

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Колесникова Андрія Валерійовича

«Механізми багатоосередкового структуроутворення будівельних композитів на основі гіпсу»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

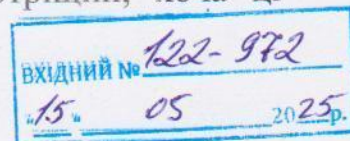
Структура та обсяг дисертації. Основна частина дисертаційної роботи викладена на 358 сторінках друкованого тексту та складається із вступу, шести розділів та загальних висновків. Повний обсяг дисертації становить 512 сторінок; робота містить 24 таблиці, 168 рисунків, список використаних джерел із 348 найменування та 5 додатків на 67 сторінках. Робота оформлена згідно чинних вимог.

Автором чітко визначено **актуальність** роботи – розроблення наукових основ керованого багатоосередкового структурування, яке є ключовим механізмом, що дозволяє створити структуру будівельних композитів на основі гіпсу з покращеними характеристиками міцності, стійкості до агресивних середовищ і довговічності. Проведені дослідження та їх результати направлені на подальший розвиток структурних теорій міцності композитів, зокрема на основі гіпсу, які є одними з найбільш перспективних матеріалів у сучасному будівництві завдяки їхній економічності, екологічності та універсальності застосування.

Дисертаційна робота підготовлена відповідно до напрямку науково-дослідної роботи кафедри виробництва будівельних виробів та конструкцій та кафедри хімії та екології Одеської державної академії будівництва та архітектури і пов'язана з держбюджетною темою «Фізико-хімічні аспекти структуроутворення та руйнування будівельних композиційних матеріалів» (номер держреєстрації - 012U111786).

Аналіз основного змісту роботи, її наукової новизни, ступеню обґрунтованості наукових положень та висновків

У першому розділі наведено досить повний критичний аналітичний огляд відомих вітчизняних та іноземних літературних джерел із визначенням теоретичних, модельних та емпіричних закономірностей проблеми багатоосередкового структуроутворення та його відображення у множині властивостей будівельних композиційних матеріалів (КМ). Виявлені магістральні напрямки моделювання КМ, основні результати моделювання та обмеженості існуючих моделей. Автор обґрунтовано відзначає, що технологічні тріщини, які виникають на етапах структуроутворення, визначають експлуатаційні характеристики матеріалів. Сучасні моделі, що описують властивості композиційних матеріалів, мають загальний характер і часто базуються на спрощених припущеннях. Моделі міцності часто не враховують вплив дискретної (кластерної) структури, наявності міжкластерних меж розділу, розмірів і орієнтації мікротріщин, хоча ці



фактори суттєво впливають на міцність матеріалу. На основі такого критичного огляду відомих робіт автор визначає напрямки подолання недоліків існуючих моделей та формулює робочу гіпотезу, спрямовану на усунення виявлених недоліків відомих моделей.

У другому розділі представлені основні характеристики використаних матеріалів та опис методів і методик, які застосовувалися для дослідження процесів структуроутворення композиційних матеріалів на основі гіпсу. Для організації та впорядкування етапів розробки головної теми створено блок-схему роботи та запропоновано алгоритм проходження її трьох основних етапів. Для вивчення мікроструктури та макроскопічних властивостей матеріалу автор використовує такі ефективні методи досліджень: швидкість поширення ультразвуку, екзотермія та діелектричні втрати. Наряду з стандартними методами для дослідження процесу структуроутворення автором розроблено алгоритм, що містить перетворення мікрофотографій у цифрові знімки та аналіз гістограм розподілу яскравості. Для побудови кривих структуроутворення, що відображають зміни властивостей композиційного в'язучого тіста у часі, досліджувалися тепловиділення гідратації, діелектричні втрати, електропровідність та швидкість проходження ультразвуку через шар композиційного в'язучого, що твердне. Для аналізу застосовувалась комп'ютерна обробка зображень. Дослідження містило фіксацію тепловізійних зображень, їх комп'ютерну обробку для виявлення інформативних характеристик та зіставлення цих характеристик з етапами структуроутворення. У результаті застосованих сумісно методик дослідження автором створено ефективний базис для обґрунтування теоретичних та математичних моделей багатоосередкового структуроутворення. Розроблені методики можуть використовуватися для дослідження процесів тверднення та вирішення завдань практичного матеріалознавства.

У третьому розділі наведені результати досліджень багатовекторних механізмів структуроутворення і їх моделей в композиційних матеріалах на основі гіпсу. Автором підтверджено, що експлуатаційні властивості таких композиційних матеріалів безпосередньо залежать від їхньої внутрішньої структури, формування якої відбувається в процесі структуроутворення протягом життєвого циклу матеріалу. У той же час процеси структуроутворення відбуваються на різних структурних рівнях, кожен з яких характеризується власними механізмами та часовими масштабами. Для аналізу формування структури застосовано фізико-геометричну параметризацію, що передбачає проектування реальних структур на геометричний простір, який задається системою. Виявлено, що структуроутворення гіпсових композитів характеризується інтенсивним зростанням кристалів на поверхнях зерен та формуванням ієрархічної структури «частинка в'язучого – новоутворення – невпорядкована периферична область» кластерів. За результатами такого підходу автором установлені закономірності формування граничних областей кластерів зі

слабкою впорядкованістю та зменшеною міцністю – елементи структури руйнування.

У четвертому розділі дисертації приведені результати обробки отриманих експериментальних даних дослідження фізичних властивостей композиційних матеріалах на основі гіпсу, таких як швидкість проходження ультразвуку через матеріал, електропровідність, діелектричні втрати, тепловиділення гідратації. За результатами такої комплексної обробки встановлені закономірності процесів формування структури композитів на основі гіпсу. Виявлені ефекти часткової синхронізації досліджуваних характеристик, виділені часові смуги синхронізації. Зміну електропровідності у процесі структуротворення композиційних матеріалів на основі гіпсу автор пояснює витратами вільної води на гідратаційні процеси. Зміну швидкості ультразвуку - утворенням перколяційного кластера твердої фази, що проводить механічні дії та звукові коливання. По мірі подальшого структуротворення ці структури трансформуються у дво- та трив'язані. На основі такого ретельного аналізу структуротворення композиційних матеріалах на основі гіпсу автор робить висновок, що єдиний темпоритм цих процесів пов'язаний з єдністю займаного об'єму і єдністю матеріальних носіїв відповідних властивостей.

У п'ятому розділі дисертації представлені результати тепловізорних методів дослідження для модельного відображення структуротворення. Ці результати дослідження свідчать про утворення квазидискретної структури термічних осередків з майже однаковою температурою, та умовних границь розділу між ними. На основі експериментальних даних, з частковим штучним нівелюванням початкових умов, зроблено висновок, що на швидкість реакції і, відповідно тепловиділення, домінуючий вплив чинять дифузійні обмеження. Отримані тепловізійні зображення дозволяють візуалізувати та аналізувати структуру, що формується в процесі твердіння, та ідентифікувати зони, де відбуваються найбільш інтенсивні структурні перетворення, у тому числі області з різною щільністю та складом.

У шостому розділі представлено практичне значення отриманих результатів дослідження. Автор стверджує, що головним практичним результатом дисертаційної роботи є визначені множини фізичних структурних характеристик композиту та їхніх індивідуальних комбінацій, від яких безпосередньо залежать властивості композиційних матеріалів на основі гіпсу. Установлено, що структурні критерії описують залежність фізико-механічних властивостей від будови матеріалу, відносні критерії оцінюють баланс між бажаними та небажаними характеристиками, а умовні критерії відображають зміну параметрів у різних умовах експлуатації. Автором встановлено, що комбіновані критерії, зокрема індекс водостійкості, дозволяють здійснювати більш точне та ефективне проектування композиційних матеріалів на основі гіпсу. Використання таких критеріїв забезпечує не лише високу якість композиційних матеріалів на основі гіпсу і їхню довговічність, а і є ключовим фактором у будівництві

енергоєфективних та надійних конструкцій.

Таким чином, на основі розроблених автором нових методів та проведених з їх використанням дослідження структури та властивостей композиційних матеріалів на основі гіпсу отримані наступні **нові наукові результати**, основними з яких є:

- встановлена закономірність ієрархічної взаємодії різних структурних рівнів організації композиційних матеріалів на основі гіпсу, а мікро- і макроструктурний рівні виділені як такі, де найсильніше проявляються нові властивості матеріалу, які забезпечують потрібні покращені властивості даного композиту;

- визначена закономірність впливу зміни потенціалу взаємодії між частинками в'язучого і наповнювача у складі в'язучого тіста на локальні структурні характеристики композиційних матеріалів на основі гіпсу;

- визначена закономірність зміни властивостей композиційного матеріалу на основі гіпсу в його життєвому циклі від процесів топологічного перетворення – зміни зв'язаності, роду та характеру зачепленості фаз матеріалу як дисперсної системи;

- визначена закономірність механізмів формування кластерних структур від незначних змін зовнішніх та внутрішніх структурно-механічних впливів.

- **Основне практичне значення отриманих результатів:**

- використання розробленої комп'ютерно-мікроскопічної методики аналізу зображень структури композиційного матеріалу та її «миттєвого знімку» під час структуроутворення дає можливість визначати об'єм та співвідношення гідратних фаз та непрогідратованого матеріалу, характеристики розподілу крупних структуруючих частинок та пір;

- розроблений метод тепловізорного дослідження композиційного матеріалу екзотермічного тверднення, оснований на комп'ютерній обробці тепловізорних зображень, дозволяє виявляти структуру термічних осередків, які приблизно відповідають осередкам структуроутворення, виявляти передумови виникнення структури руйнування в композиційних матеріалах;

- розроблений метод визначення термінів тужавлення високонаповнених композитів щільної структури, який базується на комплексному аналізі кривих структуроутворення, зокрема кривих зміни швидкості проходження ультразвуку крізь в'язуче тісто під час тужавлення;

- запропоновані теплозвукоізолюючі склади композиційних матеріалів на основі гіпсу застосовані у ЧП «Практик», ПП «Русрембуд» та КП «Будова» при влаштуванні наповненого покриття для основ під підлоги;

- теоретичні, експериментальні та методичні розробки, що приведені в роботі, використовуються в начальному процесі при підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія.

Достовірність і новизну отриманих результатів досліджень, а також **обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується використанням для дослідження композиційних матеріалів на основі гіпсу стандартних методик та сертифікованого випробувального

обладнання та спеціально розроблених методів дослідження. Досліди проводилися на модельних препаратах матеріалу, що твердне, та дослідних зразках стандартних форм і розмірів. Структурно-механічні характеристики визначалися за діючими стандартизованими методиками. Структура матеріалу на різних стадіях структуроутворення досліджувалися методами комп'ютерної мікроскопії з залученням алгоритмів обробки зображень та статистичних методів. Статистичний аналіз експериментальних результатів проводили з використанням апарату математичного планування експерименту. Отримані результати досліджень, висновки та рекомендації доповідалися на численних конференціях, підтверджені відомими результатами досліджень інших авторів та практичним використанням при промисловому виготовленні виробів за запропонованою автором технологією.

Основні результати дисертації досить повно викладені в 52 друкованих працях, з них 1 монографія (в співавторстві), 21 статті у фахових виданнях України, 6 статей у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази даних Scopus та WoS, 3 статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав, 21 публікація, що засвідчує апробацію матеріалів дисертації. Автор систематично доповідав свої роботи на міжнародних конференціях та семінарах, починаючи з 2015 року.

Редакційний аналіз. Робота являє собою закінчену наукову працю й виконана на високому рівні з грамотним використанням сучасних ефективних методів дослідження та має достатній літературний огляд попередніх досліджень по даній тематиці.

Дисертаційна робота логічно побудована, написана чітко і ясно, проілюстрована графічними матеріалами й фотоматеріалами, виконаними на високому рівні.

Відповідність дисертації та автореферату встановленим вимогам. Дисертація та автореферат оформлені згідно з вимогами МОН України. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби.

Результати кандидатської дисертації здобувача не виносяться на захист докторської дисертації.

Зміст автореферату і основних положень дисертації ідентичні, викладені чітко, грамотно.

Зауваження.

1. При формулюванні актуальності роботи (с. 23-24) слід відзначити не тільки «створення теоретичних засад», але і їх практичну реалізацію. А при визначенні значення цієї проблеми, крім економічного, екологічного і народногосподарського значення, доцільно доповнити також і енергетичне. Адже автор фактично вирішує в роботі і цю проблему.

2. При формулюванні завдань дослідження та результатів (наукової новизни) слід чітко визначити проблему, яка вирішується у роботі. А терміни

«дослідити» у завданнях та «досліджено» у науковій новизні вживати не варто. Це шлях вирішення завдання. Необхідно формулювати, який результат (закономірність) планує отримати та отримує автор при реалізації поставленого завдання.

3. Сформульовані автором 1 та 2 наукова новизна по суті повтор однієї і тієї ж закономірності.

4. Автор обґрунтовано відзначає, що технологічні тріщини, які виникають на етапах структуроутворення, визначають експлуатаційні характеристики матеріалів. Але не тільки технологічні, а й експлуатаційні, які виникають у результаті навантажень та впливів на конструкції у процесі їх експлуатації. А тому важливо визначати причини та методи їх зменшення. Для цього необхідно вивчати напружено-деформативний стан композиційних матеріалів на основі гіпсу, наприклад, з використанням методу скінченних елементів та сучасних потужних комп'ютерів.

5. У роботі розроблено новий метод дослідження структури композиційних матеріалів на основі гіпсу, який представляє собою алгоритм перетворення мікрофотографій у цифрові знімки та послідовний аналіз гістограм розподілу яскравості. Слід чіткіше визначати нові наукові та практичні результати отримані автором завдяки використанню такого нового методу дослідження, а також визначити можливість його використання для дослідження інших композиційних матеріалів.

6. Чи варто використовувати у роботі нові для будівельної галузі, зокрема матеріалознавства, терміни без пояснення їх у окремому підрозділі роботи «терміни та визначення», наприклад, «емерджентність», «біфуркація», якщо ті явища, що виникають у системі можна пояснити загальновідомими термінами?

7. У роботі не наведено необхідних заходів щодо особливостей практичного використання запропонованих складів композиційних матеріалів на основі гіпсу для виготовлення будівельних виробів та конструкцій. Режим виготовлення необхідно розробляти, оскільки суміші з таким в'язучим мають досить обмежені терміни тужавлення.

Відмічені недоліки не знижують цінності для науки і практики виконаної автором роботи. Вона є закінченою науковою працею, яка в повній мірі відповідає спеціальності 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби.

Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам. Дисертація Колесникова Андрія Валерійовича «Механізми багатоосередкового структуроутворення будівельних композитів на основі гіпсу» є завершеною працею, в якій розроблено теоретико-експериментальні моделі багатоосередкового структуроутворення будівельних композитів на основі гіпсу, які використані для оптимізації структурних та експлуатаційних властивостей цього матеріалу в умовах експлуатації. Автором теоретично доведено та експериментально підтверджено, що структуроутворення будівельних композитів на основі гіпсу відбувається у результаті процесів самоорганізації, що відбуваються завдяки взаємного впливу макро- і

мікроструктури композиту, яка представляє собою складну відкриту динамічну систему з переважно ієрархічною організацією. Така система самоорганізується за рахунок зміни характеру поверхневих шарів частинок композиційного матеріалу на основі гіпсу, перерозподілених частинок, утворенню та трансформації границь розділу у матеріалі, мінімізації поверхневої енергії та реалізації нестабільностей. Отримані автором результати досліджень дали змогу керувати розвитком структури та необхідних важливих експлуатаційних властивостей будівельних композитів на основі гіпсу таких як міцність, водостійкість, звукопроникність, теплопровідність. Використання запропонованих автором результатів теоретичних та експериментальних досліджень дає можливість вирішувати важливі проблеми економічного, екологічного, енергетичного і народногосподарського значення.

Дисертація виконана у відповідності до вимог паспорту спеціальності 3.05 - будівельні матеріали та вироби і пунктів 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.21 р. № 1197, а її автор, Колесников Андрій Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди.

Офіційний опонент:

професор кафедри будівельного
виробництва та геодезії Українського
державного університету науки і
технологій,
д.т.н., професор



М.І. Нетеса

«___» квітня 2025 р.

*Завірюю підпис
Чесно секретар*



Геннадій Радчук