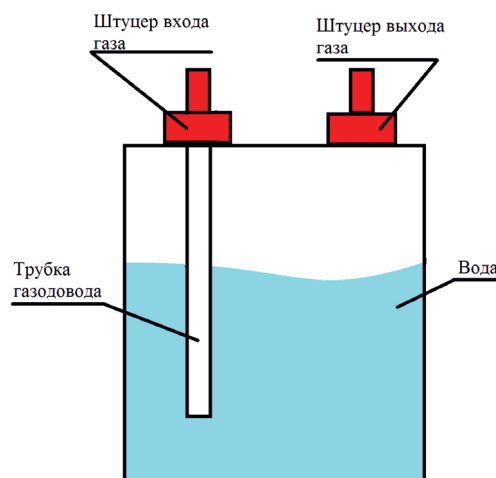


Рис. 4. Гидрозатвор

## Условия экспериментов

Все эксперименты проводились при температуре воздуха 26 градусов по Цельсию. Электролит – дистиллированная вода с добавлением  $\text{NaCO}_3$  (пищевая сода), в размере 16 грамм на 100 миллилитров, объем заливаемого электролита 400 миллилитров. На электроды подавалось постоянное напряжение 12В, в зависимости от порядка расстановки электродов менялась сила тока.

Цель эксперимента достижение максимальной силы тока при генерации газа и минимальному нагреву проводов питания электродов. Чем больше сила тока, тем больше генерируется газа. В результате нескольких экспериментов было выявлено следующее при одинаковой расстановке анода и катода с двумя биполярными электродами (один стальной, один титановый), сила тока была 1,5А, после извлечения биполярных электродов сила тока выросла до 6,5А. В результате подъема силы тока начали нагреваться провода, питающие гидролизер, было принято решение добавить один биполярный электрод из титана и уменьшить расстояние между электродами до 2 миллиметров. В результате следующих действий сила упала до 2,5А, и прекратился нагрев проводов. В результате экспериментов был достигнут наилучший показатель силы тока в 2,5 ампера тремя электродами два из которых катод и анод, сделанные из титана и стали соответственно и биполярного электрода из титана посередине. После некоторого времени работы электролизера было зафиксировано поднятие температуры электролита и электродов с 26 до 38 градусов по Цельсию.

Расчет выделившегося водорода производился закону электролиза фарадея

$$m = k \cdot I \cdot t,$$

где  $m$  – масса водорода, г;  $k = 0,0376$  г/(А\*час) – электрохимический эквивалент;  $I$  – сила тока через электролит, А;  $t$  – время протекания тока, час.

Расчет по формуле дал следующие результаты: масса выделившегося водорода за 10 минут проведения процесса при токе 2.5 А составила 0.0157 г. С учётом того что плотность водорода (при температуре окружающего воздуха 25 °С) составляет 0.082 кг/м<sup>3</sup> объём выделившегося водорода составил 0.194 л.

На основе принципиальной схемы была разработана и собрана конструкция установки для получения водорода и использования его в качестве топлива для горелки (рис. 5).

Перед началом запуска гидролизера, в него заливается электролит, в гидрозатвор заливается вода, после подачи питания на катод и анод между электродами, начинает выделяться газ. После заполнения газом пространства, не заполненного водой, газ по шлангу идет в гидрозатвор. После заполнения пространства свободного от воды, газ выходит по шлангу из горелки для её поджога используется обычная зажигалка. Гидрозатвор является обязательной частью установки, если произойдет детонация газа в горелке, слой воды в гидрозатворе не пропустит цепную реакцию взрыва в гидролизер и остановит её, а так же сведет разрушение установки к минимуму, так как производство гидрозатвора требует меньше ресурсов, чем производство гидролизера.

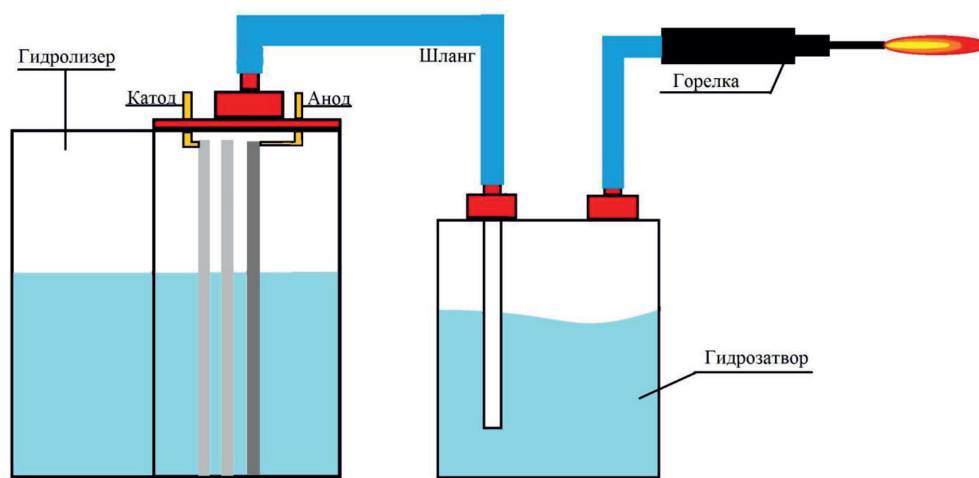


Рис. 5. Схема установки получения водорода для использования в горелке

Несмотря на простоту схемы получения водорода из воды и изученность процесса электролиза определились следующие направления работы по оптимизации процесса электролиза и снижения массогабаритных характеристик установки получения водорода:

1. Исследования по использованию электродов из других материалов: сталь, жель, алюминий, медь в различных сочетаниях.

2. Исследования по использованию электродов различных форм: выпуклые, шаровые, перфорированные и игольчатые.

3. Использование различных типов напряжения питания на электродах: постоянное, переменное, импульсное.

4. Эксперименты с различными видами электролиза: капельный, сухой и мокрый (которые могут дать интересный эффект за счет уникальных свойств воды [5, 6]).

#### Выводы

1. В результате изучения процессов электролиза воды в водных растворах при различных параметрах процесса было выявлено, что сила тока напрямую влияет на количество генерируемого газа.

2. Анализ и обработка полученной экспериментальной информации показали, что вовремя процесса гидролиза происходит нагрев электролита и разрушения электрода подключенного к аноду. Из 0.5 л водного раствора соли за 10 минут выделяется 0.191 л водорода.

3. Благодаря данному устройству можно разработать конструкции установок для резки металлов, повышение КПД двигателей и более экономного расходования бензина либо полного перехода на водородное топливо.



#### Перспективы

– Исследования по использованию электродов из других материалов: сталь, жель, алюминий, медь в различных сочетаниях.

– Исследования по использованию электродов различных форм: выпуклые, шаровые, перфорированные и игольчатые.

– Использование различных типов напряжения питания на электродах: постоянное, переменное, импульсное.

– Эксперименты с различными видами электролиза: капельный, сухой и мокрый (которые могут дать интересный эффект за счет уникальных свойств воды)

#### Список литературы

1. Магомедов А.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. – Махачкала: Юпитер, 1996. – 245 с.
2. Шпильраин Э.Э. Введение в водородную энергетику / Э.Э. Шпильраин С.П. Малышенко Г.Г. Кулешов; под редакцией В.А. Легасова. – М.: Энергоатмиздат, 1984. – 264 с.
3. Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 264 с.
4. Золотницкий В.А. Новые газотопливные системы автомобилей. М.: Издательский Дом Третий Рим, 2005. – 64 с.
5. Рассадкин Ю.П. Вода обыкновенная и необыкновенная. – М.: «Галерея СТО», 2008. – 840 с.
6. Гегузин Я.Е. Капля. – М.: Наука, 1973. – 160 с.