

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-2-4-10>

УДК 620.93

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ТВЕРДООКСИДНЫХ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

<sup>2)</sup> Скаков М.К., <sup>1)</sup> Жилкашинова А.М., <sup>1)</sup> Кабдрахманова С.К., <sup>1)</sup> Сейтқанова М.Е., <sup>3)</sup> Шаймардан Е., <sup>1)</sup> Акатан К.

<sup>1)</sup> НАО «Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова», Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2)</sup> РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», Курчатов, Казахстан

<sup>3)</sup> НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», Алматы, Казахстан

E-mail для контактов: seitkanova05@mail.ru

В статье описаны результаты экспериментальных исследований по разработке новых активных электрокатализаторов для применения их в электродах мембранно-электродного блока твердооксидного водородно-воздушного топливного элемента. Поскольку состав синтезируемых катализаторов оказывает значительное влияние на его электрокинетическую активность (электропроводность), в работе проведен синтез наноразмерных биметаллических катализаторов различного качественного и количественного состава. Выбор металла для синтеза катализатора был обусловлен его электронным строением. Электрокаталитическая активность разработанных катализаторов оценивалась путем исследования активности катализаторов по отношению к разложению пероксида водорода. Разработанные биметаллические ПВПД-Pt/ZnO/C катализаторы проявляют активность по отношению к разложению пероксида водорода при 40–50 °С.

**Ключевые слова:** мембранно-электродный блок, твердооксидный водородно-воздушный топливный элемент, электрокатализатор, электрокаталитическая активность, биметаллические катализаторы.

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно [1–3], эффективность работы любого топливного элемента (ТЭ) во многом определяется активностью его электродов, поэтому разработка высокоэффективных электродов является основной задачей в получении топливного элемента с высоким КПД. Ускорить реакции в ТЭ можно только с помощью электродов, обладающих высокими каталитическими свойствами. Электроды должны обладать высокой электронной проводимостью, способностью адсорбировать и в той или иной степени активировать газ, химической инертностью по отношению к горючему и окислителю, а также электролиту [4]. Материалом для таких электродов могут служить специально обработанные - никель, кобальт, металлы группы платины, угли с сильно развитой поверхностью, на которые наносят катализаторы – мелкодисперсные порошки платины, родия и т.п. [5].

Часто применяемыми катализаторами для катода и анода низкотемпературных топливных элементов (метанольные топливные элементы, фосфорнокислотные топливные элементы, топливные элементы с протонообменной мембраной) являются композиционные материалы, состоящие из наночастиц платины или ее сплавов, нанесенных на поверхность электропроводного носителя [6].

В качестве носителя при синтезе наноразмерных катализаторов применяют различные углеродные материалы, которые должны обладать следующими свойствами: высокая проводимость; развитая удельная поверхность; коррозионная стойкость; термическая устойчивость; контролируемая пористая структура; эксплуатационные характеристики и возможность использования в составе композиционных ма-

териалов; относительно низкая стоимость. Этим критериям удовлетворяют различные по составу и свойствам углеродные материалы [7].

Введение в состав платинового катализатора некоторых d-металлов (Co, Fe, Ni, Cr, Ru, Re, V и др.) не только приводит к экономии драгоценного металла, но и может улучшать характеристики катализатора. Легирующий компонент, как правило, образует более или менее упорядоченный твердый раствор на основе платины, что в силу разных причин может повышать морфологическую стабильность и удельную каталитическую активность катализаторов. Свойства такого катализатора зависят от природы легирующего компонента, состава сплава и степени упорядоченности твердого раствора [5–7].

Применение в качестве электродов систем с наночастицами металлов платиновой группы, иммобилизованными на поверхности полимерных пленок [8–10], позволяет получать высокие токи выделения водорода и кислорода из водных растворов при относительно малом содержании металла-катализатора.

Для получения наночастиц платины, растворимых в органических растворителях, применяют специфические лиганды с длинными углеводородными цепями. Показано, что ионные жидкости также являются удобной средой для синтеза, стабилизации и каталитического использования наночастиц платины [10,11]. Водорастворимые полимеры с гетероатомами или с функциональными группами часто используются в качестве стабилизирующих лигандов. Весьма популярны в качестве лигандов дендримеры различного состава. Получены наночастицы платины с использованием поли(амидоамин) дендримера (РАМAM) в качестве лиганда для создания материа-

лов с заданными свойствами [12]. Использовали комбинации поли(этиленоксида) (ПЭО) и поли(метилметакрилата) (ПММА) и ПЭО-ПММА- $\text{H}_3\text{PO}_4$  в качестве электролита PEMFC. Диффузионный слой электродов состоял из сажи Vulcan XC72R, эмульсии фторопласта и 1% водного раствора ПЭО; в каталитическом слое применен порошок 20% Pt/C, 20% тефлона и 0,5% ПЭО. В водородно-кислородном PEMFC при 80 °C получена плотность тока 1,4 А/см<sup>2</sup> при напряжении 0,5 В [11–14].

Вместе с тем, электрокатализатор ТЭ должен сочетать высокую активность и достаточную морфологическую стабильность в процессе работы. Обе эти характеристики зависят от структуры и состава катализатора. Учитывая, что условия эксплуатации катода и анода различаются так же, как и условия эксплуатации катализаторов в разных типах низкотемпературных топливных элементов, при их разработке возникает необходимость получения катализаторов с заданным средним размером наночастиц металла, достаточно узкой дисперсией их размерного распределения, с большей или меньшей степенью упорядоченности твердых растворов. Это необходимо для подбора катализатора, оптимально сочетающего характеристики стабильности и активности применительно к конкретным условиям эксплуатации топливного элемента. В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является разработка и исследование эффективных каталитических систем для электродов ТЭ.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Электрокатализаторы Pt/Me, Pt/Me-Me были получены нами восстановлением прекурсоров металлов (платинохлороводородной кислоты  $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и хлоридов железа, кобальта, никеля и меди, а также нитрата серебра  $\text{FeCl}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CuCl}_2$ ;  $\text{AgNO}_3$ ) тетрагидроборатом натрия ( $\text{NaBH}_4$ ) гидратированным цитратом натрия ( $\text{C}_6\text{H}_9\text{Na}_3\text{O}_9$ ). Все реактивы были аналитической чистоты без дополнительной очистки. Для предотвращения агрегации коллоидных частиц металлов был использован протектирующий агент поли(N-винилпирролидон) (ПВПД) Sigma-Aldrich с молекулярной массой 40000 (ПВПД<sub>40</sub>). Дополнительная стабилизация моно- и биметаллических наночастиц металлов осуществлена с помощью оксида цинка (ZnO). С целью придания каталитической системе дополнительной активности, посаженный на оксид цинка катализатор смешивали с измельченным активированным углем марки БУА-А.

Полученные каталитические системы исследовали для каталитического дегидрирования этилового спирта и разложения пероксида водорода.

Электрокаталитические системы подготовлены следующим образом: готовят 0,001М растворы платины, железа, кобальта, никеля, меди и серебра, а также 10М раствор поли-N-винилпирролидона с молекулярной массой 40000. Раствор ПВПД<sub>40</sub> выдерживают в течение суток. Приготовление коллоидного рас-

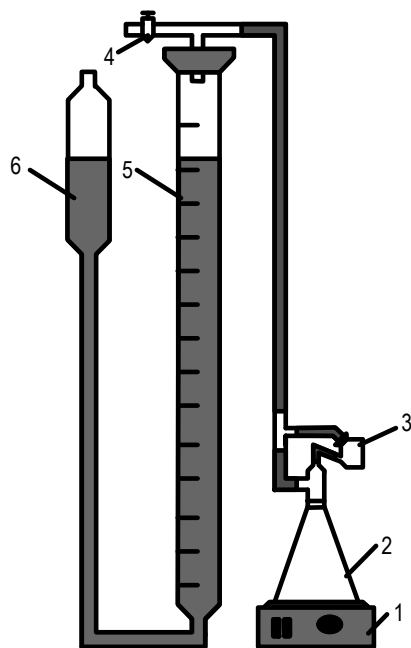
твора на основе протектированных ПВПД ионами металлов осуществляется простым перемешиванием для формирования координационной связи лиганд-металл в течение 2 часов в объемных соотношениях  $V_{\text{ПВПД40}} : V_{\text{Me-Me}} (V_{\text{Me-Me}}) = 1:1$ . Для восстановления координированных ионов платины и металлов до нульвалентного состояния полученную смесь титруют 0,002М раствором боргидрида натрия (цитратом натрия) до появления окраски. По всему объему равномерно образуются нанодисперсные частицы платина-металл, формирование которых фиксируется визуально, процесс проводили при температуре 20 °C.

Для дополнительной стабилизации наночастиц, синтезированных с помощью жидкофазного химического восстановления, каталитические системы были нанесены на оксид цинка. Для этого 5 мл коллоидного раствора полимер-Me (полимер-Me-Me) смешивают с 0,1 г оксида цинка при интенсивном перемешивании в течение 5 часов для достижения равномерного распределения металлов на носителе – ZnO. Полученную суспензию отделяли посредством фильтрования на воронке Бюхнера, многократно промывали водой, затем сушили 2–3 ч при температуре 100 °C. Нанесение каталитических систем на высокодисперсный углеродный носитель позволяет максимально увеличить каталитически активную поверхность благородных металлов, в т.ч. платины и палладия при снижении её расхода, решить проблему уменьшения толщин активных слоев катода и анода, что является актуальным в случае низкотемпературных ТЭ. Полученную после иммобилизации наночастиц металлов на оксид цинка каталитическую систему смешивают с углеродной суспензией различной массы (0,05–5 г) активированного угля марки БУА-А. Для этого из 0,05 г угля и 10 мл дистиллированной воды готовят суспензию угля и добавляют при интенсивном перемешивании в течение 2 часов 0,1 г катализатора состава ПВПД-Pt-Me/ZnO. Полученную смесь центрифугируют и сушат в течение 2 ч при температуре 100 °C.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные каталитические системы состава ПВПД-Pt/ZnO/C; ПВПД-Fe/ZnO/C; ПВПД-Co/ZnO/C; ПВПД-Ni/ZnO/C; ПВПД-Cu/ZnO/C; ПВПД-Ag/ZnO/C и биметаллические системы ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C; ПВПД-Pt-Co/ZnO/C; ПВПД-Pt-Ni/ZnO/C; ПВПД-Pt-Cu/ZnO/C исследовали для каталитического дегидрирования этилового спирта и разложения пероксида водорода волюмометрическим методом.

Измеряли скорость разложения пероксида водорода и этилового спирта заданной концентрации в присутствии электрокатализаторов при различных температурах. Для этой цели применяли волюмометрический способ, который позволяет проследить за объемом выделяющегося кислорода и водорода соответственно по ходу протекания процесса, т. е. во времени:  $V_{\text{O}_2/\text{H}_2}$ . Установка схематически представлена на рисунке 1.



1 – магнитная мешалка, 2 – реактор, 3 – резервуар для катализатора, 4 – кран, 5 – волюмометр, 6 – уравнительная склянка

Рисунок 1. Схема установки

Для изучения влияния природы носителя, в т.ч. неорганический носитель – оксид цинка, стандартный – уголь и оксид цинка-уголь, а также определения оптимальной температуры катализа пероксида водорода и этилового спирта определение каталитической активности варьировали в широких пределах. На рисунках 2–4 приведены кривые кинетики разложения пероксида водорода монометаллическими каталитическими системами с неорганическим носителем состава ПВПД-Pt/ZnO; ПВПД-Fe/ZnO; ПВПД-Co/ZnO; ПВПД-Ni/ZnO; ПВПД-Cu/ZnO при температуре 40–50 °C.

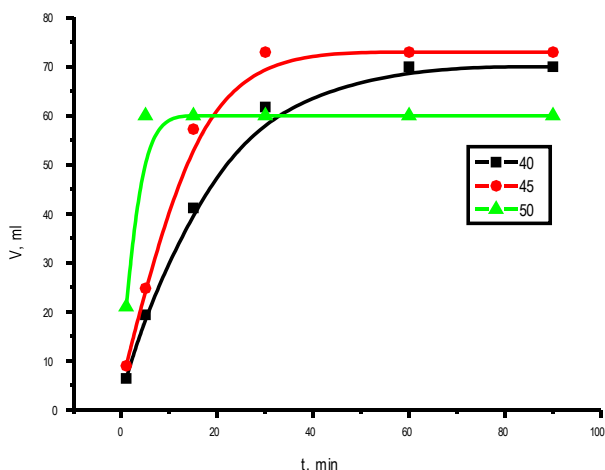
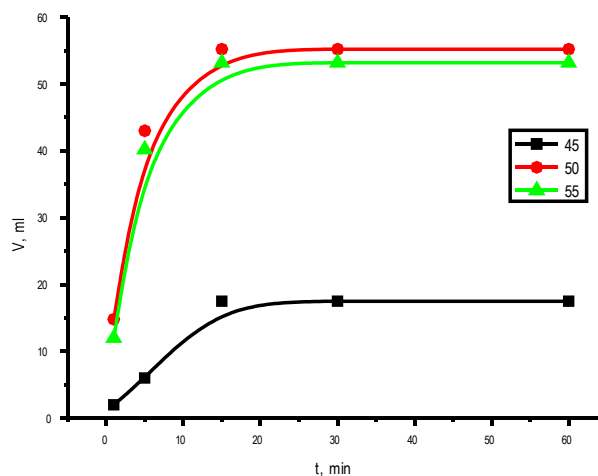


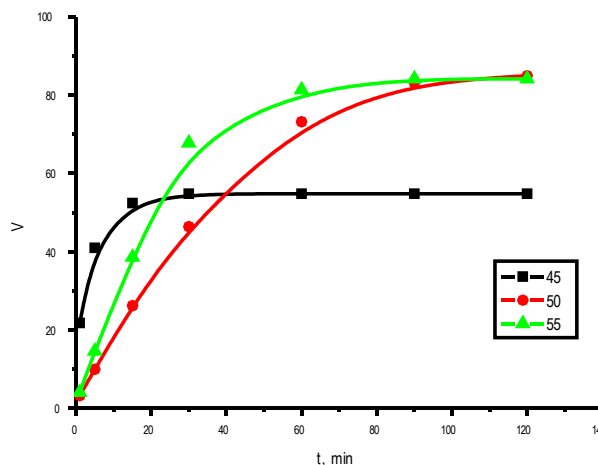
Рисунок 2. Кинетика разложения пероксида водорода катализатором ПВПД-Pt/ZnO ( $m_{kt} = 0,03$  г,  $V(H_2O_2\ 30\%) = 1$  мл, температура 40–50 °C)

Условия катализа:

$C_{me} = 0,001$  моль/л;  $C_{NaBH_4} = 0,002$  моль/л.  
 $C_{PVP40} : C_{me} = 10000 : 1$ ;  $V_{PVP40} : V_{me} = 1 : 1$ ;  
 $V_{PVP40/ZnO/me} = 5$  мл.  $m_{ZnO} = 0,1$  г.



а)

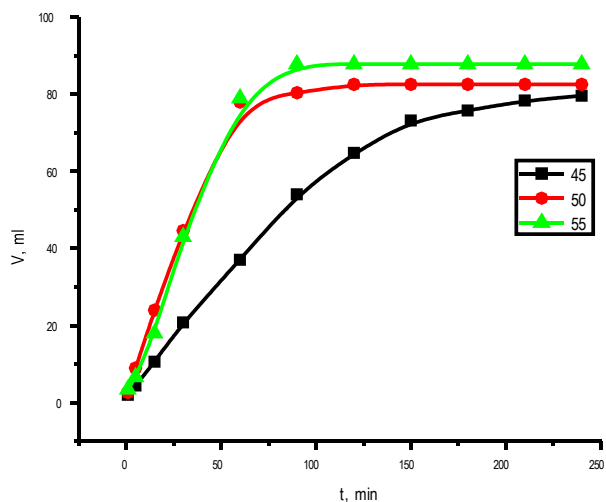


б)

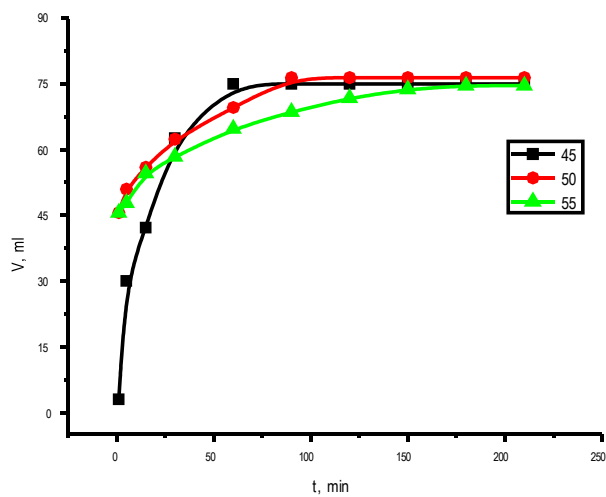
Рисунок 3. Кинетика разложения пероксида водорода катализатором: а) ПВПД-Fe/ZnO, б) ПВПД-Co/ZnO ( $m_{kt} = 0,03$  г,  $V(H_2O_2\ 30\%) = 1$  мл, температура 40–50 °C)

Сравнительный анализ каталитической активности наночастиц металлов на оксидном носителе при разных температурах приведен на рисунке 4. Сильное влияние температуры на активность катализатора наблюдается для каталитических систем ПВПД-Fe/ZnO и ПВПД-Co/ZnO. Повышение температуры способствует незначительному росту активности для всех катализаторов (рисунок 4).

Наибольшую активность для разложения пероксида водорода проявил катализатор из наночастиц меди. При этом выход катализа при всех температурах в среднем равный (рисунок 5) и составляет около 85%. Наименьшая каталитическая активность наблюдается у катализаторов с наночастицами кобальта.



а)



б)

Рисунок 4. Кинетика разложения пероксида водорода катализатором: а) ПВПД-Ni/ZnO, б) ПВПД-Cu/ZnO ( $m_{kt} = 0,03$  г,  $V(H_2O_2\ 30\%) = 1$  мл, температура 40–50 °C)

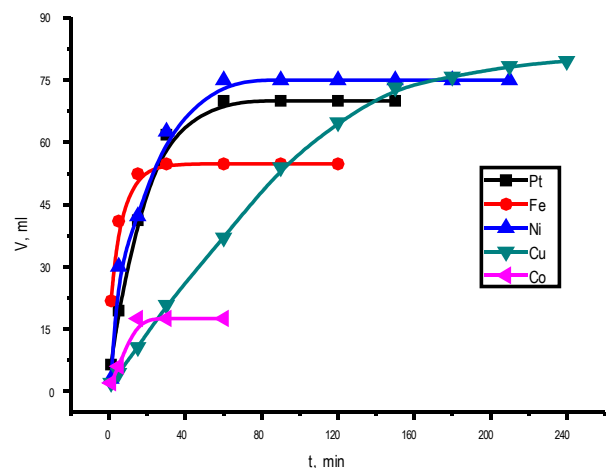
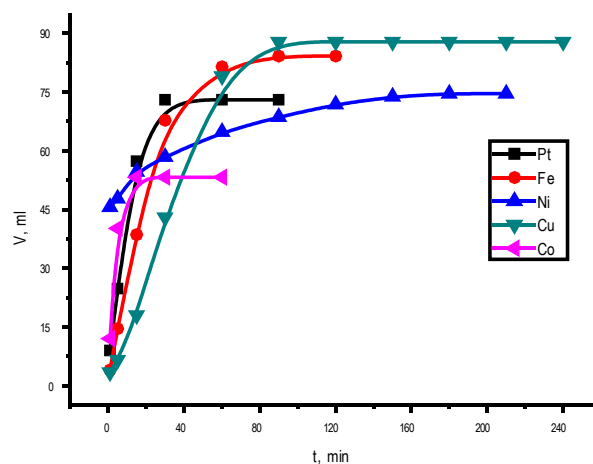
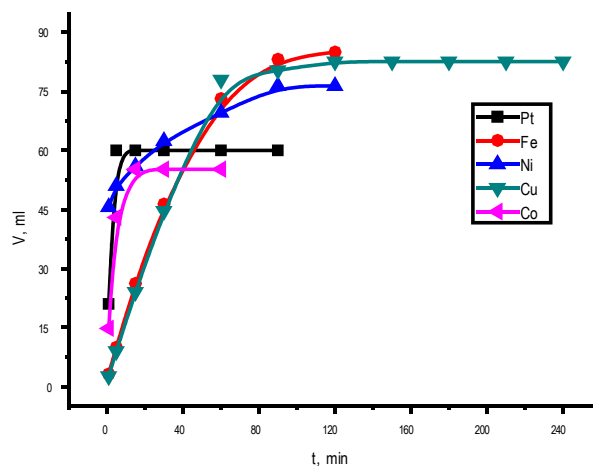


Рисунок 5. Сравнительная кинетика разложения пероксида водорода катализаторами состава ПВПД-Me/ZnO ( $m_{kt} = 0,03$  г,  $V(H_2O_2\ 30\%) = 1$  мл, температура 45 °C)

Оптимальной температурой разложения пероксида водорода каталитическими системами ПВПД-Me/ZnO является 55 °C (рисунок 6).



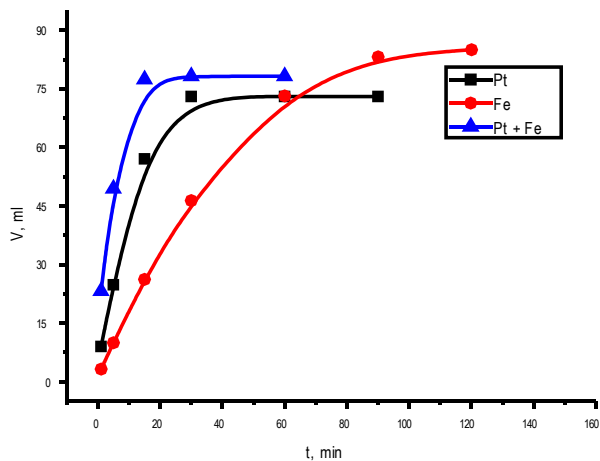
а) температура 50 °C



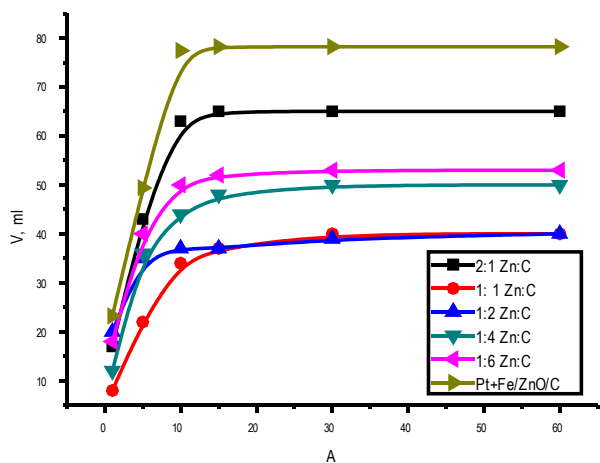
б) температура 55 °C

Рисунок 6. Сравнительная кинетика разложения пероксида водорода катализаторами состава ПВПД-Me/ZnO ( $m_{kt} = 0,03$  г,  $V(H_2O_2\ 30\%) = 1$  мл)

Для сравнения каталитической активности моно- и биметаллических наночастиц металлов построили график зависимости объема выделенного кислорода от времени при разложении пероксида водорода каталитической системой ПВПД-Pt/ZnO/C; ПВПД-Fe/ZnO/C и ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C на смешанном носителе (рисунок 6). Согласно полученным данным при использовании биметаллических наночастиц металлов ускоряется время разложения пероксида водорода в 2 и 5 раза, выход кислорода составляет 80%. Выход кислорода при использовании железного катализатора составляет 85%, но скорость реакции идет медленно по сравнению с биметаллическими катализаторами.



а)



б)

Рисунок 7. Сравнительная кинетика разложения:  
а) пероксида водорода катализаторами состава ПВПД-  
Pt/ZnO/C; ПВПД-Fe/ZnO/C; ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C  
( $m_{kt} = 0,03$  г,  $V(H_2O_2\ 30\%) = 1$  мл), б) этилового спирта  
катализатором ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C в разных соотно-  
шениях активированного угля по отношению к ZnO  
( $m_{kt} = 0,03$  г,  $V(C_2H_5OH\ 90\%) = 1$  мл)

Кинетика разложения этилового спирта на приме-  
ре катализатора ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C в разных соотно-  
шениях активированного угля по отношению к ZnO  
приведена на рисунке 7, б. Полученные кривые пока-  
зали, что биметаллические наночастицы металлов  
проявили наибольшую активность при разложении  
спирта.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе показан способ получе-  
ния моно- и биметаллических наночастиц металлов  
на неорганическом и угольном носителях в присутст-  
вии стабилизирующего полимера (ПВПД). Данный  
способ может найти применение в процессах катали-  
тического дегидрирования органических соединений  
и разложения пероксида водорода. Полученные на-  
носистемы проявили каталитическую активность в

реакциях разложения пероксида водорода и этилово-  
го спирта. Установлено, что наибольшую активность  
проявляют биметаллические наночастицы платины,  
по сравнению с монометаллическими наносистема-  
ми. Повышение температуры способствует незначи-  
тельному росту активности для всех катализаторов.

Установлено, что использование биметалличес-  
ких наночастиц платины ПВПД-Pt-Fe/ZnO/C позво-  
ляет ускорить время разложения пероксида водорода  
в 2 и 5 раза, выход кислорода составляет около 80%.

Исследования проведены в рамках проекта  
программно-целевого финансирования Комитета  
науки МОН РК «Разработка технологии производ-  
ства и хранения водорода для развития альтерна-  
тивной энергетики в Республике Казахстан» ИРН:  
BR10965284.

### ЛИТЕРАТУРА

1. EUR 20719 EN – Hydrogen Energy and Fuel Cells – A vision of our future Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2013.
2. Арзумян Н., Микаэлян А., Данелян А. Топливные элементы - вчера, сегодня, завтра. // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 10. – С. 65–68.
3. Афанасьев К. Топливные элементы - батарейки будущего. // Радиолобитель. – 2012. – № 2. – С. 26–29.
4. Edited by S.C. Singhal, K. Kendall. High-temperature solid oxide fuel cell: fundamentals, design and applications. Imprint // Elsevier advanced technology. – 2015. – 405 p.
5. M. ELSayed Youssef, Khairia E.AL-NAdi, Moataz H.Khalil. Lumped Model for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) // Int. J. Electrochem. Sci. – 5 (2010). – P. 267–277.
6. Юсти Э., Винзель А. Топливные элементы. – М.: Издательство «Мир», 1964. – 235 с.
7. Гаврин С.С. Разработка наноконструктивных электродов для источников тока в электронике – Афтореф. на соискание ученой степени к.т.н. – Москва – 2010 г.
8. Шорникова О.Н., Максимова Н.В., Авдеев В.В. Связующие для полимерных композиционных материалов. – М., 2010. – 52 с.
9. Ставицкая С.С., Гоба В.Е. Однороднопористые нано-размерные углеродные материалы аэрогеля типа с молекулярно-ситовыми свойствами // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2009. – Т. 7, № 3. – С. 683–699.
10. Thompssett D. Catalysts for the Proton Exchange Membrane Fuel Cell, in: Handbook of Fuel Cells. Fundamentals, Technology and Applications. Editors: Vielstich W., Lamm A., Gasteiger H.A. Sohn, Wiley & Sons Ltd. – New York, USA. – 2014. – Vol. 3. – P. 6-1–6-23.
11. Hubert A. Gasteiger, Shyam S. Kocha, Bhaskar Sompalli, Frederick T. Wagner. Activity benchmarks and requirements for Pt, Pt-alloy, and non-Pt oxygen reduction catalysts for PEMFCs // Applied Catalysis B: Environmental. – Vol. 56 (2005). – P. 9–35.
12. Xiong L., Manthiram A. Effect of Atomic Ordering on the Catalytic Activity of Carbon Supported PtM (M=Fe, Co, Ni and Cu) Alloys for Oxygen Reduction in PEMFCs // Journal of The Electrochemical Society. – Vol. 152 (2014). – P. 697–703.

13. Xiong L., Kannan A. M., Manthiram A. Pt-M (M=Fe, Co, Ni and Cu) electrocatalysts synthesized by an aqueous route for proton exchange membrane fuel cells // *Electrochemistry Communications*. – Vol. 4 (2016). P. 898–903.
14. Salgado J.R.C., Antolini E., Gonzalez E.R. Preparation of Pt-Co/C electrocatalysts by reduction with borohydride in acid and alkaline media: the effect on the performance of the catalyst // *Journal of Power Sources*. Vol. 138 (2004). P. 56–60.

## REFERENCES

1. EUR 20719 EN – Hydrogen Energy and Fuel Cells – A vision of our future Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 2013.
2. Arzumanyan N., Mikaelyan A., Danelyan A. Toplivnyye elementy - vchera, segodnya, zavtra. // *Alternativnaya energetika i ekologiya*. – 2010. – No. 10. – P. 65–68.
3. Afanasev K. Toplivnyye elementy – batareiki buduschego. // *Radiolyubitel*. – 2012. – No. 2. – P. 26–29.
4. Edited by S.C. Singhal, K. Kendall. High-temperature solid oxide fuel cell: fundamentals, design and applications. Imprint // Elsevier advanced technology. - 2015. – 405 p.
5. M. ELSayed Youssef, Khairia E.AL-NAdi, Moataz H.Khalil. Lumped Model for Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) // *Int. J. Electrochem. Sci.* – 5 (2010). – P. 267–277.
6. Yusti E., Vinzel A. Toplivnyye elementy. – Moscow: Izdatelstvo “Mir”, 1964. – 235 p.
7. Gavrin S.S. Razrabotka nanokompozitnykh elektrodov dlya istochnikov toka v elektronike – Aftoref. na soiskanie uchenoi stepeni k.t.n. – Moscow – 2010.
8. Şornikova O.N., Maksimova N.V., Avdeev V.V. Svyazuyushchie dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov. – M., 2010. – 52 p.
9. Staviskaya S.S., Goba V.E. Odorodnoporistye nano-razmernye uglerodnye materialy aerogelnogo tipa s molekulyarno-sitovymi svoystvami // *Nanosistemy, nanomaterialy, nanotehnologii*. – 2009. – Vol. 7, No. 3. – P. 683–699.
10. Thompsett D. Catalysts for the Proton Exchange Membrane Fuel Cell, in: *Handbook of Fuel Cells. Fundamentals, Technology and Applications*. Editors: Vielstich W., Lamm A., Gasteiger H.A. Sohn, Wiley & Sons Ltd. – New York, USA. – 2014. – Vol. 3. – P. 6-1–6-23.
11. Hubert A. Gasteiger, Shyam S. Kocha, Bhaskar Sompalli, Frederick T. Wagner. Activity benchmarks and requirements for Pt, Pt-alloy, and non-Pt oxygen reduction catalysts for PEMFCs // *Applied Catalysis B: Environmental*. – Vol. 56 (2005). – P. 9–35.
12. Xiong L., Manthiram A. Effect of Atomic Ordering on the Catalytic Activity of Carbon Supported PtM (M=Fe, Co, Ni and Cu) Alloys for Oxygen Reduction in PEMFCs // *Journal of The Electrochemical Society*. – Vol. 152 (2014). – P. 697–703.
13. Xiong L., Kannan A. M., Manthiram A. Pt-M (M=Fe, Co, Ni and Cu) electrocatalysts synthesized by an aqueous route for proton exchange membrane fuel cells // *Electrochemistry Communications*. – Vol. 4 (2016). P. 898–903.
14. Salgado J.R.C., Antolini E., Gonzalez E.R. Preparation of Pt-Co/C electrocatalysts by reduction with borohydride in acid and alkaline media: the effect on the performance of the catalyst // *Journal of Power Sources*. Vol. 138 (2004). P. 56–60.

## ҚАТТЫ ОКСИДТІ СУТЕГІ-АУА ОТЫН ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ЭЛЕКТРОДТАРЫ ҮШІН ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

<sup>2)</sup> М.К. Скаков, <sup>1)</sup> А.М. Жилкашинова, <sup>1)</sup> С.К. Кабдрахманова, <sup>1)</sup> М.Е. Сейтканова, <sup>3)</sup> Е. Шаймардан, <sup>1)</sup> К. Акатан

<sup>1)</sup> С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан

<sup>2)</sup> Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығы РМК, Курчатов, Қазақстан

<sup>3)</sup> Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

Мақалада қатты оксидті сутегі-ауа отын элементінің мембраналық электродты блогының электродтарында қолдану үшін жаңа белсенді электрокатализаторларды жасау бойынша тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері сипатталған. Синтезделген катализаторлардың құрамы оның электрокинетикалық белсенділігіне (электр өткізгіштігіне) айтарлықтай әсер ететіндіктен, жұмыста әртүрлі сапалық және сандық құрамдағы наноөлшемді биметалды катализаторлардың синтезі жүргізілді. Катализаторды синтездеу үшін металды таңдау оның электронды құрылымына байланысты болды. Әзірленген катализаторлардың электрокаталитикалық белсенділігі катализаторлардың сутегі асқын тотығының ыдырауына қатысты белсенділігін зерттеу арқылы бағаланды. Әзірленген биметалл ПВПД-Pt/ZnO/C катализаторлары сутегі пероксидінің 40–50 °C кезінде ыдырауына қатысты белсенділік танытады.

**Түйін сөздер:** мембраналық-электродты блок, қатты оксидті сутегі-ауа отын элементі, электрокатализатор, электрокаталитикалық белсенділік, биметалл катализаторлары.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ELECTROCATALYTIC SYSTEMS FOR ELECTRODES  
OF SOLID-OXIDE HYDROGEN-AIR FUEL CELLS

<sup>2)</sup> M.K. Skakov, <sup>1)</sup> A.M. Zhilkashinova, <sup>1)</sup> S.K. Kabdrakhmanova, <sup>1)</sup> M.E. Seitkanova, <sup>3)</sup> E. Shaimardan, <sup>1)</sup> K. Akatan

<sup>1)</sup> NAO "East Kazakhstan University named after S. Amanzholov", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

<sup>2)</sup> RSE "National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan", Kurchatov, Kazakhstan

<sup>3)</sup> NAO "Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev", Almaty, Kazakhstan

The article describes the results of experimental studies on the development of new active electrocatalysts for their use in the electrodes of the membrane-electrode block of a solid-oxide hydrogen-air fuel cell. Since the composition of the synthesized catalysts has a significant effect on its electrokinetic activity (electrical conductivity), the synthesis of nanoscale bimetallic catalysts of various qualitative and quantitative compositions is carried out. The choice of metal for the synthesis of the catalyst was determined by its electronic structure. The electrocatalytic activity of the developed catalysts was evaluated by studying the activity of the catalysts with respect to the decomposition of hydrogen peroxide. The developed bimetallic PVPD-Pt/ZnO/C catalysts exhibit activity with respect to the decomposition of hydrogen peroxide at 40–50 °C.

**Keywords:** *membrane-electrode block, solid-oxide hydrogen-air fuel cell, electrocatalyst, electrocatalytic activity, bimetallic catalysts.*