

УДК 544.6.018.4

DOI 10.26456/vtchem2025.3.10

АКТИВАЦИЯ ЖИДКИХ И ГЕЛЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ АСИММЕТРИЧНЫМ ПОЛЕМ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Я.О. Шабловский

*Гомельский государственный технический университет
им. П.О. Сухого, г. Гомель*

Выявлены возможности и потенциальные преимущества активации электрохимических процессов в жидких и гелевых электролитах посредством создаваемых изолированными электродами асимметричных полей – статических либо однопольно изменяющихся. Дано аналитическое описание магнитоэлектрохимического, электрокалорического и магнитокалорического эффектов. Показано, что для активации электродных процессов в вязких электролитах необходимо асимметричное чередование полуволн действующего извне монополярного электрического поля: в гелевых электролитах и в растворах – треугольного, а в расплавах – трапециевидного.

Ключевые слова: жидкий электролит, гелевый электролит, магнитоэлектрохимический эффект, магнитокалорический эффект, электрокалорический эффект, америций, кюрий, электродный процесс.

Введение

Гелевые электролиты обладают по сравнению с жидкими электролитами рядом эксплуатационных преимуществ, но, как правило, уступают последним по электропроводности. Это отставание считают неизбежным, расценивая его как закономерное снижение ионной подвижности при повышении вязкости среды. Между тем, если обеспечить упорядоченность миграций ионов в полимерной матрице гелевого электролита, то его электропроводность окажется выше электропроводности исходного раствора.

В самом деле, установлено [1], что электролит в геле инициирует самосборку с образованием квазирегулярной пространственной гелевой сетки. Благодаря ей на изотермах электропроводности гелевых электролитов имеется отчетливо выраженный концентрационный максимум [2]. Его положение, однако, в силу общих закономерностей [3] не соответствует оптимуму других (прежде всего, механических) свойств. Кроме того, плотность гелевой сетки зависит от концентрации

полимера в растворе весьма сложным образом [4]. В связи с этим желателен способ повысить электропроводность гелевого электролита произвольного состава.

Предлагается использовать эффект, названный в работе [5] электропроводностью самоорганизации, а именно, упорядочить миграции ионов в объеме вязкого электролита, используя поле изолированных электродов. Такое поле действует на электролит извне, поэтому повышение продуктивности целевого электродного процесса не повлечёт за собой повышения энергозатрат, соразмерного повышению плотности тока. Особое значение имеет применимость указанной активационной схемы как для гелевых, так и для жидких электролитов, продемонстрированная в работах [6, 7]. В них изучалась активация ионного переноса в вязких электролитах посредством биполярных симметрично-периодических полей. В нашей работе выявлены потенциальные возможности и преимущества активации электродных процессов в жидких и гелевых электролитах посредством асимметричных полей – статических либо монополярных.

Теоретический анализ

В свете общих законов химической кинетики очевидно, что селективное активирование процесса в реакционной системе возможно только при условии, что активирующее воздействие обеспечивает кинетическую асимметрию – однонаправленность во времени либо в пространстве. Статические поля удовлетворяют названному требованию "автоматически": в электростатическом поле система неинвариантна относительно инверсии пространства, а в магнитостатическом поле система неинвариантна относительно инверсии времени. На практике, однако, обычно используют симметрично-периодическое поле: напряжённость поля изменяется циклично, а полуволны чередуются симметрично либо антисимметрично. Для магнитохимической активации такое поле применимо только в случаях, когда объект воздействия ферромагнитен, т.е. обладает магнитной доменной структурой, гистерезисная релаксация которой "задержит" в веществе часть энергии намагничивающего поля. Если же активируемый объект не имеет доменной структуры, то симметрично-периодическое поле при быстрой структурной релаксации вовсе не окажет значимого воздействия, а при замедленной структурной релаксации вызовет мезоскопическую хаотизацию. Последнее подтверждено экспериментально: обнаружено [8], что прямоугольные импульсы магнитного поля вызывают хаотизацию в расположении макромолекул,

вследствие чего абсолютные значения вязкости гелей возрастают на порядок.

В работе [9] показано: при безинерционном отклике вещества на электрическое либо магнитное воздействие в объеме образца возникает соответственно электрострикционное давление

$$p_e = LE^2, (1)$$

либо магнитострикционное давление

$$p_m = \frac{\chi h^2}{2}, (2)$$

где

$$L = \frac{\varepsilon^2 - 1}{8\pi\varepsilon^2}, (3)$$

E – напряжённость электрического поля, h – напряжённость магнитного поля, ε – диэлектрическая проницаемость, χ – магнитная восприимчивость. Аддитивные величины p_e и p_m соответствуют электроиндуцированному и магнитоиндуцированному вкладам в результирующее давление термодинамически равновесного состояния вещества. Это означает, что вызванные воздействиями электрического и магнитного поля приращения молярной энергии Гиббса индивидуального вещества выражаются соответственно равенствами

$$\Delta_e G = VLE^2, (4)$$

$$\Delta_m G = \frac{V\chi h^2}{2}, (5)$$

где V – молярный объём. Чтобы найти аналогичные приращения молярной энтропии S , применим термодинамические тождества

$$\left(\frac{\partial S}{\partial E}\right)_T = \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial E}\right)_T; \quad \left(\frac{\partial S}{\partial h}\right)_T = \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial h}\right)_T; \quad \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -V^\circ \alpha,$$

где

$$\alpha = \frac{1}{V^\circ} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

– коэффициент объёмного теплового расширения, V° – молярный объём при стандартных условиях. Тогда из (1) и (2) получим:

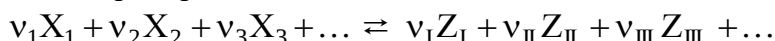
$$\Delta_e S = -V^\circ \alpha LE^2, (6)$$

$$\Delta_m S = - \frac{V^\circ \alpha \chi h^2}{2}. (7)$$

Из формул (4) и (5) видно, что для отдельных компонентов реакционной системы электро- и магнитоиндуцированные приращения энергии Гиббса положительны; исключение – отрицательные приращения $\Delta_m G$ у диамагнитных веществ. Определяемая для реакционной системы в целом величина $\Delta_r G$ в анизотропном силовом поле может оказаться как положительной, так и отрицательной. Это означает, что электрические и магнитные поля могут смещать химическое равновесие: термодинамически запрещённая реакция станет возможной либо, наоборот, произойдёт электрическое или магнитное подавление реакции.

Магнитохимическая активация

Из (5) вытекает, что для неферромагнитных реакционных систем уравнение изотермы реакции



при $h \neq 0$ принимает вид

$$\Delta_r G = RT \left(\ln \mathcal{A} - \ln K^\circ + \ln b \right). (8)$$

Здесь

$$\mathcal{A} = \frac{a_1^{\nu_1} \cdot a_2^{\nu_2} \cdot a_3^{\nu_3} \cdot \dots}{a_1^{\nu_1} \cdot a_2^{\nu_2} \cdot a_3^{\nu_3} \cdot \dots}, \ln b = \frac{p_m V}{RT},$$

a – активность соответствующего компонента, K° – стандартная константа равновесия при $h = 0$, R – универсальная газовая постоянная. Общеизвестно, что $\Delta_r G = -zFE$, где z – число электронов, участвующих в реакции, E – эдс соответствующей электрохимической цепи, F – постоянная Фарадея. Обозначив $E_0^\circ = E^\circ \Big|_{h=0}$, из (8) получаем:

$$E^\circ = E_0^\circ - \psi h^2, (9)$$

где

$$\psi = \frac{\chi V}{2zF} (10)$$

– магнитоэлектрохимический коэффициент (см. таблицу).

Равенства (9), (10) количественно выражают магнитоэлектрохимический эффект: в магнитном поле усилится

электроположительность диамагнитных металлов, а парамагнитные металлы, наоборот, станут более электроотрицательными.

Магнитоэлектрохимический эффект имеет два основных аспекта.

Магнитоэлектрохимические коэффициенты

Электрод	$\psi, \text{мкВ}/(\text{кЭ})^2$	Электрод	$\psi, \text{мкВ}/(\text{кЭ})^2$
$\text{Ag}^+ \text{Ag}$	– 63,9912	$\text{Nd}^{3+} \text{Nd}$	6486,6293
$\text{Al}^{3+} \text{Al}$	18,049	$\text{Np}^{3+} \text{Np}$	628,9733
$\text{Au}^+ \text{Au}$	– 91,8848	$\text{Os}^{2+} \text{Os}$	18,0488
$\text{Au}^{3+} \text{Au}$	– 30,6283	$\text{Pd}^{2+} \text{Pd}$	886,0320
$\text{Ba}^{2+} \text{Ba}$	33,8005	$\text{Pb}^{2+} \text{Pb}$	– 37,7384
$\text{Be}^{2+} \text{Be}$	– 14,7612	$\text{Pb}^{4+} \text{Pb}$	– 18,8692
$\text{Bi}^{3+} \text{Bi}$	– 306,3921	$\text{Pm}^{3+} \text{Pm}$	5480,2720
$\text{Ca}^{2+} \text{Ca}$	65,6320	$\text{Pr}^{3+} \text{Pr}$	6049,0827
$\text{Cd}^{2+} \text{Cd}$	– 32,3238	$\text{Pt}^{2+} \text{Pt}$	316,6744
$\text{Ce}^{3+} \text{Ce}$	2734,6666	$\text{Pu}^{3+} \text{Pu}$	574,280
$\text{Cr}^{2+} \text{Cr}$	274,0136	$\text{Rb}^+ \text{Rb}$	55,7872
$\text{Cr}^{3+} \text{Cr}$	182,6757	$\text{Re}^{3+} \text{Re}$	73,2908
$\text{Cs}^+ \text{Cs}$	95,1664	$\text{Rh}^{3+} \text{Rh}$	111,5744
$\text{Cu}^+ \text{Cu}$	– 17,9175	$\text{Ru}^{2+} \text{Ru}$	63,9912
$\text{Cu}^{2+} \text{Cu}$	– 8,9588	$\text{Ru}^{3+} \text{Ru}$	42,6608
$\text{Er}^{3+} \text{Er}$	52505,60	$\text{Sc}^{3+} \text{Sc}$	322,9094
$\text{Eu}^{2+} \text{Eu}$	50700,720	$\text{Sm}^{3+} \text{Sm}$	1397,9616
$\text{Eu}^{3+} \text{Eu}$	33800,480	$\text{Sn}^{2+} \text{Sn}$	– 61,3659
$\text{Ga}^{3+} \text{Ga}$	– 23,6275	$\text{Sr}^{2+} \text{Sr}$	150,9536
$\text{Ge}^{2+} \text{Ge}$	– 19,033	$\text{Ta}^{5+} \text{Ta}$	101,0733
$\text{Hf}^{4+} \text{Hf}$	58,2484	$\text{Tc}^{2+} \text{Tc}$	188,692
$\text{Hg}^{2+} \text{Hg}$	– 54,9668	$\text{Th}^{3+} \text{Th}$	106,1051
$\text{Ho}^{3+} \text{Ho}$	79742,880	$\text{Th}^{4+} \text{Th}$	79,5788
$\text{In}^+ \text{In}$	– 33,4723	$\text{Ti}^{2+} \text{Ti}$	247,7608
$\text{In}^{3+} \text{In}$	– 11,1574	$\text{Ti}^{4+} \text{Ti}$	123,8804
$\text{Ir}^{3+} \text{Ir}$	27,3466	$\text{Tl}^{3+} \text{Tl}$	– 54,6933
$\text{K}^+ \text{K}$	68,2573	$\text{Tm}^{3+} \text{Tm}$	27893,6120
$\text{La}^{3+} \text{La}$	104,9018	$\text{U}^{3+} \text{U}$	447,3914
$\text{Li}^+ \text{Li}$	46,5987	$\text{U}^{4+} \text{U}$	335,5436
$\text{Lu}^{3+} \text{Lu}$	200,0682	$\text{V}^{2+} \text{V}$	467,6280
$\text{Mg}^{2+} \text{Mg}$	21,4945	$\text{V}^{3+} \text{V}$	311,7520
$\text{Mn}^{2+} \text{Mn}$	838,4488	$\text{Y}^{3+} \text{Y}$	205,3188
$\text{Mo}^{3+} \text{Mo}$	78,7584	$\text{Yb}^{3+} \text{Yb}$	73,2891
$\text{Na}^+ \text{Na}$	52,5056	$\text{Zn}^{2+} \text{Zn}$	– 15,0133
$\text{Nb}^{3+} \text{Nb}$	227,5243	$\text{Zr}^{4+} \text{Zr}$	98,4480

Во-первых, у жидких электролитов в магнитном поле резко изменяется коррозионная активность. Магнитоэлектрохимический эффект повысит коррозионную стойкость не только у диамагнитных металлов, но и у склонных к пассивации парамагнитных и ферромагнитных металлов, на поверхности которых под действием магнитного поля интенсивно образуется химически инертный слой. При намагничивании сплава его коррозия будет подавлена, если в магнитном поле у компонентов сплава электродные потенциалы сближаются; если же в магнитном поле различие электродных потенциалов компонентов сплава возрастает, то намагничивание этого сплава усилит его коррозию. Именно последняя закономерность обусловила неожиданный, по мнению авторов работы [10], результат их опытов: намагничивание повысило коррозионную стойкость "чистых" сплавов (Nd, Pr)FeB и резко снизило коррозионную стойкость таких же образцов с металлическим покрытием.

Во-вторых, если из жидкого электролита совместно выделяются родственные металлы, то магнитоэлектрохимический эффект способен существенно упростить их разделение. Продемонстрируем сказанное на примере америция **Am** и кюрия **Cm**. Эти трансплутониевые актиниды – наиболее ценные компоненты отработанного ядерного топлива, но в контакте с ними большинство веществ, в том числе вода, подвергается интенсивному радиолизу. По этой причине в промышленно значимых объёмах америций и кюрий можно получить только электролизом расплавов солей. Стандартные электродные потенциалы америция и кюрия практически совпадают [11], тогда как магнитная восприимчивость кюрия почти в 15 раз больше магнитной восприимчивости америция [12]. Столь же значительно различаются магнитоэлектрохимические коэффициенты этих металлов: согласно (10)

$$\psi_{Am} = \frac{0,765}{z} \text{ мВ/}(\kappa\text{Э})^2, (11)$$

$$\psi_{Cm} = \frac{10,667}{z} \text{ мВ/}(\kappa\text{Э})^2. (12)$$

Из (11) и (12) видно, что в магнитном поле можно не только обособленно выделить америций и кюрий при электролизе их общего солевого расплава, но и разграничить электрохимические процессы, задействующие одноимённые ионы с разными степенями окисления (т.е. с разными значениями z).

Калорическая активация

Учитывая гетерогенный характер электрохимических реакционных систем, для их активации целесообразно использовать электрокалорический и магнитокалорический эффекты, количественно характеризуемые соответственно электрокалорическим и магнитокалорическим коэффициентами

$$q_e = \left(\frac{\partial S}{\partial E} \right)_T, q_m = \left(\frac{\partial S}{\partial h} \right)_T. (13)$$

Из (6), (7) и (13) вытекает: у веществ с безинерционной поляризацией электрокалорический коэффициент

$$q_e = -2V^\circ \alpha L E, (14)$$

а магнитокалорический коэффициент

$$q_m = -V^\circ \alpha \chi h. (15)$$

Из (14) следует: если напряжённость электрического поля непрерывно и однонаправленно изменяется со временем t по закону $E(t)$, то к моменту $t = \bar{t}$ молярная энтропия несегнетоэлектрического вещества изменится на величину

$$\Delta_e S(\bar{t}) = -2V^\circ \alpha L \int_0^{\bar{t}} E(t) \frac{dE}{dt} dt. (16)$$

Из (15) следует: если напряжённость магнитного поля непрерывно и однонаправленно изменяется со временем по закону $h(t)$, то к моменту $t = \bar{t}$ молярная энтропия ферромагнитного вещества изменится на величину

$$\Delta_m S(\bar{t}) = -V^\circ \alpha \chi \int_0^{\bar{t}} h(t) \frac{dh}{dt} dt. (17)$$

В электрохимической реакционной системе однонаправленно изменяющееся магнитное поле произведёт двойной активационный эффект, т.к. в дополнение к калорической активации [формула (17)] создаст в объёме жидкого электролита градиентное распределение сил Лоренца, действующих на миграционные токи. Благодаря этому возникнет конвекция, подавляющая экранирование электрода диффузионным слоем.

Из формул (16) и (17) видно, что знаки калорических приращений $\Delta_e S$ и $\Delta_m S$ легко инвертировать изменением знаков величин $\varpi_E = dE/dt$ и $\varpi_h = dh/dt$ соответственно. При этом момент $t = 0$ в указанных формулах соответствует началу однонаправленного

изменения напряжённости поля. В технологическом процессе такое воздействие поля должно циклически повторяться, и тогда возникает необходимость обеспечить асимметричное чередование полуциклов поля, в особенности при активации электродных процессов. Исследуем возможность её осуществления.

Активация электродных процессов

Известно, что первостепенным фактором, ограничивающим продуктивность электродного процесса, является диффузионный предел плотности тока: $j \leq \bar{j}$. Электрохимические технологии совершенствуют, применяя переменные токи специальной формы. Переменным токам соответствует пониженный фарадеевский импеданс, что делает возможным проведение процесса при средней (по времени) плотности тока, значительно более близкой к диффузионному пределу $\bar{j}$, чем это осуществимо при постоянном токе, но повышение плотности тока соразмерно повышает энергозатраты. Во введении мы уже отмечали, что ионный перенос в вязком электролите можно интенсифицировать воздействием переменного электрического поля $\mathbf{E} = \vec{\mathbf{E}}(t)$, создаваемого изолированными электродами, т.е. действующего на электролит извне. Детализируем природу этого поля.

Во-первых, в вязкой среде электрическое поле изолированных электродов придаст ионам ускорение только при наличии кинетической асимметрии: нечётные и чётные полуциклы поля $\vec{\mathbf{E}}$ должны различаться формой и/или продолжительностью. Две названные асимметрии – пространственная и временная – влияют взаимонезависимо, поэтому наибольшую продуктивность обеспечит монополярное циклическое поле, сочетающее обе эти асимметрии.

Во-вторых, во избежание возникновения в ионной системе релаксационных явлений напряжённость поля $\vec{\mathbf{E}}$ в его ненулевых полуциклах должна изменяться со временем линейно:

$$\vec{\mathbf{E}} = \vec{\mathbf{E}}_0 + \varpi_E t, (18)$$

где $\vec{\mathbf{E}}_0 = \text{const}$, $\varpi_E = \text{const}$. Соответствующее приращение энтропии выразится вытекающим из (16) и (18) равенством

$$\Delta_e S = -V^\circ \alpha L \varpi_E \bar{t}_E (2\vec{\mathbf{E}}_0 + \varpi_E \bar{t}_E), (19)$$

где $\bar{t}_E$ – длительность непрерывного линейного изменения поля $\vec{\mathbf{E}}$.

В-третьих, для активации электролиза расплавов необходимо $\varpi_E < 0$: это обеспечит электрокалорический разогрев. При $\varpi_E > 0$ будет

иметь место электрокалорическое охлаждение, которое компенсирует джоулевский нагрев электролита, если

$$\varpi_E^+ < |\varpi_E^-|, (20)$$

где ϖ_E^+ и ϖ_E^- – соответственно скорости нарастания и убывания поля $\vec{E}$ в его ненулевом полуцикле. Такая компенсация целесообразна при активации гелевых электролитов и при электролизе растворов, перегрев которых чреват их пересыщением из-за чрезмерного испарения с зеркала электролизной ванны.

Совокупный учёт трёх названных ограничений позволяет сформулировать следующий вывод. Для активации электродных процессов в вязких электролитах необходимо асимметричное чередование полуциклов действующего извне монополярного электрического поля: в гелевых электролитах и в растворах – треугольного, а в расплавах – трапециедального (см. рис. 1).

Заключение

I. Для адиабатической активации электрохимического процесса следует использовать асимметричное силовое поле – статическое либо однонаправленно изменяющееся.

II. Для статической адиабатической активации предпочтительно магнитное поле. Его воздействие, во-первых, создаст в реакционной системе неинвариантность относительно инверсии времени, а во-вторых, индуцирует магнитоэлектрохимический эффект [формулы (9), (10)]. В магнитном поле у диамагнитных металлов усилится электроположительность, а парамагнитные металлы, наоборот, станут более электроотрицательными. Это обеспечивает возможность магнитохимического разделения родственных металлов, в частности трансплутониевых актиноидов [равенства (11), (12)].

III. Для динамической адиабатической активации целесообразно использовать электрокалорический и магнитокалорический эффекты [формулы (14) – (17)].

IV. Для активации электродных процессов в вязких электролитах необходимо асимметричное чередование полуциклов действующего извне монополярного электрического поля: в гелевых электролитах и в растворах – треугольного, а в расплавах – трапециедального [формулы (19), (20)].

V. Адиабатическая активация электрохимических процессов в гелевых средах позволит расширить возможности использования гелей в практике синтеза.

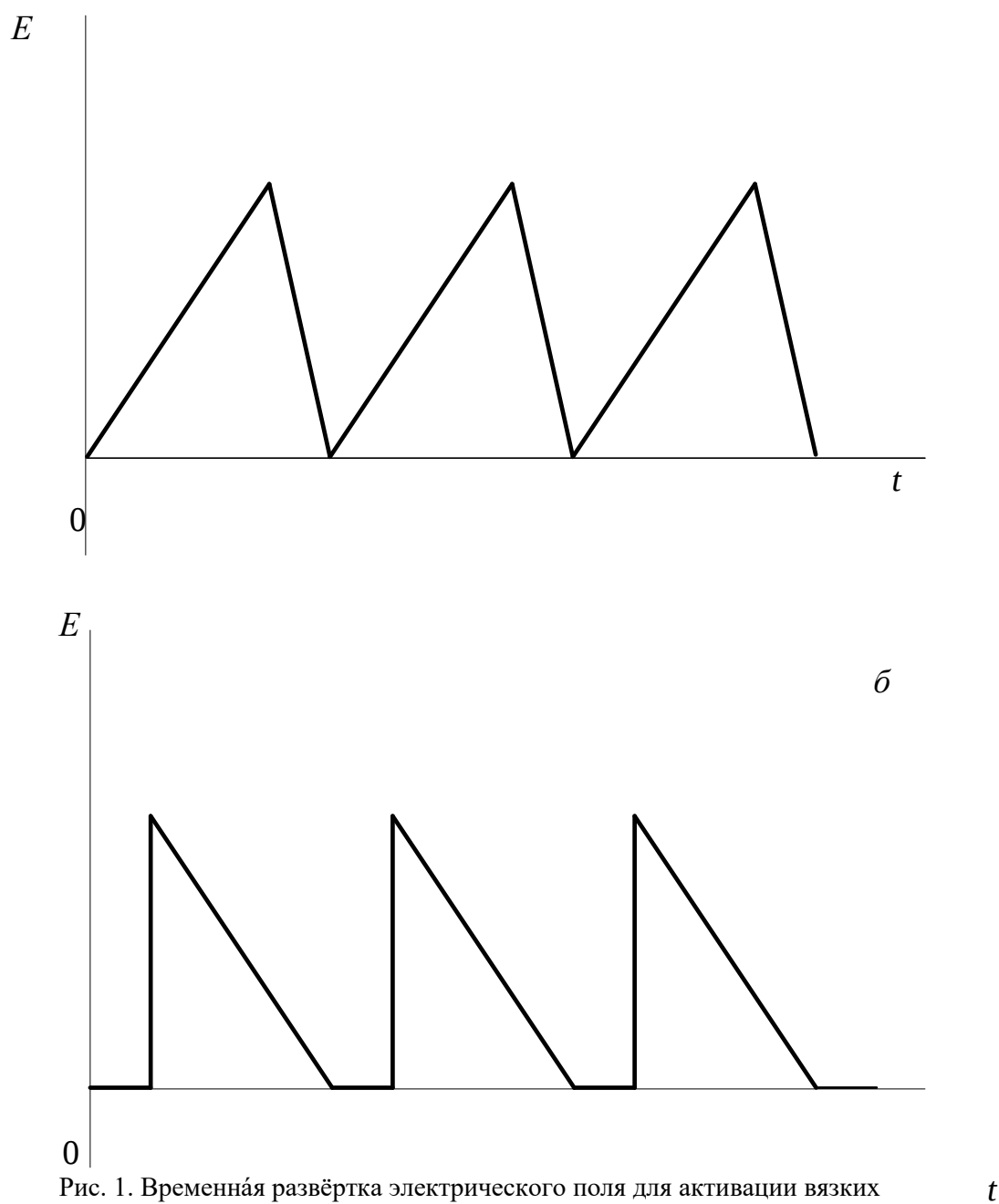


Рис. 1. Временная развёртка электрического поля для активации вязких электролитов: *a* – растворы и гелевые электролиты, *б* – расплавы.

Список литературы

1. Зеников Г.Р., Хижняк С.Д., Иванова А.И., Пахомов П.М. Процессы самоорганизации и гелеобразования в цистеин-серебряном растворе с

- участием хитозана и электролита // Коллоидный журнал. 2024. Т. 86. № 3. С. 317–328.
2. Сафонова Л. П., Шмуклер Л. Э. Полимерные электролиты на основе полибензимидазола, поли(винилиденфторид-со-гексафторпропилена) и ионных жидкостей // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2023. Т. 65, № 4, с. 249–274.
 3. Пахомов П.М., Хижняк С.Д., Овчинников М.М., Комаров П.В. Супрамолекулярные гели. Тверь: ТвГУ, 2011. 270 с.
 4. Вишневецкий Д. В., Адамян А. Н., Иванова А. И., Хижняк С. Д., Пахомов П. М. Процессы самоорганизации в водном растворе поливинилового спирта, L-цистеина и нитрата серебра // Высокомолекулярные соединения (серия А). 2019. Т. 61, № 1. С. 82–90.
 5. Сухарев Ю.И., Сухарева И.Ю., Кострюкова А.М. Электропроводность самоорганизации оксигидратных гелей // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2004. № 3. С. 81–85.
 6. Юдина Е. П. Влияние магнитного и электрического полей на свойства гелей оксигидрата иттрия: дис. ... канд. хим. наук : 02.00.21. Челябинск: Челябинский гос. пед. ун-т, 2006. 130 с.
 7. Казарян М.А., Шаманин И.В., Ломов И.В., Долгополов С.Ю., Дьяченко А.Н., Лобанов А.Н., Муравьев Э.Н. Электро- и магнитоиндуцированный перенос сольватированных ионов в изолированном растворе соли в полярном диэлектрике // Теоретические основы химической технологии. 2010. Т. 44, № 1. С. 60–68.
 8. Сухарев Ю.И., Крупнова Т.Г., Апаликова И.Ю., Юдина Е.П. Влияние магнитного поля на свойства оксигидратных гелей железа и иттрия // Вестник Южно-Уральского университета. Серия "Математика, физика, химия". 2005. Выпуск 6. С. 191–197.
 9. Шабловский Я.О. // Расчёт электростатических и магнитостатических эффектов в реакционных смесях // Теоретич. основы химич. технологии. 2020. Т. 54, № 5. С. 629–635.
 10. Кутепов А.В., Степнов А.А. Исследование влияния собственного магнитного поля на коррозионную стойкость постоянных магнитов (Nd, Pr)FeB // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11 (113). Часть 1. С. 33–36.
 11. Потапов А.М., Зайков Ю.П. Некоторые подходы к разделению америция и кюрия // В кн.: Арктический семинар по электрохимии редких металлов. Сборник докладов. Екатеринбург: Издательский дом "Ажур", 2024. С. 50–52.
 12. Kanellakopulos B., Blaise A., Fournier J.M., Müller W. The magnetic susceptibility of americium and curium metals // Solid State Communications. 1975. Vol. 17, № 6. P. 713–715.

Об авторах:

ШАБЛОВСКИЙ Ярослав Олегович – кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского сектора Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого, (246746, г. Гомель, просп. Октября, 48); e-mail: ya.shablowsky@yandex.ru

ACTIVATION OF LIQUID AND GEL ELECTROLYTES BY ASYMMETRIC FIELDS OF ISOLATED ELECTRODES

Ya. O. Shablowsky

Gomel State Technical University, Gomel

The paper deals with possibilities and potential advantages of selective adiabatic activation of electrochemical processes in viscous electrolytes subjected to asymmetric fields of isolated electrodes. Magnetoelectrochemical, electrocaloric and magnetocaloric effects are described analytically. Preferable forms of dynamical asymmetry of electric field are determined and distinguished for activating ionic transfer in electrolytic solutions and electrolytic melts.

Keywords: *liquid electrolyte, gel electrolyte, magnetoelectrochemical effect, magnetocaloric effect, electrocaloric effect, americium, curium, electrode process.*

Дата поступления в редакцию: 03.09.2025.

Дата принятия в печать: 10.09.2025.