

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Шиловича Ярослава Ігоровича**

**«Процес наномодифікації кераміки та прогнозування**

**фізико-механічних властивостей нанокерамічних матеріалів»,**

яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

**Актуальність теми.** Експлуатаційні показники керамічних матеріалів визначають технічні характеристики виробів і, навіть, можливість здійснення того чи іншого процесу. Основою багатьох сучасних методів та технологій є введення наночастинок до складу сировини яке може привести до отримання конструктивної кераміки з унікальними властивостями, що визначає дисертаційну роботу як актуальну. Тим більш, що розробка нових матеріалів зі завданими властивостями і способів їх виготовлення з використанням методів чисельного моделювання ще раз підкреслює вирішення актуальної задачі. Це також підтверджується тим, що дисертація виконувалась відповідно до планів держбюджетних НДР Міністерства освіти і науки України за темою: «Конкурентоспроможна технологія формування конструкційних виробів з традиційних та наномодифікованих полімерних композиційних матеріалів» (№ ДР 0117U000444), де здобувач був відповідальним виконавцем окремих етапів роботи.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.** В дисертації використано комплексний підхід, який включає критичний аналіз літератури, експериментальні дослідження, експериментально-чисельне моделювання.

Робота є втіленням методології створення хіміко-технологічних процесів отримання нових матеріалів. Розроблено чисельну модель на базі моментної схеми скінченних елементів для моделювання лінійного та нелінійного деформування нанотрубок різного типу. На основі математичної

моделі створено числову модель для прогнозування фізико-механічних властивостей наномодифікованої кераміки.

Усі висновки виконано на основі класичних методів інтерпретації експериментальних та теоретичних досліджень.

**Достовірність результатів досліджень.** Робота характеризується коректними постановками при виконанні фізичного моделювання складних процесів, результати яких підтверджено достатнім об'ємом експериментальних досліджень.

Дослідження ґрунтуються на достовірних гіпотезах і адекватних математичних моделях, зв'язаних системах рівнянь методу молекулярної динаміки, використанні апробованого математичного апарату методу скінчених елементів МСЕ, розроблених числових методиках і алгоритмах, використанні сучасної контрольно-вимірюальної апаратури, застосуванні відомих методик експериментального дослідження та статистичних методів обробки тацінки похибки експериментальних даних. Достовірність одержаних результатів досліджень також підтверджена порівнянням результатів натурних та чисельних експериментів.

Верифікацію удосконаленої математичної моделі проведено шляхом порівняння з результатами фізичного моделювання та експериментальних досліджень.

**Повнота викладу основних наукових положень дисертації в опублікованих працях.** Основні положення дисертації викладено у 9 наукових працях, з яких: 1 стаття у міжнародній наукометричній базі *Scopus*, у наукових фахових виданнях України – 2 статті, 6 – матеріали науково-технічних конференцій, 1 з яких входить до бази *Scopus*. Рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України.

Наведені у публікаціях матеріали повністю відображають науково-практичні положення дисертації.

**Автореферат** є ідентичним за змістом дисертації і повністю відображає основні положення та наукові результати, які отримані здобувачем.

**Наукова новизна роботи.** В роботі представлено декілька важливих наукових результатів, які мають усі ознаки новизни:

- вперше експериментально досліджено та отримано результати впливу концентрації наночастинок на фізико-механічні властивості наномодифікованої кераміки;

- розвинуто та втілено методологію інтенсифікації хіміко-технологічних процесів видобування та переробки вуглеводнів шляхом використання об'єктно-орієнтованої активації;

- теоретично обґрунтовано та отримано залежність кавітаційного тиску від критичного розміру кавітаційних бульбашок. Визначено значення кавітаційного тиску, достатнього для розбивання агломератів наночастинок в процесі ультразвукового диспергування водяної суспензії;

- вперше експериментально досліджено вплив концентрації введених в керамічну глазур наночастинок на гідрофобні властивості отриманих покріттів;

- поширило застосування чисельної моделі на базі моментної схеми скінчених елементів для моделювання лінійного та нелінійного деформування нанотрубок різного типу;

- отримано результати порівняння натурного та чисельного експериментів з визначення межі міцності наномодифікованої кераміки в залежності від коефіцієнта армування.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання** полягає у створенні методів розробки наномодифікації керамічного матеріалу шляхом введення наномодифікованої суспензії на основі вуглецевих наноматеріалів і вдосконалення метода чисельного дослідження їх властивостей і методики введення наночастинок в керамічну матрицю з водою суспензією.

**Оцінка змісту дисертації.** Дисертація Шиловича Я.І. складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків та за своїм змістом характеризується логічним та послідовним висвітленням комплексу питань, поставлених у задачах дослідження.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено зв'язок дисертації з державними науковими програмами, сформульовані мета та задачі досліджень, надано дані про використані наукові методи та окреслено наукову новизну та особистий внесок здобувача. Наведено інформацію про публікації та апробацію викладеного в дисертації матеріалу.

**У першому розділі** автором проведено критичний аналіз інформаційних джерел щодо існуючих наноматеріалів та нанотехнологій в промислових процесах виготовлення керамічних виробів. Розглянуто технологію виготовлення кераміки методом шлікерного ліття, схеми приготування шлікера і глазурування виробів зі застосуванням обладнання безперервної дії. Наведено визначення і класифікацію наноматеріалів, основні терміни та молекулярні структури наночасток, області та перспективи запровадженняnanoструктурної кераміки, методи дослідження механічних властивостей наноматеріалів, дослідження різних меж міцності, а також дослідження властивостей наноматеріалів методами моделювання. Також наведено опис механічних властивостей наноармованих композитів, вплив геометрії нанотрубки та наявність дефектів на властивості нанокомпозитів. Окремо виділено питання моделювання властивостей наноматеріалів, у тому числі чисельного, розглянуто сили взаємодії в багатошарових вуглецевих нанотрубках. Сформульовано завдання досліджень.

**Другий розділ** присвячено розробці та виготовленню експериментальних наномодифікованих зразків кераміки і глазурі та дослідженню їх властивостей.

У розділі описано експериментальна методика виготовлення наномодифікованих керамічних матеріалів методом шлікерного лиття та дослідження фізичних характеристик отриманих композиційних матеріалів.

Порівняння експериментальних та літературних даних дозволило констатувати, що ультразвуковий вплив при диспергуванні наночастинок у водяній суспензії, обумовлений кавітаційними ефектами, що виникають при схлопуванні мікробульбашок у водному розчині. Запропоновано розрахунок кавітаційного імпульсу і механічного напруження, що виникає при схлопуванні бульбашки в певному діапазоні змін її радіусу.

Встановлена залежність збільшення кута контакту між краплею води та наномодифікованим глазуреваним покриттям у порівнянні з еталонним. Констатовано, що модифікація сантехнічних виробів, вироблених з використанням наномодифікованої глазурі, приведе до зменшеної потреби у воді санітарно технічних виробів. Це визначає наявність великого економічного потенціалу впровадження технології наномодифікування для виготовлення виробів, вузлів та деталей у хімічному машинобудуванні та інших галузях промислових виробництв.

**Третій розділ** присвячено застосування методу молекулярної динаміки для розв'язання задач наномеханіки. Дисертантом розроблено спеціальний скінчений елемент призначений для моделювання процесів лінійного та нелінійного деформування нанотрубок різного типу з застосуванням методів молекулярної механіки та молекулярної динаміки, який інтегровано в систему APROKS. Виконано апробацію розробленого скінченого елементу шляхом порівняння результатів чисельних експериментів з відомими чисельними рішеннями. Виконано апробацію розробленого скінченного елемента у випадку розв'язання задачі нелінійного деформування нанотрубок із застосуванням потенціалу Морсе. Результати порівняння чисельного моделювання нелінійного деформування нанотрубки з відомими результатами свідчать про добре узгодження. Це свідчить про те, що розроблений скінчений елемент можна застосовувати

для моделювання лінійного та нелінійного деформування виробів з наномодифікованої кераміки.

У четвертому розділі наведено чисельні дослідження фізико-механічних властивостей наномодифікованої кераміки. Дисертантом розроблено та численно реалізовано метод визначення параметрів міцності виробів із наноармованої кераміки для моделювання процесів деформування конструкцій із наномодифікованої кераміки в рамках об'єднаної фізичної моделі. Запропоновано застосування спеціального восьмивузлового ізопараметричного скінченного елемента для чисельного моделювання еволюційного процесу руйнування та деформування елементарного зразка нанокераміки. Отримано результати чисельного моделювання еволюції зміни напружено-деформованого стану наномодифікованих керамічних виробів в залежності від зміни коефіцієнта їх армування вуглецевими нанотрубками. Запропоновано багатомасштабний критерій міцності наномодифікованих крихких матеріалів, який зв'язує процеси виникнення пошкоджень в макро-, мікро- та наномасштабах. Апробація критерія проведена шляхом порівняння даних, отриманих на його основі, з такими натурних експериментів, що дозволило доказати їх адекватність.

**До дисертації можна зробити наступні зауваження.**

1. На мій погляд, назва роботи не дуже вдала, бо дисертант не вивчає властивості нанокерамічних матеріалів, оскільки нанокераміка це матеріал, повністю синтезований з наночастинок. Краще було б використовувати вираз наномодифікована кераміка.

2. У розділі «2.2.1 Характеристика наночастинок для додавання у керамічні матеріали» дисертаційної роботи не викладено детальну морфологію наноматеріалів, які використовувалися для виготовлення водяної наносусpenзїї, а наведено фотознімки лише двох видів наночастинок – наноспіралі та багатостінні нанотрубки. Це доцільно було б зробити з огляду на подальше чисельне моделювання властивостей наноторубок та

механічних властивостей нанокераміки, про що викладено в наступних розділах.

3. В розділі 2.3 виконано теоретичне обґрунтування можливості руйнування агломератів наночаточок за рахунок ультразвукової кавітації, що базується на аналізі літературних джерел і має певний фізичний зміст. Підсумком розділу є отримання діапазону руйнівних значень густини енергії, що викликає ефект диспергації агломератів. Однак, з тексту дисертації не зрозуміло, яким чином ці дані покладені в основу вибору потужності диспергатора, що застосовувався в експериментах.

4. Висновки до розділу 2 містять технічні подrobiці та чисельні значення параметрів проведених експериментів, що дублюють текст дисертації.

5. У рисунку 2.18 вісь  $X$  підписано як «Приведений вміст суспензії, м, г/ 100 г глазурі». Пояснень щодо розкриття сенсу зазначеного терміну не наведено, як і його розрахунки.

6. Не зрозуміло, навіщо у тексті дисертації приводити визначення фізичних властивостей матеріалів і відповідні розрахунки їх параметрів, які, мабуть, наведено у початкових дисциплінах з кераміки (наприклад, вологопоглинання, різні типи усадки, міцність на вигинання)?

7. У поясненні к виразу (3.1) (дисертація), а у авторефераті вираз (1) пропущено позначення загальної міжатомної потенційної енергії молекулярної системи, хоча у рівнянні вона є. Також можна здогадуватися, яка потенціальна енергія виражається «наступним чином» (наступне речення). Там же наведено терміни «потенційна» і «потенціальна» які відносяться до енергії. Який з них вірний?

8. Рисунки 3.3. і 3.4 частково дублюють один одного.

9. У розділі 3.5 не наведено розрахунок розбіжності результатів порівняння чисельного моделювання нелінійного деформування нанотрубки та літературних даних.

Вказані зауваження не стосуються принципових положень дисертаційної роботи, а тому не зменшують її науково-практичної цінності та

значимості роботи в цілому. Слід також зазначити, що вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, а є лише дорадчими, дискусійними чи технічними.

### **Висновок**

Дисертація Шиловича Ярослава Ігоровича «Процес наномодифікації кераміки та прогнозування фізико-механічних властивостей нанокерамічних матеріалів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка полягає у розв'язанні актуальної наукової задачі, а саме – отримання нових видів кераміки з унікальними властивостями. Дисертація відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затверженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 № 567, відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології, а здобувач Шилович Ярослав Ігорович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент

завідувач кафедри інтегрованих технологій,  
процесів та апаратів Національного технічного  
університету «Харківський політехнічний інститут»  
доктор технічних наук, професор

Валерій ВЕДЬ

Підпис В.С. ВЕДЯ посвідчує:

Вчений секретар Національного технічного  
університету «Харківський політехнічний інститут»  
доктор технічних наук, професор



Олександр ЗАКОВОРПНІЙ