

Авторефер.
590

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

УДК 621.352

БВЗ Василий Николаевич

МАССООБМЕН В ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА
С ВОЗДУШНЫМИ ГАЗОДИФУЗИОННЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

*Специальность 05.14.05 - Теоретические основы теплотехники

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1990

xv 924

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
бібліотека

Работа выполнена в Одесском институте
низкотемпературной техники и энергетики

Официальные оппоненты - доктор химических наук,
профессор ЦЫКАЛО А.Л.

кандидат технических наук,
доцент ЛУЖИН В.К.

Ведущая организация - Всесоюзный ордена Трудового
Красного Знамени научно-иссле-
довательский проектно-конструк-
торский и технологический инсти-
тут источников тока, г. Москва

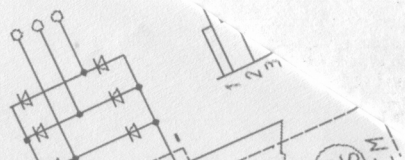
Защита диссертации состоится "_____" 1990 г.
в _____ часов на заседании специализированного совета К 068.27.01
при Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики
по адресу: 270057, Одесса, 57, ул. Петра Великого, 1/3, ОИНТЭ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИНТЭ

Автореферат разослан "_____" 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Р. К. Никульшин



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Рост производства электро- и радиотехнической аппаратуры требует увеличения производства автономных источников энергии, какими являются химические источники тока (ХИТ). В настоящее время во всем мире ежегодно изготавливаются миллиарды отдельных первичных элементов и аккумуляторов. В таких условиях актуальной является задача улучшения характеристик ХИТ, снижения их стоимости и материалоемкости. Перспективным направлением является использование наиболее дешевого и доступного окислителя - кислорода окружающего воздуха. ХИТ этого типа отличается повышенной энергоемкостью и отсутствием дорогих и дефицитных окислов. В настоящее время достигнуты большие успехи в решении основной проблемы таких ХИТ - создания высокоэффективного и недорогого воздушного электрода. Однако добиться улучшенных характеристик ХИТ с самыми совершенными электродами можно только при условии рациональной организации процессов тепло-массообмена, правильного выбора конструкции и размеров ХИТ.

Цель работы - теоретическое и опытное изучение массообмена в воздушных каналах ХИТ с воздушными газодиффузионными электродами и разработка методов расчета параметров ХИТ.

Научные новизны составили:

- математические модели конвективно-диффузионного массопереноса кислорода в элементах, результаты численных и приближенных аналитических решений в виде обобщенных поляризационных характеристик воздушных электродов для случаев одномерного линейного или радиального движения кислорода;
- данные по испарению воды из различных воздушных электродов;
- данные по влиянию концентрации кислорода на поляризационные характеристики различных воздушных электродов при небольших концентрациях кислорода в воздухе;
- методы и результаты измерения неравномерности тока по поверхности воздушного электрода;
- модель и результаты расчета кинематического массопереноса кислорода и водяного пара;
- модель и результаты расчета разрядных характеристик воздушно-металлических элементов;
- методики и результаты расчетов взаимосвязанных процессов тепло-массопереноса и генерации тока в воздушно-водородных и воздушно-

xv 924
ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
библиотека

металлических топливных элементах.

Научное положение. Ограниченный массоперенос кислорода к воздушному электроду кроме увеличения поляризации приводит к неравномерности распределения тока вдоль электрода, причем, относительное изменение поляризационной характеристики и распределение тока можно определить, не прибегая к расчету электродных процессов, путем решения уравнений массопереноса, в которых свойства воздушного электрода и условия его работы учитываются лишь тремя безразмерными величинами: геометрическим параметром дыхательного отверстия $L_{ог}$, кинетическим параметром воздушного электрода k и конвективным параметром Pe .

Практическая ценность. Предложены математические модели взаимосвязанных процессов массопереноса и токообразования, на основании которых разработаны методики и составлены программы численного расчета на ЭВМ вольт-амперных и разрядных характеристик, а также распределения тока вдоль элементов ХИТ. Получены простые приближенные аналитические решения уравнений массопереноса для различных случаев, позволяющие проводить конструкторский и поверочный расчеты ХИТ. Разработан и испытан метод экспериментального контроля равномерности работы воздушных электродов.

Результаты проведенных исследований использованы во Всесоюзном ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском проектно-конструкторском и технологическом институте источников тока (г. Москва), в научно-исследовательской лаборатории Одесского государственного университета им. И.И.Мечникова.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на: конференции молодых ученых и специалистов ИТМО АН БССР им. А.В.Лыкова "Гидрогазодинамика, тепло- и массообмен в энергетических установках", Минск, 1983; XXIV научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ЭНИИ им. Г.М.Крижановского, Москва, 1984; XV конференции молодых ученых ИТЭ АН УССР, Киев, 1984; II Всесоюзной научной конференции по электрохимической энергетике, Москва, 1985; 52-й (1983 г.), 54-й (1985 г.), 57-й (1988 г.) научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников СИНТЭ.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и приложений, содержит 94 машинописных страницы основного текста, 49 рисунков и 26 страниц приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проведенный в первой главе анализ литературных данных показал:

- использование наиболее доступного и дешевого окислителя - кислорода, содержащегося в окружающем воздухе, позволяет повысить энергоемкость и снизить стоимость элементов ХИТ;
- за последние два десятилетия достигнуты большие успехи в разработке и создании воздушных газодиффузионных электродов;
- известен ряд математических моделей, описывающих электродные процессы на воздушном электроде, которые содержат большое количество неизвестных констант, характеризующих свойства электрода;
- концентрация кислорода в воздухе существенно влияет на поляризационную характеристику воздушного электрода;
- не изучено влияние массообмена между воздушным электродом и окружающей средой на характеристики элемента;
- существующие модели воздушных электродов не позволяют рассчитать поляризационную характеристику, поскольку в них фигурирует большое количество констант, которые для каждого электрода необходимо определять экспериментально, причем, независимо друг от друга;
- известные работы по испарению из пористых матриц содержат противоречивые результаты;
- не известны численные значения характеристик воздушных электродов, необходимые для проведения расчетов;
- исследована зависимость поляризационной характеристики воздушного электрода от концентрации кислорода лишь при больших концентрациях кислорода;
- в литературе известны оценки неравномерности тока вдоль воздушного электрода вследствие ограничений массопереносу кислорода, полученные для частных случаев при дополнительных допущениях;
- отсутствует экспериментальная проверка неравномерности тока вдоль воздушного электрода;
- отсутствуют инженерные методы расчета вольт-амперных и разрядных характеристик ХИТ с воздушными электродами.

Указанные недостатки и отсутствие необходимых сведений определили цель работы.

Во второй главе приведены результаты расчетного и экспериментального исследования испарения воды из реальных воздушных электродов. Опыты проводились как с открытыми воздушными электродами, так и при естественной или вынужденной конвекции воздуха в плоском канале, одной из стенок которого являлся воздушный электрод. Хорошее согласование результатов при естественной и вынужденной конвекции подтверждает справедливость уравнения для расчета расхода воздуха в канале при естественной конвекции:

$$G = 8g\delta h^3 \Delta \rho / (A\nu). \quad (1)$$

Это уравнение получено из условия равенства подъемных сил и сил трения в канале и может использоваться также в случае срабатывания кислорода и тепловыделений на воздушном электроде.

Для случая конвективного переноса водяного пара в канале проведено численное решение уравнения

$$\frac{d^2 c_n}{dx^2} + \frac{1}{1-c_n} \frac{dc_n}{dx} \left(\frac{dc_n}{dx} - Pe \right) + \frac{1}{L} \ln \left(\frac{1-c_{n2}}{1-c_{n1}} \right) = 0. \quad (2)$$

Результаты расчетов и опытов хорошо согласуются (рис. 1). Видны три характерные области: при $PeH/\nu < 0,5$ испарение определяется только параметрами канала; при $0,5 < PeH/\nu < 20$ — как параметрами канала, так и параметрами воздушного электрода; при $PeH/\nu > 20$ — только параметрами электрода. Интенсивность конвективной массоотдачи в канале оказывает влияние на испарение лишь в средней области, причем это влияние невелико: увеличение коэффициента массоотдачи в 10 раз приводит к увеличению испарения лишь на 7%. Влияние параметров электрода на испарение определяется одной величиной — эффективной величиной заглубления поверхности испарения H , значения которой для исследованных электродов представлены на рис. 1.

В случае отсутствия принудительной конвекции, когда массоперенос осуществляется только диффузией и конвективным стефановским потоком проведено численное решение уравнения массопереноса

$$\frac{d^2 c_n}{dx^2} + \frac{1}{1-c_n} \left(\frac{dc_n}{dx} \right)^2 + \frac{1}{L} \ln \left(\frac{1-c_{n2}}{1-c_{n1}} \right) = 0, \quad (3)$$

результаты которого представлены на рис. 2. Получено также приближенное аналитическое решение уравнения (3):

$$\bar{Y}_n / Y_{n\infty} = 1 / (L_{от} / L + \alpha), \quad (4)$$

где $\alpha = (6L+2)/(6L+0,5)$ при $L/L < 6$ и $\alpha = \sqrt{L+0,25}-0,5$ при $L/L > 6$. Результаты решений согласуются между собой и с результатами опытов.

В третьей главе представлены результаты расчетного и экспериментального изучения взаимосвязи массопереноса кислорода и генерации тока в плоском прямоугольном элементе.

Из уравнений электрохимической кинетики следует, что плотности тока на воздушном электроде i_1 и i_2 при одинаковом потенциале и разных концентрациях кислорода C_{K1} и C_{K2} связаны соотношением:

$$i_1 / i_2 = (C_{K1} / C_{K2})^k. \quad (5)$$

Как следует из рис. 3, эта зависимость согласуется с опытными данными. Свойства каждого воздушного электрода характеризуются единственной величиной k , значение которой нетрудно определить экспериментально.

Уравнение массопереноса кислорода вдоль электрода в плоском воздушном канале элемента выглядит так:

$$\frac{d^2 c_K}{dx^2} + \frac{1}{1-c_K} \frac{dc_K}{dx} \left(\frac{dc_K}{dx} - Pe \right) - Y_{K\infty} (1-c_K) \left(\frac{C_K}{C_{K\infty}} \right)^k = 0, \quad (6)$$

где безразмерные параметры Pe и $Y_{K\infty}$ характеризуют, соответственно, расход конвективного потока воздуха в канале и стехиометрический расход кислорода при неограниченном доступе воздуха к электроду. Воздух в канал элемента поступает через входной участок, а выводится через выходной. Эти участки представляют собой щель или ряд отверстий, в них не происходит срабатывание кислорода, третий член в уравнении (6) для этих участков равен нулю, а само уравнение имеет решения:

$$L_{от1} (Pe + Y_{K1}) = \ln \frac{1 - C_{K1}^* (1 + Pe / Y_{K1})}{1 - C_{K1}' (1 + Pe / Y_{K1})}, \quad (7)$$

$$L_{от2} (Pe + Y_{K2}) = \ln \frac{1 - C_{K2}^* [1 + Pe / (Y_{K2} - Y_{K1})]}{1 - C_{K2}' [1 + Pe / (Y_{K2} - Y_{K1})]}. \quad (8)$$

Уравнения (5) — (8) совместно с граничными условиями $-C_{K1}' = C_{K2}'$ при $X_1 = 0$ и $C_{K2}^* = C_{K\infty}$ при $X_2 = 1$ и условиями сопряжения $-C_{K1}' = C_{K2}'$,

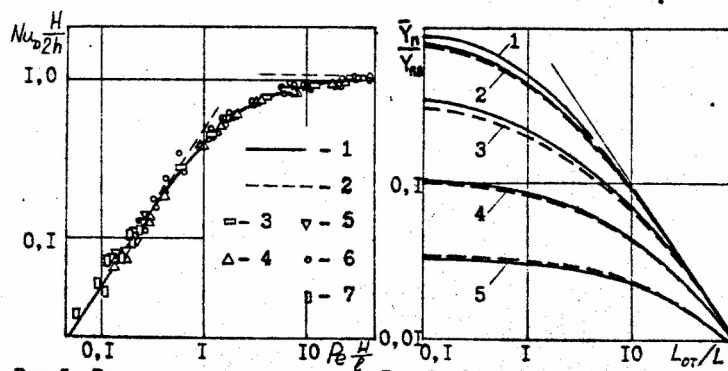


Рис.1. Результаты исследования массообмена при испарении воды из пористых электродов. 1 - численный расчет; 2 - приближенные аналитические решения; 3 - 7 - результаты опытов: 3, 4, 6 - вынужденная конвекция; 5, 7 - свободная конвекция. H , мм: 3 - 4,2; 4, 5 - 6,7; 6, 7 - 12,3

Рис.2. Обобщенные характеристики испарения из электрода при отсутствии конвекции. Сплошные линии - численное решение, штриховые - аналитическое. 1 - $L_{от1}/L = 0,1$; 2 - 1; 3 - 10; 4 - 100; 5 - 1000

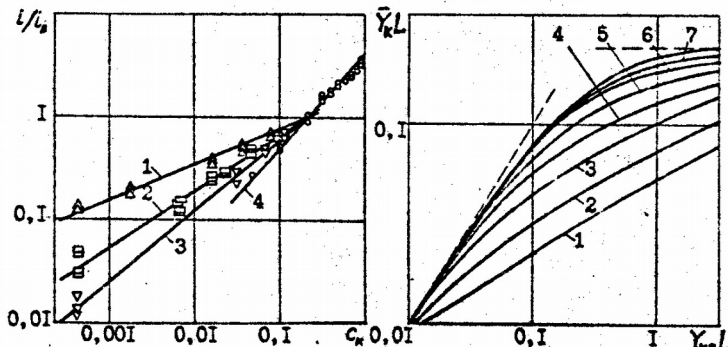


Рис.3. Обобщенная зависимость поляризационной характеристики воздушных электродов от концентрации кислорода. 1 - $k = 0,35$; 2 - 0,55; 3 - 0,69; 4 - 0,95

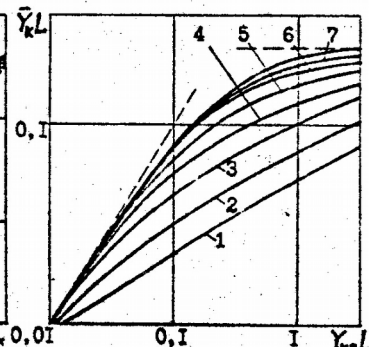


Рис.4. Безразмерная поляризационная характеристика воздушного электрода в плоском элементе при различных L : 1 - 0,02; 2 - 0,05; 3 - 0,1; 4 - 0,2; 5 - 0,5; 6 - 2; 7 - 5; 8 - ∞

$C''_k = C'_{k2}$ составляют математическую модель массопереноса кислорода и взаимосвязанного с ним процесса токообразования на воздушном электроде. Величины $L_{от1}$ и $L_{от2}$ характеризуют соотношение размеров элемента, комплекс Y_{k0} однозначно связан с величиной поляризации воздушного электрода, а $\bar{Y}_k = Y_{k0} \int i/i_0 dx$ характеризует величину среднего тока при наличии транспортных затруднений. Зависимость \bar{Y}_k от Y_{k0} представляет собой обобщенную поляризационную характеристику воздушного электрода (рис.4). Эта характеристика для элемента с любым электродом определяется только четырьмя величинами: Pe , k , $L_{от1}$, $L_{от2}$.

Влияние Pe на обобщенную поляризационную характеристику представлено на рис. 5 в виде зависимости $\bar{Y}_k/Y_{k0} \equiv i/i_0$ от Pe/Y_{k0} . При больших Pe массоперенос обеспечивается, главным образом, конвекцией, роль диффузии незначительна. В этом случае получены аналитические решения для распределения тока и обобщенной поляризационной характеристики:

$$\bar{Y}_k/Pe \cdot (1/c''_{k1} - 1) = 1 - [1 - (1/c''_{k1} - 1)(1-k)Y'_k/Pe]^{1/(1-k)}, \quad (9)$$

$$(1 - i/i_0)^{1-k} / (1 - i'^k) = (1-k)X Y_0 / Pe, \quad (10)$$

где $Y'_k = Y_0 (C''_{k1}/C_{k0})^k$, а C''_{k1} определяется по уравнению (3). Последнее уравнение справедливо при $Pe/Y'_k > 10/\sqrt{Y'_k(1-k)}$. Определяющая роль диффузии и незначительная - конвекции наблюдается в другом предельном случае при $Pe/Y'_k < 1/\sqrt{Y'_k(1-k)}$. Для таких условий можно рекомендовать приближенные решения:

$$\bar{Y}_k = 0,25 Y'_k + 6 \ln \left[\frac{1 - C_{k0} (2 \bar{Y}_k / Y_{k0} - Y'_k / Y_{k0})^{1/k}}{1 - C''_{k1}} \right], \quad (11)$$

$$i/i_0 = Y'_k / Y_{k0} - 2(\bar{Y}_k - Y'_k) / Y_{k0} X, \quad (12)$$

$$\bar{Y}_k = 4(1 + Y'_k / \bar{Y}_k) \ln [1 / (1 - C''_{k1})], \quad (13)$$

$$i/i_0 = Y'_k / Y_{k0} (1-X) \left[1/c_{k0} - (1/c_{k0} - 1) \exp(\bar{Y}_k L_{от1}) \right]^k Y'_k / \bar{Y}_k - 1 \quad (14)$$

Уравнения (11) и (12) получены при допущении о линейном распределении плотности тока, которое наблюдается при $\bar{Y}_k/Y'_k > 0,5$. В про-

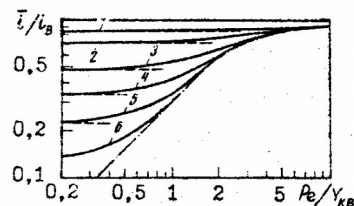


Рис. 5. Влияние конвективного потока воздуха на характеристику воздушного электрода при $k = 0,5$, $L_{от} = 0,001$ и различных Y_{KB} : 1 - 1; 2 - 2; 3 - 5; 4 - 10; 5 - 20; 6 - 50. Сплошные линии - численное решение уравнений 6 - 8, штриховые - расчет по 11, 13, штрихпунктирные - расчет по 9.

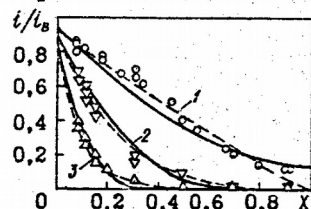


Рис. 7. Распределение плотности тока при отсутствии конвекции воздуха и одностороннем 1 - 3 или двустороннем 4; 5 доступе воздуха к электроду в случае различных Y_{KB} : 1 - 1,44; 2 - 5,76; 3 - 21,8; 4 - 0,8; 5 - 3,55. Сплошные линии - численное решение уравнений 6 - 8, штриховые - расчет по 14, штрихпунктирные - расчет по 12. Значения k и $L_{от}$ см. рис. 6.

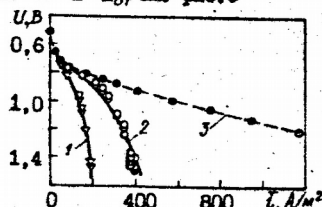


Рис. 8. Расчетные и опытные поляризационные характеристики элемента при отсутствии принудительной конвекции воздуха. 1 - односторонний доступ воздуха; 2 - двусторонний доступ; 3 - неограниченный доступ

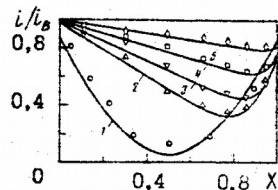


Рис. 6. Расчетное и опытное распределение тока вдоль воздушного электрода при $k = 0,55$, $L_{от} = 0,051$ и различных параметрах конвективного движения воздуха Pe : 1 - 0; 2 - 9,17; 3 - 12,8; 4 - 17,1; 5 - 29,3 при различных Y_{KB} : 1 - 5,02; 2 - 4,98; 3 - 4,93; 4 - 4,21; 5 - 3,55

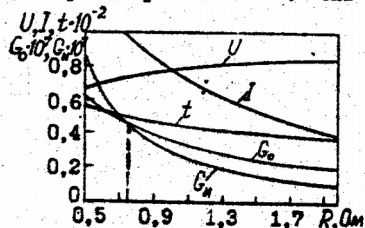


Рис. 9. Зависимость напряжения U , В, тока I , А, температуры t , °С, расходов образующейся G_0 , кг/с воды в воздушно-водородном топливном элементе от электрического сопротивления нагрузки R , Ом

II

тивным случае следует пользоваться уравнениями (I3) и (I4), полученными при допущении о степенном распределении плотности тока.

Численные и аналитические решения согласуются между собой и с результатами опытов. Примеры приведены на рис. 5 - 8.

В четвертой главе приведены результаты комплексного изучения тепломассопереноса и примеры расчета характеристик реальных источников тока.

Во второй и третьей главах массоперенос кислорода и азотного пара рассматривались независимо друг от друга. В общем случае следует ожидать их взаимного влияния. В результате совместного решения уравнений массопереноса кислорода и водяного пара получены приближенные аналитические решения, позволяющие рассчитать это взаимовлияние. Выявлены условия, когда в работающем электроде происходит конденсация водяного пара, несмотря на то, что градиент концентрации направлен от поверхности жидкости и в неработающем электроде происходит испарение.

Описана методика расчета воздушно-водородного топливного элемента со свободноконвективным движением воздуха в каналах вдоль воздушных электродов и естественным воздушным охлаждением через ребристую стенку. В основу методики положено уравнение теплового баланса, средняя величина плотности тока определялась по уравнению (I0), расходы воздуха в канале элемента и межреберном зазоре - по (I), расход испаряющейся воды - по рекомендациям главы 2. Пример результатов расчетов представлен на рис. 9.

Другим типом ХИТ, для которого применялись полученные результаты, является дисковый воздушно-цинковый элемент, в который доступ воздуха обеспечивается через дыхательное отверстие в корпусе, а движение кислорода вдоль электрода происходит от отверстия в радиальных направлениях. Проведено численное решение уравнения массопереноса кислорода в цилиндрических координатах, получена обобщенная поляризационная характеристика воздушного электрода.

Следует отметить, что величина предельного тока дискового элемента определяется не только параметрами дыхательного отверстия, как у плоских прямоугольных элементов (рис. 4), но и параметрами воздушного зазора между электродом и корпусом. Экспериментально получены вольт-амперные характеристики дискового элемента, которые хорошо согласуются с результатами расчета для сходных условий (рис. 10).

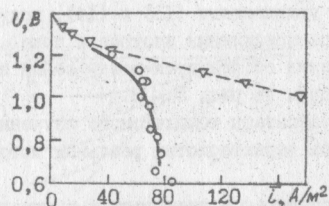


Рис. 10. Вольт-амперная характеристика дискового воздушно-цинкового элемента с дыхательным отверстием в корпусе. Сплошная линия — расчет для условий опытов; штриховая — неограниченный доступ воздуха.

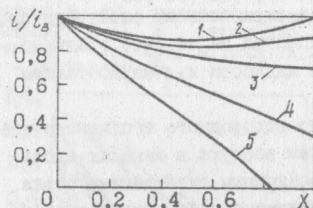


Рис. 11. Неравномерность тока в элементе при отсутствии конвекции воздуха и различной безразмерной скорости движения металлического анода. γ_m : 1 — 0; 2 — 0,33; 3 — 0,7; 4 — 1,5; 5 — 2,5.

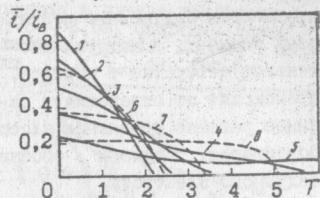


Рис. 13. Обобщенные разрядные характеристики при незначительной неравномерности тока вдоль элемента $L_{or} = 5$, штриховые линии и существенной неравномерности тока $L_{or} = 0,01$, сплошные линии для различных значений γ_{kb} : 1 — 0,2; 2 — 0,5; 3 — 1; 4 — 2; 5 — 5; 6 — 0,05; 7 — 0,1; 8 — 0,2.

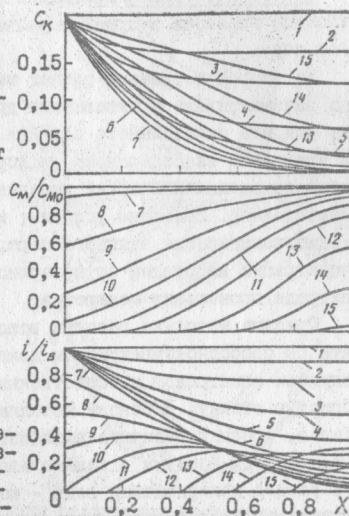


Рис. 12. Неравномерность распределения концентрации кислорода C_k , относительной концентрации металла C_m/C_{m0} и относительной плотности тока i/i_0 вдоль элемента при $\gamma_{kb} = 2$ и $L_{or} = 0,01$ в различные моменты времени T : 1 — 0; 2 — $5 \cdot 10^{-5}$; 3 — 10^{-4} ; 4 — $2 \cdot 10^{-4}$; 5 — $3 \cdot 10^{-4}$; 6 — $4 \cdot 10^{-4}$; 7 — 0,1; 8 — 0,5; 9 — 1,0; 10 — 1,5; 11 — 2,0; 12 — 2,5; 13 — 3,5; 14 — 4,5; 15 — 5,5.

В воздушно-металлических топливных элементах производится непрерывный подвод не только кислорода, но и металлического топлива путем продавливания в канале пасты из металлического порошка и электролита. Концентрация неокисленного металла вдоль элемента изменяется. В таком случае аналогично уравнению (5) можно записать:

$$i/i_{s0} = (C_k/C_{kb})^{k_1} (C_m/C_{m0})^{k_2} \quad (I5)$$

Уравнение конвективного переноса металлического топлива выглядит так:

$$\frac{dC_m}{dx} = - \frac{\gamma_{m0}}{Y} \frac{i}{i_{s0}} \quad (I6)$$

Решая совместно уравнения (6), (I5) и (I6) можно получить распределение тока вдоль элемента и вольт-амперную характеристику. Примеры подобных расчетов приведены на рис. II.

В работе также проведен анализ нестационарных процессов и расчет разрядных характеристик воздушно-металлических элементов.

Уравнения нестационарного массопереноса кислорода в воздушном канале и срабатывания металла выглядят так:

$$\gamma_b S \frac{\partial C_k}{\partial T} = \frac{\partial^2 C_k}{\partial x^2} - Pe \frac{\partial C_k}{\partial x} - C_k \frac{\partial Pe}{\partial x} - \gamma_{kb} \frac{i}{i_b}, \quad (I7)$$

$$\frac{\partial C_m}{\partial T} = - \frac{i}{i_b} \quad (I8)$$

Следует подчеркнуть, что последнее уравнение получено при допущении о постоянстве потенциала по металлическому аноду, что возможно лишь при незначительной роли омической поляризации анода в течение всего времени разряда. Для замыкания системы (I7)–(I8) следует добавить уравнение неразрывности и уравнение связи электрохимических и массопереносных процессов (I5). Результаты численного решения этой системы представлены на рис. I2. В начале разряда распределение тока соответствует данным второй главы, затем, вследствие более быстрого окисления металла на участках с большей плотностью тока, происходит уменьшение плотности тока на этих участках, а на участках с малой плотностью тока — увеличение вследствие увеличения концентрации кислорода. В конце разряда плотность тока везде падает до нуля. Столь сложное изменение распределения плотности тока наблюдается не всегда. Если неравномерность тока в начальный период не велика, то наблюдается постепенное уменьшение плотности тока по всему элементу. На рис. I3 также представлены обобщенные разрядные характеристики $i/i_b = f(T, L_{or}, \gamma_{kb})$.

ВЫВОДЫ

1. Для проведения инженерных расчетов поляризационных характеристик воздушных электродов можно использовать простую их зависимость от концентрации кислорода в воздухе (5), согласно которой свойства электрода учитываются лишь одним эффективным параметром электрода.

2. Зона совместного влияния диффузионного и конвективного массопереноса в воздушном канале элемента не велика, в большинстве случаев можно считать, что массоперенос как кислорода, так и водяного пара обеспечивается либо только диффузией совместно с конвективным стефановским потоком, либо только принудительной конвекцией, для этих случаев целесообразно применять рекомендованные аналитические решения.

3. При отсутствии принудительной конвекции воздуха вдоль воздушного электрода предложенная обобщенная поляризационная характеристика электрода определяется только двумя безразмерными величинами – геометрическим параметром дыхательного отверстия $L_{от}$ и параметром электрода K . В случае конвективного движения воздуха эта характеристика зависит еще от двух величин – безразмерного расхода воздуха в канале и геометрического параметра выходного дыхательного отверстия.

4. Для опытного определения неравномерности распределения тока вдоль воздушного электрода, вызванной как ограниченным массообменом с окружающей средой, так и неоднородностью воздушного электрода, рекомендованы описанные в работе экспериментальные методики.

5. Массоперенос кислорода и водяного пара в воздушных каналах элементов оказывают взаимное влияние друг на друга. Это приводит к усилению или ослаблению каждого из процессов. По этой причине в воздушном электроде работающего элемента при определенных условиях может происходить конденсация водяного пара из воздуха, в то время, как в неработающем элементе при тех же условиях происходит испарение воды. Влияние массопереноса пара на массоперенос кислорода обычно становится существенным при температуре выше 40°C.

6. При разряде воздушно-металлического элемента неравномерность распределения тока вдоль воздушного электрода, вызванная неравномерностью концентрации кислорода, приводит к неравномерному расходованию анодного материала и перераспределению тока, а, следовательно, и концентрации кислорода. В результате на одних

участках элемента плотность тока ограничена величиной концентрации кислорода, а на других участках – концентрацией анодного материала. Перераспределение протекающих процессов приводит к изменению среднего тока, которое в некоторых случаях может быть немонотонным.

7. Полученные результаты могут служить основой для разработки инженерных методик расчета источников тока с воздушными электродами, причем для некоторых типов источников тока могут быть непосредственно использованы примеры методик, описанные в работе, а также программы расчета на ЭВМ, приведенные в приложениях.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Буз В.Н. Экспериментальное исследование массообмена при испарении из пористых электродов//Гидрогазодинамика, тепло- и массообмен в энергетических установках. Минск, ИТМО АН БССР, 1984. – С. 166-170.
2. Буз В.Н., Тонконогий Ю.Л. Испарение воды и его влияние на транспорт кислорода к поверхности реакции в газожидкостном электроде//Электрохимическая энергетика. Тез.докл. 2 Всесоюз. конф. М.: Моск. энерг. ин-т, 1985. – С. 163
3. Буз В.Н., Тонконогий Ю.Л. Взаимовлияние транспорта кислорода и водяного пара в воздушных электродах//Электрохимия, 1985. – Т.21, – Вып.4. – С. 552-554
4. Буз В.Н., Тонконогий Ю.Л., Пастух О.П. Массоперенос при испарении воды из пористых электродов с заглубленной поверхностью испарения//Инж.-физ.ж., 1985. – Т.48, № 3. – С. 503-504
5. Буз В.Н. Поляризационные характеристики воздушных электродов при ограниченном доступе воздуха//Электрохимия, 1988. – Т.24. – Вып. 3. – С. 415-416
6. Буз В.Н. О влиянии характеристик воздушного электрода на работу элемента с конвективной доставкой воздуха//Электрохимия, 1988. – Т.24. – Вып.4. – 535-537
7. Буз В.Н. Об определяющей роли процессов тепломассообмена при работе воздушно-водородных ЭХГ со свободноконвективным движением воздуха//Инж.-физ.ж., 1988. – Т.55. – № 4. – С. 665-666
8. Буз В.Н. Массоперенос водяного пара в ХИТ с воздушными электродами при отсутствии конвекции воздуха//Инж. физ.ж., 1988. – Т.54. – № 5. – С. 848

9. Буз В.Н. Влияние транспортных затруднений на поляризацию воздушного электрода//Электрохимия, 1988. - Т.24. - Вып.10. - С. 1425 - 1427

10. Буз В.Н. Метод расчета разрядных характеристик воздушно-металлического элемента//Электрохимия, 1990. - Т.26. - Вып. 2. - С. 373 - 376

Условные обозначения

$A \equiv \lambda Re$ - гидравлический параметр канала; b - ширина электрода;
 C - объемная концентрация; D - коэффициент диффузии; G - расход;
 h - высота воздушного канала; k - кинетический параметр электрода; l - длина электрода; $L \equiv H/l$; $L_{от} \equiv l_{от} \omega / (l \omega_{от})$;
 M - молекулярная масса; $Pe \equiv v 2h / \nu$ - критерий Пекле; $Re \equiv \frac{\rho v 2h}{\mu}$ - критерий Рейнольдса; v - скорость; x - продольная координата;
 $S \equiv M_m \rho_{во} h / (M_s \rho_{мо} \delta)$; $T \equiv Y_e S \tau / (D l^2)$; $X \equiv x / l$; $Y \equiv G l / (\rho \omega D)$;
 δ - толщина анода; λ - коэффициент сопротивления; μ - коэффициент динамической вязкости; ρ - плотность; ω - площадь поперечного сечения канала, τ - время.
 Индексы: в - неограниченный доступ воздуха к электроду; к - кислород; м - металл; от - дыхательное отверстие; п - водяной пар; 0 - начальные параметры; 1 и 2 - входное и выходное дыхательное отверстие; ' и '' - вход и выход из участка.

г.Одесса, ротاپринт ОИНТЭ. Подписано в печати 22.08.90.
 Объем 1, Оп.л. Тираж 100. Заказ 1384-90.