

Перехвал, П. А. Перехвал; науч. рук. И. Л. Иокова // Бутаковские чтения : сборник статей II Всероссийской с международным участием молодёжной конференции / под ред. А.С. Заворина ; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – С. 563-565.

4. Иокова, И. Л. Система теплоснабжения «умного дома» на базе централизованного теплоснабжения с утилизацией вторичных энергетических ресурсов при помощи теплового насоса / И. Л. Иокова, М. Б. Перехвал, И. Е. Мигуцкий // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2023. – Т. 66.– № 5. – С. 451–460.

УДК 621.793:539.234:539.534.9

**В.В. Поплавский, О.Г. Бобрович, А.В. Дорожко, В.Г. Матыс**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

**ФОРМИРОВАНИЕ АКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ ОКИСЛЕНИЯ ЭТАНОЛА И  
МЕТАНОЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО  
ОСАЖДЕНИЯ ПЛАТИНЫ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ  
НА УГЛЕРОДНЫЕ НОСИТЕЛИ**

*Аннотация.* Активные слои на поверхности носителей *AVCarb<sup>®</sup> Carbon Fiber Paper P50* и *Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T* формировали ионно-ассистируемым осаждением платины и одного из редкоземельных металлов (*Ce, Gd, Dy, Yb*) с целью получения электрокатализаторов для топливных элементов прямого окисления этанола и метанола с полимерным мембранным электролитом.

**V.V. Poplavsky, O.G. Babrovich, A.V. Dorozhko, V.G. Matys**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

**FORMATION OF AN ACTIVE SURFACE  
OF ELECTROCATALYSTS FOR ETHANOL AND METHANOL  
OXIDATION WITH USE OF ION BEAM ASSISTED DEPOSITION  
OF PLATINUM AND RARE EARTH METALS ONTO CARBON  
CARRIERS**

*Abstract. Active layers on the surface of AVCarb<sup>®</sup> Carbon Fiber Paper P50 and Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T carriers were formed by ion beam assisted deposition of platinum and one of the rare earth metals (Ce, Gd, Dy, Yb) in order to obtain electrocatalysts for direct ethanol and methanol fuel cells with a polymer electrolyte membrane.*

Электрохимическое окисление этанола и метанола лежит в основе принципа действия топливных элементов, в которых энергия, выделяемая при окислении топлива, преобразуется непосредственно в электрическую энергию. Такие источники тока отличаются высоким КПД, низкой токсичностью продуктов реакции, а также возможностью создания модульной конструкции для достижения большой мощности. Перспективными для широкого применения в стационарных установках небольшого размера, предназначенных для обеспечения резервного и автономного электропитания, являются низкотемпературные топливные элементы с полимерным мембранным электролитом. Преимущественно разрабатываются элементы, в которых в качестве топлива используется водород. Ведутся также исследования по созданию топливных элементов прямого окисления органических спиртов – метанола и этанола. Применение органических топлив вместо водорода позволяет снять проблему получения, очистки, хранения и распределения водорода, упростить систему подачи топлива.

Электрохимическое окисление топлива идет в присутствии катализатора. Для достижения активности электрокатализаторов в реакциях окисления этанола и метанола в состав каталитических слоев вводится платина и активирующие добавки, в т. ч. редкоземельные металлы, что обусловлено механизмом окисления топлива [1]. Многостадийный процесс окисления спиртов включает электрохимическую адсорбцию молекул спирта, их разложение путем последовательного дегидрирования в адсорбированном состоянии, образование адсорбированных молекул оксида углерода  $\text{CO}_{\text{ads}}$  и их последующее удаление при взаимодействии с хемосорбированными молекулами воды либо с группами  $\text{OH}_{\text{ads}}$ .

Предполагается, что разложение адсорбированных на электрокатализаторе молекул с образованием ионов водорода, электронов и адсорбированного  $\text{CO}_{\text{ads}}$  эффективно катализируется платиной. Но для окисления образующихся на промежуточной стадии и блокирующих поверхность адсорбированных молекул  $\text{CO}_{\text{ads}}$  до  $\text{CO}_2$  и их удаления с поверхности электрокатализатор должен обеспечивать также адсорбцию из раствора кислородсодержащих частиц, источником которых является вода. Поэтому катализатор электрохимического окисления метанола либо этанола наряду с платиной должен содержать

компонент, являющийся промотором активации воды. В качестве таких компонентов исследуются добавки различных металлов, в том числе композиции платины с редкоземельными металлами [2].

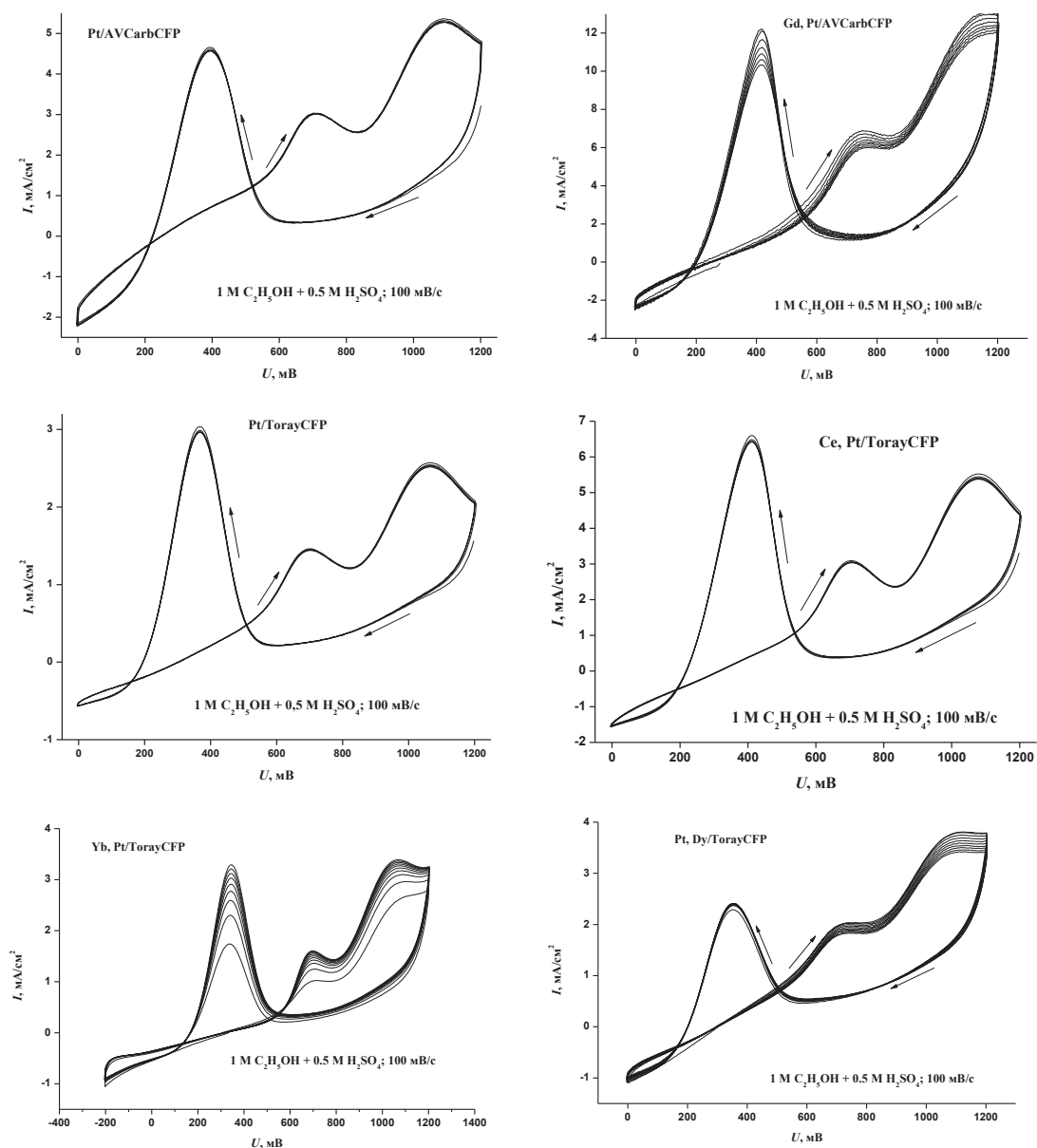
Сложность электрокаталитического процесса окисления этанола и метанола, а также высокая стоимость металлов платиновой группы выдвигают требования поиска новых методов формирования и оптимизации состава каталитических слоев, в том числе с использованием вакуумных методов нанесения металлов. В сравнении с традиционными многостадийными методами приготовления катализаторов (пропитка носителя растворами соединений каждого из осаждаемых металлов, их восстановление до металлического состояния, многократная отмывка от примесей, сушка) формирование активной поверхности электрокатализаторов посредством ионно-лучевой обработки позволяет получать каталитические слои в один–два приема и значительно сократить расход благородного металла.

Цель данной работы: исследование возможности формирования активной поверхности электрокатализаторов окисления этанола и метанола ионно-ассистируемым осаждением платины и одного из редкоземельных металлов в качестве активирующей добавки из плазмы импульсного дугового разряда на специальные углеродные носители, исследование свойств получаемых электрокатализаторов и состава формируемых поверхностных слоев.

В качестве носителей электрокатализаторов выбраны специальные углеродные материалы AVCarb<sup>®</sup> Carbon Fiber Paper P50 (AVCarbCFP) и Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T (TorayCFP), предназначенные для изготовления диффузионных слоев мембранно-электродных блоков низкотемпературных топливных элементов с полимерным мембранным электролитом.

Формирование каталитических слоев осуществлено путем поочередного ионно-ассистируемого осаждения платины и одного из редкоземельных металлов (Ce, Gd, Dy, Yb) в качестве способствующей повышению активности добавки. Отличительной особенностью режима осаждения является использование ионов осаждаемого металла, в качестве ассистирующих процессу осаждения. Осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с атомами поверхности подложки ускоренными ионами того же металла осуществляются в экспериментальной установке соответственно из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного дугового разряда импульсного электродугового ионного источника. Ускорение ассистирующих ионов осуществлялось напряжением 5 кВ. В рабочей камере поддерживался вакуум  $\sim 10^{-2}$  Па.

Активность электрокатализаторов с полученными каталитическими слоями исследована в реакциях электрохимического окисления этанола и метанола. Измерения проведены методом циклической вольтамперометрии с применением потенциостата IPC-Pro M. Значения потенциала  $U$  рабочего электрода отсчитаны от Ag/AgCl электрода сравнения. Измерения проводили при 20 °С в растворах 1 М  $C_2H_5OH$  + 0,5 М  $H_2SO_4$  и 1 М  $CH_3OH$  + 0,5 М  $H_2SO_4$ .



**Рис. 1 - Циклические вольтамперограммы электрокатализаторов, сформированных ионно-ассистированным осаждением металлов на носители AVCarb® Carbon Fiber Paper P50 и Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T, полученные в растворе 1 М  $C_2H_5OH$  + 0,5 М  $H_2SO_4$**

Электрохимическое окисление этанола проявляется на вольтамперограммах (рис. 1) в виде специфических пиков тока при изменении потенциала электрода как в анодном, так и в катодном направлениях. На анодной части вольтамперограммы имеется пик тока, обусловленный многостадийным процессом окисления этанола, включающем электрохимическую адсорбцию, разложение молекул спирта и образование адсорбированных молекул оксида углерода  $\text{CO}_{\text{ads}}$ . Уменьшение тока при дальнейшем увеличении потенциала электрода объясняется снижением скорости электрохимической адсорбции молекул этанола вследствие блокирования поверхности электрокатализатора продуктами процессов электрохимической адсорбции.

При последующей развертке потенциала в катодном направлении на вольтамперограмме появляется достаточно интенсивный пик тока с максимумом при значении потенциала около 400 мВ, который обусловлен возобновлением процесса окисления этанола на восстановленной поверхности катализатора. Интенсивность пиков возрастает по мере циклирования, что обусловлено электрохимической активацией модифицированной поверхности. Причем введение в состав поверхности электрокатализаторов в дополнение к платине редкоземельных металлов чаще всего приводит к повышению плотности тока в пиках, что свидетельствует о положительном влиянии активирующей добавки.

Исследуемые электрокатализаторы проявляют активность и в реакции окисления метанола. Однако значения плотности тока в пиках окисления более простых молекул спирта значительно меньше, чем при окислении этанола, где требуется разрыв связи С–С.

Микроструктура и состав получаемых слоев исследованы методами сканирующей электронной микроскопии в сочетании с рентгеновским электронно-зондовым микроанализом, рентгеновского флуоресцентного анализа и спектрометрии резерфордского обратного рассеяния. Исследования показали, что в процессе ионно-ассистируемого осаждения металлов формируются многокомпонентные аморфные слои толщиной  $\sim 30$  нм, в состав которых входят атомы осаждаемых металлов, материала подложки, а также примеси кислорода. Содержание атомов платины, а также каждого из осажденных редкоземельных металлов в формируемых слоях составляет примерно  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  (менее  $0,01 \text{ мг/см}^2$ ) [3].

Таким образом, электрокатализаторы со слоями, сформированными ионно-ассистируемым осаждением платины и редкоземельных металлов в предложенном режиме, отличаясь очень низким

содержанием платины, проявляют активность в процессах окисления органических спиртов. Добавка редкоземельного металла способствует удалению адсорбированного СО, который блокирует поверхность и препятствует дальнейшему протеканию реакции. Отличительной особенностью получаемых электрокатализаторов является их более высокая активность в процессе окисления более сложных молекул этанола по сравнению с метанолом.

#### Список использованных источников

1. T. Iwasita // *Electrochimica Acta*. 2002. V. 47. P. 3663. doi:10.1016/s0013-4686(02)00336-5
2. D.M.F. Santos, J.R.B. Lourenço, D. Macciò, A. Saccone, C.A.C. Sequeira, J.L. Figueiredo // *Energies*. 2020, V. 13, P. 1658. doi:10.3390/en13071658
3. V.V. Poplavsky, A.V. Dorozhko, V.G. Matys // *J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron and Neutron Tech.* 2019. V. 13. P. 1314. doi: 10.1134/S102745101905032X

УДК 140.8

**А.А. Потоцкий**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

### ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ОСМЫСЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

*Аннотация.* В докладе проанализированы типы взаимодействия человека и природы, раскрывается роль новых мировоззренческих ориентаций в процессе преодоления негативных явлений в условиях нарастающего экологического кризиса.

**A.A. Pototski**

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

### PHILOSOPHICAL ASPECTS OF UNDERSTANDING ECOLOGICAL PROBLEMS

*Abstract.* The report analyzes the types of interaction between man and nature and reveals the role of new ideological orientations in the process of overcoming negative phenomena in the context of a growing environmental crisis.