

ОПИС ЗАВЕРШЕНОЇ РОЗРОБКИ

2209п Сенсорні засоби моніторингу довкілля та технологічні засади очищення водного середовища на основі новітніх нанодисперсних адсорбційних матеріалах

2209п Sensoric equipment for environmental monitoring and technological principles of water purification based on the novel nanodisperse adsorption materials

1. Номер державної реєстрації **0119u001068**, номер реєстрації в університеті - **2209п**.
2. Науковий керівник – доктор технічних наук, професор Лінючева Ольга Володимирівна, Doctor of Sciences, Professor Olga Linyucheva

3. Суть розробки, основні результати.

укр.

Розроблено технологічні засади одержання новітніх адсорбційних наноматеріалів: магнітокерованих сорбентів, нанокompatитів з каталітичними та фотокаталітичними властивостями (TiO_2 , ZrO_2 , Ag_2O , SnO_2 , MnO_2 , RuO_2 , Pt, Au, Ag, $\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{Co}_3\text{O}_4$). Виявлено механізм та розроблені технологічні засади взаємодії запропонованих наноматеріалів з речовинами-поллютантами на фоні їх багатокomпонентних сумішей. Створено та виготовлено експериментальні зразки хімічних сенсорів для визначення розчиненого кисню в воді, газів-поллютантів та газів, що є продуктами їх технологічної деструкції із застосуванням нових нанодисперсних матеріалів з високою хімічною спорідненістю (сенсори CO та CO_2 для повітряного середовища); розроблені та затверджені їх технічні описи; складено технологічний регламент та прописана технологія виготовлення чутливих елементів сенсорів.

Розроблено on-line метод моніторингу на основі безеталонної системи визначення концентрації кисню в водному середовищі, як одного з основних агентів технологій знешкодження органічних речовин у стічних водах, а також для підвищення стабільності функціонування вимірювальної системи газоаналізаторів за присутності широкого спектру поллютантів, які здатні отруювати металооксидні каталітичноактивні електроди/каталізатори створених сенсорів. Обґрунтовано ресурсоефективність та екологічність схеми кондиціонування стічних вод до вимог їх скидання або повторного використання в промисловості. Створено комплекс технологічних засад очищення стічних вод та контролю їх безпечності й ефективності з застосуванням нових адсорбційних наноструктурованих матеріалів.

Комплекс досліджень є міждисциплінарним та відрізняється новизною комплексного підходу щодо використання новостворених наноматеріалів одночасно як в якості сорбентів технології водоочистки стічних вод, так і в якості чутливих шарів електродів в сенсорних технологіях від існуючих, в яких пропонуються лише окремі технічні рішення і тільки для одного напрямку.

англ.

Technological bases for obtaining the latest adsorption nanomaterials: magnetically controlled sorbents, nanocomposites with catalytic and photocatalytic properties (TiO_2 , ZrO_2 , Ag_2O , SnO_2 , MnO_2 , RuO_2 , Pt, Au, Ag, Co_2O_3) • Co_3O . The mechanism and technological bases of the offered nanomaterials' interaction with substances - pollutants against the background of their multi-component mixes are revealed. Experimental samples of chemical sensors for determination of dissolved oxygen in water, pollutant gases, and gases that are products of their technological destruction using new nanodisperse materials with high chemical affinity (CO and CO_2 sensors for air); developed and approved their technical descriptions; the technological regulations are made and the technology of manufacturing of sensitive elements of sensors are registered.

An online monitoring method based on a non-standard system for determining the oxygen concentration in the aquatic environment as one of the main agents of organic matter disposal technologies in wastewater, as well as to increase the stability of the gas analyzer measuring system in the presence of a wide range of pollutants capable of electrodes/catalysts of the created sensors. The resource efficiency and environmental friendliness of the wastewater conditioning scheme to the requirements of their discharge or reuse in the industry are substantiated. A set of technological principles of wastewater treatment and control of their safety and efficiency with the use of new adsorption nanostructured materials has been created.

The research complex is interdisciplinary and has a novelty of an integrated approach to the use of newly developed nanomaterials both as sorbents in wastewater treatment technology and as sensitive layers of electrodes in sensory technologies from existing ones, which offer only some technical solutions and only one direction.

4. **Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної .**

1. Спосіб синтезу мезопористого наноструктурного порошку SnO₂, Башмаков І.В. (UA), Донцова Т.А., Нагірняк С.В., Янушевська О.І., Алісова В.В. Патент України на корисну модель, № 136554, МПК В01J20/20 (2006.01) В82Y 30/00 C01G 19/08 (2006.01). Заявл. 28.02.2019. № u2019 02023. Опубл.: 27.08.2019. – Бюл. №16.

2. Спосіб синтезу метастабільної кубічної модифікації нанодисперсного порошку цирконію (IV) оксиду. / Янушевська О.І., Тивоненко А.В., Донцова Т.А. Патент на корисну модель України № 137439. Заявл. 15.03.2019; опубл.: 25.10.2019. бюл. № 20.

3. Спосіб виготовлення поляризаційної складової з низьким опором для електродів конденсаторів подвійного електричного шару / Ізотов В.Ю., Лінючева О.В., Гавриков Д.С. Патент на корисну модель України № 140597. Заявл.27.06.2019, опубл. 10.03.2020, бюл. №5.

Заявка на патент:

4.Спосіб отримання наноструктурованих оксидів металів IV та VIII груп гомогенним осадженням. Донцова Т. А., Лапінський А. В., Крimeць Г. В., Янушевська О. І., Концева М. В., Сергієнко А. О.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – U202105948; заявл. 21.10.2021. опубл. 08.12.2021, Бюл. № 49, 2021.

Свідоцтво на Авторське право на твір:

5.Заключний звіт «Сенсорні засоби моніторингу довкілля та технологічні засади очищення водного середовища на основі новітніх нанодисперсних адсорбційних матеріалах». – Київ, 2021 , 265 с.

5. **Порівняння зі світовими аналогами.**

Рівень виконаної роботи перевищує світовий.

Створено нові в світовому аспекті адсорбційні металоксидні наноматеріали та нанокомпозити, які використані для розробки технології адсорбціо-фотокаталітичного очищення водного і газового середовищ одночасно. Отримані результати дозволили розширити теоретичні знання та практичні аспекти в області нанотехнологій, технології адсорбентів, водопідготовки, сенсорної техніки.

Відносно успішно ця задача вирішена лише двома провідними виробниками сенсорів у світі (City Technology (Великобританія) і Figaro (Японія)), проте їх продукція відрізняється значними масо-габаритними показниками (City Technology) та залежністю якості роботи від положення у просторі (Figaro). Іншими зарубіжними фірмами (Dräger Werke AG і Sensoric GmbH (Німеччина)) випускаються три- та чотириелектродні сенсори кисню, застосування яких потребує суттєво складнішої електронної техніки і, головне, на порядок більших енерговитрат, що знижує автономність або портативність сенсорних пристроїв. Кошторисна вартість закордонних аналогів розроблених сенсорних засобів в 2,5 рази більше, ніж розробки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Вартість реалізація створення новітніх адсорбційних наноматеріалів (нанокомпозиційних магнітокерованих сорбентів, нанокомпозитів з каталітичними і фотокаталітичними властивостями на основі матриць) складає, приблизно 1 млн. доларів США, термін впровадження 3 роки.

Вартість реалізація створення сенсорних засобів для контролю якості очищення стічних вод та газів складає, приблизно 1 млн. гривень, термін впровадження 1,5 роки.

7. Потенційні користувачі.

Проведені випробування на ТОВ «ФЛЮИД Менеджмент Системс» промивних вод фармацевтичного виробництва ТОВ «УМЕДО Груп» свідчать про перспективність використання синтезованих фотокаталітичних матеріалів та суттєве зниження значення ХСК після фотокаталітичного процесу, яке було знижено до нормативних вимог (правила прийому стічних вод абонентів у систему каналізації міста Києва), що дозволяє скидати очищені стоки у каналізацію.

Розробка представляє інтерес для вітчизняних та світових виробників газоаналітичної техніки як первинний перетворювач, передусім для застосування у портативних та індивідуальних промислових газоаналізаторах, призначенням яких є забезпечення безпеки життєдіяльності на виробництвах, а саме: при проведенні робіт у замкнених герметичних об'ємах та приміщеннях, при ремонті та інспектуванні підземних комунікацій, відвідуванні будь-яких приміщень, де можливе зниження вмісту кисню внаслідок біологічних або хімічних процесів. Тобто, такі прилади необхідні у комунальному господарстві, на виробництвах хімічного та харчового профілю, де виникає потреба ремонту ємностей великого розміру із середини, на підприємствах, де необхідне складування і зберігання матеріальних цінностей у закритих герметичних приміщеннях, у гірничодобувній промисловості, оскільки вугільні шахти України є найглибшими і найнебезпечнішими у світі і на решті у медицині для діагностування захворювань за складом повітря у видиху. Сенсорні засоби необхідні для контролю якості очищення стічних вод та газів після регенерації сорбентів без витрачання реактивів та без використання високоартісного устаткування.

Потенційними користувачами, з якими встановлено господарчі відносини, є ТОВ «ФЛЮИД Менеджмент Системс», ТОВ «УМЕДО Груп», ПрАТ «УкрАналіт», НВП «Оріон», ТОВ «Вівест»

8. Стан готовності розробки

Виготовлено експериментальні зразки сенсорів O_2 , CO та CO_2 , створено їх технічні описи. Оформлено реєстраційні карти технології водоочищення на основі новітніх адсорбентів.

9. Існуючі результати впровадження.

Проведені випробування на ТОВ «ФЛЮИД Менеджмент Системс» промивних вод фармацевтичного виробництва ТОВ «УМЕДО Груп» свідчать про перспективність використання синтезованих фотокаталітичних матеріалів та суттєве зниження значення ХСК після фотокаталітичного процесу, яке було знижено до нормативних вимог (правила прийому стічних вод абонентів у систему каналізації міста Києва), що дозволяє скидати очищені стоки у каналізацію.

Основним практичним результатом виконаної роботи є впровадження розроблених сенсорів O_2 , CO та CO_2 у виробництво газоаналітичних приладів вітчизняних підприємств ПрАТ «УкрАналіт» (Київ), НВП «Оріон» (Харків) та ТОВ «Вівест» (Київ). Прилади успішно пройшли польові випробування на промислових підприємствах та у комунальних господарствах міст України.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, хіміко-технологічний факультет, кафедра технології електрохімічних виробництв, +380 97 2157977, o.linyucheva@kpi.ua

11. Фото



12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання

Монографії:

1. Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph / V. Z. Barsukov, Yu. V. Borysenko, V. G. Khomenko, O. V. Linyucheva; editor-in-chief V. Z. Barsukov. Kyiv.: KNUTD, 2019. – 285 pages. ISBN:978-617-7506-48-4 (колективна монографія). <https://drive.google.com/file/d/1RcIdfZhnAENGf6fvDYvsvAE0VJ1mnZWZ/view>
2. Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph / V. Z. Barsukov, Yu.V. Borysenko, V. G. Khomenko; O. V. Linyucheva, editor-in-chief V. Z. Barsukov. Kyiv.: KNUTD, 2020. – 288 pages ISBN:978-617-7506-71-2 <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/16949> (колективна монографія).
3. Нестационарні струмоутворюючі, корозійні та електрокінетичні процеси на електродах сенсорних засобів моніторингу довкілля: / Букет О.І., Лінючева О.В., Кушмирук А.І., Косогін О.В., Лінючев О.Г., Бик М.В., Васильєв Г.С., Гавриков Д.С. – К.: Інтерсервіс, 2021. – 192 с. ISBN: 978-966-999-219-2.
4. Донцова Т.А. Металоксидні наноматеріали і нанокompозити екологічного призначення: монографія / Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. (Протокол Вченої ради КПІ № 1 від 29.01.2021 р.) – 296 с. ISBN: 978-966-990-019-7.
5. Електрохімія сьогодення: здобутки, проблеми та перспективи: колективна монографія. – Київ: МПБП «Гордон», 2021. -191 с. ISBN: 978-966-8398-64-3 doi:10.33609/978-966-8398-64-3.01.2021.1-191 <http://ionc.com.ua/PDF/Book-IX-EX-2021.pdf>
6. Yanushevskaya O., Dontsova T., Nahirniak S., Alisova V. TiO₂–ZnON anocomposites for Photodegradation of Dyes in Water Bodies. Springer Proceedings in Physics, (2021), 246. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51905-6_49 (розділ монографії).

Підручники, посібники:

7. Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. Нанохімія і наноматеріали [Електронний ресурс]: Підручник для здобувачів вищої освіти рівня PhD / КПІ ім. Ігоря Сікорського; укладачі: Донцова Т. А., Літинська М. І., Феденко Ю. М. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 168 с
8. Т.А. Dontsova, S.V. Nahirniak Textbook for Bachelor students of the specialty 161 "Chemical technologies and engineering" / Підручник з грифом університету: Structura

inorganic chemistry [Electronic resource]: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; the authors: T.A. Dontsova, S.V. Nahirniak – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2019. – 194 p.

9. О. В. Косоїн, О. В. Лінючева, Ю. С. Мірошніченко. Техніка хімічного експерименту [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» / О. В. Косоїн, О. В. Лінючева, Ю. С. Мірошніченко : Електронні текстові дані (1 файл: 8,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 387 с. українською мовою; <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27309>; Ухвалено Вченою радою № 4; дата 08.04.2019.

10. I.M. Ivanenko, T.A. Dontsova, Yu.M. Fedenko. Adsorption, Adsorbents and Catalysts Based on Them: Manual for Master students of the specialty 161 Chemical technologies and engineering specialization «Chemical technologies of inorganic substances and water purification» full-time education / I.M. Ivanenko, T.A. Dontsova, Yu.M. Fedenko. – K.: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Faculty of Chemical Technology, 2019. – 193 p.

11. Донцова Т. А., Янушевська О. І. Інноваційні неорганічні технології. Металоксидні сенсорні системи для моніторингу ґрунтового повітря (протокол Методичної ради КПІ ім. Ігоря Сікорського № 3 від 09.12.2021 р.), 2021. – 92 с.

Статті:

12. Kutuzova A., Dontsova T., Kwapinski W. Application of TiO₂-Based Photocatalysts to Antibiotics Degradation: Cases of Sulfamethoxazole, Trimethoprim and Ciprofloxacin // Catalysts 2021, 11(6), 728. <https://doi.org/10.3390/catal11060728>

13. Dontsova T., Nahirniak S., Linyucheva O., Mahajan A., Singh R.C. Physicochemical properties of Tin (IV) oxides synthesized by different methods and from different precursors, Applied Nanoscience (Switzerland), 2021. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01775-x>

14. Sohal M. K., Mahajan A., Gasso S., Dontsova T. A., Singh R. C. Modification of SnO₂ surface oxygen vacancies through Er doping for ultralow NO₂ detection, Materials Research Bulletin, 2021, 133, 111051. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2020.111051>

15. Dontsova T. A., Yanushevskaya O. I., Nahirniak S. V., Kutuzova A. S., Krymets G. V., Smertenko P. S. Characterization of Commercial TiO₂ P90 Modified with ZnO by the Impregnation Method, Journal of Chemistry, 2021, 9378490. <https://doi.org/10.1155/2021/9378490>

16. Sohal, M.K., Mahajan, A., Gasso, S., Nahirniak, S.V., Dontsova, T.A., Singh, R.C. Rare earth-tuned oxygen vacancies in gadolinium-doped tin oxide for selective detection of volatile organic compounds. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2020, 31(11), pp. 8446–8455. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-03379-7>

17. Kutuzova, A., Dontsova, T., Kwapinski, W. TiO₂–SnO₂ Nanocomposites: Effect of Acid-Base and Structural-Adsorption Properties on Photocatalytic Performance. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials, 2020, 30(8), pp. 3060–3072. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01467-z>

18. Nahirniak, S., Dontsova, T., Dusheiko, M., Smertenko, P., Kwapinski, W. Effect of SnO₂ structure morphology on their electrical properties. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 2020, 31(24), pp. 21934–21947. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04697-6>

19. Dontsova T.A., Nahirniak S.V., Astrelin I.M. Metaloxide Nanomaterials and Nanocomposites of Ecological Purpose // Journal of Nanomaterials. – 2019. – Vol. 2019. – P. 1–31. Article ID 5942194. <https://doi.org/10.1155/2019/5942194>

20. Liu, L., Wang, X., Izotov, V., Havrykov D., Koltsov I., Han W., Zozulya Yu., Linyucheva O., Zahorodna V., Gogotsi, Y. Capacitance of coarse-grained carbon electrodes with thickness up to 800 μm // Electrochimica Acta, 2019, - V. 302, P. 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.02.004>

21. Gomelya M., Tverdokhlib M., Shabliy T., Linyucheva O. Usage of Sorbent-Catalyst to Accelerate the Oxidation of Manganese. // Journal of Ecological Engineering, 2021, V. 22, № 4, P. 232–239. <https://doi.org/10.12911/22998993/133350>

22. Linyucheva O., Gomelya M., Havrilova O., Doronkina L., Linyuchev O. Environmental monitoring of gas emissions into the air with a sensory block // Materials Today: Proceedings. – Volume 6, Part 2, 2019, Pages 212-218 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.096>
23. Gomelya M., Tverdokhlib, M., Shabliy T., Radovenchuk, V., Linyucheva O. Sorbent-Catalyst for Acceleration of The Iron Oxidation Process. // Journal of Ecological Engineering, 2021, - V. 22, № 3, P. 221–230 <https://doi.org/10.12911/22998993/133030>.

Захисти:

1. Донцова Тетяна Анатоліївна, назва докторської дисертації: «Металоксидні наноматеріали і нанокompозити екологічного призначення», за спеціальністю 05.17.01 «Технологія неорганічних речовин», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, 2021 р.
2. Лінючев Олександр Генадійович, назва кандидатської дисертації: «Інтегрований комплекс сенсорних пристроїв для системи моніторингу хлору та сірководню в атмосферному повітрі», за спеціальністю 21.06.01 екологічна безпека , науковий керівник д.т.н. професор Гомеля Микола Дмитрович, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, 2021 р.
3. Гавриков Дмитро Сергійович, назва кандидатської дисертації: "Симетричні суперконденсатори на базі нанопористих вуглецевих матеріалів з оптимізованою структурою електродів", за спеціальністю 05.17.03 – технічна електрохімія, науковий керівник д.т.н., професор Лінючева Ольга Володимирівна, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, 2021 р.

13. Надати ключові слова:

Нанодисперсні матеріали, наносорбенти, технологічні засади, сенсорні системи, засоби моніторингу.