



ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ВОДОРОДА И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В РЕАКТОРАХ

УДК 621.03.05

К. Г. Хрипунов, Ю. Н. Шалимов, Е. Н. Островская, В. Г. Стогней

Воронежский государственный технический университет
Московский пр-т, 14, г. Воронеж, 394026, Россия
E-mail: ferrin@icmail.ru

The basic types of hydrogen electrochemical generators using a principle of breaking-up of inert electrolytic conductors are considered. The shortages of analyzable designs connected to an improper choice of reactors details are shown as a result of which the heat exchange processes in generators are not optimum. Ground of experimental data for the technical solutions permitting to optimize heat and mass transfer processes in electrochemical reactors are explained.

Изучение тепломассообменных процессов играет решающую роль в разработке современных надежных и безопасных электрохимических генераторов топлива и окислителя. К сожалению, в отечественной и зарубежной литературе этим вопросам не уделялось должного внимания. Лишь в последние 10–20 лет в связи с существенным удорожанием ацетилен, природного газа, электроэнергии и других традиционных видов энергоносителей обозначился непосредственный интерес ученых к проблемам создания недорогих экологически чистых и безопасных источников энергии. Однако в литературе отсутствуют данные по исследованию процессов тепломассопереноса в реакторах электрохимического типа.

Экспериментальные электрохимические методы часто применялись для определения коэффициентов массопереноса из жидкости к поверхности электрода. Электродные системы представляли собой различные конструкции, в частности два коаксиальных цилиндра, один из которых неподвижен [1]. В этих опытах жидкость в электрохимической ячейке течет вдоль общей оси симметрии цилиндров. Течение по своему характеру является промежуточным между ламинарным и турбулентным, а именно ламинарным с вихрями Тейлора. Было показано, что полученные данные измерений можно разделить на две области, в каждой из которых экспериментальные значения хорошо коррелируют друг с другом и в безразмерном виде ложатся на одни кривые. Границей этих областей является значение числа Рейнольдса $Re = 300$.

Другим примером электродной системы может служить проволочный электрод. В работе [2] изучался свободно-конвективный массоперенос к проволочному электроду, при этом использовался метод предельных токов. Были рассмотрены

три типа электродов: вертикальный проволочный, горизонтальный диск и комбинированный из двух первых; измерялся массоперенос к электродам этих типов. Было обнаружено, что скорость массопереноса к электроду третьего типа не равна сумме скоростей каждого в отдельности. Следовательно, концентрационные поля в реакторах имеют явно выраженные градиенты и интенсификация тепломассообменных процессов возможна при оптимальном выборе геометрических и физических параметров.

Также проводились экспериментальные исследования режимов вынужденной конвекции в системе, представляющей собой вертикальные продольно колеблющиеся электроды из меди [3]. Они погружались в электролит, являющийся смесью 0,05 грамм-моля сульфата меди ($CuSO_4$) и 1,5 грамм-моля серной кислоты (H_2SO_4). Опыты проводились на трех режимах колебаний с амплитудами 0,1572, 0,114 и 0,229 см с частотой $f = 13–36$ Гц, электроды имели длину активной зоны 1,27, 2,54 и 5,08 см. Было показано, что ток на катоде в исследуемых условиях достигает 100 мА, а разность потенциалов, обусловленная поляризацией, — нескольких сотен мВ. При этом ток является суммой небольшой переменной составляющей, связанной с поляризацией, и относительно большой постоянной фарадеевской составляющей. Исследователи установили, что переменная составляющая тока отстает по фазе на 90° от скорости вибрации, ее профиль зависит от размера активной зоны электрода и параметров колебания, а частота составляет от одной до двух основной частоты колебания. Значение массового коэффициента переноса в данных условиях может достигать 10^3 см/с, что в 5 раз превышает значение при обычном электролизе.

Изучались также процессы тепломассопереноса в пористых электродах [4]. Исследовался массоперенос при протекании электролита через пористый электрод с набивкой из сферических частиц меди в цилиндрическом и коническом реакторах. В качестве электролита использовался раствор сернокислой меди в серной кислоте. Пористость электрода составляла 0,4. Измерялись входные и выходные концентрации электроактивного агента и скорость потока электролита. Экспериментальные данные сравнивались с решением стационарного уравнения неразрывности в предположении, что источник массопереноса пропорционален концентрации. В результате упрощений было получено аналитическое выражение для коэффициента массопереноса и связь между числами Шервуда и Рейнольдса:

$$\text{Sh} = 27,84 \cdot \text{Re}^{1/3}. \quad (1)$$

Эта формула хорошо описывает экспериментальные данные при значении числа Шмидта 1830 в диапазоне чисел Рейнольдса от 0 до 45.

Процессы тепломассопереноса в реакторах с сетчатыми электродами изучались в работе [5]. Разработана методика экспериментального определения количественных характеристик влияния, оказываемого электрохимическим газовыделением на скорость ионного массопереноса к поверхности электрода — одиночной металлической решетки или слоя близко расположенных решеток. В качестве меры скорости массопередачи использовалась плотность электрического тока, генерируемого при протекании реакций катодного восстановления феррацианид-ионов или анодного окисления их из щелочного раствора. В первом случае на электроде происходило выделение водорода, во втором — кислорода. Для этих процессов была найдена зависимость скорости массопередачи от скорости газовой выделенной. В обоих случаях скорость массопередачи являлась степенной функцией скорости газовой выделенной, однако показатель степени существенно различен для анодного и катодного процессов.

В зарубежной литературе встречаются работы, посвященные исследованию массопереноса в электрохимических ячейках с насадочным слоем из частиц, обладающих однородным и неоднородным спектрами размеров [6]. В электрохимической ячейке проточного типа катод представляет собой неподвижный цилиндрический насадочный слой из металлических шаров, имеющих различный диаметр. Ячейка предназначена для изучения влияния гидродинамических условий на скорость электрохимического массообмена. Проводились эксперименты по определению предельного диффузионного тока катодного восстановления феррацианид-ионов из раствора с избытком нитрата калия при различных гидродинамических режимах и различ-

ных размерах частиц насадки. Были получены формулы, описывающие связь между плотностью предельного тока восстановления, числом Рейнольдса и отношением толщины насадочного слоя к среднему диаметру частиц насадки.

Экспериментально изучался массоперенос к кольцевому и дисковому электродам при струйном течении раствора [7]. Дисковый электрод был неподвижен и окружен кольцом, струя раствора вспыскивалась под углом 90° к поверхности диска. Исследовалось влияние таких параметров, как скорость жидкости, расстояние между форсункой и поверхностью, концентрация реагирующих веществ на дисковый и кольцевой токи. В экспериментах использовались растворы CuCl_2 и $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ в KCl . Было обнаружено, что неподвижное кольцо может быть использовано для определения концентрации промежуточных веществ, образующихся на диске. Было предложено применение такой системы для изучения процесса катодного выделения металла.

Для усиления тепломассопереноса в электролитических ячейках некоторые исследователи использовали распространение вихрей (турбулизацию). Изучалось влияние ламинарных и турбулентных течений на коэффициент тепломассопереноса. С использованием установок с различными гидродинамическими системами. Были проведены расчеты вводимого коэффициента массопереноса (отношения измеряемой плотности тока к плотности переносимого заряда). В результате опытов [8] были получены графики эмпирических зависимостей числа Шмидта от температуры, числа Шервуда от числа Шмидта при различных числах Рейнольдса, эмпирические формулы для зависимостей числа Шервуда от чисел Рейнольдса и Шмидта, плотности тока и безразмерного давления от числа Рейнольдса. Также в работе приведены графики зависимостей измеряемого давления и коэффициента массопереноса от скорости и затрачиваемой мощности на единицу площади электрода от коэффициента массопереноса. Теоретически были выведены формулы зависимости коэффициента массопереноса от числа Шмидта, а также согласующиеся с результатами экспериментов формулы зависимости плотности тока от чисел Рейнольдса.

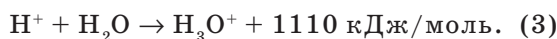
При химических реакциях, в том числе и электролизе, происходит диффузия массы и тепловой энергии, причем наиболее интенсивен этот процесс в пограничном слое. В работе [9] рассматривается сферическая частица, окруженная жидкостью. Вещество А из ядра жидкости путем диффузии подходит к поверхности частиц, вступает в реакцию, а продукт реакции В вследствие диффузии возвращается в ядро жидкости. Зона реакции со временем перемещается по направлению центра частицы. Поскольку реакция протекает с тепловым

эффектом, то рассматривались уравнения молекулярной диффузии и теплоты в рамках движущихся пограничных слоев массо- и теплообмена. Полагая, что отношение коэффициентов при безразмерной толщине и ее первой производной постоянны, ученым удалось получить решение в аналитическом виде, которое в отсутствие химических реакций совпадает с классическим.

Основополагающие работы по теории процессов выделения H_2 и O_2 на электродах из различных материалов были проведены А. Н. Фрумкинским с сотрудниками [10–12]. Авторы отмечают, что подвижности, a , следовательно, и электропроводности H_3O^+ - и OH^- -ионов аномально велики. Эта аномалия не была объяснена Гитторфом [13] и не может быть приписана малому радиусу этих ионов, так как радиус OH^- ионов (1,4 Å) соизмерим с радиусами других ионов, а протон H^+ хотя и обладает малым радиусом, но в водных растворах существует в виде гидратированного иона H_3O^+ , радиус которого также сравним с радиусами других ионов. Из-за весьма малого размера протона и большой напряженности электрического поля вокруг него между протоном и неподеленной парой электронов кислорода молекулы H_2O возникает ковалентная связь по схеме



В результате этого превращения образуется ион гидроксония H_3O^+ . На основании экспериментальных данных, полученных с применением спектрального анализа, установлено, что реакция образования H_3O^+ экзотермична и теплота реакции очень велика:



Обычно при расчете теплового баланса электродных систем (реакторов) теплоты химических реакций не учитываются, но их значение может превышать энергию всех тепловых источников, которые традиционно его составляют.

Основное влияние на процесс газовой выделении на электродах оказывает катодное восстановление H_2 и анодное окисление молекул H_2O и ионов OH^- . Главная задача — увеличение интенсивности газовой выделении — сводится к уменьшению перенапряжений выделения H_2 и O_2 на электродах η_{H_2} и η_{O_2} . Немаловажное влияние на процессы восстановления H_2 и окисления H_2O - и OH^- -ионов оказывает природа материала электродов. Величина η_{H_2} связана линейной зависимостью с плотностью тока i известным уравнением Тафеля

$$\eta_{H_2} = a + b \ln i \quad (4)$$

или

$$i = k \exp \frac{n}{b}, \quad (5)$$

где a , b , k — эмпирические константы, $k = \exp\left(-\frac{a}{b}\right)$.

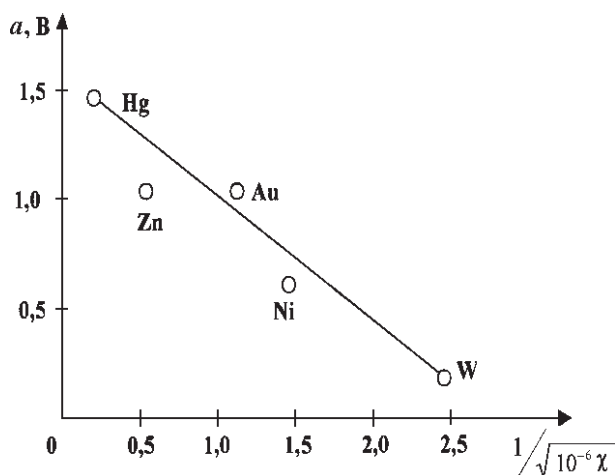


Рис. 1. Зависимость постоянной a от параметра сжимаемости для различных металлов при $i = 1 \text{ А/см}^2$

Постоянная a характеризует степень необратимости процесса на электроде. В работе [10] была установлена зависимость между постоянной a и коэффициентом сжимаемости χ :

$$a = 2 - \frac{1}{\sqrt{10^{-6} \chi}}. \quad (6)$$

Графическое изображение формулы (6) представлено на рис. 1.

Анализ этой зависимости дает возможность осуществить оптимальный выбор материала электрода с точки зрения водородного и кислородного перенапряжения. При сопоставлении η_{H_2} с минимальным межатомным расстоянием установлено [10], что минимальное значение η_{H_2} соответствует расстоянию 2,7 Å, для металлов с большим или меньшим значением межатомного расстояния η_{H_2} возрастает.

Поскольку температура электрода значительно отличается от температуры электролита в объеме за счет различных тепловых эффектов, то необходимо учитывать влияние температуры на η_{H_2} и η_{O_2} . Количественная оценка этого влияния может быть выражена формулой

$$\left(\frac{\eta}{t}\right)_i = \frac{da}{dt} + \frac{R}{\lambda F} \ln i, \quad (7)$$

где F — число Фарадея (96500 Кл); λ — доля тока; $R = 8,31 \text{ Дж/град}\cdot\text{моль}$ — универсальная газовая постоянная.

Так как $da/dt < 0$, то температурный коэффициент перенапряжения по своей абсолютной величине больше при малых плотностях тока и меньше — при высоких.

С точки зрения выбора химического состава электролита, к последнему предъявляются следующие требования: высокая электропроводность, низкая вязкость, достаточно большой рабочий ресурс, малая стоимость компонентов.

В работах отечественных и зарубежных исследователей [13, 14] анализируются различ-

ные по химическому составу электролиты и приводятся данные исследований их физико-химических характеристик. Авторы указывают, что наибольшую электропроводность имеют электролиты со значением рН, значительно отличающимся от нейтрального. Большинство растворов, имеющих $\text{pH} < 7$ (кислых сред), являются коррозионно-активными, поэтому предпочтительнее выбор электролитов, имеющих $\text{pH} > 7$. Наиболее рациональным можно считать применение щелочных растворов гидроксидов калия и натрия (KOH и NaOH). В большинстве разработанных конструкций электрохимических преобразователей используются щелочные растворы электролитов. Однако авторы разработок не дают оценки эффективности использования электролитов определенного химического состава и ее взаимосвязи с такими параметрами, как динамическая вязкость, тепло- и температуропроводность, скорость перемещения разряжающихся ионов.

Основное назначение электрохимических генераторов — производство газов-восстановителей и окислителей, которые могут быть использованы в качестве мобильных газосварочных установок, а также в качестве источников топлива для питания газотурбинных установок. Установки такого типа описаны в известной литературе по использованию нетрадиционных источников энергии.

В последнее время проблемам хранения и транспорта водорода уделяется все больше внимания, поэтому назрела необходимость в конструировании специальных генераторов водорода, которые могли бы использоваться в качестве мобильных установок регенерации водородного топлива на основе гидридов металлов. Поскольку КПД таких генераторов невысок вследствие значительных тепловых потерь, связанных с ограниченными габаритами этих устройств, то возникает проблема создания установок такого типа, в которых все виды потерь сводились бы к минимуму. Основным элементом, определяющим КПД газогенератора с разделением компонентов топлива и окислителя, является газоразделительная мембрана, поэтому основной задачей конструкторов является разработка надежной системы с малым внутренним сопротивлением, обеспечивающей активный перенос ионов-носителей зарядов без смешивания газов. Необходимым требованием конструкции мембраны является простота технологии ее изготовления.

Серьезной проблемой в создании подобных реакторов является сложность регулирования их теплового режима. Работая на максимальной мощности, электрохимический газогенератор довольно быстро переходит в режим термокинетической неустойчивости, отчего снижаются производительность, экономичность и надежность.

В литературе встречаются различные способы стабилизации теплового режима электролизеров, связанные, в основном, с применением разнообразных систем охлаждения. Отвод теплоты из электролитических ячеек осуществляют с помощью электродов, выполненных из металлов с высокой теплопроводностью, выступающих за пределы пакета электролизера и играющих роль радиатора. Это обеспечивает равномерность температуры электролита по высоте пакета электролизера. С листов тепловой поток рассеивается конвективной теплоотдачей в окружающую среду. Конструкция проста и технологична, однако эффективность такого охлаждения низка. Трубопроводы для газов и электролита могут быть снабжены охлаждающими рубашками. Сама установка оснащается регулятором автоматической подачи воды в рубашки трубопроводов. Такой аппарат может работать в устойчивом тепловом режиме сколь угодно долго, но очень сложен в изготовлении и неэкономичен в эксплуатации, так как велики затраты энергии на подачу охлаждающей воды.

Комбинацией вышеприведенных конструкций служит следующий аппарат: между контактными электродами соседних ячеек установлены термолиты с высокой теплопроводностью, выступающие наружу и за пакет электролизера и контактирующие с камерами хладагента (например, воды) через электроизолирующую пленку. Недостаток этого способа стабилизации теплового режима также заключается в значительной сложности установки.

Для повышения производительности можно улучшить теплообмен с окружающей средой следующим образом: два соседних электрода соединяются между собой по торцам и прикрепляются к диэлектрической трубе с внешней стороны (рис. 2). Противоположные торцы двух крайних электродов соседних пар соединены между собой диэлектрической перегородкой, и образующиеся при этом электрохимические ячейки снабжены дном и крышкой. В этом случае каждый электрод является одновременно рабочим элементом и частью корпуса электролизера. Таким образом, теплоотвод осуществляется непосредственно от рабочей части электрода, и двухстороннее охлаждение каждой ячейки позволяет существенно снизить температуру электролита в реакторе.

Пространство между электродами открыто для теплообмена с окружающей средой, причем эффективность теплообмена зависит от угла раскрытия электродов: с его увеличением теплообмен улучшается. Недостатками такой конструкции служат сложность изготовления и неудобство использования. Эффективность охлаждения недостаточно высока, так как осуществляется лишь за счет естественной конвекции.

В некоторых электролизерах имеются устройства для перемешивания электролитов, выполненные в виде мембранных регуляторов, соединенных с патрубком кислорода или водорода. Перемешивание позволяет получить более равномерную температуру в слое электролита.

Как следует из вышеуказанного, чаще всего улучшить охлаждение реактора пытаются путем развития поверхности теплообмена. Наиболее распространены электроды, выступающие за пределы электролизера. Иногда оребренные металлические вставки устанавливают на трубопроводе питания электролизера и трубопроводах, соединяющих электролизер с газожидкостными сепараторами.

В подобных устройствах электроды, выполненные в форме прямоугольных пластин, выступают за габариты электролизера, образуя радиатор. Стягивающие шпильки можно расположить вне электродных пластин и образовать канал принудительного охлаждения. Недостатком конструкции является необходимость применения вентилятора, причем достаточно мощного, для обдува канала принудительного охлаждения.

Подачу воды в электролизер иногда осуществляют по одному из каналов для отвода газов или по обоим каналам. Это позволяет снизить температуру процесса электролиза, что обеспечивает более надежную работу реактора.

Очевидно, для стабилизации теплового режима работы электрохимических генераторов топлива и окислителя недостаточно использовать лишь конструктивные методы. Необходимо выяснить причины возникновения тепловых эффектов, определить характер теплообменных процессов, протекающих в реакторе, и на основании этого выбрать оптимальный режим проведения электролиза.

Помимо тепловой нестабильности существенной проблемой является сложность разделения генерируемых газов. Большинство выпускаемых в настоящее время электрохимических газогенераторов не оснащено системой разделения кислорода и водорода. В результате работы этих аппаратов образуется гремучая смесь нерегулируемого состава, очень опасная в эксплуатации.

В тех устройствах, где разделение газа осуществляется, велики потери энергии на преодоление сопротивления разделительных мембран. Сами мембраны могут быть гидравлически проницаемы или гидравлически непроницаемы. С целью уменьшению омического сопротивления гидравлически проницаемых мембран (диафрагм) отверстия в них выполняют самой различной формы: круглые, квадратные, в виде усеченных конусов и др.

Некоторые реакторы состоят из множества независимых электролитических ячеек, часть которых снабжена диафрагмами для разделения газов. Однако в целом проблема разделения топ-

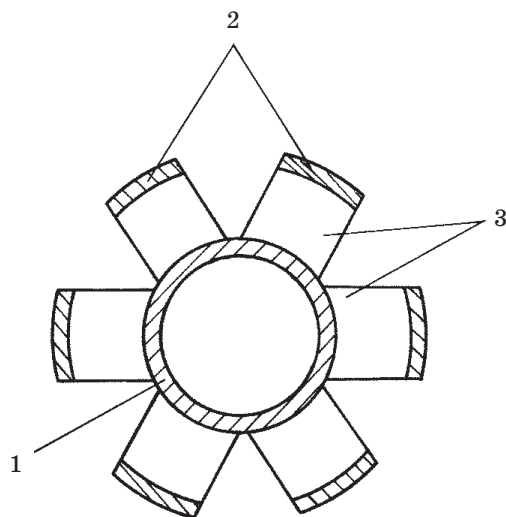


Рис. 2. Способ охлаждения реактора: 1 — изолятор; 2 — диэлектрическая перегородка; 3 — пластинчатый электрод

лива и окислителя и обеспечение тем самым безопасной работы реактора изучена недостаточно [15].

Одним из основных факторов, определяющих производительность электрохимических процессов, является конструкция системы электродов. Устойчивость и надежность работы реактора зависят как от формы и расположения электродов, так и от свойств материала, из которого они изготовлены. Для снижения расхода электроэнергии и повышения чистоты газов биполярный электрод выполняют перфорированным из электропроводного материала, а катод — из палладиевого сплава. Применяется непористый водородопроницаемый сплав палладия с серебром. Анод выполняется из никеля или стали, никелированной со стороны электролита. Электроды в этом случае представляют собой плоские листы.

Корпус электрода может выполняться в виде двух коаксиально расположенных цилиндров, электроды смонтированы радиально между ними. Высокая стоимость материала электродов ограничивает применение подобных конструкций.

Нередко форма электродов выбирается с целью улучшения условий монтажа. Например, электроды выполняются корытообразными, с обращенными в одну сторону впадинами. Диэлектрические прокладки устанавливаются в этом случае по периметру впадин.

В вертикальных реакторах электролитические ячейки могут быть изготовлены в виде коаксиальных тонкостенных электродов, расстояние между которыми составляет 0,3–0,6 мм. Ячейки изолированы одна от другой и сообщены по газу и электролиту с подпитывающей емкостью. Межэлектродное пространство загерметизировано. Часто используется система электродов П-образной формы.

Для конструирования электролизеров используются и традиционные материалы — стали Х19Н10Т, Х18Н10Т. Наиболее часто применяются никель или нержавеющие стали. Электроды при этом могут представлять собой прямоугольные пластины, трубки, коаксиальные цилиндры и т. д.

При выборе состава электролитов большинство исследователей ограничивалось растворами различной концентрации солей, кислот и щелочей в дистиллированной воде. А. Г. Рябухиным, В. И. Прохоровой, В. И. Иванцовой был предложен электролит, содержащий следующие компоненты: гидрокарбонат калия (3,0–3,1 г-экв), карбонат тетраэтиламмония (0,15–0,20 г-экв), вода (до 1 л). Такой состав электролита позволяет обеспечить малый перенос влаги за счет транспорта газа.

Иначе проблема получения газовой смеси с меньшей степенью влажности и улучшения очистки электролита от продуктов коррозии решается в конструкции. Для достижения указанных целей здесь применены влагоотделитель 22 и магнитный сепаратор 4 (рис. 3). Безопасность работы установки обеспечивается использованием предохранительного клапана избыточного давления 13 и датчика максимального давления 14. Кроме того, в аппарате предусмотрено обогащение получаемой газовой смеси парами бензина (бензобак 15 с фитилем 19). Остальные конструктивные элементы составляют основу многих рассмотренных выше электрохимических реакторов.

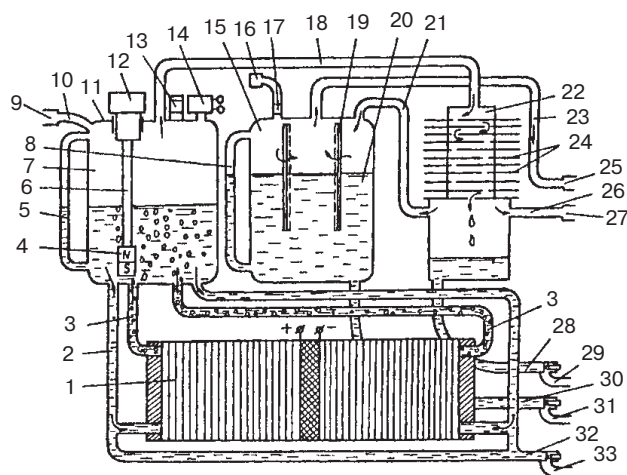


Рис. 3. Установка для получения горючей газовой смеси: 1 — электролизер; 2, 3, 10, 17, 18, 21, 23, 26, 28, 30, 32 — трубопроводы; 4 — магнитный сепаратор; 5 — уровнемер; 6 — стержень; 7 — подпиточный бак; 8 — указатель уровня бензина; 9, 16, 25, 27, 29, 31, 33 — штуцеры; 11 — крышка; 12 — заглушка; 13 — клапан избыточного давления; 14 — датчик максимального давления; 15 — бензобак; 19 — фитиль; 20 — полость; 22 — влагоотделитель; 24 — пластины

Практически не уделялось внимания вопросам исследования коррозионной стойкости основных конструкций генераторов. По нашему мнению, этот вопрос представляется достаточно значимым с точки зрения выбора материала электродов и корпуса реактора по их эксплуатационным характеристикам, так как определяет долговечность и надежность работы установок.

Как правило, для изготовления основных узлов и конструкций большинство разработчиков применяют дорогостоящие нержавеющие стали, хотя при достаточной теоретической проработке этого вопроса в качестве основного материала могут быть выбраны менее дорогие низколегированные стали при использовании соответствующих ингибиторов коррозии в растворах.

Итак, анализ рассмотренных конструкций показывает, что из них большинство имеют главный технологический недостаток — отсутствие разделения продуцированных газов. Другим существенным недостатком для аппаратов, имеющих разделительные мембраны, является их большое сопротивление, способствующее дополнительному нагреву электролита [16].

Список литературы

1. Legrand J., Dumargue P., Couret F. Overall mass transfer to the rotating inner electrode of a concentric cylindrical reactor with axial flow // *Elektrochim. acta*. 1980. Vol. 25, No 5. P.669–673.
2. Selman J. R., Tavakoli A. J. Free convective mass transfer to a rod-shaped vertical electrode // *J. Electrochem. Soc.* 1980. Vol. 127, No. 5. P. 1049–1055.
3. Ming-Biann L., Rudnick E. M., Cook G. M., Yao W. P. Mass transfer at longitudinally vibrating vertical electrodes // *J. Electrochem. Soc.* 1982. Vol. 129, No. 9. P. 1955–1959.
4. Benzina M., Mowla D., Lacoste G. Mass transfer studies in porous electrodes: application of the limiting current technique // *Chem. Eng. J.* 1983. Vol. 27, No. 1, P. 1–7.
5. Sedahmed G. H., Shemilt L. W. Mass transfer characteristics of electrochemical reactors employing gas evolving mesh electrodes // *J. Appl. Electrochem.* 1984. Vol. 14, No. 1. P. 123–130.
6. Alkire R., Gracon B., Grueter T., Marek J., Blackburn P. Mass transfer in packed bed electrochemical cells having both uniform and mixed particle sizes // *J. Electrochem. Soc.* 1980. Vol. 127, No. 5. P. 1085–1091.
7. Do Duc H. An experimental Study of mass transfer to ring-disc jet electrode // *J. Appl. Electrochem.* 1980. Vol. 10, No. 3. P. 385–391.
8. Schwager F., Robertson P. M., Jbl N. The use of eddy promoters for the enhancement of mass transport in electrolytic cells // *Elektrochim. acta*. 1980. Vol. 25, No. 12. P. 1655–1665.
9. Essoh D. C., Klinzing G. E. Heat and mass diffusion with chemical analysis in a

particle // AJChE Journal. 1980. Vol. 26, No. 5. P. 869–872.

10. Фрумкин А. Н. Электродные процессы. Избранные труды. М.: Наука, 1987.

11. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Изд-во АН СССР, 1952.

12. Полукаров Ю. М., Гришина В. В., Антонян С. Б. Электроосаждение никеля в условиях совместного действия переменного и постоянного токов // Электрохимия. 1980. Т. 16, Вып. 3. С. 423–427.

13. Харнед Г., Оуэн Б. Физическая химия растворов электролитов. Пер. с англ. М.: Издательство иностранной литературы, 1952.

14. Измайлов А. И. Электрохимия растворов. М.: Химия, 1966.

15. Шалимов Ю. Н., Стогней В. Г., Хрипунов К. Г. Повышение экономичности и надежности электрохимических генераторов топлива и окислителя // Теплоэнергетика: Межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 1998. С. 112–116.

16. Хрипунов К. Г., Стогней В. Г. Применение электрохимических генераторов топлива и окислителя для создания эргономических технологий производства летательных аппаратов // XXIII Гагаринские чтения: Всерос. молодежная науч. конф. Москва: РГТУ – МАТИ, 1997. Ч. 5. С. 37.

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

В ШОТЛАНДИИ ОТКРЫТ ЕВРОПЕЙСКИЙ ЦЕНТР ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ ЭНЕРГИИ ПРИБОЯ И ПРИЛИВОВ

В Шотландии, открывшей в 70-е годы прошлого века эпоху «опоры на собственные углеводородные запасы» шельфа Северного моря, произошло немаловажное событие. Здесь сделан первый серьезный шаг по овладению альтернативными энергоресурсами океана. Если соседняя Дания давно вырвалась вперед по использованию силы ветра и строительству «эолических ферм», то Шотландия приступает к исследованиям и одновременно — к промышленному использованию энергетического потенциала прибоа, приливов и отливов. «Мы делаем это вовремя, — поделился своим мнением с корреспондентом «Нефти России» заместитель главы эдинбургского кабинета и депутат регионального парламента Джим Уоллес. — Что ни говори, а кладовые шельфа истощаются. Уже в 2006 году Соединенное Королевство станет импортером природного газа, а к 2010 году — и нефти».

В составе группы зарубежных журналистов, аккредитованных в Великобритании, лондонский собкор журнала «Нефть России» побывал на Оркнейских островах, где состоялось торжественное открытие Европейского центра морской энергии (ЕМЕС). Огромный, упрятанный в «заземленную береговую твердь» аккумулятор и современная подстанция соединены специальными подводными кабелями с необычными генераторами энергии. Это четыре колышущиеся цепи алых «понтон» со спецначинкой в бухте Биллиа Кру. Смещаясь на крутых гребнях относительно друг друга подобно домкратам, они вращают в своем «чреве» компактные динамомшины.

Заряжаемые пенистыми волнами (весной они достигают шестиметровой высоты) объекты построены, прежде всего, в экспериментальных целях, причем не только на правительственные гранты, но и по частным заказам британских и континентальных компаний. Речь идет о фирмах, стремящихся

овладеть возобновляемыми энергоисточниками с помощью качественно новых технологий. «Важно опробовать и утвердить для всего региона ЕС соответствующие стандарты эффективности и безопасности», — поясняют хозяева центра.

Но параллельно начинается и практическое использование «электрозапасов» моря — ЕМЕС рассчитан на рабочее напряжение до 11 тыс. вольт и соединен с островной энергосистемой. Иными словами, предусмотрен постепенный выход объекта на самоокупаемость, в том числе и за счет компенсационных выплат по линии фирм-заказчиков, «обкатывающих» на Оркнеях свои технические новинки. В конференц-зале городка Стромнесс состоялся форум, собравший политиков, ученых и бизнесменов, посвященный предстоящей переориентации сервисной и инжиниринговой инфраструктуры Шотландии на удовлетворение растущих запросов альтернативной энергетики. А на белокаменном фасаде ЕМЕС была открыта памятная бронзовая табличка, полномасштабный смысл которой смогут ощутить, по всей видимости, потомки создателей центра.

«Возобновляемые ресурсы открывают Шотландии фантастическую и вместе с тем реальную коммерческую перспективу, — полагает британский министр энергетики Стивен Тиммз. — Правительство страны наметило серьезную цель: достичь к 2010 году 10-процентной, а к 2020 году — желательной 20-процентной доли выработки электроэнергии с помощью альтернативных носителей. В этой связи я объявляю о выделении специального инвестиционного пакета в 50 млн. фунтов стерлингов на освоение и развитие энергоресурсов прибоа и приливов».

www.rosizolator.ru