

РЕЗЮМЕТА НА НАУЧНИТЕ ТРУДОВЕ

на главен асистент д-р Иво Бърдаров

представени за участие в конкурс за заемане на академичната длъжност „доцент“ по професионално направление 4.2. Химически науки (Неорганична химия), обявен от ЮЗУ „Неофит Рилски“ в Държавен вестник бр. 36 от 17.04.2026 г.

Статии

1. Apostolova, Desislava Yordanova, Ema Gričar, Maris Minna Mathew, Tomaž Gril, Miha Nosan, **Ivo Bardarov**, and Boštjan Genorio. "Continuous-flow electrochemical production of H₂O₂ in a gas diffusion electrode microreactor." *Chemical Communications* (2026): 62, 9662-9666

В работата е разработен микрофлуиден електрохимичен реактор с газодифузионен катод за непрекъснато производство на водороден пероксид чрез двueleктронна редукция на кислород. Използването на газодифузионен електрод преодолява ограниченията, свързани с ниската разтворимост и транспорта на кислород във водни електролити. Постигната е концентрация на H₂O₂ до 22,3 mM при фарадеева ефективност около 88% и енергийна консумация 5,1 kWh kg⁻¹. Системата работи без мембрана или сепаратор и включва оптичен мониторинг в реално време. Получените резултати показват същественото влияние на конструкцията на реактора върху ефективността и селективността на електрохимичния синтез на H₂O₂.

2. Elitsa Chorbazhiyska, Nadya Ivanova, **Ivo Bardarov**, Katerina Angelova, and Yordan Angelov. "MICROBIAL ELECTROLYSIS CELLS: ELECTROCATALYSTS AND CHARACTERIZATION METHODS-A REVIEW." *Journal of Chemical Technology and Metallurgy* 61, no. 1 (2026): 17-31.

Статията представя обзор на принципите на действие на микробиалните електролизни клетки (МЕК) като перспективна технология за получаване на водород, съчетана с пречистване на биоразградими отпадъчни субстрати. Разгледана е ролята на електроактивните микроорганизми, които окисляват органичните вещества и прехвърлят електрони към анода. Основно внимание е отделено на катодните материали и тяхната каталитична активност спрямо реакцията на отделяне на водород. Подчертано е значението на разработването на евтини и ефективни електрокатализатори, способни да работят при близко до неутралното pH, необходимо за жизнеспособността на микроорганизмите. Обобщени са основните физикохимични и електрохимични методи за характеризиране на потенциални катодни материали за биоелектрохимично производство на водород.

3. Desislava Yordanova Apostolova, **Ivo Bardarov**, Anders Tjell, Ema Gričar, Mark Starin, Pedro Farinazzo Bergamo Dias Martins, Miha Nosan et al. "A parallel-plate electrochemical microreactor for the continuous production of hydrogen peroxide." *Chemical Engineering Journal* 525 (2025): 170301.

Разработена и изследвана е микрофлуидна електрохимична система за контролирано непрекъснато производство и детекция на H_2O_2 . Микрореакторът е с триелектродна конфигурация и интегрирани оптични сензори за проследяване в реално време на концентрациите на разтворен кислород и водороден пероксид. Установено е, че катодът от стъкловъглерод проявява висока селективност към двуелектронната редукция на кислород, като оптимален работен потенциал е определен на 0,4 V спрямо RHE. Изследвано е влиянието на скоростта на потока върху производството на H_2O_2 и е разработен математичен модел, описващ зависимостта между времето на престой и концентрацията на продукта. Определен е оптимален работен диапазон от 25–50 $\mu\text{L min}^{-1}$.

4. **Ivo Bardarov**, Desislava Yordanova Apostolova, Pedro Martins, Ivo Angelov, Francisco Ruiz-Zepeda, Ivan Jerman, Matevž Dular, Dušan Strmčnik, and Boštjan Genorio. "Flash graphene from carbon fiber composites: A sustainable and high-performance electrocatalyst for hydrogen peroxide production." *Electrochimica Acta* 517 (2025): 145754.

В изследването е разработен метод за оползотворяване на отпадъчни въглеродно-влакнести полимерни композити чрез превръщането им във флаш графен посредством Flash Joule Heating. Процесът протича в милисекунден времеви диапазон и позволява получаване на значителни количества порест материал с ламеларна и турбостратна графитна структура и ниско съдържание на кислородни функционални групи. Полученият материал е подробно охарактеризиран чрез структурни, морфологични и спектроскопски методи. При електрохимични изпитвания той проявява много висока активност и близо 100% селективност към двуелектронната редукция на кислород до H_2O_2 в 0,1 M KOH, както и добра стабилност. Разработката съчетава рециклиране на отпадъци с получаване на електрокатализатор с висока добавена стойност.

5. Hubenova, Yolina, **Ivo Bardarov**, Eleonora Hubenova, and Evelina Slavcheva. "Sediment microbial fuel cells capable of powering outdoor environmental monitoring sensors." *Sensing and Bio-Sensing Research* 46 (2024): 100695.

Разработени са прототипи на седиментни микробиални горивни елементи (SMFC) с обем 50 L, предназначени за работа в реални условия на открито и автономно хранване на сензори за екологичен мониторинг. Две системи с графитен и металургичен кокс като анодни материали са експлоатирани в продължение на повече от една година. Проследено е влиянието на температурата, слънчевото греене, атмосферното налягане и влажността върху електрическите характеристики. Установено е, че температурните изменения между 0 и 14 °C не оказват съществено влияние върху генерираната мощност, докато облъчването със слънчева светлина е свързано с увеличаване на генерирания ток. Показано е също, че металургичният кокс представлява евтин и подходящ алтернативен аноден материал.

6. **Ivo Bardarov**, Desislava Yordanova Apostolova, Maris Minna Mathew, Miha Nosan, Pedro Farinazzo Bergamo Dias Martins, and Bostjan Genorio. "Flash Graphene: a Sustainable Prospect for Electrocatalysis." *Acta Chimica Slovenica* 71, no. 4 (2024).

Обзорната статия разглежда Flash Joule Heating (FJH) като перспективен метод за бързо, мащабируемо и икономически ефективно производство на графен. Методът се основава на краткотрайно електрорезистивно нагряване на въглеродсъдържащи прекурсори до много високи температури и последващо бързо охлаждане. Особено предимство е възможността като суровини да се използват разнообразни въглеродни източници, включително биомаса и отпадъчни материали. Анализирани са принципите на FJH, възможностите за мащабиране и устойчивостта на процеса, както и развитието на флаш-графенови електрокатализатори. Специално внимание е отделено на перспективите за приложението им в технологии за преобразуване на енергия и устойчива електрокатализа, както и на съществуващите предизвикателства пред бъдещото индустриално внедряване.

7. Mitov, Mario, Elitsa Chorbadzhiyska, **Ivo Bardarov**, Krassimir L. Kostov, and Yolina Hubenova. "Silver recovery by microbial electrochemical snorkel and microbial fuel cell." *Electrochimica Acta* 408 (2022): 139941.

Изследвана е възможността за възстановяване на сребро от водни разтвори чрез микробиален електрохимичен шнорхел (MES), като резултатите са сравнени с работа в режим на микробиален горивен елемент. Използвани са катоди от сребърно и медно фолио и графитизирана хартия. Установено е, че MES осигурява по-висока ефективност както при отстраняването, така и при възстановяването на среброто. XPS анализът показва образуване на метално сребро (Ag^0) върху сребърните и графитизираните катоди, докато върху медните се формират смесени Ag–Cu отлагания. При моделна система, симулираща отработен фотографски фиксаж, в MES е постигнато пълно отстраняване на среброто за 24 часа, което демонстрира потенциала на технологията за третиране на реални отпадъчни потоци.

8. Mitov, Mario, **Ivo Bardarov**, Elitsa Chorbadzhiyska, Krassimir L. Kostov, and Yolina Hubenova. "First evidence for applicability of the microbial electrochemical snorkel for metal recovery." *Electrochemistry Communications* 122 (2021): 106889.

В работата за първи път е демонстрирана приложимостта на микробиален електрохимичен шнорхел (MES) за възстановяване на метални йони, като моделна система е използвано отстраняването на Cu^{2+} . Изследвани са конфигурации с и без протон-обменна мембрана и резултатите са сравнени с микробиален горивен елемент. При безмембранната MES система е постигнато над 95% отстраняване на медта само за два дни, докато при останалите конфигурации сходна степен се достига за значително по-дълъг период. На катодите се формират покрития от Cu_2O . Получените резултати доказват възможността MES да се използва за пречистване на води от медни йони и частично възстановяване на метала без допълнителен външен енергиен източник.

9. Chorbadzhiyska, Elitsa, **Ivo Bardarov**, Yolina Hubenova, and Mario Mitov. "Graphite–metal oxide composites as potential anodic catalysts for microbial fuel cells." *Catalysts* 10, no. 7 (2020): 796.

Получени и изследвани са композитни електроди на основата на графит и метални оксиди Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и Mn_3O_4 като потенциални анодни материали за микробиални горивни елементи. Материалите са охарактеризирани чрез сканираща електронна микроскопия, рентгенова дифракция и електрохимични методи, а като моделен биокатализатор е използвана чиста култура *Pseudomonas putida* 1046. При продължителната работа е наблюдавано нарастване на анодния ток, свидетелстващо за формиране на електроактивни биофилми. Всички модифицирани електроди показват по-висока електрокаталитична активност спрямо немодифицирания графит. Най-добри резултати са получени при композита Gr– Mn_3O_4 , който достига токова плътност около 100 mA m^{-2} – повече от осем пъти над тази на графита.

10. Chorbadzhiyska, E., D. Apostolova, **Ivo Bardarov**, M. Mitov, and Y. Hubenova. "Hybrid MFC-MEC systems: principles and applications." *Bulg Chem Commun* 52 (2020): 30-34.

В обзорната работа са разгледани принципите, конструктивните особености и приложенията на хибридни системи, съчетаващи микробиални горивни елементи (MFC) и микробиални електролизни клетки (MEC). Основната концепция е произведената от MFC електрическа енергия да осигурява частично или изцяло необходимото напрежение за работа на MEC и получаване на водород. Подобни системи могат едновременно да оползотворяват органични субстрати, да пречистват отпадъчни води и да произвеждат ценни продукти. Разгледани са приложения за производство на водород, извличане на метали, отстраняване на замърсители и редукия на CO_2 . Хибридни системи имат значителен потенциал, но практическото им внедряване все още е ограничено от ниското напрежение на MFC, вътрешното съпротивление, разходите и проблемите с дългосрочната стабилност.

11. Chorbadzhiyska, E., **Ivo Bardarov**, Y. Hubenova, and M. Mitov. "Modified graphite electrodes as potential cathodic electrocatalysts for microbial electrolysis cells." *Bulg. Chem. Commun* 51, no. 2 (2019): 284-288.

Изследвани са модифицирани графитни електроди като евтина алтернатива на благородните метали като катализатори за катода на микробиални електролизни клетки. Графитните материали са функционализирани с оксиди на неблагородни метали и след предварителна електрохимична обработка са характеризирани чрез сканираща електронна микроскопия. Каталитичните им свойства спрямо реакцията на отделяне на водород са оценени в неутрален фосфатен буфер чрез линейна волтаметрия и хроноамперометрия. Резултатите показват, че всички модифицирани електроди проявяват по-висока електрокаталитична активност спрямо немодифицирания графит. Получените резултати определят разработените материали като перспективни кандидати за последващо изпитване като катода в реални микробиални електролизни клетки за производство на водород.

12. Mitov, M. Y., **Ivo Bardarov**, E. Y. Chorbadzhiyska, and Y. V. Hubenova. "Copper recovery combined with wastewater treatment in a microbial fuel cell." *Bulg. Chem. Commun* 50 (2018): 136-140.

Изследвана е възможността за едновременно възстановяване на мед и пречистване на отпадъчни води посредством двукамерен микробиален горивен елемент. Като катодит са използвани разтвори на CuSO_4 с различна концентрация, а като анолит – моделна отпадъчна вода, инокулирана с активна утайка от градска пречиствателна станция. В хода на работа се генерира електрически ток, концентрацията на Cu^{2+} в катодита намалява и върху катода се отлага мед. Установено е, че при по-разредени разтвори се достига по-висока степен на възстановяване на метала. Едновременното намаляване на химичната потребност от кислород в анодната камера потвърждава възможността технологията да съчетава възстановяване на ценен метал с биоелектрохимично пречистване на отпадъчни води.

13. Hristoskova, S., **Ivo Bardarov**, D. Yankov, S. Danova, Y. Hubenova, and M. Mitov. "Identification of bacterial community in a sediment microbial fuel cell." *Bulg. Chem. Commun. B* 50 (2018): 147-153.

Изследвана е структурата на бактериалната общност в еднокамерен седиментен микробиален горивен елемент, изграден с вода и седимент от р. Струма и работил повече от три години. Проби са взети от различни участъци на системата и от биофилмите върху анода и катода. Микроорганизмите са изолирани и характеризирани чрез класически микробиологични методи, PCR и секвениране на 16S rDNA. Установено е, че микробната общност е доминирана от представители на тип Firmicutes, като са идентифицирани и представители на γ -Proteobacteria. Най-широко разпространени са щамове от род *Lysinibacillus*, установени върху двата електрода и в седимента, докато представители на *Paenibacillus* са изолирани от седимента и анода.

14. **Ivo Bardarov**, Yolina Hubenova, Mario Mitov "Sediment microbial fuel cells as power sources for small electrical consumers." (2015) *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*

Изследвана е възможността седиментни микробиални горивни елементи да бъдат използвани като автономни източници за захранване на маломощни електронни устройства и сензори. Девет сладководни СМГЕ са свързвани последователно и паралелно и са използвани за зареждане на ултракондензатори при различни режими на превключване. Изпитани са различни подходи за повишаване и акумулиране на генерираното напрежение, тъй като директният изход на отделен СМГЕ е недостатъчен за повечето електронни устройства. Сравнението между различните режими позволява избор на подходяща схема за последващо разработване на система за управление на енергията. Работата демонстрира практическата възможност ниската, но непрекъсната генерирана енергия от СМГЕ да бъде натрупвана и използвана периодично за захранване на малки консуматори.

15. **Ivo Bardarov**, Y. Hubenova, and M. Mitov. "Sediment microbial fuel cell utilizing river sediments and soil." *Bulgarian Chemical Communications* 45 (2013): 223-226.

Представени са резултати от продължителна, 18-месечна експлоатация на седиментни микробиални горивни елементи, използващи речен седимент и почва, събрани в района на Благоевград. Системите работят без добавяне на хранителни вещества, с изключение на периодичното възстановяване на изпарената вода. Проведени са поляризационни измервания при постоянни и променливи товарни съпротивления. СМГЕ с речен седимент показва по-високи и по-стабилни електрически характеристики в сравнение със системата, използваща почва. Демонстрирано е също, че два последователно свързани седиментни горивни елемента могат да бъдат използвани за захранване на маломощни консуматори. Резултатите потвърждават потенциала на естествените сладководни седименти като устойчив източник на енергия за автономни системи.

Регистрирани полезни модели

1. Автоматизирана система за екологичен мониторинг. Дата на заявяване : 27.11.2020. Номер на заявка: BG/U/2020/5183. Защитен номер : 3988

Разработката представя автономна система за екологичен мониторинг, включваща седиментен микробиален горивен елемент, свръхнисковолтова система за управление на мощността и микроелектронен модул за събиране на данни и телеметрия, оборудван с набор от сензори. Системата се захранва изцяло от електроенергията, генерирана от седиментния микробиален горивен елемент, чиято работа се основава на естествено присъстващите във водните басейни микроорганизми и органични вещества. Системата за управление на мощността акумулира и повишава ниското напрежение, генерирано от горивния елемент, до ниво, необходимо за захранване на модула за събиране и предаване на данни. Разработената система позволява дистанционно проследяване на различни параметри на околната среда при минимална необходимост от поддръжка и човешка намеса.

2. УСТРОЙСТВО ЗА ДЕЛАМИНИРАНЕ НА ГРАФИТЕН ВЪГЛЕРОДЕН НИТРИД. Номер на заявка: 6587. Дата на подаване: 02.12.2025. Защитен номер: BG 5416 U1

Полезният модел представлява устройство за деламиниране на графитен въглероден нитрид ($g-C_3N_4$) чрез високоскоростно електрорезистивно нагряване – Flash Joule Heating. Системата включва реакционна камера и захранващ блок, като материалът се помещава в капилярни тръби от неръждаема стомана, разположени в кварцова тръба. При краткотрайно нагряване в милисекунден диапазон се предизвиква термичен шок и разширение на газовите компоненти между слоевете на $g-C_3N_4$, което води до неговото деламиниране. Устройството позволява получаване на материал с висока специфична повърхност, около $200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, и значително количество частици с дебелина 2–10 слоя при по-нисък енергиен разход. Полученият деламиниран $g-C_3N_4$ е предназначен за приложения във фотокатализа, производство на водород,

редукция на CO₂, разграждане на замърсители, фотоелектрохимични клетки, сензори и системи за съхранение и преобразуване на енергия.