

Міністерство освіти і науки України

Одеська державна академія будівництва та архітектури

**ТЕРТИЧНИЙ АНДРІЙ АНДРІЙОВИЧ**



УДК 691.327 (043.3)

**МОДИФІКОВАНІ РОЗЧИНИ ПІДВИЩЕНОЇ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ  
ТА ТРИЩИНОСТІЙКОСТІ РІЗНОМАНІТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

05.23.05 - Будівельні матеріали та вироби

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**дисертації на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук**

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури  
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Шинкевич Олена Святославівна**, Одеська державна академія будівництва та архітектури, професор кафедри процесів і апаратів у технології будівельних матеріалів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Сопов Віктор Петрович**,  
Харківський національний університет будівництва та архітектури, завідувач кафедри фізико-хімічної механіки та технології будівельних матеріалів та виробів;

кандидат технічних наук, доцент  
**Борзяк Ольга Сергіївна**,  
Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд

Захист відбудеться «12» травня 2021 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4, ауд.360.

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Одеської державної академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона 4.

Автореферат розісланий «09» квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 41.085.01, д.т.н., доцент



Кровяков С.О.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** При підборі складів багатокомпонентних сумішей актуальним є, по-перше, поглиблене вивчення умов приготування сумішей, по-друге, аналіз сумісності і синергізму добавок і наповнювачів в багатокомпонентних складах. Важливим технологічним етапом є послідовність завантаження компонентів суміші. При використанні полідисперсних наповнювачів процеси перемішування також необхідно враховувати способи приготування сумішей через розвинену поверхню частинок твердої фази.

Найбільш перспективним напрямком на сучасному етапі є застосування в розчинах таких наповнювачів, що містять кремнезем, метакаолін та техногенні відходи різного виду, тощо. Активні наповнювачі, що містять кремнезем з різною площею питомої поверхні, структурою і полімінеральним складом можуть по-різному впливати на реологічні властивості сумішей, процеси структуроутворення та тверднення розчинів. У той же час питання спільної дії цих добавок-наповнювачів різної природи, генезису і структури та пріоритетність їх впливу з нафталін-формальдегідними або полікарбоксилатними суперпластифікаторами на показники якості розчинів вивчені недостатньо. Створення модифікованих розчинів підвищеної адгезійної міцності та тріщиностійкості для улаштування елементів підлог і поновлення зруйнованих ділянок розчинових поверхонь на екологічно безпечному комплексі компонентів є актуальним і своєчасним.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури відповідно до держбюджетних тем МОН України: «Розробка наукових основ отримання вапняно-кремнеземистих композитів неавтоклавно твердіння на основі енергозберігаючих технологій» N 0109U005436 (2009-2015pp.); «Комп'ютерне моделювання та оптимізація технологічних процесів, структури і властивостей багатокомпонентних будівельних матеріалів» N 0111U001248 (2011-2020pp.); «Розробка науково-теоретичних основ отримання низькоенергоємних екологічних композитів з використанням комп'ютерного матеріалознавства» N 0115U000573 (2015-2017pp.).

**Метою роботи** є поліпшення показників якості цементних розчинів різноманітного призначення, зокрема адгезійної міцності та тріщиностійкості завдяки модифікації сумішей полідисперсними кремнеземовмісткими наповнювачами різного генезису і різної структури та суперпластифікаторами з урахуванням різних способів їх приготування.

### **Завдання досліджень:**

- теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити ефективність об'єднання полідисперсних кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису, різної структури та суперпластифікаторів для поліпшення показників якості модифікованих сумішей та цементних розчинів різноманітного призначення;

- проаналізувати закономірності впливу полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису, різної структури сумісно з суперпластифікаторами на реологічні властивості модифікованих сумішей з урахуванням способу приготування;

- проаналізувати закономірності впливу на властивості цементних розчинів, комплексу із полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів, який містить тонкомелений трепел, суперпластифікаторів з урахуванням способу приготування;

- проаналізувати закономірності впливу на властивості цементних розчинів, комплексу із полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів, який містить тонкомелений пісок, суперпластифікаторів з урахуванням способу приготування;

- оптимізувати склади поліфункціональних модифікаторів для поліпшення показників якості цементно-піщаних розчинів на основі комплексу полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису і різної структури та суперпластифікаторів;

- провести техніко-економічний розрахунок та здійснити дослідно-експериментальну апробацію результатів дослідження.

*Об'єкт досліджень* – модифіковані цементні розчини для улаштування елементів підлог і поновлення зруйнованих ділянок розчинових поверхонь.

*Предмет досліджень* – закономірності впливу наповнювачів на структурно-реологічні властивості сумішей, фізико-механічні та будівельно-експлуатаційні властивості модифікованих розчинів на їх основі.

**Методи досліджень.** Комплексні дослідження включали натурні експерименти з використанням планованого багатофакторного експерименту для отримання ЕС-моделей. Визначення структурно-реологічних, фізико-механічних і будівельно-експлуатаційних властивостей за стандартними методиками і визначення характеристик структури - на кафедрі ПАТБМ і ВБК ОДАБА. Побудова і аналіз ЕС-моделей виконувались із застосуванням діалогової системи COMPEX, спеціально синтезованих планів, стандартних програм Microsoft Office і CorelDraw.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

*Встановлено вперше:*

- закономірності і ефективність впливу на властивості модифікованих розчинів комплексу полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису, різної структури, виду суперпластифікаторів та способу приготування сумішей;

- оптимізовані склади поліфункціональних модифікаторів для поліпшення показників якості цементно-піщаних розчинів на основі комплексу полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису і різної структури та суперпластифікаторів.

*Набуло подальшого розвитку:*

- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість поліпшення показників якості модифікованих розчинів під впливом полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів, виду суперпластифікаторів і способу приготування сумішей: міцність зчеплення зростає в 1,5-5,5 рази, тріщиностійкість в 1,5-2 рази на активованих складах з тонкомеленим трепелом;

- запропоновано і експериментально підтверджено механізм впливу пористого наповнювача у вигляді трепелу аморфно-кристалічної структури і заданої питомої поверхні на структурно-реологічні властивості сумішей, фізико-механічні та будівельно-експлуатаційні властивості модифікованих розчинів.

### **Практичне значення отриманих результатів:**

- обґрунтовано вибір компонентів сумішей і розроблено склади модифікованих цементних розчинів. Для улаштування елементів підлог всередині приміщень рекомендовані суміші з ПФМ на тонкомеленому трепелі для стяжок СТ1, СТ2, покриття ПО1, поновлення зруйнованих ділянок розчинових поверхонь РМ3, кладки усіх видів стінових блоків МР2, МР3. Для робіт зовні приміщень – суміші з ПФМ на тонкомеленому піску для заповнення швів і монтажу конструкцій МН1, стяжки під значні навантаження СТ3, покриття під помірні навантаження ПО2;

- випущена дослідно-експериментальна партія розчинової суміши. Фактичний економічний ефект від застосування суміші розробленого складу, яка була нанесена на підлогу цокольного поверху і внутрішні стіни побутового приміщення м. Одеси, склав 17,43грн на 1 м<sup>2</sup> підлоги і 27,03грн на 1 м<sup>2</sup> стіни і отриманий за рахунок використання природних, екологічно безпечних сировинних компонентів і добавок та внаслідок підвищення часу експлуатації приміщень без ремонту;

- результати роботи впроваджені в навчальний процес в Одеській державній академії будівництва та архітектури на кафедрі «Процесів і апаратів в технології будівельних матеріалів» за освітньо-науковою програмою «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» і використовуються при виконанні розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Основи модифікації бетонів» для студентів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації у дисертаційній роботі отримані здобувачем самостійно. Формулювання мети та задач дослідження, планування натурних та лабораторних дослідів, оброблення, аналіз та інтерпретація експериментальних досліджень, узагальнення інформації, формулювання висновків проводилися за участю наукового керівника.

Особистий внесок автора в роботах, що надруковані в співавторстві, полягає в наступному: планування та проведення експериментальних досліджень модифікованих розчинів поліфункціонального призначення; аналіз отриманих результатів натурних експериментів; встановлення закономірностей впливу кремнеземовмістких наповнювачів та добавок-пластифікаторів за ЕС-моделями; оптимізація складів для кладки стінових блоків, монтажу конструкцій, ремонту ділянок підлог та устаткуванню елементів багатошарових підлог.

Особистий внесок автора в роботах, що надруковані в співавторстві, зазначено в авторефераті.

**Апробація дисертаційної роботи.** Основні положення і результати дисертаційної роботи апробовані на національних і міжнародних конференціях: науково-практична конференція «Bulletin incercom scientific research institute of construction» (Republica Moldova, 2015р.); науково-практична конференція "Сучасні конструктивні системи, матеріали та інженерне обладнання" (Київ, 2014р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Одеса, 2014, 2016, 2019р.); Міжнародний науковий семінар "Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій" (Одеса, 2014, 2016, 2018р.); Міжнародна наукова інтернет-конференція «Modern directions of theoretical and applied researches» (United Kingdom, 2017р.);

Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2017р.); Міжнародний науково-технічний семінар «Modelling and optimization of building composites» (Одеса, 2017р.); Міжнародна наукова конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса, 2020р.).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 22 наукові праці: 6 з яких у наукових фахових виданнях України, 7 у наукових періодичних виданнях інших держав (1 індексується наукометричною базою Index Copernicus, 1 індексується наукометричною базою Scopus), 1 стаття, яка включена в міжнародні наукометричні бази (індексується наукометричною базою Scopus), 7 тез доповідей у збірниках наукових конференцій і семінарів, 1 колективна монографія.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота викладена на 224 сторінках, які включають 141 сторінку основного тексту, 63 рисунка, 42 таблиці, 3 додатка, список використаних джерел з 241 найменування, викладений на 25 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета і завдання, розкрито наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено об'єкт, предмет дослідження, відомості про апробацію, особистий внесок автора в опублікованих зі співавторами роботах, відображені основні наукові і практичні результати.

У **першому розділі** проведено аналітичний огляд численних досліджень у сфері виробництва і застосування цементних сумішей та розчинів для внутрішніх і зовнішніх робіт. Аналіз огляду літературних джерел показав, що сучасне будівництво вимагає застосування нових ефективних матеріалів, серед яких важливе місце посідають рухливі та високорухливі суміші і високоякісні розчини, які є різновидом дрібнозернистих бетонів. З аналізу робіт видатних вчених Ю.М. Баженова, Ю.М. Бутта, Б. Г. Скрамтаєва, А.В. Волженського, П.В. Кривенко, І.А. Кирєєнко, П.А. Ребіндера, В.В. Стольнікова, А.Н. Краснова, С.С. Капрієлова, О.П. Мчедлов-Петросяна, А.В. Ушєрова-Маршака, В.І. Бабушкіна встановлено взаємозв'язок між фізико-механічними властивостями дрібнозернистих бетонів і факторами, які впливають на їх якість, в тому числі технологічними.

Отримання дрібнозернистих цементних сумішей високої однорідності, життєздатності і міцності неможливе без використання поліфункціональних добавок-модифікаторів, найбільш ефективними з яких є комплекси на основі суперпластифікаторів і високодисперсних мінеральних наповнювачів у вигляді мікрокремнезема. Однак перешкодою до широкого застосування таких комплексів в Україні є їх висока вартість. Конкурентноздатним мінеральним наповнювачем, як показано в роботах Л.Й. Дворкіна, І.В. Гоца, V. Kurdovski та ін. є високоактивний метакаолін у вигляді дисперсного порошку, який отримано в результаті випалення каолінових глин.

Аналіз матеріалів міжнародних симпозіумів та конференцій показує широкі можливості використання метакаоліну для регулювання структури і властивостей будівельних композитів. Велика кількість родовищ каолінових глин на території України є потенційною сировинною базою для виготовлення високоактивного метакаоліну, що створює широкі перспективи для його використання в будівництві.

Великого значення при використанні сировини різного генезису у якості наповнювачів для сумішей набувають питання, пов'язані з процесами їх активації шляхом тонкого помелу. Різні види активації, включаючи механохімічну активацію модифікованих сумішей (І.В. Барабаш, В.І. Соломатов, та ін.) сприяють набуттю композитом спеціальних властивостей і відкривають перспективи розширення сировинної бази при отриманні якісних модифікованих дрібнозернистих сумішей і високоякісних виробів на їх основі.

У працях відомих вчених Л.Й. Дворкіна, О.І. Дворкіна, С.В. Ковалю, Р.Ф. Рунової, Б.В. Ратінова, В.Г. Батракова, В.С. Дорофєєва, та ін. обґрунтовано введення поліфункціональних модифікаторів та наповнювачів, у працях А.В. Волженського, М.А. Саницького, Т.П. Кропивницької, К. К. Пушкарьової, В.П. Сопова, Т.О. Костюк та ін. обґрунтовано використання тонкомелених багатоконпонентних сумішей з наповнювачами в в'язучих та сумішах, у працях В.М. Вирового С.С. Капрієлова, V. S. Ramachandran, M.J. Siak та ін. показано можливості регулювання структуроутворення цементних систем з мінеральними наповнювачами оптимальної дисперсності і вмісту.

Однак у теперішній час не проведено досліджень, метою яких є наукове обґрунтування отримання високоякісних цементних розчинів на основі комплексу високоактивного метакаоліна, мікрволастонита тонкомеленого трепелу або піску з різною питомою поверхнею та суперпластифікаторів з урахуванням особливостей структурно-реологічних властивостей, процесів гідратації і структуроутворення модифікованих дрібнозернистих сумішей.

На основі аналізу літературних джерел сформована *гіпотеза* дослідження.

Можливо припустити, що модифікація цементно-піщаних сумішей комплексом полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису і різної структури сумісно з суперпластифікаторами забезпечить поліпшення структурно-реологічних, фізико-механічних та будівельно-експлуатаційних властивостей, в першу чергу адгезійної міцності, тріщиностійкості і міцності на розтяг при згині.

У **другому розділі** наведено характеристики сировинних матеріалів, описано методики та методи досліджень, обґрунтовано вибір плану експериментів і рівні варіювання факторів для побудови експериментально-статистичних (ЕС) моделей, проведено обробка результатів натурних і обчислювальних експериментів відповідно за розробленою блок-схемою дослідження. Важливе значення має раціональне об'єднання та сумісність матеріалів, добавок і наповнювачів.

В експериментах використані наступні матеріали: портландцемент марки ПЦ І-500-Д0, виробник «Хайденберг Цемент Україна» ДСТУ В.2.7-46:2010; в якості дрібного заповнювача використовувався пісок кар'єрний Вознесенського родовища з  $M_k=1,25$  ДСТУ Б В.2.7-232:2010; водоредукуюча добавка на основі сульфатних нафталінформальдегідних поліконденсатів - суперпластифікатор СП (С-3) згідно ТУ 2481-001-51831493-00 або полікарбоксилатний суперпластифікатор Melflux 2651F; у

якості наповнювача тонкомелений трепел Кіровоградського механічного заводу згідно ТУ У14.2-00374485-004:2005 або тонкомелений кварцовий пісок; розмелені до заданої питомої поверхні; волокнистий мікроволастонит (ВЛ) ( $\text{CaSiO}_3$ ) фракції МВ 05-96, що поставляється «Імпексінвест» м. Харків; мінеральний наповнювач – високоактивний метаколін (ВМК) з  $S_{num} = 15 \text{ м}^2/\text{г}$ , який відповідає ТУ У 14.2-363632275-001:2009, виробник ТОВ «Мета-Д», м. Дніпро.

Рухливість, розшаровуваність суміші, водопоглинання та морозостійкість розчинів визначалася відповідно ДСТУ В.2.7-239:2010. Показник розчиновідділення за методикою тангенса зовнішнього кута. Час життєздатності суміші за ДСТУ Б.В.2.7-185:2009. Середня густина суміші відповідно до ДСТУ Б.В.2.7-114-2002. Міцність на стиск і на розтяг при згині за ДСТУ Б.В.2.7-187:2009. Тріщиностійкість (критичний коефіцієнт інтенсивності напружень) за ГОСТ 29167-91. Міцність зчеплення (адгезія) - на адгезіометрі DYNA Z16. Водостійкість – за стандартною методикою. Мікротвердість – за методикою Брінелля за ГОСТ 23677-79. Індекс звукоізоляції – за авторською методикою. Пористість за ДСТУ Б.В.2.7-170-2008.

У **третьому розділі** розраховані і проаналізовані експериментально-статистичні моделі, які описують вплив обраних і обґрунтованих факторів складу на структурно-реологічні властивості модифікованих сумішей.

Для аналізу взаємовпливу наповнювачів і добавок пластифікаторів та оцінки взаємодії між ними було проведено чотири однотипових експерименту по одному і тому ж шестифакторному плану МТQ, розробленому Ляшенко Т.В. В результаті реалізації натурних експериментів розраховано ЕС-моделі зміни властивостей 24 різних складів сумішей для кожного з чотирьох експериментів.

В експериментах варіювалися наступні фактори складу. Щільні та пористі мінеральні наповнювачі у вигляді трепелу або піску подрібнювалися до заданої  $S_{num} = 300; 450; 600 \text{ (м}^2/\text{кг)}$ . Кодовані значення площі питомої поверхні трепелу або піску –  $v_1+v_2+v_3$ . У двох експериментах використаний мелений трепел, в двох інших - мелений пісок. В якості незалежних факторів варіювалися: вміст наповнювачів висоактивного метаколіна (ВМК) =  $X_4 = (6 \pm 4)\%$ ; воластонита (ВЛ) =  $X_5 = (5 \pm 5)\%$ ; суперпластифікатора С-3 =  $X_6 = (1 \pm 0,5)\%$ .

Для поліпшення властивостей цементних розчинів застосовувалися два різні способи приготування модифікованих сумішей. У першому експерименті готувалися неактивовані суміші з тонкомеленим кварцовим піском (НАС/П) традиційним способом з В/Ц=0,5 (план 1); у другому експерименті готувалися неактивовані суміші з тонкомеленим трепелом (НАС/Т) традиційним способом з В/Ц=0,5 (план 2); у третьому і четвертому експериментах готувалися активовані суміші з тонкомеленим піском (АС/П) (план 3) або з тонкомеленим трепелом (АС/Т) (план 4) в швидкісному змішувачі з В/Ц=0,7 аналогічних складів. В результаті реалізації чотирьох однотипових експериментів розраховані чотири групи експериментально-статистичних моделей, які описують зміну однакових груп властивостей в кожному експерименті. Така постановка експериментів дозволила провести порівняльний аналіз показників якості модифікованих сумішей і розчинів за відносним ( $\delta Y = Y_{max}/Y_{min}$ ) і абсолютним ( $\delta Y = Y_{max} - Y_{min}$ ) показниками.



На першому етапі досліджень проведена оцінка і аналіз реологічних властивостей з урахуванням способів приготування сумішей. Технологічність модифікованих сумішей визначається, в значній мірі, її рухливістю.

*Рухливість сумішей (OK)* залежить від способів їх приготування і змінюється в діапазоні  $OK=(6-16)$ см. – для рухомих і  $OK=(20-30)$ см. - для високорухливих сумішей. Зміну рухливості сумішей, приготованих в швидкісному змішувачі, традиційно ілюструють діаграми рис.1. На діаграмах виділені області сумішей ПЗ з  $OK=(8-10)$ см. і П5 з  $OK=(20-22)$ см.

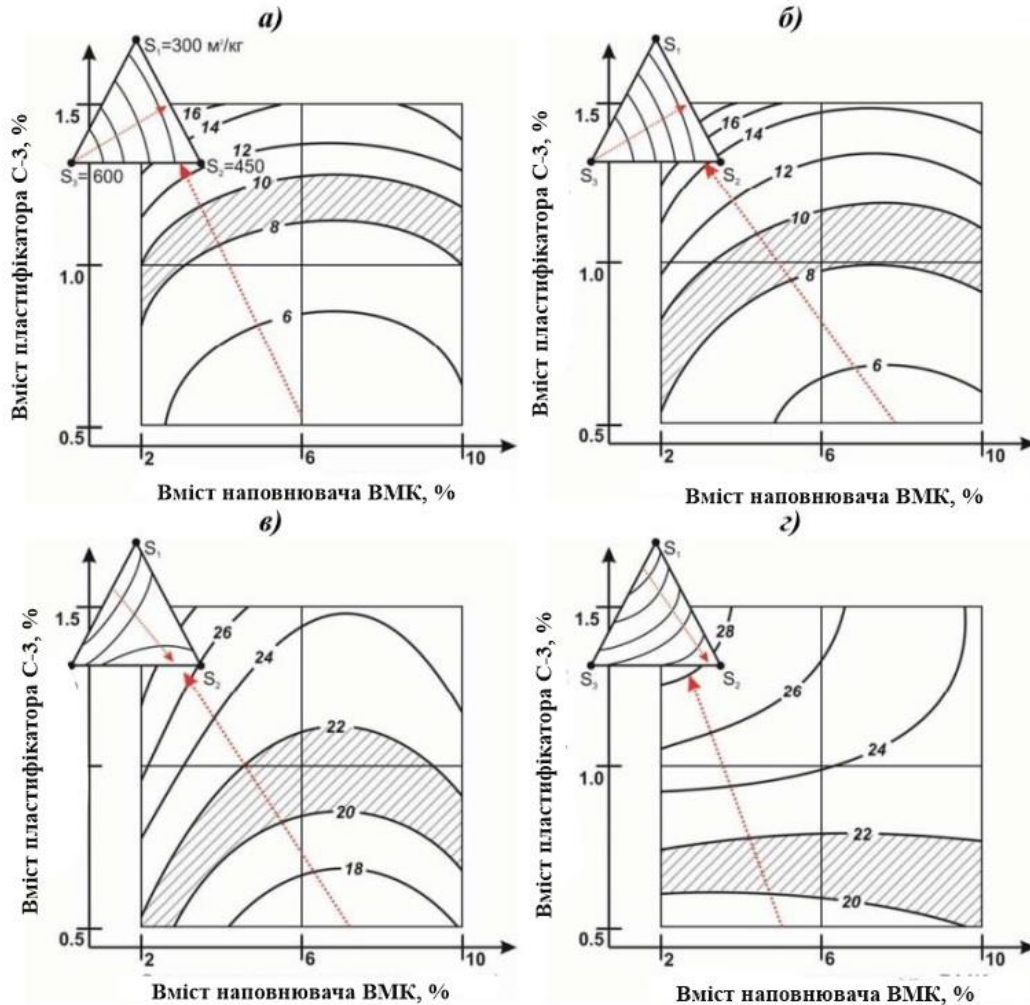


Рис. 1. Вплив на рухливість модифікованих сумішей вмісту високоактивного метаксоліну, С-3, питомої поверхні піску або трепелу та способа приготування – неактивованих сумішей з тонкомеленим піском (а), тонкомеленим трепелом (б) – активованих сумішей з тонкомеленим піском (в), тонкомеленим трепелом (г)

*Показник розшаровуваності (П)* за нормами ДСТУ не повинен перевищувати 5% для рухливих і 4% для високорухливих сумішей. Неактивовані суміші на тонкомеленому піску не розшаровуються. Для активованих сумішей на тонкомеленому трепелі при утриманні С-3 <1% і при відсутності ВЛ показник розшаровуваності АС/Т перевищує норму  $\leq 4\%$  (рис.2), що може бути пов'язано з високорозвиненою структурою порового простору трепелу і опосередковано свідчить про недостатню, для даних складів, пластифікацію суміші. Для активованих сумішей підвищений вміст С-3 до 1,0-1,5% сприяє зменшенню розшаровуваності до норми незалежно від вмісту ВЛ та ВМК.

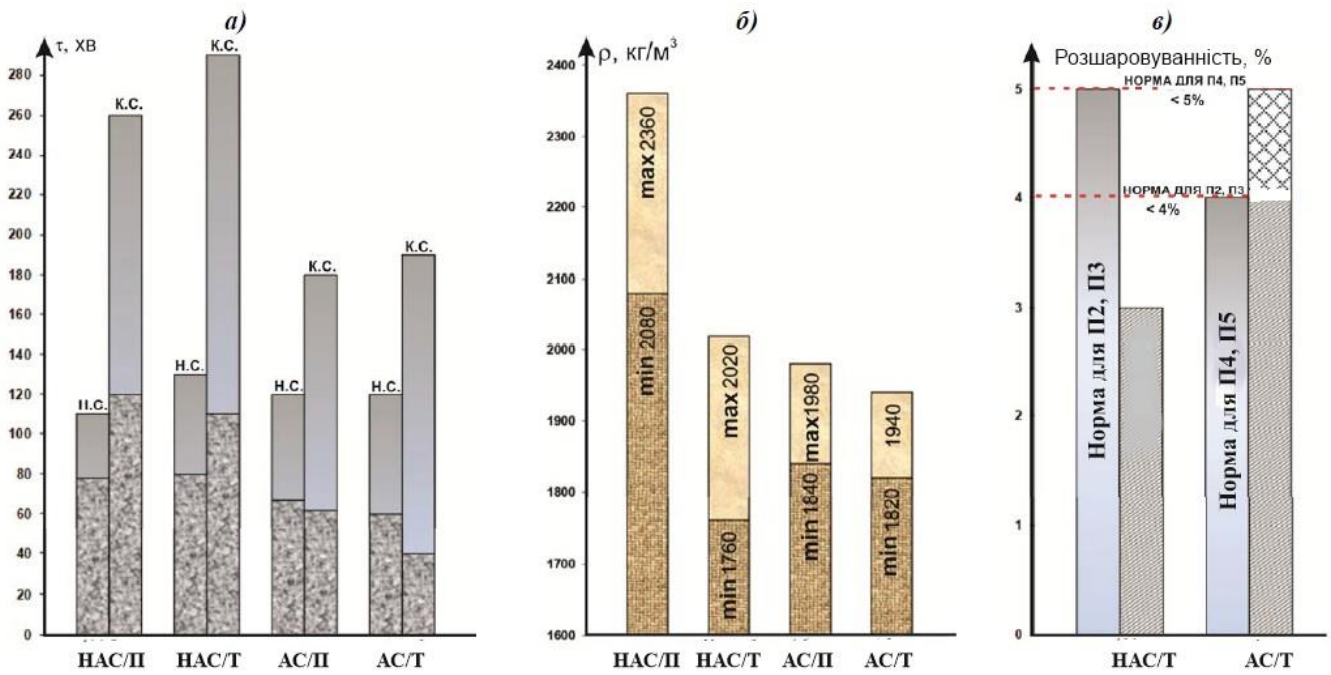


Рис. 2. Зміна абсолютних значень властивостей модифікованих сумішей  
 а) – строків тужавлення; б) – середньої густини; в) – розчиновідділення  
 – неактивовані суміші: (НАС/П) з тонкомеленим піском і (НАС/Т) з трепелом  
 – активовані суміші: (АС/П) з тонкомеленим піском і (АС/Т) з трепелом

Процеси розшаруваності і розчиновідділення притаманні як не активованим так і активованим сумішам. Оптимальне співвідношення волластонита і високоактивного метакаоліну виконує роль стабілізаторів і гомогенізаторів сумішей, коригуючи розчиновідділення і розшаруваність.

Розчиновідділення ( $P_{vid}$ ) окремих складів зумовлено недостатньою зв'язаністю між поверхнею твердої фази і рідким дисперсійним середовищем в разі надлишку або нестачі С-3 разом з ВМК незалежно від вмісту волластонита для АС/Т сумішей. Для активованої розчинової суміші, модифікованої трепелом, у всій області факторного простору значення розчиновідділення  $tg \alpha \geq 0,25$ , що свідчить про відсутність розчиновідділення. Для НАС/П розчиновідділення необхідно коригувати: за рахунок підвищення дисперсності наповнювачів розчиновідділення високорухливої суміші зменшується. Таким чином, для активованих сумішей на трепелі і неактивованих на піску важливо визначення таких показників, як розшаруваність і розчиновідділення, що не передбачено ДСТУ по СБСМ. В цілому активація сумішей знижує розшаруваності і розчиновідділення.

Строки тужавлення ( $\tau$ ) залежать від складу і способів приготування. Підвищений вміст С-3 віддаляє момент початку тужавлення. Введення волластонита ( $CaSiO_3$ ) спільно з високоактивним метакаоліном призводить до прискорення накопичення іонів кальцію, збільшення їх вмісту в дисперсному рідкому середовищі і прискорює початок періоду гідратації цементних мінералів. Початок строків тужавлення знаходиться в межах 110-130 хв, час життєздатності становить 100-180хв. Неактивовані суміші з трепелом тужавіються повільніше, ніж з кварцовим піском, що може бути пов'язано, особливо в початковий момент часу, зі збільшенням вмісту кремнієвої кислоти і зниженням рН суміші (рис.2).

Середня густина сумішей ( $P_{cm}$ ) змінюється до 40 %,  $P=1940-2360$  кг/м<sup>3</sup> (рис.2).

Обчислювальні експерименти за ЕС-моделями дозволяють зробити важливий висновок про те, що навіть за умовами равнорухливих  $\Pi=const$  сумішей, реологічні показники, які характеризують ефективність сумішей в процесі технологічної переробки, можуть істотно відрізнятись (табл.1).

Таблиця 1

## Зміна реологічних властивостей в умовах равнорухливих сумішей

№ п/п	Умовні позначення сумішей	Рухливість			$\rho^{min}$ , кг/м <sup>3</sup>	Розчино-відділення, Р	Розшаровуваність, %	Час життєздатності, хв	Строки тужавлення, хв	
		П3	П4	П5					п.т	к.т.
1.	НАС/П (С-3)	+	-	-	2200	$tg \alpha \geq 1$	<5	140	120	260
2.	НАС/Т (С-3)	+	-	-	1820-2000	$tg \alpha \geq 1$	<5	230	130	360
3.	АС/П (С-3)	-	-	+	1900-2200	$tg \alpha \geq 0,5$	<5	130	110	240
4.	АС/Т (С-3)	-	-	+	1650	$tg \alpha \geq 0,5$	2-7	235	120	340
5.	НАС/П (Melf.)	-	+	-	1720	$tg \alpha \geq 1$	<<5	160	100	220
6.	НАС/Т (Melf.)	-	+	-	1680	$tg \alpha \geq 1$	<<<5	170	90	310

Різні тенденції поведінки сумішей, модифікованих комплексом полі дисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису ті різної структури свідчить про те, що механізми формування структури в таких сумішах відбуваються по-різному, що впливає на реологічні та фізико-механічні властивості.

Аналіз даних свідчить про те, що наповнювачі різного виду та дисперсності по-різному впливають на здатність суміші до деформування в залежності від способу її приготування. Тому необхідно враховувати вплив на реологічні властивості різних за своєю структурою і дисперсністю наповнювачів, суперпластифікаторів та способів приготування сумішей: традиційне або швидкісне.

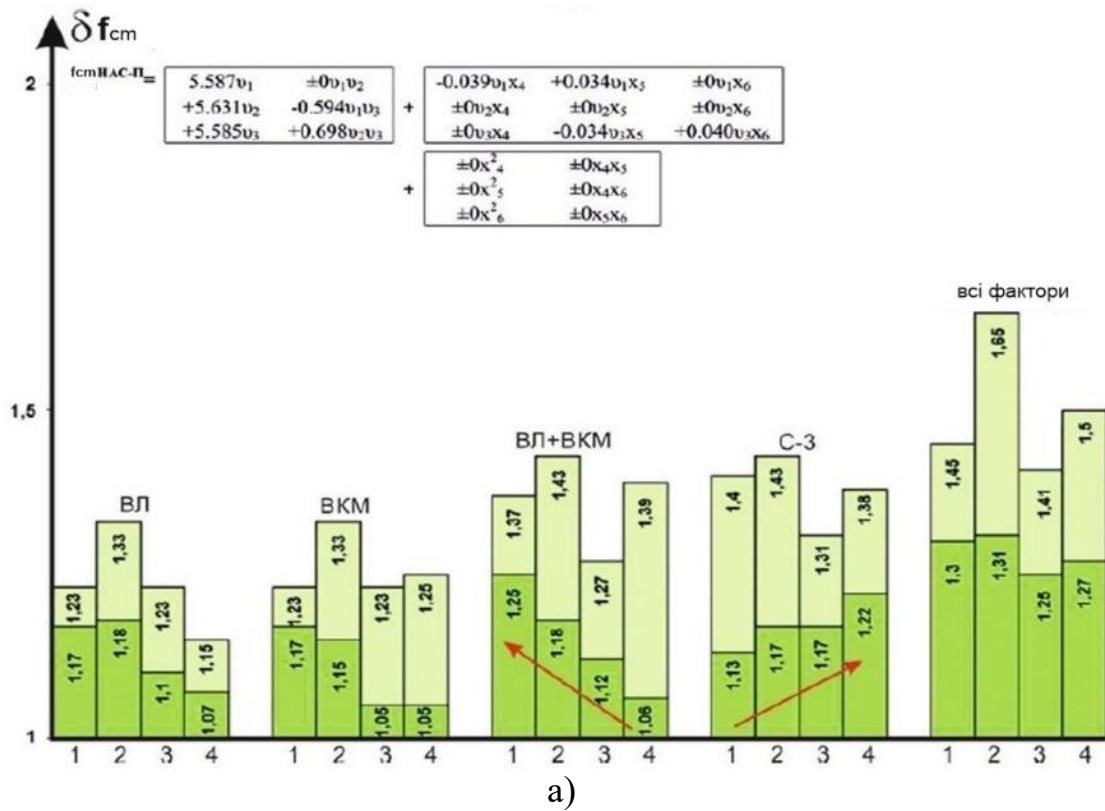
У четвертому розділі проведено порівняльний аналіз впливу різних кремнеземовмістких наповнювачів на фізико-механічні і будівельно-експлуатаційні властивості розчинів за експериментально-статистичними моделями.

*Міцність на стиск ( $f_{cm}$ ).* Відносна зміна  $\delta f_{cm}$  під впливом факторів складу і умов приготування сумішей представлена на рис.3а у вигляді стовпчастих діаграм. Темна частина стовпчастих діаграм відображає максимальні значення  $\delta f_{cm}$  під впливом наповнювачів: ВЛ, ВМК і суперпластифікатора С-3; світла частина - під впливом питомої поверхні наповнювачів: тонкомелених трепелу або піску.

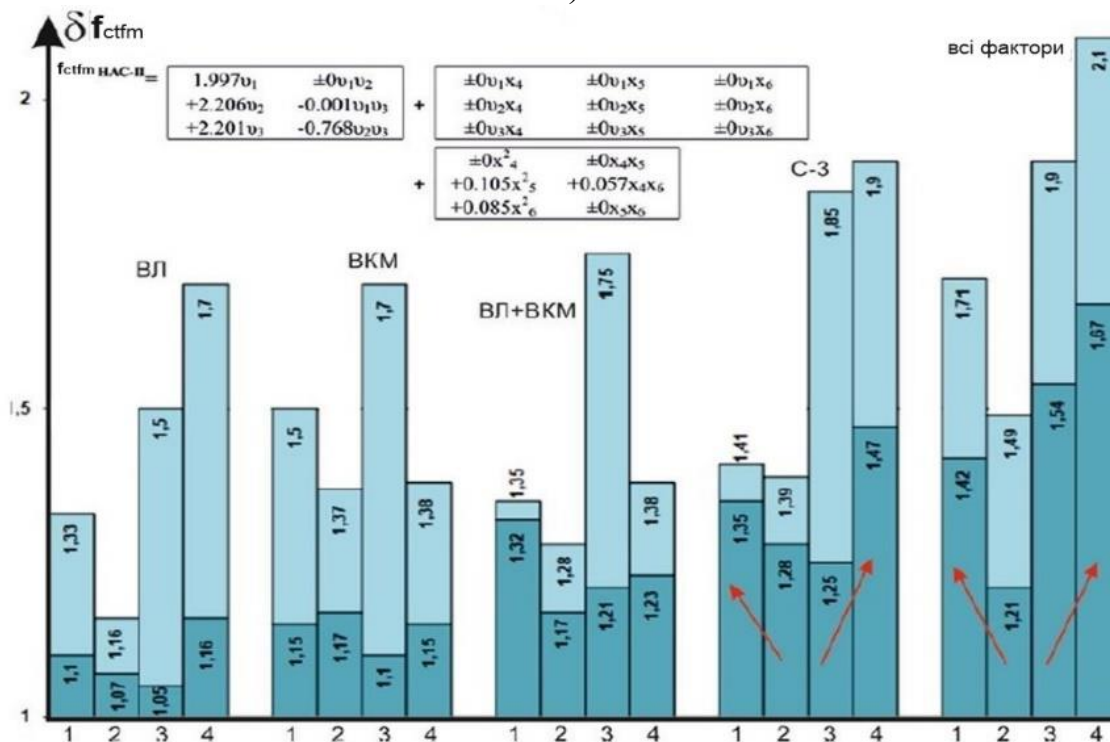
За рахунок взаємодії всіх обраних факторів з урахуванням способів приготування сумішей  $\delta f_{cm}$  змінюється: з тонкомеленим трепелом в 1,5 і 1,54 рази, з тонкомеленим піском в 1,94 і 2,1 рази для АС і НАС, відповідно. Варіювання вмісту ВЛ в діапазоні (5±5)% підвищує  $\delta f_{cm}$  на 10-18%, ВМК в діапазоні (6±4)% – на 5-17%.

Спільне застосування ВЛ і ВМК підвищує  $\delta f_{cm}$  до 25% для НАС/П. При виборі оптимальних складів слід враховувати, що вплив на міцність  $S_{num}$  наповнювачів: трепел/пісок до 35% вище спільного впливу наповнювачів: ВЛ, ВМК і С-3. Максимальні значення міцності на стиск  $f_{cm}^{max} = 40; 35; 37; 29$  МПа для чотирьох видів розчинів, які відрізняються наявністю у складі: трепелу або піску та способу приготування (рис.3а).

*Міцність на розтяг при згині ( $f_{ctfm}$ ).* Діаграми відносної зміни  $\delta f_{ctfm}$  представлені на рис.3б. Зі стовпчастих діаграм слідує, що взаємовплив волластонита, який виконує функцію мікроармування, сумісно з високоактивним метакаоліном та суперпластифікатором С-3 забезпечує підвищення  $f_{ctfm}$  до 2 раз.



а)



б)

Рис. 3. Зміна відносних значень міцності на стиск  $\delta f_{cm}$ . (а) міцності на розтяг при згині  $\delta f_{ctfm}$  (б) розчинів під впливом наповнювачів різного виду, суперпластифікаторів та способів приготування

1, 2 – НАС/П або НАС/Т, ■ приріст  $f_{cm}$  під впливом  $S_{num}$  піску/трепелу  
 1, 2 – НАС/П або НАС/Т, ■ приріст  $f_{cm}$  під впливом (ВЛ+ВМК+С-3)  
 3, 4 – АС/П або АС/Т, ■ приріст  $f_{ctfm}$  під впливом  $S_{num}$  піску/трепелу  
 3, 4 – АС/П або АС/Т, ■ приріст  $f_{ctfm}$  під впливом (ВЛ+ВМК+С-3)

Міцність на  $f_{ctfm}$  з тонкомеленим піском вище, ніж у розчинів з тонкомеленим трепелом до 1,5 раз. Введення волластонита сумісно з іншими наповнювачами  $CaSiO_3$  (рН=9,5-10,5) підвищує міцність при згині для усіх видів складів від 21 до 57%. У присутності волластонита і модифікацій кварцу знижується лужність складів до рН=8,5, а трепелу—до рН=7,5, що вказує на те, що трепел пов'язує луг в водостійкі гідросилікати кальцію в більшій мірі ніж тонкомелений пісок. Високоактивний метакаолін з активністю 1460 мг/г  $Ca(OH)_2$  має підвищену дисперсність (15 м<sup>2</sup>/г), що призводить до отримання високої ранньої та кінцевої міцності.

Трициностійкість ( $k_{IC}$ ) розчинів під впливом комплексу наповнювачів і С-3 змінюється від 0,45 до 1 МПа\*м<sup>-0,5</sup>, отже в 2,2 раза, у порівнянні з контрольним зразком. Зміни коефіцієнта  $k_{IC}$  активованих і не активованих сумішей різні.

Адгезія ( $f_a$ ). Визначення міцності зчеплення (адгезії) проводили на зразках, що містять тонкомелений трепел або пісок. В якості основи для проведення експериментів використовувалися розроблені оптимальні АС/Т склади модифікованих розчинів. За рахунок введення добавок ВМК і С-3 адгезійна міцність може бути збільшена з 0,2 до 0,4 МПа. Більш істотний вплив на адгезію надає питома поверхня меленого трепелу/піску при збільшенні вмісту суперпластифікатора. Максимальне значення адгезії, рівне 1,1 МПа, отримано при вмісті ВЛ = 10% і максимальному вмісті ВМК і С-3, відповідно (рис.4).

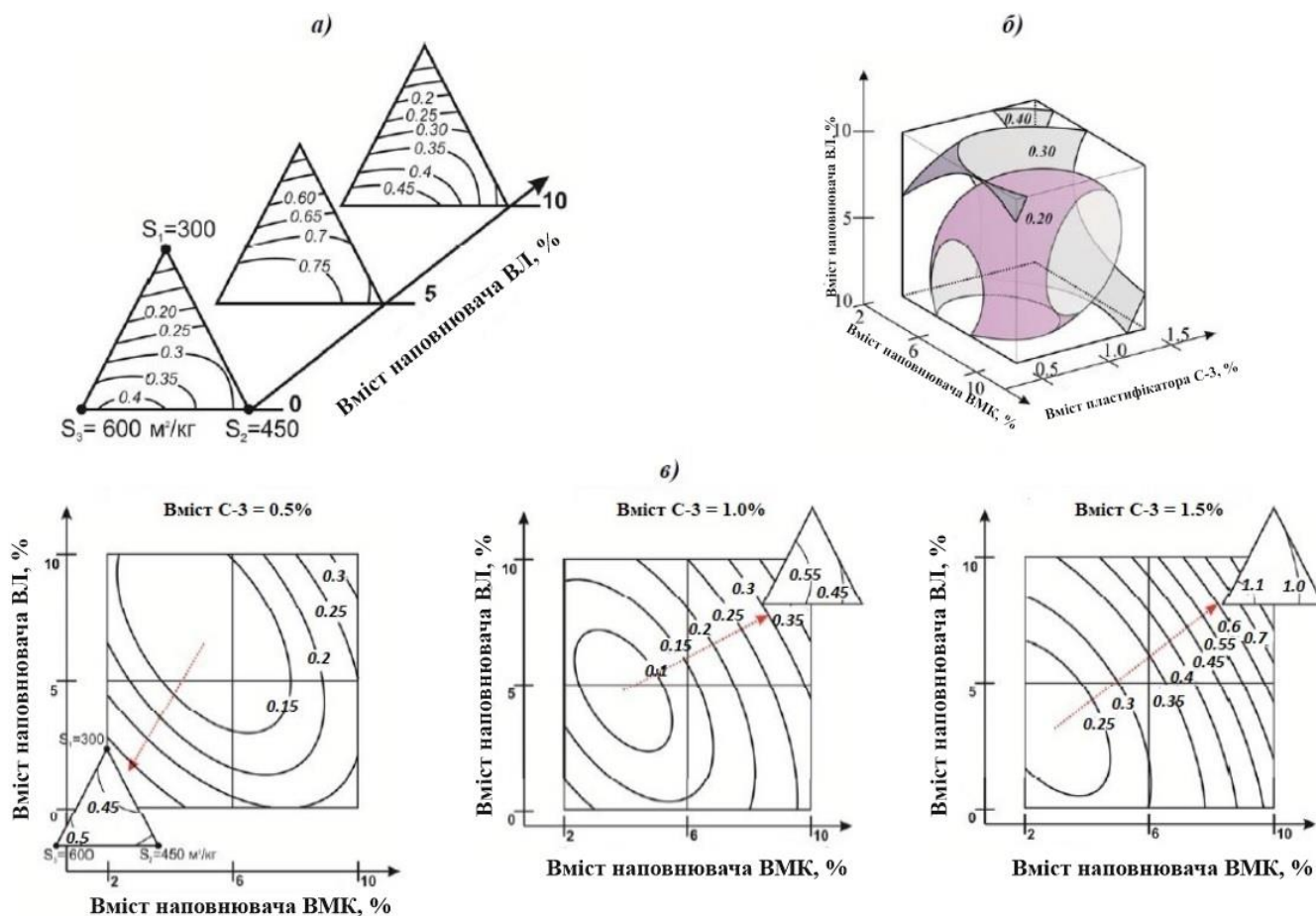


Рис. 4. Діаграми зміни адгезійної міцності  $f_a$  під впливом:

- питомої поверхні наповнювача у вигляді тонкомеленого трепелу;
- волластонита, високоактивного метакаоліна і С-3;
- волластонита, високоактивного метакаоліна і питомої поверхні трепелу

**Водостійкість ( $K_p$ )** розчинів на трепелі дещо вище ніж на піску. Коефіцієнт розм'якшення в першому випадку  $K_p = 0,85 \div 1$ , що пов'язано з появою вторинних водостійких гідросилікатів кальцію в результаті взаємодії аморфного кремнезему з портландцементом. Найбільший вплив на  $K_p$  надає  $S_{num}$  трепелу:  $S_{num}^1 : S_{num}^3 = 1:1$ .

**Водопоглинання ( $W_m$ )** модифікованих розчинів, яке характеризує капілярну пористість і проникнення рідин і газів, не перевищує 6% в результаті заміни кварцового меленого піску трепелом з  $S_{num} = 300$  і  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ . За рахунок активації суміші водопоглинання розчину знижується до 2%, що може бути пов'язано з підвищенням вмісту гелеобразної силікатної фази  $\text{SiO}_2$  з аморфною структурою.

**Морозостійкість ( $F$ )** входить в комплекс нормованих властивостей розчинів і повинна становити не менше F50. Морозостійкість визначалася на зразках з тонкомеленим трепелом/піском і досягає 75 циклів. Морозостійкість F75 отримана при вмісті ВМК = 10%, ВЛ = 5-10% і С-3 = 1-1,5%; значний вплив на морозостійкість розчину надає питома поверхня трепелу  $S_{num} = 600 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

**Середня густина розчинів ( $P_w$ )** багато в чому визначає теплотехнічні властивості. Отримані мінімальні значення в складах з трепелом  $P \leq 2000 \text{ кг}/\text{см}^2$ , тобто вони класифікуються як полегшені.

**Теплопровідність ( $\lambda$ )** змінюється в межах 0,6 до 1,1 Вт /  $\text{м}^\circ\text{С}$ , це значення нижче значення звичайних піщаних розчинів з  $\lambda = 1,4 \text{ Вт} / \text{м}^\circ\text{С}$ .

На наступному етапі дослідження проведено експерименти по визначенню мікротвердості по Брінеллю (**НВ**) зразків із тонкомеленим трепелом та піском. Шов між стяжкою СТ і покриттям ПО оброблявся гідрофобним просоченням. Мікротвердість аналізувалася в різних зонах стяжок, шва та покриття. Запропонована схема формування контактної шару між стяжкою і покриттям підлоги через прокладний шар з урахуванням впливу наповнювачів різного виду, які забезпечують поглиблене проникнення праймеру для підвищення водо-, морозо-, тріщиностійкості і адгезійної міцності багатшарової підлоги. На рис. 5а показано, що застосований праймер значно укріплює стик, при цьому ширина контактної шару зразків з трепелом в 1,4 рази більше, ніж зразків з піском.

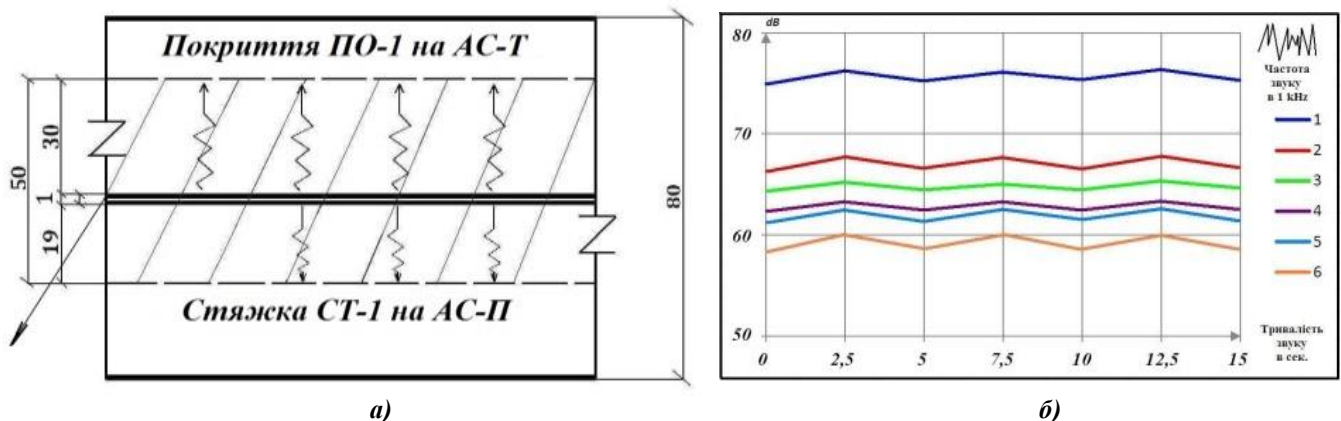


Рис. 5. а) мікротвердість в зоні контакту стяжки СТ1 з покриттям ПО1 при застосуванні праймера у вигляді рідкого скла; б) показники індексу звукоізоляції:  
 1 – постійний звук = 75dB;      4 – склад з активованим піском = 63dB;  
 2 – брусок деревини = 68dB;      5 – склад з неактивованим трепелом = 61dB;  
 3 – контрольний зразок = 64dB;      6 – склад з активованим трепелом = 58dB

Також визначалася *ефективність звукоізоляції* ( $R_w$ ) зразків, що містять тонкомелений трепел або пісок, а також, для порівняння - контрольного зразка. Найкращий індекс звукоізоляції мають зразки з активованим трепелом (рис. 5б), що пов'язано з його загальною пористістю.

*Пористість ( $\Pi_0$ )* Представлені зміни властивостей пов'язані зі змінами параметрів структури під впливом обраних факторів складу і способів приготування сумішей. Досліджено для оптимальних складів зміни пористості загальної, відкритої і закритої, а також параметри капілярної пористості:  $d_k$  - відносний середній розмір капілярів.  $\alpha_k$  і  $\alpha_k$  - коефіцієнт однорідності розподілу їх за розмірами. Для НАС з піском загальна пористість становить 23,2%, відкрита - 17,1%, закрита - 6,7%. Для НАС з трепелом ( $P = 1840 \text{ кг/м}^3$ ) загальна пористість зменшується до 19,5%, співвідношення між відкритою і закритою пористістю змінюється: збільшується вміст закритих пор до 12,2%, тобто в 1,8 разів, зменшується величина  $\alpha_k$  і  $\alpha_k$  з 2,21 до 0,83, що забезпечує модифікацію порової структури розчинів.

*Дослідження мікроструктури.* Досліджувалися зразки з тонкомеленим трепелом або піском із пластифікатором Melflux 2651F, а також контрольний зразок. Виконані зображення зразків що досліджувалися зі збільшенням  $\times 10000$  раз представлені на рис. 6. Як видно зі знімків, виконаних на мікроскопі JSM-6390-6390 LV, у структурі трьох різних видів сумішей переважають найбільш міцні та стійкі дрібнозернисті кристалогідрати CSH (1) і гелеподібні новоутворення по типу тоберморіту CSH (2). Структура НАС з трепелом більш дисперсна ніж НАС з піском і відрізняється від контрольного складу. В структурі присутні кристалогідрати у вигляді голок еттрінгіта і голок волластоніта. Структура зразків з трепелом відрізняється значним вмістом ультрадисперсних кристалитів.

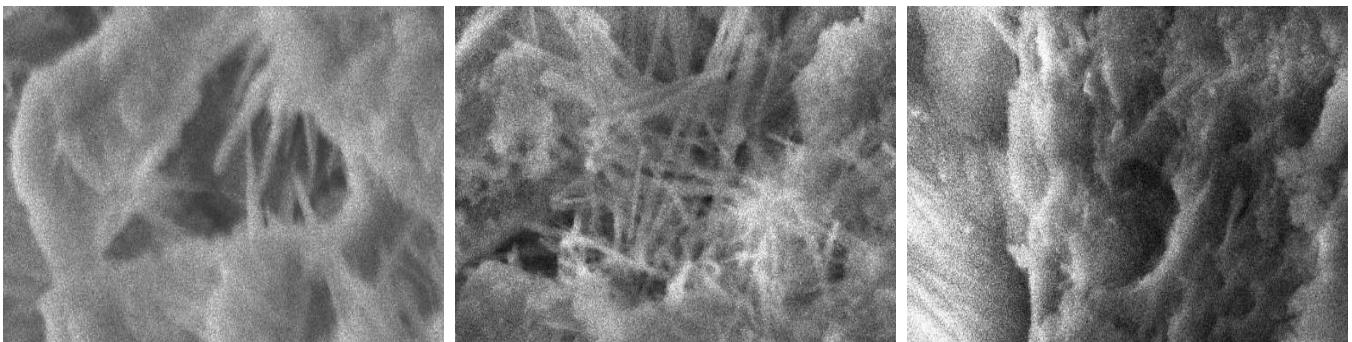


Рис. 6. Електронно-мікроскопічні фотографії поверхні відколу зразків на основі модифікованого цементного розчину, приготованими різними способами:

- а) – неактивована суміш з піском;
- б) – активована суміш з трепелом;
- в) – контрольний зразок

Запропоновано і експериментально підтверджено механізм впливу пористого наповнювача у вигляді трепелу на структуру і властивості модифікованих сумішей і цементних розчинів. Показано, що трепел, який має свою нанорозмірну пористість, виконує багатофункціональну роль у формуванні структури і властивостей: змінюється співвідношення відкритих і закритих пор різних груп, покращується реологія сумішей, покращується розчиновідділення до 1,9 раза у порівнянні з

нормою, в 1,2 раза – в порівнянні з сумішами, які містять тонкомелений пісок. Підвищується водостійкість, щільність, тріщиностійкість і адгезійна міцність при нормованій  $f_{cm}$ , поліпшується тепло- і звукоізоляція, проникаюча здатність праймера в стику, водостійкість.

Результати проведених досліджень підтверджують що поліпшення фізико-механічних та будівельно-експлуатаційних властивостей цементних розчинів є можливим за рахунок використання комплексу полідисперсних, кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису, структури із заданою питомою поверхнею сумісно з суперпластифікаторами.

У **п'ятому розділі** проведена багатокритеріальна оптимізація складів розчинів різного функціонального призначення. Обгрунтована можливість заміни суперпластифікатора С-3 на Melflux 2651F завдяки механізму його дії і порівняльним критеріям якості (рис.7).

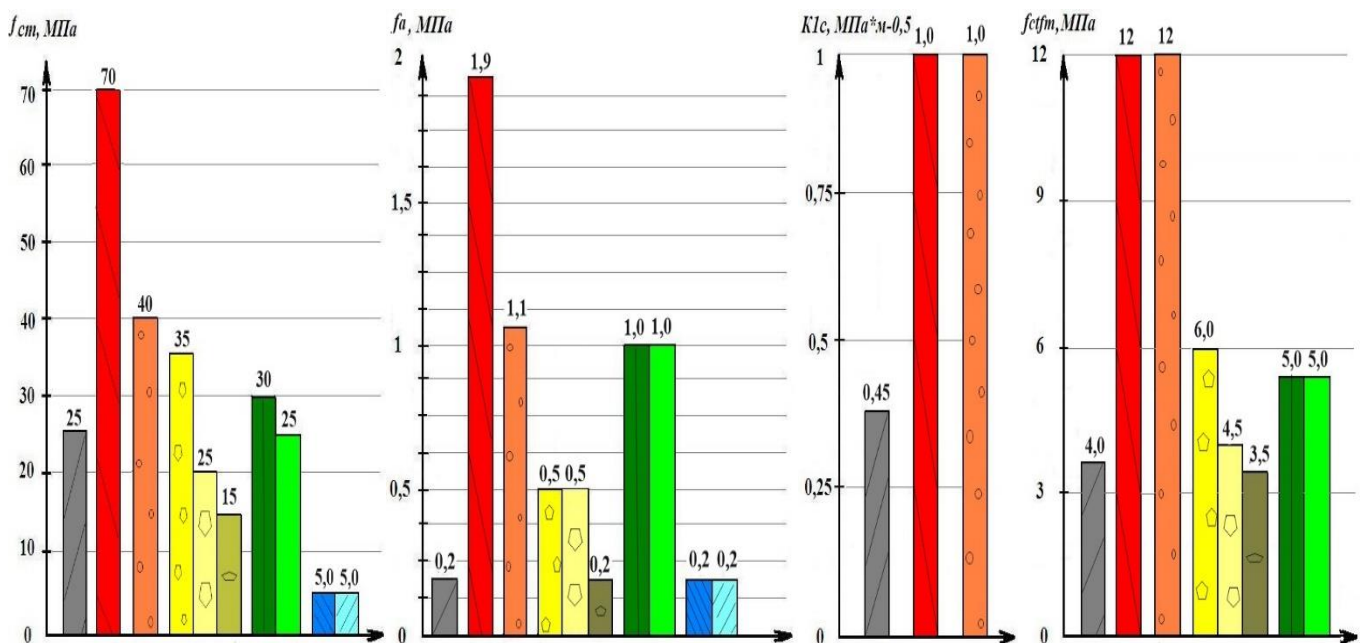


Рис. 7. Порівняння максимальних та нормованих значень основних критеріїв якості міцності на стиск, адгезійної міцності, тріщиностійкості та міцності на розтяг при згині цементно-піщаних розчинів різноманітного призначення:

- - контрольний зразок;
- - тах значення показників якості з суперпластифікатором Melflux;
- - тах значення показників якості  $f_{cm}, f_a, f_{ctm}, k_{1c}$  з суперпластифікатором С-3;
- - СТ3 (норма за ДСТУ); ■ - СТ2 (норма за ДСТУ); ■ - СТ1 (норма за ДСТУ);
- - ПО2 (норма за ДСТУ); ■ - ПО1 (норма за ДСТУ);
- - MP2 (норма за ДСТУ); ■ - MP1 (норма за ДСТУ)

Обгрунтована і експериментально підтверджена доцільність застосування суперпластифікатора С-3 або Melflux 2651F в залежності від способу приготування і призначення складів. Суперпластифікатор Melflux забезпечує інтенсифікацію процесів тужавлення до 30% в порівнянні з С-3, зростання міцності на стиск до 1,75 раза і адгезії до 2 раз. Слід зазначити, що Melflux найбільш ефективний у складах з тонкомеленим піском, тоді як  $f_{cm}$  зразків з трепелом сумісно з С-3 або Melflux



відрізняються на 4 МПа,  $f_{ctfm}$  практично не відрізняються. Оптимальним є співвідношення Melflux: C-3 = 1:2.

Аналіз стовпчастих діаграм (рис.7), максимальні значення адгезії  $f_a^{max}$  значно перевищують значення, нормовані по ДСТУ для розчинів різного виду, в тому числі елементів підлог: стяжок СТ1, СТ2, СТ3 –  $f_a^{max} = 1,1; 0,9; 1,0$  МПа, що перевищує норму в 5,5р, в 3р, в 2р,  $f_a = 0,2; 0,3; 0,5$  МПа, відповідно; покриттів підлог ПО1, ПО2 –  $f_a^{max} = 1,1/1,4$  (C-3/Melflux);  $1,0/1,9$  (C-3/Melflux), що перевищує норму в 1,1 р, в 1,4 р.; ремонтних складів РМ3 –  $f_a^{max} = 1,9$  МПа, що перевищує норму в 2,3 р.; МН1 –  $f_a^{max} = 1,6$  МПа, для кладки всіх видів блоків МР2, МР3 –  $f_a^{max} = 1,1$ , що перевищує норму в 4,1 р.

Максимальні значення міцності на стиск складів з тонкомеленим піском перевищують значення складів з тонкомеленим трепелом на 12,8% при традиційному способі приготування і на 20% при швидкісному способі приготування.

Перший етап оптимізації полягав у виділенні основних критеріїв якості:  $f_{cm}$ ,  $f_{ctfm}$ ,  $f_a$ . На другому етапі аналізувалися -  $\kappa_{ic}$  і  $\lambda$ . На третьому етапі проведено обґрунтування додаткових критеріїв якості.

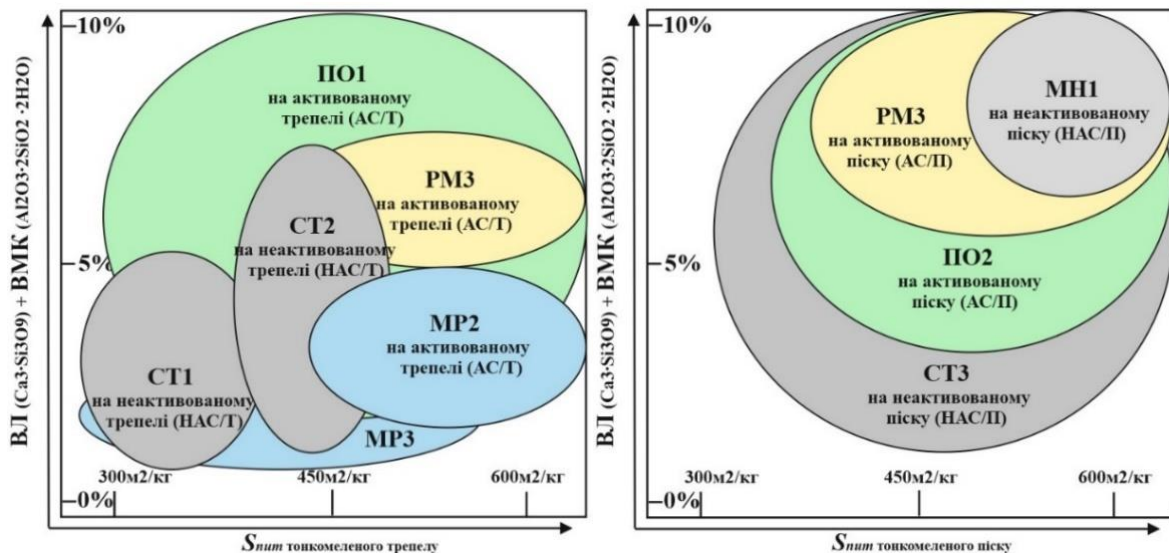


Рис. 8. Области застосування складів для розчинів різноманітного призначення:  
 СТ1, СТ2, СТ3 – стяжки для підлог з С-3 або Melflux;  
 ПО1, ПО2 – покриття для підлог з С-3 або Melflux;  
 МР2, МР3 – розчини для кладки усіх видів блоків із С-3 або Melflux;  
 МН1 – монтажні розчини з Melflux;  
 РМ3 – ремонтні розчини з С-3 або Melflux

Оптимізовано склади поліфункціональних модифікаторів, які містять полідисперсні кремнеземовмісткі наповнювачі різного генезису, різної структури та суперпластифікатори; поліфункціональні модифікатори відрізняються видом суперпластифікатора і наявністю у складі тонкомеленого трепелу або тонкомеленого кварцового піску (рис.8). Для робіт всередині приміщень рекомендовані ПФМ на тонкомеленому трепелі для улаштування елементів підлог – стяжок СТ1, СТ2, покриття ПО1, для поновлення зруйнованих ділянок розчинових поверхонь РМ3, кладки усіх видів стінових блоків МР2, МР3. Для зовнішніх робіт рекомендовані

ПФМ на тонкомеленому піску для заповнення швів і монтажу конструкцій МН1, стяжки під значні навантаження СТЗ, покриття під помірні навантаження ПО2.

Показано, що при використанні поліфункціональних модифікаторів з трепелом для внутрішніх і зовнішніх робіт, можливо скоротити в 3-3,5 разів витрату енергоресурсів в порівнянні з ПФМ з кварцовим піском за рахунок зниження часу помелу наповнювачів.

Випущена дослідно-промислова партія розчинової суміші. Фактичний економічний ефект від застосування суміші розробленого складу, яка була нанесена на підлогу цокольного поверху і внутрішні стіни побутового приміщення м. Одеси, склав 17,43грн на 1 м<sup>2</sup> підлоги і 27,03грн на 1 м<sup>2</sup> стіни і отриманий саме за рахунок використання природних, екологічно безпечних сировинних компонентів і добавок та внаслідок підвищення часу експлуатації приміщень без ремонту.

Проведена дослідно-експериментальна апробація результатів дослідження та дана оцінка техніко-економічної ефективності їх впровадження. Проведено впровадження в навчальний процес в Одеській державній академії будівництва та архітектури за освітньо-науковою програмою «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» і використовуються при виконанні розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Основи модифікації бетонів» для студентів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість підвищення показників якості цементних розчинів для улаштування елементів підлог і поновлення зруйнованих ділянок розчинових поверхонь за рахунок модифікації сумішей комплексом полідисперсних кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису і різної структури.

2. Проаналізовані закономірності впливу комплексу полідисперсних кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису і структури та суперпластифікатора С-3 на структурно-реологічні властивості модифікованих активованих і неактивованих сумішей. Активація сумішей підвищує їх рухливість - з трепелом в 2 рази, з піском в 1,5 рази; введення трепелу в неактивовані суміші знижує показник розчиновідділення до 4 раз в порівнянні з нормою і в 1,2 рази в порівнянні з неактивованими сумішами на тонкомеленому піску, розшаровуваність активованих і неактивованих сумішей регулюється  $S_{num}$  наповнювачів.

3. Проаналізовані закономірності впливу на властивості цементних розчинів наповнювача у вигляді тонкомеленого трепелу з заданою питомою поверхнею в комплексі з висоактивним метакаоліном, мікроволластонитом та суперпластифікаторами; поліпшено показники якості неактивованих і активованих сумішей:  $f_a$  в 5,0 і 5,5 рази,  $k_{1c}$  в 1,45 і 2,2 рази,  $f_{ctfm}$  в 2,6 і 3,3 рази,  $\lambda$  знижена до 2 раз,  $P_o \leq 2000 \text{ кг/м}^3$ ,  $K_p \geq 0,95$  при нормованій міцності на стиск  $f_{cm}$ ; значення показників  $f_a$ ,  $k_{1c}$ ,  $W$ ,  $K_p$ ,  $F$ ,  $\lambda$ ,  $R_w$  активованих сумішей рухливістю П4 вище показників не активованих сумішей рухливістю П3, за винятком  $f_{cm}$  і  $f_{ctfm}$ , цементних розчинів, які залишаються в межах норми.

4. Проаналізовані закономірності впливу на властивості цементних розчинів полідисперсного наповнювача у вигляді тонкомеленого кварцового піску з заданою питомою поверхнею в комплексі з полідисперсними, кременеземовмісткими наповнювачами різного генезису, різної структури та суперпластифікаторів С-3 або Melflux. Показано, що комплекс наповнювачів і суперпластифікаторів забезпечують високі показники адгезійної міцності, тріщиностійкості, міцності на стиск та міцності на розтяг при згині розчинів, приготованих різними способами. При заміні С-3 на Melflux  $f_a$  підвищується до 9 раз,  $k_{1c}$  – до 2,2 раза,  $f_{cm}$  – до 2 раз в порівнянні з нормою. Оцінка впливу способів приготування показала, що перспективними є як рухливі суміші рухливістю ПЗ, які приготовлені в традиційних змішувачах так і активовані високорухливі суміші рухливістю П4. Застосування активації сумішей які містять тонкомелений трепел найбільш ефективно в порівнянні з тонкомеленим кварцовим піском.

5. Оптимізовано склади поліфункціональних модифікаторів для поліпшення показників якості цементно-піщаних розчинів різноманітного призначення на основі комплексу полідисперсних кременеземовмістких наповнювачів різного генезису і різної структури та суперпластифікаторів; поліфункціональні модифікатори відрізняються видом суперпластифікатора і наявністю у складі тонкомеленого трепелу або тонкомеленого кварцового піску.

6. Проведена дослідно-експериментальна апробація результатів дослідження та дана оцінка техніко-економічної ефективності їх впровадження: за рахунок застосування поліфункціональних модифікаторів з тонкомеленим трепелом для внутрішніх робіт можливо скоротити витрату енергоресурсів в 3-3,5 рази. Проведено впровадження в учбовий процес в Одеській державній академії будівництва та архітектури за освітньо-науковою програмою «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях України*

1. Тертичний А.А., Тимняк А.Б., Лінник Д.С. Оптимізація складів сухих будівельних сумішей на основі експериментально-статистичних моделей. *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка: науково-технічний збірник*. Київ, 2013. №48. - С. 179-183. (Особистий внесок здобувача: проведена оптимізація по ЕС-моделям багатокомпонентних складів сумішей з урахуванням питомої поверхні пористого наповнювача)

2. Луцкін Є.С., Шинкевич О.С., Тертичний А.А. Розробка енергоефективних складів для омоноличування конструкцій. *Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво)*. №80.-К:ДП НДІБК. 2014. - С. 214-217. (Особистий внесок здобувача: представлені дослідження впливу різних видів добавок на властивості розчинів для омоноличування стиків будівельних конструкцій)

3. Тертичний А.А., Тимняк А.Б., Корчажнікова О.І., Шинкевич О.С., Мироненко І.М Вплив органо-мінерального комплексу на властивості активованого дрібнозернистого бетону. *Вісник Одеської державної академії будівництва та*

архітектури. 2014. №56. С. 215-220. (*Особистий внесок здобувача: проведена оптимізація по ЕС-моделям багатокomпонентних складів сумішей*)

4. Тертичний А.А., Тимняк А.Б., Шинкевич О.С. Вплив виду кремнеземутримуючих наповнювачів на властивості активованих дрібнозернистих бетонів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016, №60. С. 293-298. (*Особистий внесок здобувача: розробка складів кремнеземовмістких композитів з використанням прийомів комплексної активації*)

5. Шинкевич О.С., Тимняк А.Б., Тертичний А.А. Математичні моделі впливу наповнювачів і добавок-модифікаторів на фізико-механічні властивості дрібнозернистих бетонів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016, №62. С. 194-200. (*Особистий внесок здобувача: проведено порівняльний аналіз локальних залежностей впливу кремнеземовмістких наповнювачів різного виду і добавок-модифікаторів на властивості активованих дрібнозернистих розчинів за ЕС-моделями*)

6. Тертичний А.А., Шинкевич О.С., Закаблук С.С., Мироненко І.М. Експериментально-статистична оцінка властивостей активованих і неактивованих дрібнозернистих сумішей та бетонів. *Науковий вісник будівництва*, Харків. 2017. - ХНУБА. №4. С.92-99. (*Особистий внесок здобувача: аналіз впливу властивостей активованих і неактивованих сумішей на реологічні і фізико-механічні властивості сумішей і розчинів на їх основі*)

*Наукова стаття у виданні, яка включена до науко-метричних баз*

7. Shinkevich E., Lutskin Y., Koishev O., Bondarenko I., Tertychnyi A., Myronenko I. Nanotechnological and energy-saving methods of production of building composites. *Matec Web of Conferences. Transbud*. ISSN 10.1051. Vol.116. Kharkiv. 2017. pp. 2-10 (індексується базою *Scopus*). (*Особистий внесок здобувача: аналіз експериментальних результатів*)

*Статті у наукових періодичних виданнях інших держав*

8. Шинкевич Е.С., Луцкин Е.С., Тимняк А.Б., Тертычный А.А. Нанотехнологические и энергосберегающие приёмы получения строительных композитов на бесклинкерном вяжущем. *NANOTECH. ГУПРТ «Татарстанский ЦНТИ»*. 2011. Казань С. 505-510. (*Особистий внесок здобувача: розробка складів вапняно-кремнеземистих композитів з використанням нанотехнологічних прийомів комплексної активації*)

9. Тертычный А.А., Мишутин А.В., Шинкевич Е.С. Активированные мелкозернистые бетоны для омоноличивания конструкций с улучшенными эксплуатационными свойствами. *Bulletin incercot scientific research institute of construction*. 2015. Moldova. №6 С.129-135 (*Особистий внесок здобувача: показано вплив співвідношення відкритих і закритих пор і зміни в бік збільшення вмісту останніх суперпластифікатора С-3 на адгезійну міцність*)

10. Shinkevich E.S., Grishin A.I. Tertychnyi A.A., Surkov A.I. Modified mortars for elements of multilayered constructions and repair works and developing data storage system for research results. *Materials Science and Engineering 70*. ISSN 10.1088 1757-899X.

2019. pp. 1-9. (індексується базою Scopus). (Особистий внесок здобувача: аналіз експериментальних результатів)

11. Тертычный А.А., Шинкевич Е.С. Анализ взаимодействия органо-модификаторов на реологические и эксплуатационные свойства мелкозернистых бетонов. *Сборник научных трудов «Актуальные проблемы современного бетона и железобетона»*. - Беларусь, Институт «БелНИИС» 2017. №9. С.496-514. (Особистий внесок здобувача: запропоновано ЕС-закономірності, що описують спільний вплив добавок-модифікаторів, пористого або щільного наповнювача різної питомої поверхні на властивості сумішей і розчинів в різних умовах приготування)

12. Тертычный А.А., Шинкевич Е.С. Исследования физико-механических и строительно-эксплуатационных свойств модифицированных растворов. *Сборник научных трудов «Актуальные проблемы современного бетона и железобетона»*. - Беларусь, Институт «БелНИИС» 2019. №11. С. 348-360 (Особистий внесок здобувача: отримання експериментальних даних, аналіз результатів моделювання)

13. Шинкевич Е.С., Гришин А.И., Тертычный А.А. Анализ свойств модифицированных мелкозернистых бетонов полифункционального назначения и система поддержки принятия решений. *Сборник научных трудов «Актуальные проблемы современного бетона и железобетона»*. - Беларусь, Институт «БелНИИС». №11. С. 312-330 (Особистий внесок здобувача: аналіз отриманих результатів експерименту)

14. Тертычный А.А., Шинкевич Е.С., Мироненко И.Н. Сравнение свойств активированных и неактивированных мелкозернистых смесей и бетонов специального назначения. *Wschodnioeuropejske Czasopismo Naukowe «East European Scientific Journal»*. ISSN 2468-5380. 2020. №63. С.46-53. (Особистий внесок здобувача: проведено аналіз впливу умов приготування розчинних сумішей для розчинів різного функціонального призначення) (індексується базою Index Copernicus)

*Наукові статті, які засвідчують апробацію результатів дослідження*

15. Шинкевич О.С., Луцкін Є.С., Тертычный А.А. Багатофункціональність впливу компонента, який містить мікрокремнезем хемо-біогенного походження, на структуру і властивості композитів на силікатній матриці. *Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів»* Одеса. 2016. С. 82-85. (Особистий внесок здобувача: запропоновано механізм впливу трепелу на властивості будівельних композитів)

16. Shinkevich E.S. Comparative analysis of activated and non- activated fine-grained mixtures and concretes modified with organic mineral fillers / Shinkevich E.S., Mironenko I., Tertychny A. // *Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів»*. - Одеса, 2017. С.86-88. (Особистий внесок здобувача: виконано аналіз доступних експериментальних досліджень)

17. Shinkevich E.S., Mironenko I.M., Tertychny A.A. Assessment of the effectiveness of activation of fine grain mixtures and concretes modified with organic mineral fillers. *Materials of the XIII international scientific and practical conference «Fundamental and applied science»*. Sheffield, Science and education LTD, 2017. pp. 43-45. (Особистий внесок здобувача: виконано аналіз експериментальних досліджень).

18. Шинкевич Е.С., Луцкин Е.С., Тертычный А.А. Многофункциональность влияния кремнеземсодержащего компонента на структуру и свойства строительных композитов. *Тезисы докладов 6-й международной научно-технической конференции «Проблемы надёжности и долговечности инженерных сооружений и строений на железнодорожном транспорте»*. Харьков: УкрДЗУТ. 2017 - С. 38-39. (Особистий внесок здобувача: проаналізовані можливості модифікації складів і структури розчинів екологічними органо-мінеральними добавками)

19. Тертычный А.А., Шинкевич О.С. Багатокритерійна оптимізація складів дрібнозернистих бетонних сумішей. *Збірник тезисів-докладів міжнародної конференції «Структуроутворення, міцність і руйнування композиційних будівельних матеріалів»*. Одеса, ОДАБА, 2018. С.127-130. (Особистий внесок здобувача: за результатами експериментів побудовані ЕС-моделі, які описують вплив на міцність при стисненні і на адгезію пластифікатора С-3 і мікронаповнювачів: ВЛ і ВМК)

20. Тертычный А.А., Шинкевич О.С. Аналіз структури і властивостей модифікованих розчинів із застосуванням експериментально-статистичного моделювання. *Матеріали міжнародного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів»*. Одеса, 2019. С.175-179. (Особистий внесок здобувача: опис методики проведення експериментів, аналіз експериментальних даних)

21. Шинкевич О.С., Тертычный А.А. Вплив технологічних параметрів перемішування сумішей на властивості будівельних розчинів різного призначення. *Збірник тез-доповідей VII міжнародної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки»*. – Одеса, 2020. С.261-263. (Особистий внесок здобувача: проведено аналіз впливу умов приготування розчинних сумішей для розчинів різного функціонального призначення)

*Наукові праці які додатково відображають результати досліджень*

22. Тертычный О.С. Властивості модифікованих дрібнозернистих бетонів, модифікованих органо-мінеральними добавками / О.С. Шинкевич, А.А. Тертычный // розділ в колективній монографії. – Кривий Ріг, 2017. С. 243-260. (Особистий внесок здобувача: аналіз результатів моделювання)

## АНОТАЦІЯ

### **Тертычный А. А. Модифіковані розчини підвищеної адгезійної міцності та тріщиностійкості різноманітного призначення - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та виробництво - Одеська державна академія будівництва і архітектури, Одеса, 2021.

Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість підвищення показників якості цементних розчинів для улаштування елементів підлог і поновлення зруйнованих ділянок розчинових поверхонь за рахунок модифікації сумішей комплексом полідисперсних кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису і різної структури.

На основі виконаних в роботі досліджень представлений порівняльний аналіз зміни властивостей активованих і неактивованих дрібнозернистих сумішей і розчинів

в залежності від різної питомої поверхні тонкодисперсних наповнювачів: трепелу або піску, а також від вмісту неорганічних наповнювачів: високоактивного метакаоліна, волластонита і водоредукуючої добавки-суперпластифікатора С-3 або Melflux. Показано, що при переході на інший вид наповнювача або спосіб приготування, оптимальні дозування всіх компонентів і їх співвідношення необхідно коригувати. Проведені дослідження показують широкі можливості модифікації складів органомінеральними, екологічно безпечними добавками і свідчать про раціональність розробок комплексних добавок.

Оптимізовано склади поліфункціональних модифікаторів для поліпшення показників якості цементно-піщаних розчинів різноманітного призначення на основі комплексу полідисперсних кремнеземовмістких наповнювачів різного генезису і різної структури та суперпластифікаторів; поліфункціональні модифікатори відрізняються видом суперпластифікатора і наявністю у складі тонкомеленого трепелу або тонкомеленого кварцового піску.

На підставі виконаних лабораторних досліджень проведено виробничу перевірку і впровадження результатів досліджень.

**Ключові слова:** високоактивний метакаолін, суперпластифікатори С-3 і Melflux, мікроволластонит, наповнювачі, модифіковані суміші, цементно-піщані розчини, активація, експериментально-статистичні моделі, оптимізація, поліфункціональний модифікатор.

## АННОТАЦИЯ

### **Тертычный А. А. Модифицированные растворы повышенной адгезионной прочности и трещиностойкости различного назначения - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, 2021.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность повышения показателей качества цементных растворов для устройства элементов полов и обновления разрушенных участков растворных поверхностей за счёт модификации смесей комплексом полидисперсных кремнеземсодержащих наполнителей разного генезиса и разной структуры.

На основе выполненных в работе исследований, представлен сравнительный анализ изменения свойств активированных и неактивированных мелкозернистых смесей и растворов в зависимости от разной удельной поверхности: тонкодисперсных наполнителей: трепела или песка, а также от содержания неорганических наполнителей: высокоактивного метакаолина, волластонита и водоредуцирующей добавки-суперпластификатора С-3 или Melflux. Показано, что при переходе на другой вид наполнителя или способ приготовления оптимальные дозировки всех компонентов и их соотношение необходимо корректировать. Проведенные исследования показывают широкие возможности модификации составов органомінеральными екологічно безвредными добавками и свидетельствуют о рациональности разработок комплексных добавок отдельно для активированных и неактивированных растворов.

Оптимизировано составы полифункциональных модификаторов для улучшения показателей качества цементно-песчаных растворов различного назначения на основе комплекса полидисперсных кремнеземсодержащих наполнителей разного генезиса и разной структуры и суперпластификаторов; полифункциональные модификаторы отличаются видом суперпластификатора и содержанием в составе тонкомолотого трепела или песка.

На основании выполненных лабораторных исследований проведена производственная проверка и внедрение результатов исследований.

**Ключевые слова:** высокоактивный метакаолин, суперпластификатор С-3 и Melflux, микроволластонит, наполнители, модифицированные смеси, цементно-песчаные растворы, активация, экспериментально-статистические модели, оптимизация, полифункциональный модификатор.

## SUMMARY

### **Tertychny A.A. Modified solutions of increased adhesive strength and crack resistance of multifunctional purposes. – The manuscript.**

Thesis on a competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences, specialty 05.23.05 - building materials and products. - Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2021.

Different active additive, which contain silica with different values of specific surface area, structure and polymineral composition, can influence differently the rheology of mixtures, processes of structure formation and hardening of solutions. At the same time, the issues of the joint action of these additives and the priority of their influence in the composition of highly mobile mixtures with different superplasticizers have not been sufficiently studied.

It was not only the choice that was important, but the rational combination of materials, additives and fillers. To analyze the mutual influence of fillers and additives-superplasticizers, four experiments of the same type were carried out. In the first and second experiments, the mixtures were prepared in the traditional way: mobile activated mixtures with finely ground dense filler in the form of quartz sand and light in the form of tripoli with  $W/C = 0,5$ . In the third and fourth experiments, highly mobile activated mixtures of similar compositions with quartz sand and tripoli were prepared in a high-speed mixer with  $W/C = 0,7$ .

As a result, for each of the experiments, 20 ES-models were calculated that describe changes in properties and structure. This formulation of experimental studies made it possible to carry out, on the basis of computational experiments, a comparative analysis of changes in the quality indicators of mortar mixtures and solutions in terms of relative ( $\delta Y = Y_{max} / Y_{min}$ ) and absolute ( $\delta Y = Y_{max} - Y_{min}$ ) indicators.

In scientific work for the analysis and study of properties of raw materials, mixes and materials standard scientifically-based techniques, and also modern high-precision instrumental methods of researches and the metrologically checked control and measuring equipment were used. Static processing of the results was performed with a given probability and the required number of retests, followed by comparison of the results obtained by different methods. Based on the research performed, a comparative analysis of the changes in the properties of activated and non-activated fine-grained mixtures and



solutions depending on the different specific surface: fine fillers: finely ground tripoli or sand, as well as on the content of inorganic fillers: highly active meta-kaolin, wollastonite and super-plasticizing additive superplasticizer S-3 or Melflux. It is shown that when switching to another type of filler, even the same chemical composition, the dosages of all components and their ratio should be adjusted optimally. When switching to another type of mixture preparation, the ratio of components, including W/S, also changes.

The carried out researches show wide possibilities of modification of compositions by organomineral ecologically harmless additives and testify to rationality of development of complex additives separately for the activated and not activated fine-grained solutions. Practical results obtained by the author provide the required and additional quality indicators, increase the physical and mechanical properties of fine-grained solutions, increase productivity.

It is established that each type of viscometer is effective at a certain W/C or W/H ratio. Evaluation of the impact of technological conditions of cooking showed that promising are both mixtures prepared in traditional mixers with M2 and M3 and in high-speed mixers with mobility M3 and M4. Mixtures prepared in high-speed mixers are characterized by higher homogeneity.

As a result of the implementation of the field experiment, experimental and statistical models of changes in the physical and mechanical properties of four types of solutions were calculated. Diagrams of changes of properties under the influence of fillers and superplasticizer SP-1 (S-3) are constructed on models. It is substantiated that silica-containing macro- and fillers of different genesis, structure and properties, synergistically interacting significantly improve all studied and normalized quality indicators. The controlling factor that has the greatest influence on  $f_{comp}$ ,  $W$ ,  $Kp$ ,  $F$ ,  $\lambda$ ,  $R_w$  is  $S_s$ , for  $f_a$ ,  $kIc$ ,  $f_{ctfm}$  the controlling factor is  $MK + WL$ . In DCM warehouses it is rational to apply binary fillers, however for all DCM warehouses it is not rational to apply the same organo-mineral complexes.

Theoretically substantiated and experimentally confirmed the effectiveness of the joint use of fine fillers, superplasticizer S-3 or Melflux, the high activity of metakaolin and wollastonite as a part of the binder in the fine-grained mixture and concrete. Based on the obtained four different sets of ES-models, the optimal compositions for structural elements for various purposes have been developed: individual for use on construction sites and multifunctional modifiers for dry construction mixes (DCM). In work recommendations on application are developed and the technological scheme of preparation of solutions for the device of floor elements in the form of couplers and coverings is resulted. Technical and economic efficiency due to reduction of consumption of expensive components and prolongation of service life in comparison with control structures exceeds 25-50%. On the basis of laboratory research carried out production testing and implementation of research results.

**Keywords:** active metakaolin, superplasticizer S-3 and melflux, microwollastonite, fillers, modified mixtures, cement-sand solutions, activation, experimental and statistical models, optimization, polyfunctional modifier.