

## ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу Христинець Наталії Анатоліївни "Теоретичне та експериментальне дослідження параметрів вібросегрегації при створенні градієнтних проникливих матеріалів", яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

**Актуальність теми.** Глобальне подорожчання та дефіцит усіх видів ресурсів вимагає впровадження енерго- та ресурсозбережних технологій в усіх галузях промислового виробництва та побуту. Особливо гостро стоїть проблема питної води, яка повинна задовольняти великій кількості параметрів та вимог. Один з шляхів успішного розв'язання цієї проблеми пов'язаний із використанням новітніх технологій очищення води та інших рідин шляхом застосування сучасних фільтрувальних матеріалів та виробів з них. В першу чергу, мова йде про використання фільтрувальних елементів, які можуть очистити воду від забруднень та домішок органічного та неорганічного походжень. Традиційним способом її очистки є використання природних матеріалів, наприклад, піску або інших пористих проникливих мінералів. Недоліком таких технологій є недостатня тонкість фільтрування та складність їх очищення для повторного використання. Кроком у розв'язанні означеної проблеми може стати реалізація ідеї, яка б дозволила поєднати позитивні властивості природних матеріалів та штучно створених фільтрів, які в процесі виготовлення набувають нових властивостей, що забезпечують необхідні міцність та пористість. Втім, безпосереднє втілення даної ідеї у виробництво гальмується відсутністю математичного апарату та рекомендацій щодо вибору параметрів, складу та властивостей фільтрувальних елементів. Зокрема, недостатніми є наукові засади обґрунтування параметрів та технології виготовлення градієнтних пористих проникливих матеріалів на основі природних мінералів та відходів виробництва.

Виконуючи це науково-технічне завдання, дисертант Христинець Н. А. виконала низку теоретичних та експериментальних досліджень, які спрямовані на розроблення наукових основ, методів та технологічних процесів виготовлення пористих градієнтних проникливих матеріалів з використанням природного мінералу – сапоніту та шламу від шліфувальних операцій машинобудівного виробництва. Сформульоване та розв'язане завдання проведення комплексу теоретичних та експериментальних

досліджень для отримання градієнтних за розмірами структурних складових, пор та властивостей проникливих матеріалів на основі природного мінералу – сапоніту і відходів промисловості. Вважаю теоретичний та практичний розвиток такого напрямку в матеріалознавстві актуальним. Актуальність підтверджується певним прикладним вкладом у розв'язання проблем поліпшення якості води та екології за рахунок доочищення стічних вод та інших рідин.

**Зв'язок роботи з пріоритетними науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, які викладені в дисертаційній роботі, проводились у рамках держбюджетної теми МОН України №226-17 д/б «Розробка технологій одержання матеріалів конструкційного та триботехнічного призначення на основі відходів промислового виробництва» на кафедрі прикладної механіки Луцького національного технічного університету, наказ Міністерства освіти і науки України № 717 від 30.06.2016 року. Авторка дисертації брала безпосередню участь у виконанні вказаної теми як основний виконавець на посаді молодшого наукового співробітника.

**Оцінка структури, обсягу та змісту дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота викладена на 136 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і 5 додатків. Робота ілюстрована 25 таблицями, 64 рисунками. Список використаних джерел містить 153 найменування, з них 145 кирилицею та 8 латиницею. Структура дисертації свідчить, що окремі розділи цієї роботи досить тісно взаємопов'язані. Зміст та глибина розкриття завдань у окремих розділах та всій роботі є достатніми. Це стосується і стилю викладення проміжних та кінцевих результатів роботи.

У **вступі** обґрунтована актуальність, сформульовано мету, завдання, визначено об'єкт та предмет дослідження, викладено наукову новизну та практичну значимість створення градієнтних проникливих матеріалів методом вібросегрегації, наведено відомості про апробації результатів дослідження.

У **першому розділі** автором проведено ретельний аналіз існуючих технологій вібраційного формоутворення порошкових матеріалів з градієнтним розподіленням компонентів. Показано результати сучасних досліджень процесів сегрегації порошкових матеріалів з різною щільністю та

розмірами. Встановлено відсутність достатньої кількості праць з питань впливу характеристик вібраційного обладнання на ущільнення та сегрегацію порошків. Практично відсутні роботи, що пов'язані з розробкою адекватної моделі опису властивостей градієнтних матеріалів в залежності від градієнта концентрації часток одного з компонентів суміші.

На основі виконаного огляду сформульовано мету дисертаційного дослідження та завдання для її досягнення.

**Другий розділ** присвячений дослідженню характеристик вихідних матеріалів, опису методів та методик одержання експериментальних даних. Для створення градієнтного пористого проникливого матеріалу використано відходи шліфувального виробництва СП ТОВ «Модерн-Експо» м.Луцьк – шлам нержавіючої сталі AISI430 та порошки сапоніту Ташківського родовища Хмельницької області. Запропоновано технологічну схему формування градієнтного формувального матеріалу.

**Третій розділ** присвячений дослідженню взаємодії вібрацій з різними параметрами на утворення градієнтної структури порошкової суміші з шламу промислових відходів нержавіючої сталі та сапоніту для отримання пористих проникливих матеріалів для очистки води з різними видами забруднень. Автором детально досліджено можливості застосування різних конструкцій вібропристроїв для реалізації технологічної схеми процесу вібросегрегації вибраних компонентів. Встановлено діапазон необхідних параметрів вібраційних коливань: амплітуди, віброприскорення і частоти. Вибрано та описано технічні характеристики обладнання.

Досліджено форму вихідних матеріалів та запропоновано додаткові операції для її покращення шляхом відновлення, подрібнення, модифікування з введенням пластифікатора поліетиленгліколю або гліцерину.

Підібрано раціональний склад суміші для отримання зразків задовільної міцності та структури. Експериментально отримано залежності тривалості сегрегації від висоти засипки шихти в контейнер.

З використанням рівнянь Колмогорова описано ймовірнісну модель переведення шихти з хаотичного стану в упорядковану та зроблено оцінки ймовірності такого переведення.

**У четвертому розділі** на основі використання стохастичних методів і теорії планування експерименту побудовано симетричний композиційний ротатабельний уніформплан другого порядку. Визначено множини впливу та вибрано фактори експерименту: гранулометричний склад ключового

компоненту (сапоніту)  $\eta$ ; частота коливань  $\omega$  та тривалість вібраційного впливу  $t$  на шихту. Отримано регресійну модель другого порядку процесу поведінки порошкової суміші заданого складу в полі вібраційного навантаження, яку використано для розрахунку поверхонь відгуку.

У п'ятому розділі детально розглядаються та аналізуються окремі етапи розробки градієнтних фільтрувальних елементів: відбір вихідних зразків шламу та сапоніту, їх попередня підготовка, розділення на фракції, пластифікація, змішування, вібраційна сегрегація, пресування та спікання. Авторка експериментально визначає розподіл часток та структури сформованого матеріалу, досліджує його усадку в процесі спікання.

Методами мікроаналізу на 10 зразках за допомогою програмного забезпечення Smart Eye комплексу MicroOptik було визначено пористість, максимальну та мінімальну величину пор за висотою зразка. Досліджено твердість зразків та параметри їх пористості по шарах. Результати досліджень показали, що при градієнтній характеристиці пористого проникливого матеріалу значення пористості, твердості та проникності мають градієнт властивостей.

Виготовлені зразки фільтрувальних матеріалів пройшли випробовування в системах доочищення рідин ТОВ ВО «Ковельсьільмаш» (м.Ковель, Україна) та на ДП «Львівський державний авіаційно-ремонтний завод» (м. Львів, Україна). Випробовування розроблених градієнтних фільтрів показали, що фільтри на основі порошоків сталі та сапоніту мають, у порівнянні з використовуваними на підприємстві титановими фільтрами компанії Suzhou Bomu Co. Ltd виробництва КНР, кращі характеристики.

Створення запропонованих фільтрів із відносно дешевої та доступної сировини із забезпеченням всього комплексу властивостей та характеристик, необхідних для тривалої і якісної їх роботи, робить їх конкурентоспроможними в умовах ринкової економіки.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, сформульованих у дисертації, їх достовірність**

При виконанні роботи використовувались сучасні методи, прилади та обладнання. Структурні дослідження проводили за допомогою методів металографії, мікроскопів марки ММР-4, комплексу для морфологічно-структурних досліджень Micro-optik з використанням програмних пакетів Smart-eye та ImageJ2x, при рентгеноструктурному аналізі використовували установку ДРОН-4, твердість за Брінелем визначалась за допомогою

твердоміра динамічного марки ТД–42М. Визначення механічних характеристик зразків проводилося шляхом статичного стиснення на установці марки МІ-40КУ з автоматичною реєстрацією індикаторної діаграми деформування. Обробка експериментальних результатів здійснювалася з використанням методів математичної статистики та планування експериментів.

**Наукова новизна роботи.** В дисертаційній роботі Христинець Н. А. "Теоретичне та експериментальне дослідження параметрів віброегрегації при створенні градієнтних проникливих матеріалів" на основі комплексних теоретичних і експериментальних досліджень отримано ряд результатів, нових з наукового погляду або уточнюючих існуючі наукові уявлення про закономірності процесів утворення градієнтних порошкових проникливих матеріалів на основі сапоніту та відходів нержавіючої сталі під дією вібраційного впливу:

- розроблено методи керування фізичними та експлуатаційними властивостями градієнтних пористих порошкових матеріалів із використанням порошків сапоніту та шламу нержавіючої сталі AISI430 за рахунок теоретичного, технологічного та інструментального забезпечення технології їх виготовлення;

- вперше запропоновано спосіб переробки шламу нержавіючої сталі марки AISI430, як відходів промислового виробництва, для використання у фільтрувальних матеріалах;

- вперше запропоновано технологічну схему отримання градієнтних пористих порошкових матеріалів на промисловому вібраційному обладнанні УВМ 60/60;

- в аналітичній формі вперше одержано модель поведінки багатофункціональної системи для обґрунтування фізико-механічних властивостей матеріалів заготовок, динамічних та енергетичних характеристик вібростенду;

- вперше на основі експериментальних даних розроблено комп'ютерну програму для розрахунків основних параметрів та коефіцієнтів математичної моделі поведінки порошкового матеріалу в процесі віброегрегації із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій C++Builder.

**Практична цінність роботи.** Результати роботи дозволяють отримувати нерівномірний розподіл фракцій за висотою прес-форми в

процесі віброформування порошкового матеріалу. В результаті градієнтного розподілення порошкова суміш отримує поступову зміну основних властивостей в одному напрямку: зміна густини  $\rho$ ; зміна розмірів  $d$  часток. Під час наступного формування матеріалу – змінну пористість, твердість, проникність (більш високі показники міцності та меншу пористість і проникність у нижніх шарах сформованого матеріалу). Вдосконалено обладнання, побудовано математичну модель та розроблено програмне забезпечення для дослідження процесу вібросегрегації, що дає змогу докладно аналізувати такі процеси.

Практичну спрямованість проведених досліджень підтверджено впровадженням конкретних результатів роботи на ряді підприємств:

- на підприємстві ДП «Львівський державний авіаційно-ремонтний завод» (м. Львів, Україна) впроваджено градієнтні фільтрувальні матеріали з регульованим розподілом пористості на основі порошків нержавіючої сталі та сапоніту для очищення технічної води від механічних забруднень;
- на ТОВ ВО «Ковельсьільмаш» (м. Ковель, Україна) впроваджено градієнтні матеріали із порошків сапоніту та нержавіючої сталі марки AISI430 для доочищення стічних вод.

**Рекомендації з подальшого використання отриманих у роботі результатів.** Отримані в роботі результати можуть бути рекомендовані для впровадження на підприємствах порошкової металургії під час проектування технологічних процесів виготовлення порошкових проникливих матеріалів для фільтроелементів, які доцільно застосовувати на підприємствах водопостачання та водовідведення для очищення питної та стічної вод, на підприємствах харчової та переробної промисловості для очищення використаної води, а також на промислових підприємствах для регенерації технічних та технологічних рідин.

#### **Мова та стиль дисертації, її відповідність паспорту спеціальності.**

Робота Христинець Н. А. "Теоретичне та експериментальне дослідження параметрів вібросегрегації при створенні градієнтних проникливих матеріалів" викладена на достатньому науковому рівні, є доступною для сприйняття й стилістично простою. Отримані результати цілком відповідають умовам коректності. За темою та змістом дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

**Публікації та оприлюднення результатів.** За результатами досліджень за темою дисертації опубліковано 26 наукових праць, з яких: 1 стаття – у Міжнародній наукометричній базі Scopus; 2 статті у закордонних виданнях; 5 статей – у фахових виданнях України, 15 – у науково-технічних збірниках; 2 патенти України, 1 авторське свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму).

В опублікованих роботах достатньо повно висвітлені основні наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи. Матеріали роботи апробовані на науково-технічних конференціях та семінарах.

### **Основні зауваження по роботі:**

- У розділі 3.1 з використанням рівнянь Колмогорова записано ймовірнісну модель трансформації системи «порошок металу – порошок сапоніту» під впливом вібрацій. При цьому вихідна система може мати стани  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ? Що це за стани? Звідки появився стан  $S_0$  і що він позначає? Як визначаються значення інтенсивності потоків  $\lambda$ ?
- Не зрозуміле твердження (с. 63) «Високий вміст абразивних речовин сприяють забрудненню суміші *сажею* під час процесу сепарації»?
- На рисунку 3.4 по осі ординат записано «Висота *формуючого* шару». Що формує цей шар? Аналогічний термін вживається на с.84.
- Не зрозуміло, що відображають терміни «насипна густина *об'ємного*, сформованого і проміжного шару відповідно» (с. 84).
- Що приховане за термінами «загальна маса несучого тіла» (табл.4.1), «час розділення ...»(с.90, 91), «час роботи системи (машини)» (с.94)? Можливо потрібно вжити термін «тривалість»?
- На рисунку 5.5 бажано аргумент розташувати по осі абсцис.
- В роботі наведено низку фотографій покупних приладів та устаткування, що не є розробкою авторки (рис. 2.5, 2.6, 3.8, 5.7).
- Кількість посилань на закордонні англомовні публікації невелика (біля 8%).

### **Загальний висновок**

Результати аналізу дисертаційної роботи Христинець Н. А. "Теоретичне та експериментальне дослідження параметрів вібросегрегації при створенні градієнтних проникливих матеріалів" дозволяють зробити висновок, що за обсягом проведених теоретичних та експериментальних досліджень вона є завершеною науково-дослідною роботою. Автором отримані нові, науково-



обґрунтовані результати в області матеріалознавства, що в сукупності вирішують науково-прикладну задачу – виготовлення градієнтних пористих проникливих матеріалів з використанням природного матеріалу – сапоніту та відходів виробництва.

Сформульовані зауваження в цілому не знижують загальної позитивної оцінки роботи. Вони, звичайно, є елементом наукової дискусії і їх слід розглядати як побажання для подальших наукових досліджень.

Автореферат достатньо відображає основні положення дисертаційної роботи, оформлення дисертації і автореферату в цілому з урахуванням зазначених вище зауважень відповідає діючим нормативним документам.

Робота відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство, науковий рівень роботи відповідає вимогам пп. 9, 10 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів» до кандидатських дисертацій ДАК України, а її автор, Христинець Н. А., заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,  
професор, професор кафедри галузевого  
машинобудування Вінницького  
національного технічного університету  
МОН України



В.І. Савуляк

Підпис *В.І. Савуляк*  
**ПОСВІДЧУЮ**  
Зав. канцелярією *[Signature]*