

## ВІДГУК

офіційного опонента Саввової Оксани Вікторівни  
на дисертаційну роботу Забіяки Наталії Анатоліївни  
«Матеріало-заощаджувальні хімічні процеси виробництва водню в хімічній  
техніці та енергетиці» подану на здобуття ступеня доктора філософії за  
спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія

### **Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Дисертація присвячена актуальній темі створення та практичного впровадження матеріало-заощаджувальних хімічних процесів виробництва водню в хімічній техніці та енергетиці.

Важливим науково-практичним завданням в умовах сталого розвитку України спрямованого на створення екологічно безпечного, енергозаощаджувального технологічного процесу синтезу водню з використанням алюмодеполяризуючих циклів в хімічній техніці та енергетиці для потреб енергетики та тепlopостачання в побуті. Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується й тим, що переваги використання водню для декарбонізації цілого ряду секторів, зокрема енергетики, промисловості, транспортного сектору та посилення енергетичної безпеки, є важливим потенціалом розвитку водневої енергетики в Україні з урахуванням положень Європейської економічної комісії ООН (UNECE) та Програми розвитку ООН (UNDP).

Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується й тим, що здобувач як виконавець проводила дослідження у відповідності з планом науково-дослідної діяльності кафедр «Хімічна техніка та промислова екологія» та «Технічна електрохімія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у межах науково-дослідної тематики відповідно до завдань держбюджетних тем МОН України: «Розробка електрохімічних способів отримання матеріалів та сполук подвійного призначення» (ДР № 0120U001002) (2020–2021), «Функціональні матеріали в екологічно безпечних електрохімічних процесах відновлювальної енергетики та

машинобудування для об'єктів подвійного призначення» (ДР № 0117U004886) (2017–2018), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Забіяки Н.А., є достатньо високою та базується на аналізі літературних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети й задач дослідження, зіставленні та критичному аналізу отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, забезпечується застосуванням цілого ряду сучасних взаємодоповнюючих методів досліджень, відтворюваністю результатів, їх взаємоузгодженістю і відповідністю відомим даним. Висновки дисертації і рекомендації ґрунтуються на отриманих особисто здобувачем результатах і відбивають новизну і практичну значимість роботи та сформульованих в ній результатів дослідження.

**Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.**

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача розробки нового способу синтезу водню шляхом хімічної взаємодії сплаву марки АК7 з лужними розчинами з домішками активаторів.

Вперше:

- встановлено кінетичні закономірності хімічної поведінки сплаву алюмінію марки АК7 у розчинах лугу із додаванням хлоридів та фторидів, а саме: швидкість розчинення сплаву АК7 та швидкість виділення водню, що дозволило обрати технологічні концентрації розчину, які становлять 2,5 моль/дм<sup>3</sup> NaOH; 0,2 моль/дм<sup>3</sup> NaF; 0,1 моль/дм<sup>3</sup> NaCl, та запропонувати температуру електроліту 298–323 К із застосуванням перемішування;

- доведено активуючу дію іонів фториду та хлориду концентраціями 0,2 моль/дм<sup>3</sup> та 0,1 моль/дм<sup>3</sup> на розчинення сплаву АК7 при їх спільній присутності у розчині 2,5 моль/дм<sup>3</sup> NaOH, що дозволило збільшити продуктивність процесу за воднем у 10 разів в порівнянні з розчином 2,5 моль/дм<sup>3</sup> NaOH, що не містить активаторів;

- за результатами проведених досліджень запропонована стадійність взаємодії компонентів сплаву АК7 з розчином натрію гідроксиду та визначені процеси, які перебігають при додаванні активаторів;

- розроблено технологічний процес виробництва водню шляхом алюмодеполяризаційного циклу за допомогою взаємодії сплаву алюмінію марки АК7 з розчином  $2,5 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaOH} + 0,2 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaF} + 0,1 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaCl}$ , що дозволяє отримувати водень без використання мембранних електролізерів.

Практичне значення одержаних результатів для «гілки» водневої енергетики полягає в розробці нового способу синтезу водню, який базується на сировині із вітчизняних матеріалів, доступності хімічних елементів для приготування електролітів та простоті обладнання. Розроблена технологічна схема виробництва водню та встановлені її технологічні показники дозволяють реалізувати даний спосіб у вдосконаленні водневої промисловості. Для реалізації даного способу розроблено карту технологічного процесу синтезу водню, яка дозволяє отримувати водень без використання мембранних електролізерів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія» НТУ «ХПІ» при підготовці фахівців за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія.

#### **Повнота викладення результатів роботи у наукових працях.**

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковано в 14 наукових публікаціях, у тому числі, 2 статті у наукових фахових виданнях України, 2 статті у закордонному періодичному науковому виданні, 10 – у матеріалах конференцій.

#### **Аналіз основного змісту дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 142 сторінки, серед них: 30 рисунків за текстом; 14 таблиць по тексту; список використаних джерел із 113 найменувань на 14 сторінках, 2 додатки на 7 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт і предмет досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, охарактеризовано особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

**Перший розділ** дисертації присвячений аналізу науково-технічної та патентної літератури з питань сучасних способів синтезу водню, ряду проблем, які існують у водневій галузі та потребують їх вирішення, а саме, зменшення матеріальних, енергетичних витрат та складність в устаткуванні даних способів визначають важливість розробки нового перспективного хімічного низькотемпературного способу синтезу водню, в якому за допомогою взаємодії алюмінію з лужними електролітами проходять процеси його розчинення за механізмом водневої деполяризації. Успішне виконання цієї важливої частини роботи показало достатньо високий рівень знань дисертанта за темою роботи, дозволило йому виявити актуальні невирішені питання в даній галузі електрохімії та обґрунтувати її конкретні завдання.

У **другому розділі** наведено відомості щодо методики досліджень. Обґрунтовано вибір матеріалів, реактивів, технологічні параметри одержання електролітів, режими попередньої обробки зразків. Встановлено взаємозв'язок структури поверхні алюмінієвого сплаву марки АК7 з параметром шорсткості поверхні. Суттєвим результатом планування експерименту є застосування регресійного аналізу, що дозволяє на основі експериментальних даних встановити формульні залежності між факторами впливу та відгуком функції, тобто отримати регресійні моделі об'єкту дослідження, а саме емпіричні рівняння. Статистична обробка результатів досліджень виконувалася за допомогою програмних пакетів Statistica 6.0 та MS Exel 2016. Statistica 6.0 призначена для статистичної і математичної обробки даних експериментальних досліджень, встановлення взаємозалежностей факторів впливу та функції відгуку, подання їх у графічному вигляді та побудови на основі цього регресійних рівнянь для заданих параметрів. Проведено розрахунок матеріальних балансів виробництва водню для чистого алюмінію та сплаву

АК7. Детальний опис застосованих найсучасніших методів дослідження і обробки результатів свідчить не тільки про високий рівень експериментального виконання даної роботи, але й достатньо суттєву та всебічну підготовку автора як дослідника - електрохіміка.

**Третій розділ** дисертації присвячений дослідженню руйнівної поведінки та хімічного розчинення сплаву АК7 в лужно-галогенідних розчинах дозволило висунути ряд умов, які впливають, головним чином, на швидкість виділення водню: склад електроліту, температура, клас чистоти поверхні, перемішування поверхневого шару електроліту.

У **четвертому розділі** представлено результати встановлення механізмів реакцій взаємодії сплаву АК7 з лужними розчинами. Проаналізовано реакції, які супроводжують процес взаємодії сплаву АК7 з лужним розчином. Обґрунтовано механізми протікання цільових і суміщених реакцій. Досліджено вплив домішок сплаву АК7 на швидкість його взаємодії з лужно-галогенідними розчинами. Запропоновані шляхи усунення  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  з поверхні алюмінію для покращення синтезу водню під час проведення досліджень. Розроблено узагальнену схему проходження механізмів реакцій розчинення сплаву і виділення водню та визначені залежності протікання цільових та суміщених реакцій. Обґрунтований вплив даних реакцій на швидкість реагуючого процесу. Запропоновано шляхи вирішення уповільнення проходження основної реакції розчинення алюмінієвого сплаву марки АК7.

**П'ятий розділ** присвячено вибору технологічних параметрів виробництва водню шляхом взаємодії сплаву АК7 з лужно-галогенідними розчинами. Розроблено технологічну схему синтезу водню з урахуванням аспектів ресурсозбереження. Запропонована принципова схема очищення водню, яка включає в себе перевірку на контроль якості отриманого продукту. Важливою екологічно складовою технології є переробка продуктів реакції розчинення сплаву (алюмінати) у вигляді шламу та пересичених розчинів до оксиду алюмінію. Запропонована принципова схема автоматизованої лінії системи регенерації продуктів реакції, яка реалізується на виробництві за

призначенням. Вона забезпечує перетворення алюмінатів в оксид алюмінію, розроблена карта технологічного процесу виробництва водню з використанням сплавів алюмінію або його порошоків, яка дозволяє отримувати водень без використання мембранних електролізерів. Проведені розрахунки матеріальних балансів виробництва з використанням чистого алюмінію та сплаву ливарного сплаву марки АК7.

**Список використаних джерел** включає 113 посилань, які достатньо повно охоплюють сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації, а також здобутки автора.

**Загальні висновки** по дисертації в цілому відповідають поставленим завданням, змісту проведених досліджень та тексту дисертації.

У **додатках** наведено та список публікацій за темою дисертації та довідка щодо впровадження матеріалів дисертаційної роботи в навчальний процес

Зміст роботи та послідовність викладення матеріалу відповідають поставленій меті і задачам. Дисертація оформлена у відповідності до існуючих вимог, добре ілюстрована та структурована. Повнота висвітлення всіх етапів вирішення поставлених задач дає вичерпне уявлення про використані методи та одержані результати.

**При ознайомленні з дисертацією виникли наступні запитання та загальні зауваження.**

Зауваження:

1. Перший розділ надто великий та його об'єм можливо зменшити за рахунок більш стислого огляду існуючих методів синтезу водню, що зводиться до порівняння найважливіших характеристик з точки зору їх застосування у промисловості.

2. В дисертаційній роботі зустрічаються стилістичні, граматичні та синтаксичні помилки.

Запитання:

1. З чим пов'язана не лінійність залежність зміни швидкостей взаємодії сплаву АК7 з лужними розчинами (рис. 3.1)?
2. Чи передбачається зміна технологічних показників одержання водню при зміні геометричних розмірів або насипної маси частинок алюмінієвого сплаву?
3. Чи спостерігався винос електроліту воднем з реактора та чи передбачено в технологічній схемі очистка та осушка одержаного водню?
4. Чи не вплине негативно на можливість рециклінгу відпрацьованого розчину наявність в ньому фторид іонів?
5. На рис. 5.3 показано, що корпус хімічного реактора виконано з металу, а по тексту наведено, що реактор виготовлено з поліпропілену. З чим пов'язана така неузгодженість?

Вказані недоліки та зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має наукову цінність та практичну значущість.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Забіяки Наталії Анатоліївни «Матеріало-заощаджувальні хімічні процеси виробництва водню в хімічній техніці та енергетиці» є завершеною науково–дослідною роботою, яка вирішує важливу науково–практичну задачу розробки нового способу синтезу водню шляхом хімічної взаємодії сплаву марки АК7 з лужними розчинами з домішками активаторів для застосування в хімічній техніці та енергетиці.

Вважаю, що за актуальністю теми, ступенем обґрунтованості наукових положень, достовірністю, науковою новизною, теоретичною і практичною цінністю, об'ємом і рівнем одержаних результатів, висновків, сформульованих в дисертації, повнотою їх викладення в опублікованих працях, дисертаційна робота повністю відповідає вимогам пунктів 10, 11, 12 Порядку проведення

експерименту з присудження ступеня доктора філософії затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, а здобувач Забіяка Наталія Анатоліївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія (галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія).

**Офіційний опонент:**

професор кафедри

«Хімії та інтегрованих технологій»

Харківського національного університету

міського господарства ім. О.М. Бекетова

доктор технічних наук, професор

Оксана САВКОВА

Підпис Савкової О.В. засвідчую:

Вчений секретар ХНУМГ ім. О.М. Бекетова

Дмитро ТУГАЙ

