

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Шиловича Ярослава Ігоровича** “Процес наномодифікації кераміки та прогнозування фізико-механічних властивостей нанокерамічних матеріалів”,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Склад і структура дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Шиловича Я.І. представлена в об’ємі 166 сторінок повного тесту, який включає анотацію, вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел із 150 найменувань на 14 сторінках та 2 додатки на 3 сторінках. Рукопис дисертації містить 152 сторінки основного тексту, в тому числі, 6 таблиць та 52 рисунки.

Актуальність теми дослідження не викликає сумнівів, оскільки стосується питання підвищення ефективності керамічних матеріалів шляхом впровадження нових технологій модифікації їх структури - нанотехнологій. На сьогоднішній день спостерігається високий попит промисловості на конструкційну кераміку, яка успішно застосовується в енергетиці, ракето-, авіа- та приладобудуванні, хімічній та оборонній промисловості. Відомі керамічні матеріали на основі традиційних рецептур вже не відповідають викликам сьогодення, тому використання нанорозмірних речовин для направленою керування функціональними властивостями матеріалів є актуальним напрямком наукових досліджень.

В мету підвищення експлуатаційних властивостей керамічних матеріалів автором запропоновано використовувати нанорозмірні речовини (вуглецеві нанотрубки), рівномірне розподілення яких в матриці можливо тільки шляхом введення в складі водної суспензії. Проте виникає питання в розробці ефективних процесів їх приготування у спеціально сконструйованому обладнанні.

Отже, науково-практична проблема створення наномодифікованих керамічних матеріалів та виробів на її основі потребує розробки процесів та обладнання для отримання водних розчинів вуглецевих нанотрубок, які в сухому вигляді здатні до агломерації.

Ось чому встановлення закономірностей процесу наномодифікації керамічних матеріалів як числовими методами, так і експериментальним шляхом, з метою покращення експлуатаційних властивостей керамічних виробів в масі та керамічних тонкошарових глазурей зробить вагомий внесок не тільки в хімічні технології, а й в будівельне матеріалознавство.

Актуальність вибраного автором напрямку дослідження підтверджується його участю у виконанні науково-дослідної теми на замовлення МОН України «Конкуренто-спроможна технологія формування конструкційних виробів з традиційних та наномодифікованих полімерних композиційних матеріалів» (№ 2027-п, 2017 – 2019 рр., № ДР 0117U000444. В роботі автор був виконавцем.

Аналіз основного змісту роботи, її наукової новизни, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Основні наукові положення дисертації полягають у розробці методів наномодифікації керамічного матеріалу шляхом введення вуглецевовмісної

наномодифікованої суспензії в керамічну матрицю в процесі приготуванні шлікеру і вдосконалення метода чисельного дослідження їх властивостей з можливим прогнозуванням довговічності.

В якості **наукової новизни** слід відзначити запропоновані автором закономірності впливу кавітаційного тиску водяної суспензії в процесі ультразвукового диспергування на розміри кавітаційних бульбашок, величина якого достатня для запобігання агломерації.

Показано ефективне застосування чисельної моделі на базі моментної схеми скінченних елементів для моделювання лінійного та нелінійного деформування нанотрубок різного типу.

Цікавим вбачається розвинутий автором чисельний метод визначення параметрів міцності виробів із наноармованої кераміки для моделювання процесів деформації конструкцій в рамках об'єднаної фізичної моделі, яка описує поведінку наномодифікованих конструкцій та поєднує взаємозв'язок процесів накопичення дефектів на макро-, мікро- та нанорівнях.

Встановлені збіжності результатів порівняння натурного та чисельного експериментів з визначення межі міцності наномодифікованого керамічного матеріалу в залежності від коефіцієнта армування, отримано збіг результатів, розбіжність яких не перевищує 9%.

Обґрунтованість основних наукових положень, висновків і рекомендацій базується також на представленому в роботі аналітичному і експериментальному матеріалах.

Практичним досягненням роботи вважаю запроповану автором методіку введення наночастинок в керамічну матрицю з водною суспензією, опис та визначення параметрів хімічного процесу наномодифікації.

Важливим досягненням є розробка та використання у дослідженнях експериментальної установки для визначення кута змочування глазури методом статичної та динамічної краплі.

Також на базі проведених наукових дослідження та узагальнення отриманих результатів розроблено рекомендації щодо вибору потужності диспергатора для приготування нановмісної суспензії.

В *першому розділі* роботи автором здійснено аналіз наукових розробок в напрямку отримання наномодифікованих будівельних матеріалів на основі різних неорганічних матриць: цементної, гіпсової, керамічної тощо.

Детально описано хімічну технологію виготовлення керамічних матеріалів методом шлікерного лиття. Показано основні властивості керамічного матеріалу, які визначаються обраною технологією, а саме: вологовміст сирцю, усадка виробу, механічна міцність виробів після сушіння та після випалу

Проаналізовано основні види нанорозмірних речовин, які використовують для модифікації неорганічних матриць. Описано властивості вуглецевих нанотрубок та обґрунтовано їх вибір для вирішення задачі покращення властивостей керамічних матеріалів та глазурей для кераміки.

В огляді літератури приділено увагу методам чисельного моделювання властивостей нанокompозитів та виробів на їх основі.

Аналіз літературних джерел та відомих закономірностей в галузі хімічних технологій наномодифікованих матеріалів дозволив автору висунути **наукову гіпотезу** про можливість використання вуглецевих нанотрубок для покращення властивостей керамічних виробів, глазурей з необхідністю вдосконалення процесів та обладнання.

В цілому, матеріал розділу викладено логічно, чітко, в послідовності, яка дозволила коректно сформулювати мету, наукову гіпотезу і задачі досліджень.

Другий розділ присвячено розробці компонентного складу та дослідженню властивостей керамічних матеріалів і глазури.

З використанням експериментальної установки та базуючись на теоретичних узагальненнях показано, що дезінтеграція нанорозмірних агрегатів досягається при густині енергії випромінювання $3800-4000 \text{ Вт/м}^2$, що відповідає потужності диспергатора 8 кДж та частоті ультразвуку 20 кГц.

В розділі наведено експериментальні дослідження властивостей керамічних матеріалів згідно ДСТУ Б В.2.7-283: 2011 "Керамічна плитка. Методи випробувань" та глазурей, зокрема, статичного та динамічного кутів змочування глазурованого покриття. Показано, що використання хімічної технології наномодифікації покращує технологічні та фізико-механічні властивості керамічних виробів.

В *третьому розділі* роботи представлено математичні методи моделювання нанорозмірних об'єктів, міжатомних зв'язків в наноматеріалах.

З метою моделювання процесів деформування нанотрубок було розроблено скінченний елемент із застосуванням методів молекулярної механіки та молекулярної динаміки. Для вивчення фізико-механічних властивостей наномодифікованих матеріалів розроблено скінченний елемент, який інтегровано в систему APROKS.

В результаті порівняння експериментальних та математичних моделей виявлено повне узгодження отриманих результатів, і показано, що максимальна розбіжність моделювання нелінійної діаграми деформування нанотрубки (напруження-деформація) не перевищує 3%.

Таким чином, розроблений скінчений елемент в подальшому можна рекомендувати для моделювання лінійного та нелінійного деформування виробів з наномодифікованої кераміки.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено чисельним дослідженням довговічності наномодифікованої кераміки: процесам, що відбуваються в конструкціях протягом всього часу експлуатації (тріщиностійкість, механічна міцність, пружність). Представлено етапи дослідження нанокompозиту з використанням багатомасштабної моделі, яка включає макро-, мікро- та нанорівні структури.

Було розроблено спеціальний восьмивузловий скінчений елемент, який дозволяє змодельовати еволюцію зміни напружено-деформованого стану наномодифікованих керамічних виробів залежно від зміни коефіцієнта їх армування вуглецевими нанотрубками.

Практичне значення роботи підтверджують результати впровадження досліджень в навчальний процес в Національному технічному університеті

України КПІ імені Ігоря Сікорського для викладання дисциплін «Процеси та апарати хімічних виробництв», «Технології виробництва будівельних та полімерних матеріалів та виробів», які забезпечуються числовими моделями, експериментальними установками та новітніми методиками досліджень.

У **додатках** наведено акт впровадження наукових розробок у навчальний процес та розрахунок похибки кута змочування глазури та кута зрушення краплі при нахилі поверхні.

Достовірність і наукова новизна положень , висновків і рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі Шиловича Я.І. не викликає сумнівів, оскільки підтверджується достатнім обсягом виконаних теоретичних та практичних досліджень і експериментів, методично правильною їх постановкою, використанням широкого кола сучасних математичних методів досліджень.

Загальні висновки по роботі висловлені чітко та аргументовані коректними результатами, отриманими особисто автором.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. За результатами перевірки дисертаційної роботи на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерело для текстових та ілюстрованих запозичень. Навмисних ілюстрованих спотворень не виявлено, що дозволяє зробити висновки про відсутність порушень в роботі академічної доброчесності.

По роботі є наступні зауваження:

1. Розділ 1, п. 1.2 перевантажений інформацією загальновідомого характеру, (схемами, рисунками), яку можна було скоротити без втрати змісту та якості огляду.

2. По тексту зустрічаються застарілі терміни, які не використовуються в навчальній та нормативній літературі будівельного матеріалознавства («личкувальні» замість «облицювальні» тощо).

3. В Розділі 2 відсутня інформація щодо хімічного складу сировинних матеріалів для виготовлення керамічних матеріалів та глазурей, що значно ускладнює сприйняття встановлених закономірностей.

4. Також в розділі не представлено наукового обґрунтування та критеріїв вибору видів та співвідношення компонентів керамічної матриці та глазури.

5. Для повного опису розробленої хімічної технології виготовлення наномодифікованих керамічних матеріалів було б доцільним навести схему процесу наномодифікації, з наступним виготовлення матеріалу та глазуруванням поверхні виробу.

6. Бажано було б автору представити рекомендації щодо можливостей застосування розроблених математичних моделей для наномодифікації композиційних матеріалів на основі інших матриць: скляних, цементних, металевих тощо.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях.

Основні результати, наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно відображено у 9 наукових працях, зокрема, 1 статті, яка входить до наукометричної бази Scopus та до третього квартила (Q3), 2 статтях, опублікованих у наукових фахових виданнях України.

Приведені у дисертації розробки пройшли апробацію на конференціях різного рівня як в Україні, так і за кордоном. Основні результати і положення дисертаційної роботи висвітлені в матеріалах конференцій, які містяться у 6 публікаціях, одна з яких входить до наукометричної бази Scopus

Ідентичність змісту анотацій та основних положень дисертації. Зміст анотацій українською та англійською мовами відображає зміст дисертації та досить повно висвітлює її основні результати та висновки, а також містить необхідну інформацію про сутність досліджень та отриманих практичних результатів.

Висновок. Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць дають підстави для висновку про те, що робота Шиловича Я.І. на тему “Процес наномодифікації кераміки та прогнозування фізико-механічних властивостей нанокерамічних матеріалів”, є завершеним самостійним науковим дослідженням.

Наведені зауваження не носять принципового характеру і в перспективі можуть бути враховані автором при проведенні подальших досліджень.

Дисертаційна робота Шиловича Я.І. за об'ємом досліджень, рівнем їх виконання, новизною є завершеною науково-дослідною роботою, яка може бути кваліфікована як перспективний науковий напрям, містить нові наукові результати, що в комплексі вирішують науково-прикладну проблему розробки хімічної технології наномодифікації керамічних матеріалів, вдосконалення обладнання та процесів для здійснення наномодифікації керамічної матриці з метою покращення експлуатаційних властивостей композиту.

Дисертація Шиловича Ярослава Ігоровича за рівнем її наукової новизни і практичною значимістю відповідає вимогам МОН України та п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року зі змінами і доповненнями, а її автор, **Шилович Ярослав Ігорович**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 - процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри будівельних матеріалів
Київського національного університету
будівництва і архітектури



М.В. Суханевич

Підпис д.т.н., доцента Суханевич М.В.

ЗАСВІДЧУЮ

Перший проректор КНУБА,
д.т.н., професор



Д.О.Чернишев