

ВІДГУК

офіційного опонента – доктора технічних наук, професора Мандрика Олега Миколайовича на дисертаційну роботу Бордуна Ігоря Михайловича «Науково-методичні основи екологічно безпечних технологій водопідготовки з використанням фізико-хімічних методів», представлену до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

1. Актуальність теми. Серед глобальних проблем, з якими стикається людство впродовж останнього часу, все більш нагальною стає екологічна проблема. І вона не лише гостро зачіпає окремі країни, але і загрожує існуванню людства взагалі. Ключовою складовою цієї проблеми є якість і забезпеченість водними ресурсами. І якщо країни Європи у середньому витрачають 8,6 тис. куб. м в рік на одного жителя, то Україна витрачає на одного жителя близько 1,2 тис. куб. м. А це говорить про те, що наша держава належить до тих країн, які мають дуже низьку забезпеченість водними ресурсами. Не кращою є справа із дотриманням водного балансу, особливо у південно-східних областях України. Така ситуація негативно впливає на стан довкілля і життєдіяльність людей, а отже, вимагає рішучих підходів до вивчення і розв'язання питань, пов'язаних із станом гідросфери, у рамках ключових ідей екологічної безпеки.

Стратегія раціонального використання водних ресурсів з метою запобігання негативному впливу на довкілля повинна будуватись на принципах мінімізації використання у антропогенній виробничо-господарській діяльності водорозчинних хімічних сполук та нанорозмірних частинок. Таку стратегію покладено у розроблені у дисертації технологічні підходи: використання безреагентних методів водопідготовки, синтез високопористих адсорбентів чи матеріалів для електродних технологій із рослинних відходів (продуктів сільськогосподарського виробництва чи харчової промисловості). Таким чином, разом із розробкою інноваційних екологічно безпечних технологій успішно утилізуються такого виду відходи, що сприяє ощадному використанню

невідновлювальної сировини. Розв'язання таких комплексних завдань можливе тільки за умови глибокого дослідження та розуміння процесів та перетворень, які відбуваються у водних розчинах за умови дії на них зовнішніх електричних полів та у біоматеріалах в процесі синтезу із них активованого вугілля і наступного його модифікування. Критерієм екологічної безпечності пропонованих рішень є відслідковування екотоксичних складових у оброблюваних водних розчинах. Додаткову увагу приділено такому сучасному забрудненню гідросфери, як розосереджені у ній наночастинки. Саме ці актуальні питання становлять основну суть проведених дисертантом досліджень.

Робота виконувалась у рамках наукового напрямку «Природоохоронні технології з використанням природних дисперсних сорбентів та мінеральних добрив пролонгованої дії» кафедри «Екологія та збалансоване природокористування» Національного університету «Львівська політехніка» і виконана згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри, пов'язаних з тематиками «Природоохоронні технології очищення рідинних середовищ адсорбційними (селективними) методами» (номер державної реєстрації 0108U001387) та «Фізико-хімічні методи водопідготовки для технологічних процесів та модифікації матеріалів» (номер державної реєстрації 0113U005278).

2. Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій. Наукові положення, теоретичні висновки та практичні рекомендації в дисертаційній роботі є достатніми і належним чином обґрунтованими. Ключовою проблемою, яка аналізується та досліджується в дисертації, є забезпечення екологічної безпеки гідросфери. Слід зауважити, що ця проблема в повній мірі знайшла своє вирішення в дисертаційній роботі. Положення дисертації ґрунтуються на аналізі великого обсягу сучасних публікацій та на проведених дисертантом необхідних теоретичних і експериментальних дослідженнях. Усі вимірювання проводили із використанням сучасних методик і на сучасному обладнанні, для представлення результатів використовували методи статистичної обробки

багаторазових вимірювань. В процесі детального аналізу дисертаційної роботи та автореферату не виявлено сумнівних висновків та тверджень.

Таким чином, ступінь обґрунтованості, достовірність наукових положень, розроблених автором, висновків та рекомендацій не викликає сумнівів.

3. Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі Бордуна І.М. розвинуто наукові основи екологічно безпечних технологій водопідготовки і водоочистки. Наукові висновки дисертації ґрунтуються на викладених в розділах 2–6 теоретичних та експериментальних даних. При виконанні дисертаційної роботи автором отримано ряд нових наукових результатів, серед яких слід виділити наступні:

– вперше теоретично обґрунтовано та експериментально доведено ефективність екологічно безпечних способів дезінфекції в цукровому виробництві на основі ЕХА розчинів хлориду натрію із використанням досліджених механізмів взаємодії активованих водних розчинів та водних розчинів, що містять розосереджені НЧ, із білковими молекулами, що сприяло підвищенню рівня екологічної безпеки цих виробництв;

– вперше з метою ефективної утилізації рослинних відходів та створення перспективних сорбентів для очищення водних середовищ, з ціллю підвищення екологічної безпеки, досліджено придатну до УЗ модифікації електронну структуру та фрактальну будову нанопористого біовуглецю, синтезованого зі стовбурів і листя кукурудзи та бурякового жому після активаційної карбонізації, що дає можливість значно підвищити функціональну гібридизацію та сорбційну ємність біовуглецю відносно забруднень водних середовищ;

– вперше теоретично обґрунтовано та експериментально доведено механізм модифікування активованого вугілля для застосування його в природоохоронних технологіях, показано, що максимальні значення ємності нанопористих біовуглеців відносно накопичення заряду спричинені зміщенням рівня Фермі в енергетичну ділянку, яка характеризується підвищеною густиною станів делокалізованих електронів, і не пов'язані зі зміною площі поверхні адсорбційних пор;

– вперше з метою підвищення екологічної безпеки гідросфери та очищення водних середовищ синтезовано (за двостадійною методикою) й успішно апробовано новий тип сорбенту – модифікований біовуглець (сировина – буряковий жом і стовбури та листя кукурудзи) із магнітними властивостями та високою адсорбційною ємністю відносно забруднень у поєднанні зі зручною сепарацією його з водних розчинів.

Вищевказані положення, без сумніву, становлять наукову новизну та достатні для того, щоб відзначити високий науковий рівень дисертації.

4. Практична цінність дисертації. Результати теоретичних і експериментальних досліджень, які становлять основу розроблених екологічно-безпечних технологій водопідготовки, захищені патентами України та пройшли дослідно-промислово апробацію. Зокрема, на Чортківському цукровому заводі ТЗОВ «Радехівський цукор» апробовано технологію виробництва і застосування у промислових умовах екобезпечного дезінфектанту на основі аноліту водних розчинів хлориду натрію, результати, отримані під час виконання дисертаційної роботи, передані для впровадження в Державне підприємство «Сумський державний науково-дослідний інститут мінеральних добрив та пігментів» – для очистки стоків від барвників за допомогою активованого вугілля з відходів сільського господарства; у ТЗОВ «ПАНСЕМАЛ» – для використання у приготуванні гіпсових розчинів; у ЛОО «Всеукраїнська екологічна ліга» – для моніторингу впливу НЧ на живі організми. Наукові результати дисертації використовуються у навчальному процесі НУ «Львівська політехніка» під час підготовки спеціалістів за спеціальністю 101 – екологія у програмі курсів «Техноекологія», «Біомоніторинг навколишнього середовища» та «Технологія підготовки питної води».

5. Повнота викладення результатів роботи в опублікованих працях.

Результати основних наукових досягнень, здобутих в процесі виконання дисертаційної роботи, опубліковані автором у 60 наукових працях, зокрема у 33 статтях, з яких 17 – у наукових фахових виданнях України, 11 статей – у виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та/або Web

of Science, 5 статей опубліковано в інших виданнях, 25 матеріалів і тез доповідей на конференціях, з яких 3 публікації – у виданнях, що індексуються у Scopus та/або Web of Science, одержано 2 патенти України.

6. Щодо завершеності дисертації в цілому, то можна відмітити, що дисертація є завершеною науковою роботою, яка складається із вступу, шістьох розділів, висновків, списку використаної літератури, що містить 501 найменування та 17 сторінок додатків.

У **вступі** обгрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та її зв'язок із науковими програмами, планами, темами. Сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна, практична цінність отриманих результатів. Визначені об'єкт та предмет дослідження, наведено методи дослідження, особистий вклад здобувача в надрукованих роботах; надається інформація щодо апробації результатів дисертації та їх опублікування.

У **першому розділі** на основі літературних даних розглянуто шляхи раціонального використання природних ресурсів взагалі і водних ресурсів зокрема для забезпечення екологічної безпеки держави. Проаналізовано підходи до розроблення технологічних процесів із врахуванням техногенного навантаження на довкілля, наявні екологічно безпечні технології водопідготовки із використанням фізико-хімічних методів, розглянуто шляхи утилізації відходів рослинного походження для розв'язання проблем водоочистки та енергетики. На основі здійсненого аналізу літератури запропоновано стратегію розробки екологічно безпечних технологій водопідготовки, сформульовано мету і завдання досліджень.

У **другому розділі** приведено методики одержання водних розчинів, синтезу, модифікування та дослідження біовуглеців, які вивчалися в дисертації. Показано методологію, основні підходи та об'єкти досліджень, які проводились із використанням системного підходу. Здійснено опис експериментальних установок та методик, які використовувались для досліджень.

У **третьому розділі** представлено теоретичний аналіз та підтверджено експериментальним шляхом потенційну небезпеку для довкілля загалом та живих організмів зокрема забруднень у вигляді наночастинок, які

розосереджені у водному середовищі, та описано розроблену методику екологічного моніторингу такого виду забруднень. Зроблені висновки підтверджено паралельними дослідженнями на основі даних люмінесцентної спектроскопії.

Четвертий розділ дисертації присвячений створенню екологічно безпечних реагентів для реалізації природоохоронних технологій з використанням контролю протікання процесу електрохімічної активації водних розчинів, проведено аналіз наявних методів збереження метастабільних властивостей аноліту і католіту та запропоновано оптимальні підходи у виборі цих методів. На основі встановлених фактів розроблено екологічно безпечні технології модифікування поверхні біовуглеців водними розчинами, активованими в електричному полі, отримання води замішування без використання хімічних модифікаторів за умови збереження нормованих фізико-механічних характеристик гіпсового каменю в будівельній галузі та екологічно безпечного дезінфектанту для дифузійних апаратів у цукровому виробництві.

У **п'ятому розділі** з метою утилізації рослинних відходів шляхом використання їх як сировини для виробництва ефективних сорбентів для природоохоронних технологій проаналізовано фізико-хімічні характеристики відходів та досліджено оптимальні умови синтезу з них активованого біовуглецю, досліджено ефективність очищення стічних вод від барвників та нафтових забруднень синтезованими та модифікованими за допомогою ультразвукового впливу біовуглецями. Для порівняння аналогічні дослідження проведено і з промисловим активованим вугіллям різних марок. Використано різні моделі для опису отриманих експериментально ізотерм адсорбції, встановлено роль мезопор у підвищенні адсорбційної здатності активованого вугілля і розроблено спосіб визначення характеристик поверхні нанопористих вуглецевих матеріалів.

У **шостому розділі** представлено результати комплексних досліджень можливостей застосування вуглецевих матеріалів, які синтезовані із рослинних відходів, в інноваційних природоохоронних електротехнологіях та встановлено вплив УЗ на поляризаційні властивості таких біовуглеців. Показано

перспективу застосування модифікованого ультразвуковим впливом активованого вугілля в екологічно безпечній технології виробництва від'ємних електродів несиметричних суперконденсаторів. Описано розроблене обладнання електроаеросепарації біовуглеців з метою відбору вузьких фракцій для застосування в різних природоохоронних технологіях, проведено апробацію обладнання у дослідно-промислових умовах.

7. Оформлення дисертації відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 “Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення” та вимогам ВАК України, висвітленими у Бюлетені ВАК України за №2 2000 року та у Бюлетені ВАК за №9–10 2011 року.

8. Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату

1. Вважаю, що деякі параграфи другого розділу (2.3.1, 2.3.2, 2.5) занадто переобтяжені описом відомих методик. Їх доцільно було б скоротити, а зосередитися на методиках одержання водних розчинів та синтезу.

2. Не зрозуміло чи проводилось чисельне порівняння ефективності контролю процесу активації електричним полем у порівнянні з іншими, описаними у дисертації, методами такого контролю?

3. Основне мікробіологічне забруднення на цукровому виробництві є на різних виробничих етапах, починаючи зі зберігання цукрових буряків у кагатах, екстрагування сахарози з бурякової стружки у дифузійному відділенні і аж до фільтрування соків. З тексту дисертації та автореферату незрозуміло, чи можна розроблений дезінфектант застосовувати на всіх виробничих ділянках, чи він має обмеження своєї ефективності при застосуванні?

4. У параграфі 4.3 оцінено середні відстані між іонами у досліджених розчинах хлориду калію різної концентрації. Проте зовсім не описано моделі, на основі якої це зроблено.

5. У табл. 5.19 показано результати розрахунків питомої площі поверхні різних видів активованого вугілля. Серед них зазначено активоване вугілля з β -циклодекстрину і хвоща польового. Однак, у методиці одержання (параграф 2.1) нічого не сказано ні про методику, ні про умови карбонізації та активації.

6. На рис. 6.1 показано залежності питомої ємності різних біовуглеців від часу ультразвукового впливу у кавітаційному режимі. Ці залежності мають максимум при обробці впродовж приблизно 10 хв. Однак, дослідження проведено лише для однієї потужності випромінювання та на одній частоті. З отриманих результатів незрозуміло, чи буде такий режим оптимальним і для інших частот та потужностей. Чи проводились такі дослідження?

7. На рис. 6.4 зображено хронопотенціограму заряду-розряду постійним струмом дослідного зразка суперконденсатора з близькими за масою електродами з синтезованого немодифікованого біовуглецю, розрахована кулонівська ефективність при цьому становить близько 98 %. Однак, ніде у роботі не проаналізовано, чи змінюється кулонівська ефективність внаслідок модифікування за допомогою ультразвуку у докавітаційному та кавітаційному режимах, хоча вимірювання зарядно-розрядних кривих проведено для усіх видів біовуглеців.

8. Таблиці 5.19 і 5.20 для кращого сприйняття доцільно було би об'єднати, бо колонки у одній та у другій одні і ті ж самі, і висновки робляться спільно для результатів, представлених у обох таблицях.

9. Бажано було б визначити економічну ефективність впровадження установки трибоадгезійної аеросепарації АВ при використанні їх у природоохоронних технологіях.

9. Рекомендації щодо використання одержаних результатів

Результати дослідження щодо наукового обґрунтування, розробки та впровадження екологічно безпечних технологій водопідготовки та очищення стоків у результаті застосування інноваційних фізико-хімічних методів (електрохімічної активації, синтезу нанопористих біовуглецевих структур, модифікування їх енергетичної топології та фрактальної будови), що забезпечують дотримання нормативів шкідливого впливу на довкілля, я пропоную передати в Міністерство екології та природних ресурсів України і Державне агентство водних ресурсів України з метою впровадження, що дозволить забезпечити успішну реалізацію розроблених технологій і покращити рівень екологічної безпеки гідросфери України.

10. Висновки

Приведені вище зауваження не впливають на обґрунтованість наукових положень та висновків дисертації і не зменшують наукової новизни одержаних результатів. Дисертація Бордуна Ігоря Михайловича є завершеною науковою працею, основні положення якої не викликають заперечень. Робота демонструє комплексний науково-методологічний підхід до досліджень, здатність автора аналізувати та узагальнювати. Автореферат за змістом відповідає дисертації.

Таким чином, за об'ємом, змістом, рівнем та оформленням в цілому дисертаційна робота Бордуна Ігоря Михайловича "Науково-методичні основи екологічно безпечних технологій водопідготовки з використанням фізико-хімічних методів" виконана на рівні вимог до докторських дисертацій у відповідності з п. 9, 10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. за № 567 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р. і № 1159 від 30.12.2015 р.) і направлена на розробку науково-методичних основ технологій водопідготовки та очищення стоків у результаті застосування інноваційних фізико-хімічних методів, що забезпечить дотримання нормативів шкідливого впливу на довкілля, а її автор, Бордун Ігор Михайлович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент –

доктор технічних наук, професор,

перший проректор Івано-Франківського

національного технічного

університету нафти і газу

«25» 09.

2020 р.

Підпис Мандрика О.М. засвідчую

Вчений секретар

О.М. Мандрик

В.Р.Процюк

