

В.И.Русан, доктор технических наук;

А.П.Германович, инженер;

Г.А.Гришаева, Л.В.Новосельская, А.М.Волк, В.А.Марков,
кандидаты технических наук (БГТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Одной из технических проблем использования установок возобновляемых источников энергии (солнца, ветра, гидроэнергетического потенциала малых рек) является работа в условиях меняющегося потенциала. При избытке электроэнергии, получаемой от этих энергоустановок, необходимо иметь устройства аккумулирования энергии.

Среди различных типов разрабатываемых аккумуляторов энергии наиболее универсальными и перспективными являются системы водородного аккумулирования [1, 2]. Водород, получаемый электролизным способом, накапливается в металлгидридных емкостях, где находится в твердофазном состоянии и может длительно и безопасно храниться, транспортироваться и в дальнейшем использоваться как универсальный вторичный энергоноситель.

Для создания экспериментальной системы, отработки технологических процессов получения и аккумулирования водорода от установок возобновляемых источников был разработан щелочной электролизер с самоциркуляцией производительностью $0,5 \text{ м}^3 \text{ Н/ч}$ и напряжением питания 12 В.

Применение математического моделирования позволило рассчитать оптимальные параметры аппарата и сократить время разработки.

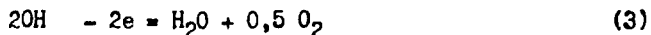
Процесс электролиза воды описывается суммарным уравнением



В процессе электролиза воды со щелочными электролитом разряжаются практически только молекулы воды на катоде



и гидроксила на аноде



Объем газов определяется законом Фарадея по формулам

$$V = 0,41 \text{Int} / 1000 \text{ м}^3 \quad (4)$$

$$V = 0,205 \text{Int} / 1000 \text{ м}^3, \quad (5)$$

где I - нагрузка по току, А ;

n - число ячеек; шт.;

t - время, ч.

Для получения $1 \text{ м}^3 \text{ H}_2$ и $0,5 \text{ м}^3 \text{ O}_2$ необходимо разложить $0,805 \text{ кг}$ воды. При этом выделяется 13000 КДж тепла.

В электролизере осуществляется самоциркуляция электролита за счет разности плотностей горячего газонаполненного электролита в ячейках электролизера и электролита, освобожденного от пузырьков газа и охлажденного в теплообменнике.

Движущая сила циркуляции ΔP (Па) определяется различием гидростатического напора со стороны ячеек электролизера и теплообменника и составляет

$$\Delta P = gh(\rho_{\text{э}} - \rho_{\text{г.ж}}), \quad (6)$$

где g - ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h - высота уровня электролита в системе электролизера, м;

$\rho_{\text{э}}, \rho_{\text{г.ж}}$ - плотность электролита и газонаполненного электролита, кг/м^3 .

Скорость циркуляции W газонаполненного электролита также зависит от суммы гидравлических сопротивлений Δ на пути электролита и определяется законом Бернулли

$$\Delta P = \Delta \rho_{\text{гн}} W^2 / 2 \quad (7)$$

Газонаполнение электролита ε и плотность газонаполненного электролита зависит в свою очередь от скорости циркуляции W , количества выделенного на электроде газа и изменяется по высоте ячейки.

Плотность электролита в зависимости от газонаполнения ε будет

$$\rho_{г.ж} = (1 - \varepsilon) \rho_0 + \varepsilon \rho_1 \quad (8)$$

Математическая модель гидродинамических процессов в ячейке электролизера описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} [(W + T) \varepsilon] &= \frac{1 - \beta}{\mu M} K - \frac{1}{\mu Pe} (\varepsilon - \varepsilon') \\ \frac{d}{dx} [W(1 - \varepsilon)] &= \frac{1}{\mu Pe} (\varepsilon - \varepsilon') \\ \frac{d}{dx} [(W' + T) \varepsilon'] &= \frac{\beta}{(1 - \mu) M} K + \frac{1}{(1 - \mu) Pe} \\ \frac{d}{dx} [W'(1 - \varepsilon')] &= \frac{1}{(1 - \mu) Pe} (\varepsilon - \varepsilon'), \end{aligned} \quad (9)$$

где $W \ll W'$ - отношение скорости электролита соответственно в межэлектродном и заэлектродном пространстве в данном сечении к скорости электролита на входе в ячейку;

T - отношение скорости подъема пузыря относительно жидкости к скорости электролита на входе в ячейку;

$\varepsilon, \varepsilon'$ - газонаполнение соответственно в межэлектродном и заэлектродном пространстве;

- β - коэффициент доли тока, приходящейся на тыльную сторону электрода;
 M - критерий подобия, учитывающий геометрические размеры диафрагменной ячейки;
 Pe - аналог числа Пекле для диффузионных процессов;
 M - критерий подобия;
 K - критерий подобия, зависящий от безразмерной плотности тока и геометрических размеров;
 χ - отношение высоты рассматриваемого сечения к полной высоте электрода.

Критерий подобия M определяется по формуле

$$M = \frac{F(P - P_w)(d_3 + d_3' - d_r)W_0}{5RTMJ^2}, \quad (10)$$

где F - постоянная Фарадея, $F = 96500 \frac{\text{Кл}}{\text{ч.экв}}$;

P - среднее давление в электролизере, Па;

P_w - давление насыщенного пара воды над раствором;

d_3, d_3' - толщина слоя электролита соответственно в межэлектродном и заэлектродном пространстве, м;

d_r - толщина неподвижного обогащенного газом приэлектродного слоя, м;

R - газовая постоянная, $R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{град.моль}}$

W_0 - скорость электролита на входе в ячейку, м/с;

T - температура в электролизере, К;

H - полная высота электролита, м;

J - среднегабаритная плотность тока, А/м².

Аналог числа Пекле рассчитывается по формуле

$$Pe = \frac{(d_3 - d_r + d_3')W_0}{DH}, \quad (11)$$

где D - коэффициент обмена между межэлектродной и заэлектродной областью, м/с.

Критерий подобия рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{d_3 - d_r}{d_3 - d_r + d_3'}, \quad (12)$$

Совместное решение системы полученных уравнений по высоте электролизера дает возможность рассчитывать гидродинамические параметры процесса, найти оптимальные размеры ячейки электролизера, количество электролита, производительность по водороду и кислороду, среднегабаритную плотность тока, количество выделенного тепла, температуру электролита по высоте.

В результате расчета выявлено, что зависимость газонаполнения ячейки электролизера от высоты близка к линейной (рис. 1).

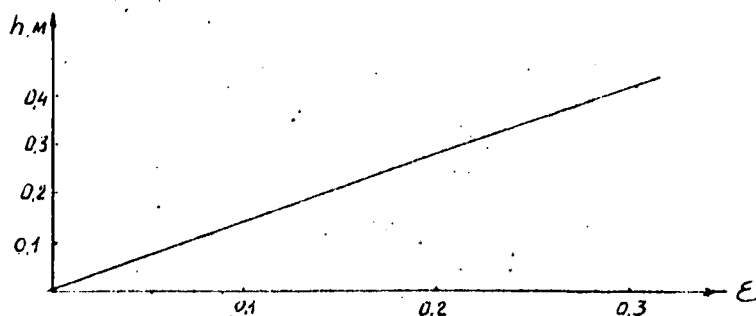


Рис. 1. Зависимость наполнения в заэлектродной части в зависимости от высоты H (м) электролизера.

Предельной величины газонаполнения 30 % ограничивается высота ячейки, которая не превышает 0,295 м. Рассчитанные соотношения между шириной B (м) и высотой H (м) приведены на рис. 2.

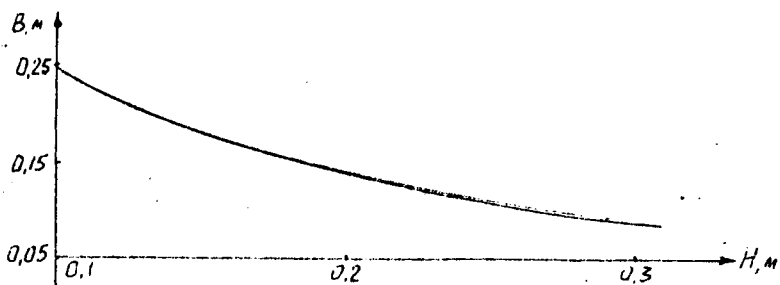


Рис. 2. Соотношения между шириной B (м) и высотой H (м) ячейки электролизера при плотности тока 10000 A/м .

Анализ расчетных характеристик показал, что при ширине $B = 0,11$ м и высоте $H = 0,23$ м ячейки электролизера ее производительность по водороду при данной площади является максимальной и составляет около 100 л/ч (рис.3). Остальные расчетные характеристики использованы при проектировании оборудования установки.

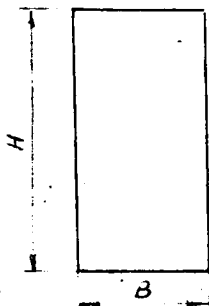


Рис. 3. Размеры электролизера
 $B = 0,11$ м;
 $H = 0,23$ м.

Л и т е р а т у р а

1. B. Sexon
 G. Slack
 P. Musgrove.
 N. Lipman
 P. Dunn
Aspects of a Wind Energy Conversion System. Energy Rural and Island Community Proc. Conf. Inverness 1980.
2. К.Н.Симененко
 В.Н.Вербецкий
 Гидридная технология и проблемы накопления и использования водорода в малой энергетике. Российский химический журнал. 1993, 37 № 2.
3. Л.М.Якименко
 Производство водорода, кислорода, хлора и щелочей. М., Химия, 1981.

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО
ДЛЯ БЫСТРОГО ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИН
С КРИВОШИПНО-КУЛИСНЫМ РЫЧАЖНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПРИВОДА

Для определенных устройств возникает необходимость быстрого изменения скорости движения рабочего органа. Например, быстрое наведение зенитной установки на цель; изменение времени холостого хода рабочего органа строгального станка, печатной или сельскохозяйственной машины; повышение согласно технологического процесса виброактивности или стабилизации скорости движения рабочего органа ряда механизмов и устройств. Проведенные исследования показали, что это можно осуществить за счет:

- повышения угловой скорости ведущего звена, то есть повышения числа оборотов привода;
- изменения длин плеч рычагов механизма привода;
- нелинейной зависимости между углами поворота ведущего и ведомого звеньев механизма привода.

Повышение числа оборотов привода не способствует достижению поставленной цели, а увеличивает мощность привода и возрастает ускорения по продолжительности. Это приводит к снижению надежности и работоспособности оборудования, выразившихся в повышенных инерционных силах, ведущих за собой повышенную вибрацию и динамические нагрузки.

Изменение длин плеч рычагов механизма привода существенно не изменяет скорость движения рабочего органа, но усложняет конструкцию, в том числе и за счет необходимости осуществления подвижного центра качания. В ряде случаев изменения длин плеч одновременно нескольких рычагов практически невозможно. Более приемлемым способом изменения скорости движения рабочего органа большинства механизмов и устройств является осуществление нелинейной зависимости между углами поворота ведущего и ведомого звеньев механизма привода при помощи некруглого зацепления.