

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Янушевської Олени Іванівни**

### **ВОДООЧИСНА ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ РІЗАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ**

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.17.21 – технологія водоочищення

#### **Актуальність теми**

При технологічному процесі різання монокристалічних злитків кремнію на напівпровідникові пластини утворюються кремнійвмісні відходи, які є найбільш небезпечними джерелами антропогенного забруднення навколишнього середовища через підвищений вміст токсичних важких металів.

З метою ресурсозберігаючого використання запасів карбїду кремнію та економічної доцільності проблема повернення у виробничий цикл шламових відходів, що генеруються при різанні монокристалів кремнію, які містять, в основному, карбїд кремнію, кремній, мастильно-охолоджуючу рідину (ПЕГ) та залізо і домішки важких металів, які потрапляють в абразивну суміш внаслідок стирання дроту та з металевих частин апарату різання залишається актуальною і сьогодні. Оскільки хімічний склад кремнійвмісних шламів є нестабільний і об'єми шламових відходів постійно зростають, тому пошук екологічного рішення переробки і утилізації шламів сприятиме покращенню стану навколишнього природного середовища України. Дисертаційна робота Янушевської Олени Іванівни присвячена вирішенню актуальної задачі технології водоочищення – утилізації відходів різання монокристалів кремнію.

Зважаючи на складність та багатогранність виконання експериментальних досліджень цього процесу, дисертантом вибрано оптимальний підхід до вирішення поставленої задачі для визначення компонентного складу кремнійвмісних шламів з допомогою рентгенофлуоресцентного та рентгенофазового методів аналізів; розмір частинок регенованого карбїду кремнію та їх розподілення за гранулометричним складом проводилось за допомогою лазерного дифракційного аналізатора; дослідження зразків сумішей гідроксидів металів, осаджених з промивних розчинів вилуговування, проведено на скануючому електронному мікроскопі РЕМ-106И; наявність Me-ПГМГ-асоціатів в розчинах встановлено за допомогою метода полярографії; типи зв'язків в молекулі Me-ПГМГ-асоціатів встановлювали за допомогою ІЧ-спектроскопії; вимірювали рН розчинів, вологосмість осадів гідроксидів металів, концентрацію іонів металів у розчинах визначали фото колориметричним, спектрофотометричним та атомно-абсорбційним методами; дослідження процесу седиментації проводились на торсійних терезах; приготування суспензій до седиментації і фільтрування проводилося на установці Норвезького інституту природних ресурсів (NMB) «Джар-тест»; вивчення процесу фільтрування суспензії гідроксидів металів-полютантів проводилося на вакуум-фільтраційній установці при постійному розрідженні  $0,2 \text{ кгс/см}^2$  (20,2 кПа).

Обраний дисертантом об'єкт дослідження включає регенерація карбиду кремнію зі кремнійвмісних відходів та очищення промивних розчинів вилуговування від іонів важких металів. Тому дослідження процесу регенерації карбиду кремнію зі кремнійвмісних відходів дозволять вдосконалити технології очищення промивних розчинів від іонів важких металів при використанні полігексаметиленгуанідину (ПГМГ) як флокулянта.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується її включенням до плану науково-дослідних робіт «Синтез та властивості енерговмісних матеріалів на основі промислової та природної сировини» (№ держреєстрації 0112U001919) та «Каталітичні системи на основі нанорозмірних оксидів металів для специфічних методів очищення стічних вод» (№ держреєстрації 0115U002322).

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації**

Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи є науково обґрунтованими. Публікація матеріалів роботи у журналах, що входять до наукометричних баз даних, фахових виданнях, затверджених ВАКом, матеріалах конференцій також підтверджує обґрунтованість наукових положень та висновків дисертації.

### **Достовірність і новизна наукових результатів**

Достовірність результатів наукових досліджень забезпечена постановкою мети і задач досліджень, визначенням складу кремнійвмісних шламів та дослідженням процесу кислотного вилуговування з них іонів важких металів. Підтвердженням утворення сполук іонів важких металів і ПГМГ з використанням верифікованих методів дослідження (полярографія, спектрофотометрія, ІЧ-спектроскопія, електронна мікроскопія); підтвердженням утворення сполук типу Me-ПГМГ; дослідженням процесів седиментації і фільтрування осадів гідроксидів металів з використанням флокулюючих властивостей ПГМГ; обґрунтуванням схеми водоочисної технології процесу регенерації SiC зі кремнійвмісного шламу.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у виявленні взаємодії іонів *Pb(II)*, *Cd(II)* з ПГМГ що приводить до утворення важкорозчинних гідроксосолей типу [MeOH-ПГМГ]Cl, а взаємодія *Fe(III)*, *Zn(II)* і *Cu(II)* з ПГМГ призводить до утворення малорозчинних комплексних сполук типу [MeOH-ПГМГ]<sup>+</sup>; виявленні взаємодії іонів металів (*Pb(II)*, *Cd(II)*, *Zn(II)*, *Cu(II)*) з ПГМГ перебігає за рахунок заміни іону гідрогену (H<sup>+</sup>) протонованої гуанідинової групи ПГМГ гідролізованими іонами металів; виявлено, що введення ПГМГ в суспензію гідроксидів досліджуваних металів-поліютантів збільшує розмір агрегатів гідроксидів металів в (1,5÷2,5) рази і швидкість їх седиментації в (1,5÷2) рази; встановлено, що швидкість фільтрування суспензій гідроксидів металів, які утворюються при очищенні промивного розчину вилуговування процесу регенерації карбиду кремнію, у присутності ПГМГ збільшується в 2 рази від 0,136 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год) до 0,242 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год), а вологоємність відфільтрованих осадів гідроксидів металів зменшується на ~14%; встановлено діапазон раціональних концентрацій ПГМГ (5,2÷9,8) мг/дм<sup>3</sup> в процесах седиментації і фільтрування гідроксидів металів-

