

Голові разової спеціалізованої вченої ради Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, доктору технічних наук, завідувачу відділу Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України Сідлецькому Олегу Цезаревичу

## **ВІДГУК**

Рецензента, доктора технічних наук, старшого дослідника, провідного наукового співробітника відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України Беспалової Ірини Ігорівни на дисертаційну роботу Варича Андрія Григоровича «Нові технології виготовлення йодидів натрію та цезію для вирощування сцинтиляційних монокристалів з сировини техногенного походження», що подана до захисту у разову спеціалізовану вчену раду Інституту сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» галузі знань 13 «Механічна інженерія»

### **Актуальність теми дисертації**

Неорганічні сцинтиляційні монокристали знаходять широке застосування в різних галузях науки і техніки як детектори іонізуючого випромінювання. Найбільш поширеними є монокристали NaI(Tl), який має високий світловихід і короткі часи загасання сцинтиляційного імпульсу. Монокристали на основі активованого CsI, мають нижчий світловихід і є більш повільними, але також широко використовуються маючи більшу хімічну стійкість і механічну міцність. Істотними перевагами даних монокристалів є відносно проста технологія вирощування, яка дозволяє вирощувати великогабаритні кристали, і достатня ступень відтворюваності функціональних параметрів вирощених монокристалів.

Основними методами отримання великогабаритних монокристалів є вирощування з розплаву методами Кіропулоса або Чохральського. Створення детекторів з великогабаритних монокристалів передбачає великий цикл робіт

з обробки. Отже в послідовності «вирощування кристалів + обробка» відбувається накопичення відходів, до яких також додаються залишки розплав у ростовій установці і розчини, що утворюються при промиванні технологічного обладнання. Зберігання зазначених відходів (вирощування кристалів, створення детекторів) пов'язано з серйозними екологічними проблемами і, отже, регенерація з відходів основних складових монокристалів (CsI, NaI, TlI) є доцільною, оскільки відповідні технології замикають виробничий цикл.

Для регенерації відходів в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України було створено дільницю по переробці відходів вирощування монокристалів на основі йодидів натрію та цезію. Проте, з часом технології перестають відповідати вимогам щодо чистоти матеріалів та екологічним стандартам, і тому потребують істотного удосконалення.

Отже, робота А.Г. Варича, яка присвячена розробці підходів до удосконалення технологій регенерації відходів йодидів натрію та цезію, на сьогодні є актуальною, оскільки в даній дисертаційній роботі вирішуються актуальні завдання з підвищення рівня чистоти йодидів лужних металів при зменшенні викидів токсичних елементів у навколишнє середовище .

### **Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів**

Дисертаційна робота А.Г. Варича складається зі анотацій на українській та англійській мовах, вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку цитованих джерел із 70 найменувань та чотирьох додатків, Повний обсяг роботи складає 134 сторінки, містить рисунки й таблиці.

Принципових зауважень до оформлення дисертації немає.

Дисертація є завершеним дослідженням, написаним грамотною мовою, її наукові положення роботи повністю викладено у п'яти статтях журналів, що реферуються у базах даних Scopus та Web of Science, а також у чотирьох тезах доповідей. Технологічні рішення і розробки, що містяться в роботі захищені трьома патентами України на корисну модель.

Перший розділ є оглядом літературних джерел і технологічної інформації і документації. Виходячи з викладеного, автор обґрунтовує необхідність проведення досліджень, що увійшли в дисертаційну роботу.

У другому розділі дисертаційної роботи автор наводить методики очищення розчинів йодидів натрію та цезію від техногенних домішок, вирощування монокристалів, загальний опис методів аналітичного контролю одержаних зразків і дослідження функціональних властивостей кристалів.

У третьому розділі обговорюються результати дослідження низькотемпературної кристалізації розчинів відходів йодиду цезію, коефіцієнти ефективності очищення від найбільш поширених і шкідливих домішок. Проведено порівняння різних методів кристалізаційного очищення йодиду цезію. Обговорюються особливості методу видалення шкідливих домішок міді та талію з йодиду цезію за допомогою обробки магнієм. Наведено загальний опис технології очищення розчинів йодиду цезію від домішок важких металів.

У четвертому розділі розглянуті результати відпрацювання технології процесу неруйнівної переробки техногенних розчинів йодиду натрію, видано рекомендації щодо граничного вмісту лімітованих домішок у вихідних розчинах для неруйнівної переробки. З очищеної сировини були вирощені монокристали з задовільними функціональними параметрами.

Висновки роботи узгоджуються зі змістом експериментальних розділів 3 і 4, відповідають меті дослідження і містяться в публікаціях автора.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, зроблених у роботі базується на всебічності проведених досліджень та аналізі великого масиву даних. Вони узгоджуються з відомими закономірностями і не викликають заперечень. Кожен розділ роботи закінчується висновками, формулюванням наукових положень та практичних рекомендацій, які в достатній мірі обґрунтовані. Висновки роботи не суперечать сучасним уявленням фізики і хімії.

## **Значимість дослідження для науки і практики**

Наукова новизна результатів полягає у визначенні параметрів очищення розчинів йодидів натрію та цезію від домішок сульфатів, важких і лужних металів в термінах роздільного елементу. Експериментально доведено можливість використання низькотемпературних методів кристалізаційного очищення техногенних розчинів йодиду цезію. Розроблено технологію неруйнівної переробки техногенних розчинів йодиду натрію.

Відзначу наступні нові результати:

- Досліджено процес низькотемпературної мішаної кристалізації техногенних водних розчинів йодиду цезію і з'ясовано вплив переохолодження на ефективність їх очищення від домішок сульфатів, важких і лужних металів.
- Розраховано термодинамічні і ефективні коефіцієнти очищення водних розчинів йодиду цезію від домішок важких і лужних металів та сульфатів у кристалізаційних процесах.
- Відпрацьовано метод очищення розчинів йодиду цезію від домішок талію і міді магнієм, що дає можливість знизити концентрації вказаних домішок до рівня солей особливої чистоти. Розроблено технологію глибокої очистки техногенних розчинів йодиду цезію від домішок важких металів.
- Запропоновано і відпрацьовано метод неруйнівної переробки техногенних розчинів NaI для очищення від катіонних домішок та сульфатів. Створено технологію глибокої очистки техногенних розчинів йодиду натрію.

## **Практичне значення отриманих результатів**

Основним практичним результатом роботи є створення більш ефективних і екологічно безпечних технологій регенерації відходів вирощування кристалів на основі йодиду цезію та йодиду натрію, що дозволяють отримувати продукти, придатні для вирощування монокристалів на основі

йодидів лужних металів. Технології зареєстровано в Міністерстві освіти і науки України.

### **Дискусійні моменти та зауваження до дисертації**

Зазначу, що дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні і свідчить про високу фахову та кваліфікаційну підготовку здобувачки. Однак, при загальній позитивній оцінці роботи, можна висловити наступні зауваження:

1. З розділу 2 не ясно, чи проводилась яка-небудь обробка техногенного розчину йодиду цезію з метою видалення органічних домішок, талію, зважених у розчині частинок.
2. Яка різниця між методами низькотемпературної спрямованої кристалізації і методу низькотемпературної мішаної кристалізації?
3. У рівняннях автор часто наводить похибку визначення параметрів лінійних рівнянь. Для якої довірчої імовірності. Які коефіцієнти кореляції отриманих залежностей?
4. Стор. 86. Автор пише, що розчин після хімічної обробки спрямовується в існуючу технологічну схему на кристалізаційне очищення. Оскільки в існуючій схемі не передбачається окрема стадія очищення від талію, чи проводиться попереднє очищення обладнання у схемі кристалізаційного очищення?
5. Чи враховували коефіцієнти активності іонів при розрахунку рівноважних концентрацій за окислювально-відновними потенціалами або константами стійкості комплексів?
6. Константи утворення комплексів і ефективний коефіцієнт очищення позначено однаково,  $\beta_i$ ?

Вказані зауваження не впливають на високий науковий рівень та практичну цінність дисертаційної роботи. Результати роботи заслуговують на загальну позитивну оцінку.

## Відсутність порушень академічної доброчесності

В представленій роботі та публікаціях Варича Андрія Григоровича порушень академічної доброчесності немає.

## Загальний висновок та оцінка дисертації.

На мою думку дисертація Варича Андрія Григоровича «Нові технології виготовлення йодидів натрію та цезію для вирощування сцинтиляційних монокристалів з сировини техногенного походження» за актуальністю, науковою новизною, загальним переліком отриманих результатів, а також їх взаємозв'язком та повнотою їх викладу в журнальних публікаціях та апробацією цілком відповідає всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю за спеціальністю 132 Матеріалознавство галузі знань 13 Механічна інженерія.

Рецензент,  
провідний науковий співробітник  
відділу наноструктурних матеріалів  
ім. Ю.В. Малюкіна  
Інституту сцинтиляційних матеріалів  
Національної академії наук України  
д.т.н., с. д.



Ірина БЕСПАЛОВА

Підпис І. Беспалової затверджую.  
Учений секретар  
Інституту сцинтиляційних матеріалів  
Національної академії наук України,  
к.т.н., с. д.



Юрій ДАЦЬКО