

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ



ЛІННІК ДМИТРО СЕРГІЙОВИЧ

УДК 691.12:691.311

**АРБОЛІТОБЕТОН НА КОМПЛЕКСНО МОДИФІКОВАНОМУ
КОМПОЗИЦІЙНОМУ ГІПСОВОМУ В'ЯЖУЧОМУ**

05.23.05 – «Будівельні матеріали і 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 в технології будівельних матеріалів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дворкін Леонід Йосипович, Національний університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства

кандидат технічних наук
Казімагомедов Ібрагім Емірчубанович, Харківський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри будівельних матеріалів і виробів

Захист відбудеться «22» квітня 2021 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.085.01 при Одеській державній академії будівництва та архітектури за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.

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

Автореферат розісланий «22» березня 2021 р.

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

Кровяков С.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Будівельна галузь України є споживачем значної кількості енергетичних ресурсів. У будівельному секторі споживається майже 50% природних ресурсів і більше 40% енергії. Вдосконалення сучасних будівельних технологій спрямоване на розробку ефективних матеріалів, використання яких дає можливість скоротити енергетичні витрати і витрату сировинних ресурсів. Виробництво композиційних матеріалів і ефективних стінних виробів з арболітобетона на композиційному гіпсовому в'язучому з використанням природної сировини на основі ефективних та енергозбережних технологій спрямовано на вирішення цієї проблеми. Наявність в Україні значних запасів природного гіпсового каменю, коноплі технічної дозволяє, з урахуванням сучасних матеріалів та технологій, вирішити нагальні та актуальні, соціальні та науково-технічні задачі отримання екологічно чистих, економічних та ефективних стінових матеріалів широкої номенклатури.

Арболітобетон на основі композиційного гіпсового в'язучого відноситься до прогресивних будівельних матеріалів завдяки простоті і малій енергоємності виробництва. Тому розробка ефективних складів арболітобетону на композиційному гіпсовому в'язучому з використанням сучасних полімінеральних мікродобавок, складних органо-мінеральних комплексів та об'ємних гідрофобізаторів нового покоління є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури в рамках держбюджетних тем «Розробка наукових основ отримання вапняно-кремнеземних композитів неавтоклавного тверднення на основі енергозбережних технологій» (№ держреєстрації 0109U005436), «Комп'ютерне моделювання і оптимізація технологічних процесів, складу, структури і властивостей багатокомпонентних будівельних матеріалів» (№ держреєстрації 0111U001248), «Розробка науково-теоретичних основ отримання низькоенергоємних екологічних композитів з використанням комп'ютерного матеріалознавства» (№ держреєстрації 0115U000573).

Метою роботи є підвищення експлуатаційних властивостей водостійкості і тріщиностійкості арболітобетона на костриці коноплі технічної та композиційному гіпсовому в'язучому за рахунок застосування комплексу мікропуцоланових добавок, мікроармуючої добавки і полікомпонентного органо-мінерального комплексу, спрямованих на поліпшення роботи органічного заповнювача в гіпсоцементно-пуцолановій матриці.

Для досягнення мети поставлені **завдання**:

-теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити можливість отримання теплоізоляційних арболітобетонів на органічному заповнювачі у вигляді костриці коноплі технічної на композиційному гіпсовому в'язучому,

модифікованому добавками різного виду;

- визначити закономірності впливу мінеральної комбінованої двокомпонентної мікропуцоланової добавки підвищеної гідравлічної активності, мікроармуючої добавки, об'ємного гідрофобізатора та суперпластифікатора на фізико-механічні властивості композиційного гіпсового в'язучого;

- визначити закономірності впливу полікомпонентного органо-мінерального комплексу та провести оптимізацію його складу, для додаткової модифікації композиційного гіпсового в'язучого і для мінералізації костриці коноплі технічної;

- провести оцінку фізико-механічних та будівельно-експлуатаційних властивостей арболітобетонів;

- оптимізувати склади та властивості арболітобетона і теплоізоляційних блоків для котеджного, малоповерхового і сільськогосподарського будівництва;

- розробити технологічну схему виробництва стінних блоків, провести техніко-економічний розрахунок та здійснити дослідно-експериментальну апробацію дослідження.

Об'єкт дослідження. Модифіковані арболітобетонні вироби на основі композиційного гіпсового в'язучого та органічного заповнювача костриці коноплі технічної.

Предмет дослідження. Закономірності впливу комплексу мікропуцоланових добавок, мікроармуючої добавки мікрволастоніту та полікомпонентного органо-мінерального комплексу на властивості арболітобетону на органічному заповнювачі костриці коноплі технічної та композиційному гіпсовому в'язучому.

Методи досліджень. Експериментальні дослідження виконувалися з використанням методу планованого експерименту. Дослідження фізико-механічних властивостей проведено по стандартним методикам. Електронно-мікроскопічні знімки виконані на електронному мікроскопі в АН України.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Встановлено вперше:

- теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість підвищення водостійкості, тріщиностійкості, експлуатаційних властивостей арболітобетону завдяки модифікації суміші мінеральною комбінованою двокомпонентною мікропуцолановою добавкою підвищеної гідравлічної активності, армуючою добавкою мікрволастоніта та органо-мінеральним комплексом;

- встановлено закономірності зміни мікроструктури і фізико-механічних властивостей арболітобетону при застосуванні розробленого полікомпонентного органо-мінерального комплексу, який містить гідрофобізатор, суперпластифікатор та лужні компоненти;

Набуло подальшого розвитку:

– виявлено можливість покращення механічних властивостей композиційного гіпсового в'язучого та арболітобетону на його основі за рахунок дисперсного армування мікроволастонітом;

– з використанням методів планування експерименту розроблена поетапна схема оптимізації арболітобетону та запропоновані оптимальні склади модифікованих арболітобетонів на композиційному гіпсовому в'язучому і костриці коноплі технічної для зовнішнього та внутрішнього застосування з підвищеною водостійкістю, міцністю і тріщиностійкістю.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

– розроблені оптимальні склади композиційного гіпсового в'язучого характеризуються наступними показниками якості: водостійкість Кр-0,92÷0,94, $f_{cm}=18,5$ МПа; $f_{ctfm}=5,5$ МПа тріщиностійкість - $0,87$ МПа·м^{1/2}, адгезійна міцність 0,17-0,20 МПа, мікротвердість по Брінелю 3,5 НВ;

– розроблено оптимальні склади теплоізоляційного арболітобетона, які забезпечують наступні рівні критеріїв якості стінних блоків: класи по f_{cm} – В0,35, В0,75, В1, середньої густини $\rho=300-500$ кг/м³, теплопровідністю $\lambda=0,06-0,10$ Вт/м·К;

– запропоновано спосіб підбору фракційного складу органічного заповнювача у вигляді костриці коноплі технічної на основі ЕС моделей. Методика підбору складу та результати дослідження використовуються навчальному процесі в Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти ступеня магістра по спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»;

– розроблена технологічна схема виробництва теплоізоляційних арболітобетонних стінних блоків на основі модифікованого композиційного гіпсового в'язучого для котеджного, малоповерхового та сільськогосподарського будівництва;

– випущена дослідна партія об'ємом 60м³ стінних блоків на підприємстві ТОВ «Consulting Engeneering» (м. Київ) яка була використана при будівництві технічної споруди на території підприємства.

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Формулювання мети та задач дослідження, планування натурних та лабораторних дослідів, оброблення, аналіз та інтерпретація результатів експериментальних досліджень, узагальнення інформації, формулювання висновків проводилися за участю наукового керівника.

Особистий внесок автора в роботах, що надруковані в співавторстві, полягає в наступному: вибір і обґрунтування виду в'язучого для арболітобетона; експериментальне визначення властивостей композиційного гіпсового в'язучого для арболітобетона; розрахунок моделей, які описують вплив добавок-модифікаторів на властивості композиційного гіпсового в'язучого; оцінка впливу фракційного складу органічного заповнювача на властивості арболітобетона по ЕС моделям; вплив органічних добавок і неорганічних наповнювачів на властивості арболітобетона; підбір складу

арболітобетона за ЕС моделями; підбір співвідношення «органічний заповнювач-в'язуче»; оптимізація складу і властивостей арболітобетона; фізико-хімічні дослідження структури в'язучого і арболітобетона; аналіз теплотехнічних властивостей арболітобетона.

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

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень представлені на наступних міжнародних, всеукраїнських і регіональних конференціях та семінарах: міжнародних науково-технічних семінарах «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (м. Одеса, 2014, 2016, 2017, 2019 роки), міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 2017 рік), International Scientific practical conference «Fundamental and applied science» (Великобританія, 2017 рік), Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фізичні процеси в енергетиці, екології та будівництві» (м. Одеса, 2017 рік), міжнародна конференція «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних матеріалів і конструкцій» (м. Одеса, 2018 рік), Міжнародна конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (м. Одеса, 2019 рік), міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» (м. Харків, 2020 рік).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 21 наукових праць: 7 з яких у наукових фахових виданнях України (1 індексується наукометричною базою Index Copernicus), 3 у наукових періодичних виданнях іноземних держав (1 індексується наукометричною базою Scopus), 1 колективна монографія, 10 тез доповідей у збірниках наукових конференцій і семінарів.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг - 223 сторінок: 139 сторінок основного тексту, 68 рисунків, 37 таблиць, список літератури з 170 найменувань, 3 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульовані мета і основні завдання, розкрита наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, приведені об'єкт, предмет дослідження, відомості про апробації дисертації і особистий вклад автора в опублікованих із співавторами роботах, освітлені основні наукові і практичні результати.

У першому розділі проведено огляд та аналіз літературних джерел по основним аспектам ресурсо- та енергозбереження і шляхи їх реалізації у виробництві арболітобетонів. Вироби з арболітобетону відносяться до екологічно безпечних, тепло та звукоізоляційних матеріалів з високими

фізико-механічними властивостями. Особливостями хімічного та мінералогічного складу арболітобетону на різного виду органічних заповнювачів та в'язучих, способи підвищення фізико-механічних властивостей виробів, напрями розвитку малоповерхового будівництва із застосуванням стінних бетонних блоків на основі арболітобетона розглянуто у фундаментальних працях відомих вчених: Л.Й. Дворкіна, О.Л. Дворкіна, А.Ф. Бернацького, В.А. Гамової, В.М. Курдюмова, В.Д. Котенко, Н.В. Савицького, Д.А. Пługіна, В.В. Стоянова, А.А. Крутова, В.Х. Наназашвілі, Б.Д. Руденко, І.А. Риб'єв, А.Т. Семенова, В.М. Хрулева, Н.І. Кліменко, А.А. Шевлякова, Л.П. Хорошун, Д.Ю. Дубровської, А.А. Титуніна, С.М. Хасдан, Л.М. Осиповіч. Арболітобетон в даний час використовується у багатьох країнах: США, Німеччина, Франція, Великобританія, Австралія, Швеція та ін.

Перспективним напрямком виробництва арболітобетонів є застосування композиційних гіпсових в'язучих. Арболітобетони на композиційному гіпсовому в'язучому сьогодні виробляються в різних кліматичних зонах, наприклад в Норвегії, Бельгії, Австрії, Австралії, Польщі.

Розробкою гіпсомістких та композиційних гіпсових в'язучих займалися В.І. Бабушкін, О.Ф. Бурьянов, В.В. Волженський, Л.Й. Дворкін, В.І. Верещагіна, О.В. Кондращенко, М.А. Саницький, В.Н. Дерев'янка, А.М. Феронська, В.А. Коровяков, Р.Ф. Рунова, А.А. Пługін, Д.А. Пługін, В.В. Чистяков, Н.В. Fischer, F.C. Matthes, L. Emele, H. Hermann, J. Demmich.

Численні дослідження вчених В.М. Вирового, Л.Й. Дворкіна, О.Л. Дворкіна, С.В. Ковалю, П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьової, Р.Ф. Рунової, Л.О. Шейніча, Т.А. Костюк, В.П. Сопова, Т.П. Кропивницької, Ю.Н. Данченко, В.І. Гоц, В.Р. Сердюка, А.В. Мішутіна, С.Д. Лаповської та ін. присвячені дослідженню механізмів впливу добавок-модифікаторів, наповнювачів та гідрофобізаторів на властивості будівельних композитів.

Арболітобетон на основі композиційного гіпсового в'язучого відноситься до прогресивних будівельних матеріалів завдяки простоті та малій енергоємності виробництва.

На підставі проведеного огляду літературних джерел та науково-технічної літератури сформульована *робоча гіпотеза*. Можна припустити, що введення до складу арболітобетонної суміші композиційного гіпсового в'язучого, яке містить гіпс, цемент, комбіновану двокомпонентну мікропуццоланову добавку підвищеної гідравлічної активності та модифіковане мікроармуючою добавкою мікроволастоніта і полікомпонентним органо-мінеральним комплексом, який містить гідрофобізатор, суперпластифікатор та полісумішевий лужний компонент, дозволить отримувати теплоізоляційні арболітобетони для зовнішнього і внутрішнього застосування з високими показниками якості: тріщиностійкості, адгезійної міцності, міцності на розтяг при згині, водостійкості та біостійкості.

У другому розділі приведені характеристики використаних сировинних матеріалів, описані методики і методи досліджень, викладені застосовувані методи математичного планування експериментів, обґрунтований вибір

планів експериментів і факторів варіювання, склад, викладений алгоритм та стратегія аналізу результатів натурних і обчислювальних експериментів.

В якості компонентів в'язучого застосовувалися: будівельний гіпс Г5 виробництва ПАО «Гіпсовик», цемент виробництва ВАТ «Євро цемент Україна» ПЦ І 500Д0 згідно ДСТУ Б.В. 2.7-46:2010.

В якості активних мікропуцоланових добавок, для отримання композиційного гіпсового в'язучого, застосовувалися: високоактивний метакаолін ТУ У 14.2-36363275-001:2009 питомою поверхнею 15 м²/г виробництва ТОВ «Мета-Д» та мікрокремнезем Elkem AS EN 13263-1. В якості мікроармуючої добавки використовувався мікроволастоніт виробництва ЗАО «Геоком» ТУ 5777-006-40705684-2003 різних фракцій.

В якості пластифікуючої добавки застосовувався високоякісний суперпластифікатор на полікарбосилатній основі Sika ViscoCreit 520, виробництва т.м. Sika. Гідрофобізатори серії ПГК, White виробництва ТОВ «Інженерінг консалдінг» та т.м. Sika.

Фізико-механічні властивості композиційного гіпсового в'язучого визначалася по ДСТУ Б. В. 2.7-82:2010 «В'язучі гіпсові. Технічні умови». Досліджувані зразки арболітобетона випробовувалися згідно ДСТУ Б.В. 2.7-271:2011 «Арболіт та вироби з нього. Загальні технічні умови». Величину водневого показника визначали потенціометричним методом за допомогою електронного рН-метра. Крайовий кут змочування визначався методом «лежачої краплі». Дослідження на біостійкість зразків арболітобетону виконані у Інституті хімії поверхні ім. А.А. Чуйка НАН України. Електронно-мікроскопічні знімки виконані на електронному мікроскопі JSM-6390/6390LV в АН України з використанням методу одноступінчастих вугільних реплік. Індекс звукоізоляції визначався Згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму».

У третьому розділі обґрунтовано вибір виду в'язучого, підбір його основних компонентів та модифікуючих добавок. Проведено підбір складу композиційного гіпсового в'язучого для арболітобетону на органічному заповнювачі у вигляді костриці коноплі технічної.

Мікропуцоланові добавки-модифікатори відрізняються високою гідравлічною активністю. Мікрокремнезем має пуцоланічну активність 350-450 мг/г. Високоактивний метакаолін, завдяки вмісту активного оксиду алюмінію здатний зв'язувати значно більшу кількість вапна, ніж мікрокремнезем. Активність метакаоліна ≥ 1000 мг/г. Введення цих добавок до складу повинно забезпечить високу водостійкість, ранню та пролонговану міцність.

Проведено порівняльний аналіз впливу мікропуцоланових добавок на властивості композиційного гіпсового в'язучого. Експериментально встановлено, що добавка високоактивного метакаоліна робить ефективніший вплив на фізико-механічні властивості композиційного гіпсового в'язучого у порівнянні з мікрокремнеземом: водостійкість $K_p=0,9-0,92$ у порівнянні з 0,81-0,85, міцність при стиску вище на 18-20%, середня густина нижче на 20-25%.

На наступному етапі було проведено експеримент за 24-х точковим 6 факторним планом типу МТQ, синтезованим Т.В. Ляшенко. В експерименті варіювалися: вміст мікрокремнезему (X_4) та високоактивного метакаоліну (X_5)- у інтервалі $(10 \pm 5)\%$ м.в., вміст суперпластифікатору Sika 520 (X_6) – $(0,6 \pm 0,5)\%$ м.в., фракції мікрОВОластоніту (вл1, вл2, вл3) $\sum(v_1+v_2+v_3=1)$.

Експериментально-статистичні (ЕС) моделі, які описують вплив вибраних добавок різного виду та призначення, з урахуванням взаємодій між ними, на властивості композиційного гіпсового в'язучого розраховані в програмі COMPEX. У програмі реалізується послідовний регресійний аналіз з помилкою експерименту не більше $S\{R\}=0,04$ при $\alpha=0,02$. По ЕС моделям проаналізовано наступні показники якості.

Міцність при стиску. Діаграма зміни міцності при стиску представлена на рис.1.а.

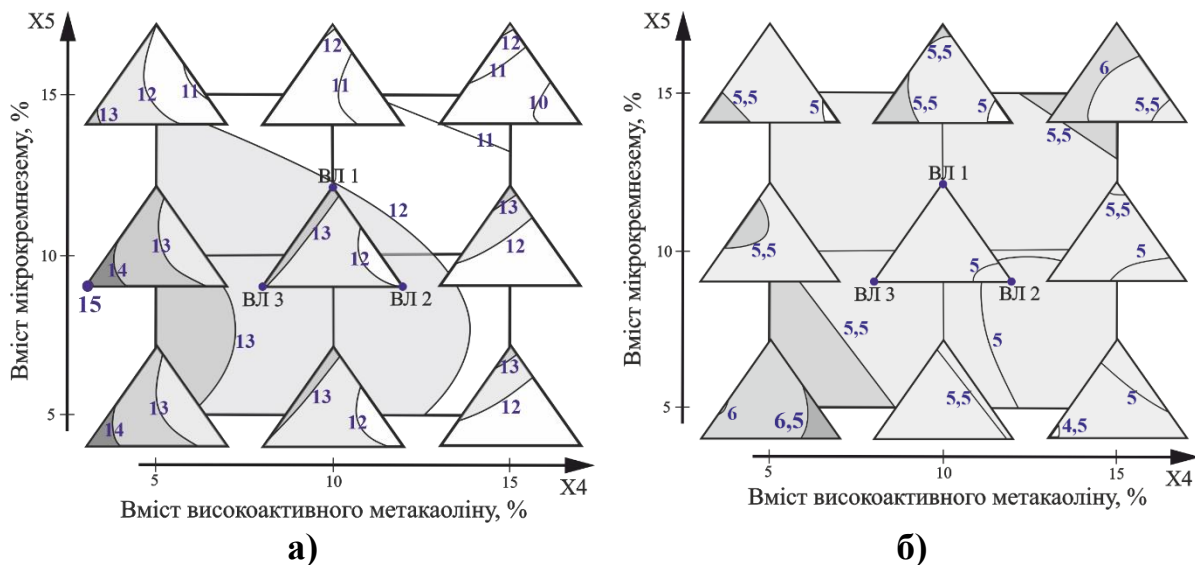


Рис.1. Вплив мікропуцоланових добавок, мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на: а) міцність при стиску; б) міцність на розтяг при згині композиційного гіпсового в'язучого, при вмісті Sika 520 0,6%

Максимальне значення міцності при стиску дорівнює $f_{cm}=14,5 \div 15,0$ МПа. Отримані максимальні значення досягнуто при мінімальному вмісті високо активного метакаоліну 5% і вмісті мікрокремнезему 5-10% м.в., при вмісті пластифікатора Sika у кількості 0,1-0,6% м.в. Позитивний вплив на f_{cm} робить мікрОВОластоніт фракції вл3. Волокниста форма мікрОВОластоніту визначає основний напрям його використання як мікроармуючої добавки-модифікатора. Фізико-хімічна спорідненість мікрОВОластоніту з компонентами в'язучого надає істотний вплив на реологічні параметри сумішей, формування структури, показники міцності та деформативні властивості композитів. Введення мікрОВОластоніту в суміш підвищує f_{cm} з 12,5-до 15,0 МПа, тобто на 20%.

Міцність на розтяг при згині. На рис.1.б представлена діаграма зміни міцності на розтяг при згині під впливом шести досліджуваних факторів.

Міцність на розтяг при згині змінюється від 5,0-6,8 МПа, що вище міцності на розтяг при згині 4 МПа, яка задовольняє технічним вимогам до композиційного гіпсового в'язучого. Міцність на розтяг при згині перевищує вимоги у 1,25-1,7 разів, що є важливим показником для композиційного гіпсового в'язучого, застосовуваного для виготовлення арболітобетону, яке працює в виробках на стиск та на вигін одночасно. Мікроармуюча добавка мікрволастоніту вводилася відповідно до сформульованої гіпотези для поліпшення мікротвердості та тріщиностійкості композиційного гіпсового в'язучого.

Таким чином, міцність на розтяг при згині підвищена до 1,7 разів, тріщиностійкість $k_{1c}=0,88 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, мікротвердість по Брінелю 3,5 НВ тобто в два рази вище ніж зразків композиційного гіпсового в'язучого без модифікації.

Водостійкість. Проведено аналіз зміни водостійкості за величиною коефіцієнта розм'якшення K_p під впливом мікропуцоланових добавок, мікроармуючої добавки-модифікатора і суперпластифікатора Sika.

Діаграма моделі, яка описує вплив досліджуваних факторів на водостійкість при фіксованому вмісті добавки Sika у кількості 0,6% представлено на рис.2.а. Більшість складів з двадцяти чотирьох серій зразків відносяться до водостійких, оскільки їх коефіцієнт розм'якшення дорівнює 0,8-0,92. Максимальні значення водостійкості $K_p=0,9-0,92$, отримані при введенні до складу композиційного гіпсового в'язучого 15% високоактивного метаксаоліну, 5% мікрокремнезему та мікрволастоніту фракції вл1:вл2=1:1. Мікроармуюча добавка мікрволастоніту, виконуючи роль модифікатора структури, поліпшує міцність при стиску та міцність на розтяг при згині, також сприяє підвищенню водостійкості. Вибір фракційного складу мікрволастоніту призначається з урахуванням рівнів інших властивостей.

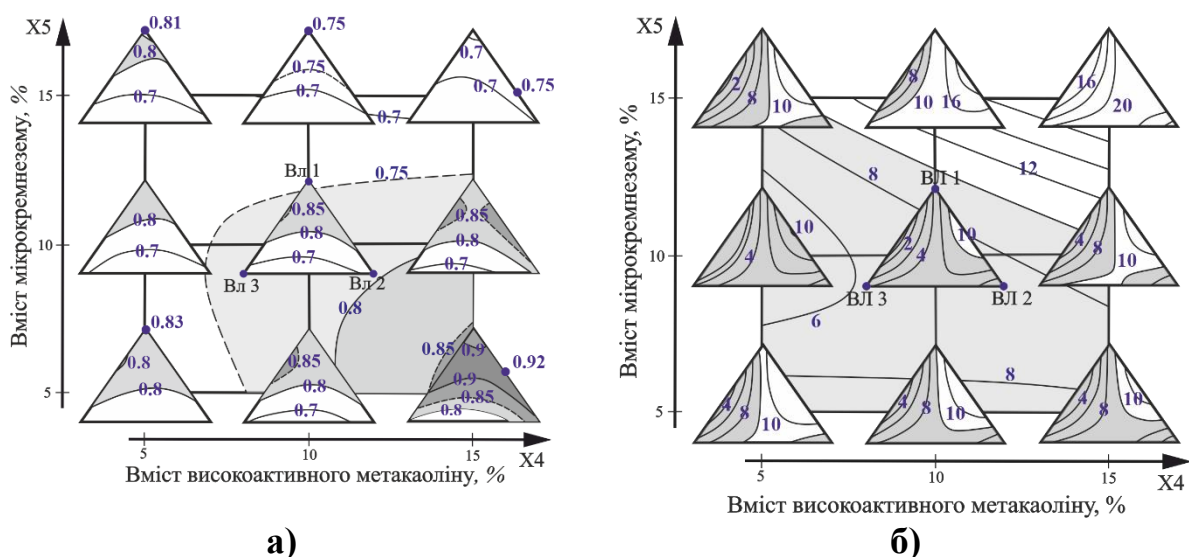


Рис.2. Вплив мікропуцоланових добавок, мікроармуючої добавки мікрволастоніт на: а) водостійкість; б) водопоглинання за масою композиційного гіпсового в'язучого, при вмісті Sika 520 0,6%

Таким чином, мікрволастоніт є ефективним фактором, який дозволяє поліпшити фізико-механічні властивості композиційних гіпсових сумішей та повинен призначатися з урахуванням співвідношення інших добавок.

Водопоглинання за масою. В області оптимальних складів міцності при стиску, міцності на розтяг при згині та водостійкості, водопоглинання за масою змінюється від 1 до 10%. Можливо використання монофракційного або поліфракційного мікрволастоніту. Вибір фракції мікрволастоніту залежить від способу приготування сумішей та потрібних показників якості. Мікропуцоланові добавки є так само активними мікронаповнювачами та підвищують середню густину суміші, що підтверджується зниженням кінетики водонасичення в 2-2,2 рази при незмінній водопотребі 0,55-0,60. Значення водопреби модифікованого композиційного гіпсового в'язучого дорівнює значенням водопотребі немодифікованого композиційного гіпсового в'язучого за рахунок введення карбоксилатного суперпластифікатора і добавки мікрволастоніта. Мікрволастоніт сприяє додатковій пластифікації суміші і виконує роль регулятора напруг.

По експериментально-статистичними моделями проведена багатокритеріальна оптимізація складів композиційного гіпсового в'язучого, модифікованого комбінованою двухкомпонентною мікропуцолановою добавкою, мікрволастонітом і суперпластифікатором Sika 520. Розроблено оптимальні склади з водостійкістю $K_p \geq 0.9$. Оптимальні склади характеризуються міцністю при стиску 15 МПа, міцністю на розтяг при згині 5,6-6,8 МПа, водопоглинанням за масою 1-8%, середньою густиною 1400-1450 кг/м³, пористістю відкритою 1-15%, тріщиностійкістю $k_{1c} = 0,88$ МПа·м^{1/2}, мікротвердістю по Брінелю 3,5 НВ.

Четвертий розділ. Подальші дослідження спрямовані на розробку та підбір складу арболітобетонної суміші, та визначення експлуатаційних властивостей арболітобетона. На першому етапі проаналізовано особливості використання костриці коноплі технічної в якості органічного заповнювача для арболітобетону. Особливість складу костриці коноплі технічної полягає в малому вмісті шкідливих компонентів: активних полісахаридів, різновидів целюлози, танінів, пектинів та ін. хімічних елементів, тому вони не чинять суттєвого впливу на властивості. Проведено підбір оптимального співвідношення компонентів в системі «органічний заповнювач-композиційне гіпсове в'язуче». Представлені графіки зміни середньої густини, водопоглинання та міцності при стиску арболітобетона залежно від співвідношення органічного заповнювача та кількості композиційного гіпсового в'язучого на одиницю маси органічного заповнювача на рис.3.а,б.

Показано, що співвідношення «органічний заповнювач-композиційне гіпсове в'язуче», рівне ККТ:КГВ=1:1,5 є оптимальним. Такий склад забезпечує отримання арболітобетона середньої густини $\rho = 300$ кг/м³, міцністю при стиску $\geq 0,55$ МПа.

Проаналізована можливість подальшого підвищення водостійкості за рахунок об'ємних гідрофобізаторів. Для оцінки дії гідрофобізаторів на

властивості композиційного гіпсового в'язучого проводилися виміри крайового кута змочування методом лежачої краплі. Поверхня зразка, що не пройшов обробки гідрофобізаторами гідрофільна, про що свідчить крайовий кут змочування, менший 90° ($\theta = 83$). А поверхні зразків, оброблених гідрофобізаторами, набули гідрофобних властивостей: крайовий кут змочування краплі дистильованої води на поверхні досягає $121-135^\circ$ для гідрофобізаторів виду ПГК-12С, ПГК-24 та White (рис.4.а,б).

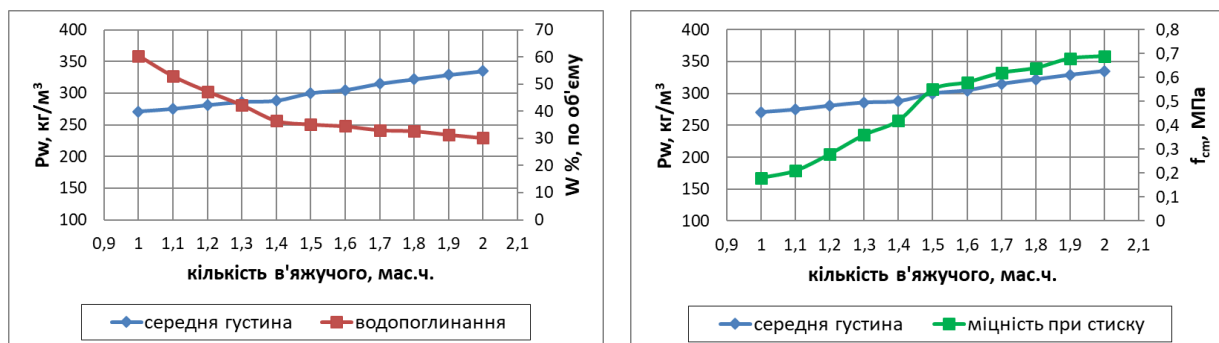
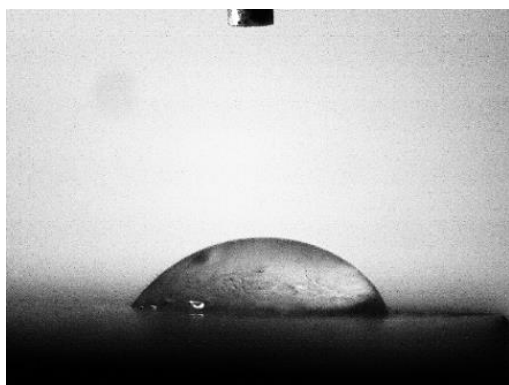
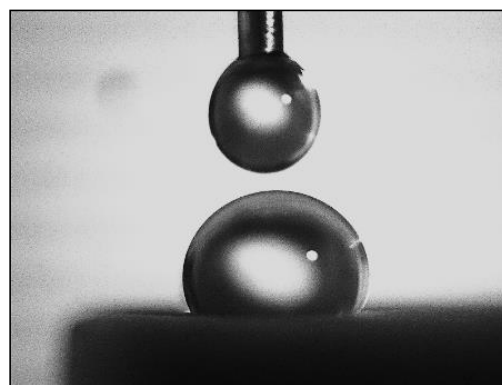


Рис.3. Вплив кількісного співвідношення між органічним заповнювачем і композиційним гіпсовим в'язучим на середню густина, водопоглинання та міцність при стиску



а)



б)

Рис.4. Крапля води на поверхні зразків: а) не обробленого гідрофобізаторами; б) обробленого гідрофобізатором White

Встановлено, що найкращі значення міцності отримані на вітчизняному гідрофобізаторі White нового покоління, тому для подальших досліджень відібрано гідрофобізатор White. Гідрофобізатор White за рахунок присутності у складі наноконпонентів підвищує водостійкість з 0,92 до 0,94, наявність срібла в складі забезпечує захист і підвищення біостійкості арболітобетонів.

На властивості арболітобетона впливає величина адгезійної міцності між органічним заповнювачем та композиційним гіпсовим в'язучим. Використання гідрофобізаторів, залежно від активності основи здатне змінити адгезійну міцність між ними. На адгезійну міцність впливають також компоненти, що містяться у складі костри коноплі технічної наприклад, пектини і смоли. Але їх негативний вплив не великий, так як вміст цементу

складає до 20% м.в. Об'ємна гідрофобізація забезпечує додаткове підвищення водостійкості.

Підвищити адгезійну міцність можна різними технологічними способами. Одним зі способів коригування значення адгезійної міцності є вибір складу композиційного гіпсового в'язучого та виду гідрофобізатора для арболітобетону. Для оцінки впливу на адгезійну міцність складу модифікованого композиційного гіпсового в'язучого проведено експеримент за 24-х точковим 6 факторним планом типу МТQ що і на попередньому етапі досліджень композиційного гіпсового в'язучого.

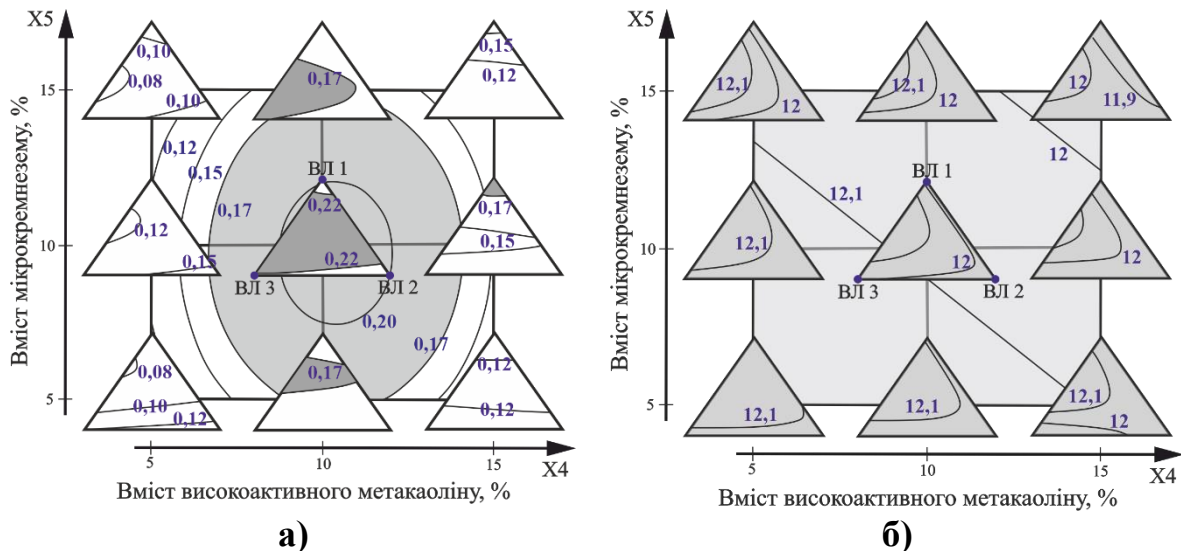


Рис.5. Вплив мікропуцоланових добавок, мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на: а) адгезійну міцність; б) показник рН композиційного гіпсового в'язучого, при вмісті Sika 520 0,6%

В рамках експерименту величина значень адгезійної міцності змінюється від 0,08 до 0,22 МПа, тобто в 2,7 разів. Області з найкращими значеннями адгезії більше або рівне 0,20 МПа, як видно з ізоліній на діаграмі (рис.5.а), знаходяться в центральній її частині. Максимальну адгезійну міцність 0,20МПа мають склади, що містять мікрокремнезем та високоактивний метакеолін в кількості 10-12%. Введення до складу мікрОВОластоніту забезпечує підвищення адгезії з 0,20 до 0,22 МПа, тобто на 11% при вмісті Sika 520 0,6% м. в. (рис.5.а). Слід враховувати так само значний вплив фракційного складу мікрОВОластоніту при фіксованому його вмісті.

Для виробів з органічним заповнювачем актуально визначати водневий показник рН для композиційного гіпсового в'язучого. Водневий показник рН суміші композиційного гіпсового в'язучого для арболітобетона змінюється в межах від рН=11,9 до 12,1. Склади, які мають максимальні значення міцності при стиску та водостійкості, мають показник рН 12,0-12,1, а адгезійну міцність 0,12-0,14 МПа. Лужне середовище суміші з водневим показником рН=11,9-12,1 сприяє інтенсифікації процесу мінералізації костриці коноплі технічної та підвищенню її біостійкості.

Досліджено експлуатаційні характеристики арболітобетону: теплопровідність, звукоізоляція, біостійкість а також його мікроструктура. Значення коефіцієнта теплопровідності дорівнює 0,06-0,10 Вт/м·К (рис.6). Згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» індекс звукоізоляції для перекриттів та стін повинен бути не більше $R_w=52$ дБ. Тільки при цих показниках можливо говорити про акустичний комфорт. Індекс звукоізоляції арболітобетону становить $R_w=45$ дБ при товщині зразка 20 см, $R_w=30$ дБ при товщині зразка 30 см (рис.7).

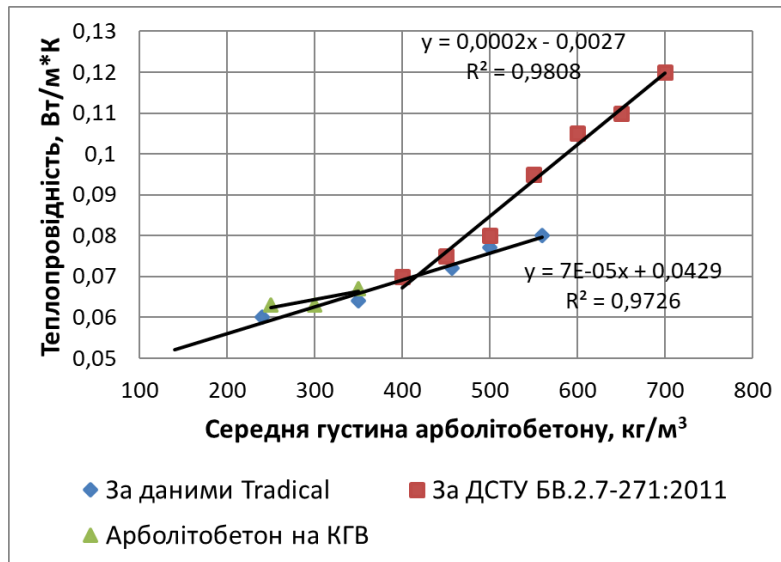


Рис.6. Зміна теплопровідності арболітобетона залежно від середньої густини

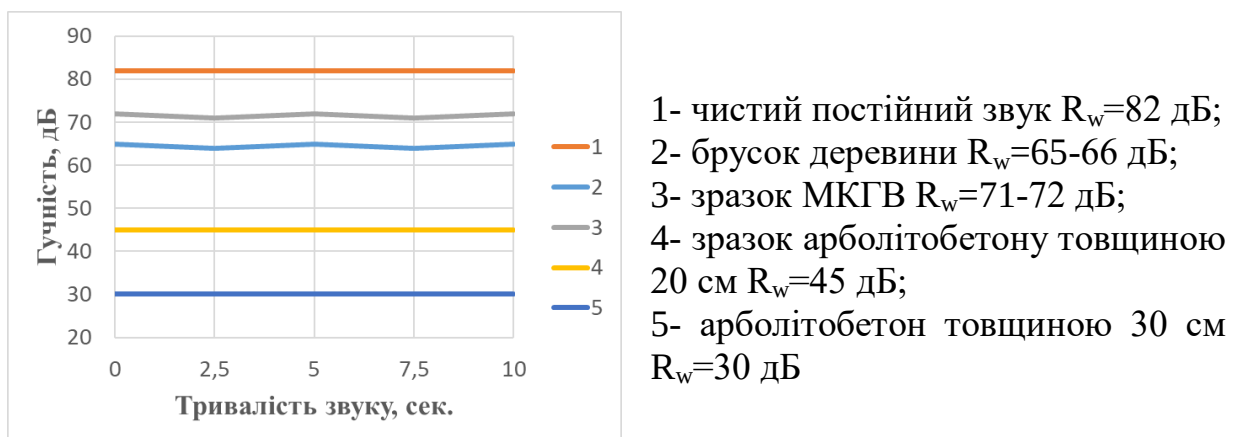


Рис.7. Ступінь звукоізоляції досліджуваних зразків

Важливим показником якості виробів на органічних заповнювачах є біостійкість. Досліджені основні характеристики арболітобетону на антимікробну, антибактеріальну та антигрибкову активність відносно широкого спектру мікроорганізмів. В якості активних реагентів використані нанорозмірні оксиди металу срібла, міді і цинку. Відповідно до рекомендацій ВООЗ для оцінки активності препаратів використали штами *Staphylococcus*

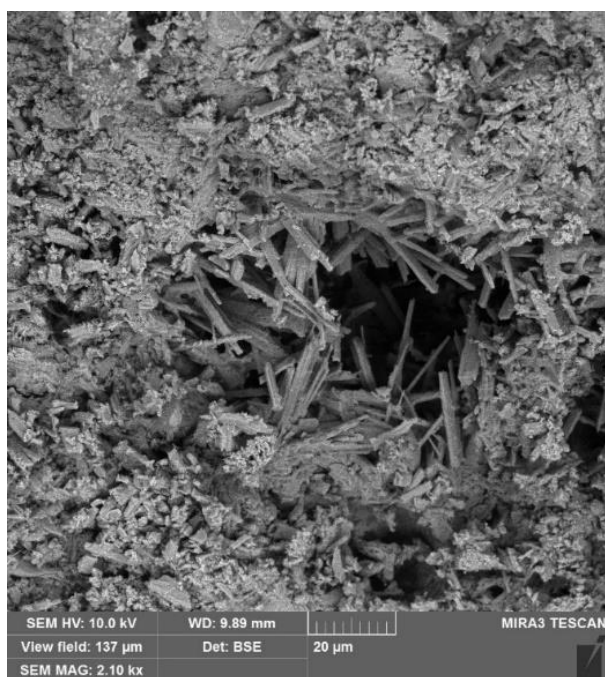
aureus ATCC25923, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Staphylococcus aureus* 209, *Candida albicans* ATCC 885/653.

Антибактеріальна активність препаратів показала, що у ряді кремнеземних композицій з різним вмістом нанорозмірного срібла активність зростає в послідовності 10%>2%>5% (таблиця 1). Для використання в арболітобетоні були рекомендовані композиції з 2% вмістом срібла (від вмісту мікрокремнезему).

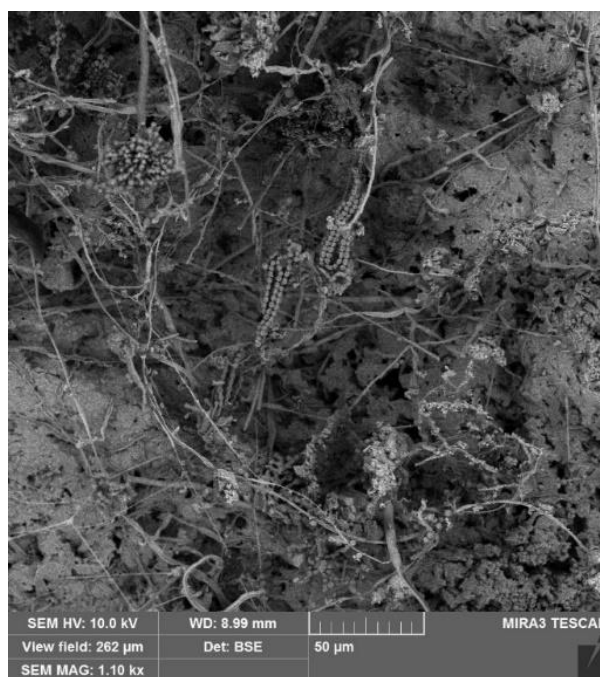
Таблиця 1

Витрата солі металів (г) на 100 г кремнезему

Сіль	Ag/SiO ₂ 2%	Ag/SiO ₂ 5%	Ag/SiO ₂ 10%	Cu _x O _y /SiO ₂ 1,3%	Zn _x O _y /SiO ₂ 1,3%
AgNO ₃	3,4	8,4	16,8	-	-
Cu(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O	-	-	-	3,6	-
Zn(CH ₃ COO) ₂ ·2H ₂ O	-	-	-	-	4,4



а)



б)

Рис.8. Мікроструктура зразків арболітобетону, виготовлених: а) з використанням антибактеріальної і антигрибкової обробки; б) без антибактеріальної і антигрибкової обробки

Інформація про будову композицій отримана методом електронної мікроскопії. Електронно-мікроскопічний аналіз показало формування часток срібла розміром до 10 нм, в зразках також спостерігаються двійникові кристалічні утворення округлої форми мікрокремнезему та срібла. На електронній мікрофотографії (рис.8.а) представлено зразки арболітобетону у віці п'яти років, видна дрібнозерниста структура кристалічних новоутворень округлої форми. Зразки, які немодифіковані композиціями нанорозмірного оксиду срібла і мікрокремнезема, мають крупнозернисту структуру (рис.8.б).

Використання методу хімічного модифікування поверхні мікрокремнезема нанорозмірними оксидами срібла дозволило забезпечити біостійкість.

Отже, усі властивості арболітобетонної суміші та арболітобетона можна регулювати за рахунок вплива комбінованої двухкомпонентної мікропуцоланової добавки, добавки мікроволастоніта, гідрофобізатора та суперпластифікатора Sika 520 в широких межах.

У п'ятому розділі проведена розробка та поетапна оптимізація складів арболітобетону. На першому етапі проведена розробка та оптимізація складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу для арболітобетону. Полікомпонентний органо-мінеральний комплекс включає наступні компоненти: гідрофобізатор нового покоління White, суперпластифікатор Sika 520 та полісумішевий лужний компонент. Для оптимізації складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу проведено трьохфакторний експеримент за планом Шеффе. Вплив органо-мінерального комплексу на міцність при стиску композиційного гіпсового в'язучого описують діаграми (рис.9).

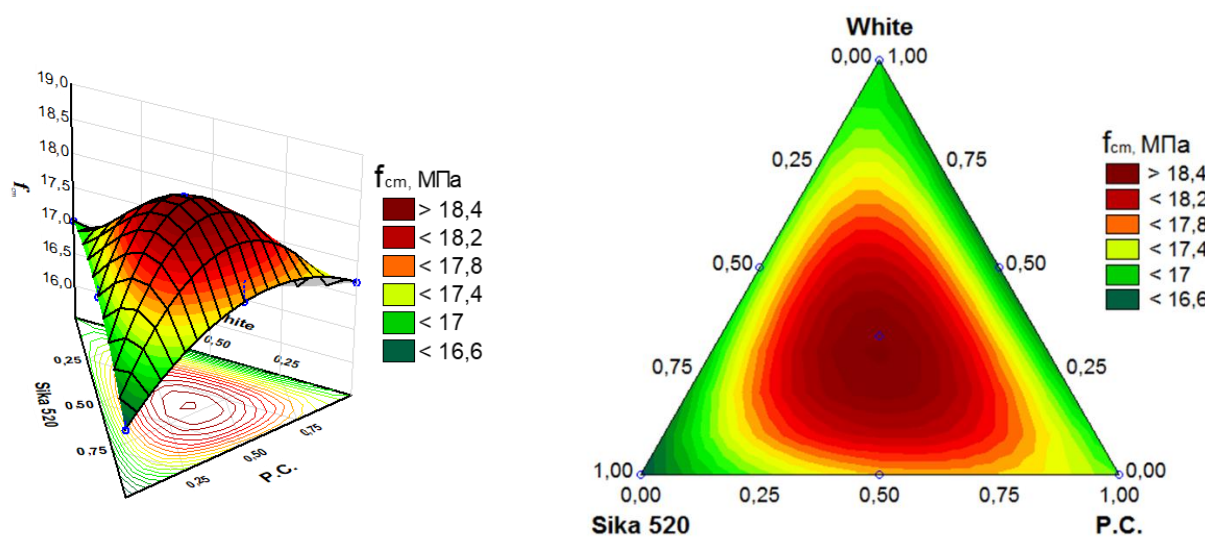


Рис.9. Діаграми впливу полікомпонентного органо мінерального комплексу на міцність при стиску КГВ

Аналіз моделей показав, що взаємовплив трьох факторів складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу при співвідношенні компонентів 1:1:1 забезпечують підвищення міцності на стиск з 15 до 18,5 МПа на 35%, водостійкість арболітобетону підвищується з 0,92 до 0,94. Розроблений органо-мінеральний комплекс використано для модифікації композиційного гіпсового в'язучого. Склад полікомпонентного органо-мінерального комплексу, який забезпечує підвищення лужності та біостійкості середовища за рахунок наявності лужних компонентів і оксидів металу срібла, застосовано також для мінералізації костриці коноплі технічної.

На другому етапі проведено підбір оптимального фракційного складу арболітобетона з урахуванням впливу полікомпонентного органо-мінерального комплексу (рис.10). На діаграмі виділена область складів які забезпечують міцність $f_{cm} \geq 0,5-0,55$ МПа і вище, середню густину $\rho = 300$ кг/м³, яка значно нижче рекомендованих ДСТУ Б.В. 2.7-271:2011 значень середньої густини для арболітобетона, задовольняючому класу по міцності В0,35.

На графіку (рис.10.б) нанесено також межі області рекомендованих по ДСТУ фракційних складів органічного заповнювача у вигляді чотирьох кутника, що обмежує кількість варіантів при підборі складу арболітобетону. Як видно з діаграм, істотний вплив на властивості арболітобетону робить вміст фракції 5-10мм. Оптимальні склади забезпечують клас міцності В 0,35 та В0,75 середню густину 300 ± 10 кг/м³, що нижче нормованого значення середньої густини $\rho = 400-450$ кг/м³ для вказаних класів по міцності для арболітобетонів. Максимальне значення $f_{cm} = 0,54$ МПа забезпечується наступним складом: костриця фракції 10=35%, фракції 5=35%, фракції 2,5=35%, тобто $\phi_{p10}:\phi_{p5}:\phi_{p2,5} = 1:1:1$. Середня густина такого складу складає $\rho = 310$ кг/м³.

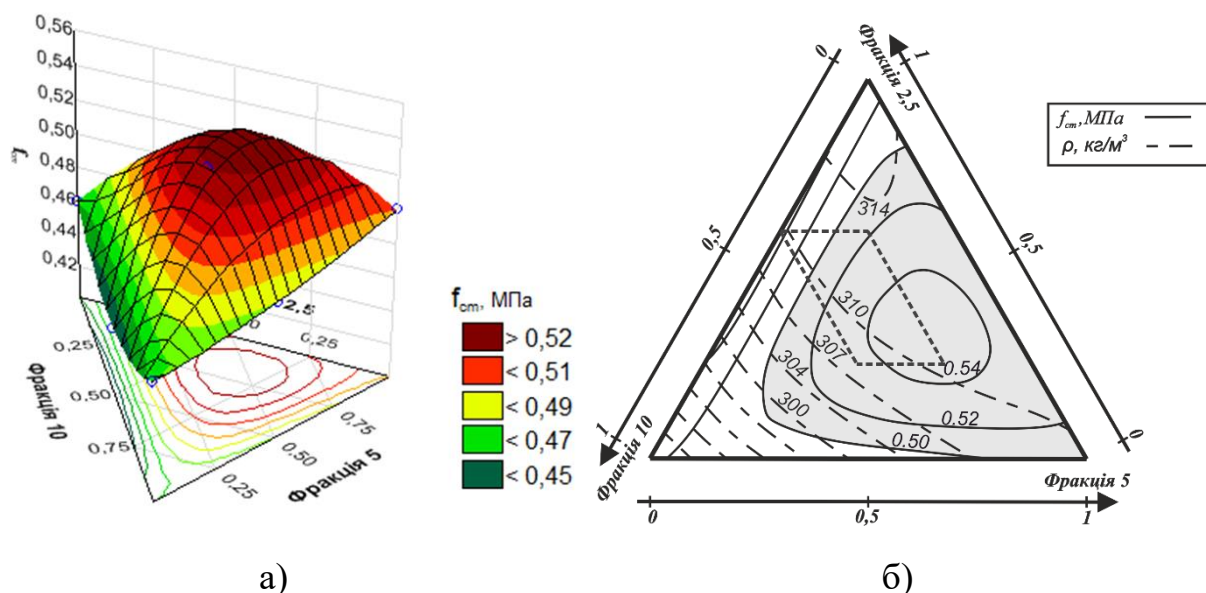


Рис.10. Вплив фракційного складу органічного заповнювача на межу міцності при стиску та середню густину арболітобетона на КГВ

Отримано також арболітобетон класу В1, середньою густиною $\rho = 500$ кг/м³ за рахунок збільшення співвідношення композиційного гіпсового в'язучого і заповнюваче із застосуванням технології вібропресування.

Проведена поетапна оптимізація складів арболітобетона: розроблено оптимальний склад модифікованого композиційного гіпсового в'язучого, розроблено та оптимізовано склад полікомпонентного органо-мінерального комплексу, підібрано оптимальний фракційний склад органічного заповнювача та оптимальне співвідношення компонентів в системі «органічний заповнювач-в'язуче». Рекомендовано склади, які забезпечують

наступні рівні критеріїв якості стінних блоків: класи за міцністю на стиск В0,35, В 0,75, В1, середньої густини $\rho=300-500 \text{ кг/м}^3$, теплопровідністю $\lambda=0,06-0,10 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$.

Розроблена технологічна схема виробництва арболітобетонної суміші та стінних блоків для внутрішнього та зовнішнього застосування. Випущена дослідно-експериментальна партія об'ємом 60м^3 стінних блоків на підприємстві ТОВ «Consulting Engeneering» м. Києва, яка була використана при будівництві технічної споруди на території підприємства. Результати роботи впроваджені в навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти ступеня магістра по спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість одержання теплоізоляційних арболітобетонів на органічному заповнювачі костриці коноплі технічної, композиційному гіпсовому в'язучому, модифікованому комбінованою двокомпонентною мікропуцолановою добавкою підвищеної гідравлічної активності, армуючою добавкою мікроволастоніта та полікомпонентним органо-мінеральним комплексом, який включає суперпластифікатор, гідрофобізатор нового покоління та суміш лужних компонентів, що дозволило підвищити деформаційні, біофізичні, гідрофізичні та адгезійні властивості арболітобетонів для зовнішнього та внутрішнього застосування.

2. Розроблено оптимальні склади композиційного гіпсового в'язучого для арболітобетона на органічному заповнювачі костриці коноплі технічної. Проведено дослідження взаємовпливу двох видів мікропуцоланових добавок підвищеної гідравлічної активності високоактивного метаксоліну та мікрокремнезему, мікроармуючої добавки мікроволастоніта і суперпластифікатора Sika 520. Взаємовплив добавок супроводжується загальним поліпшенням властивостей. Показано позитивний вплив мікроволастоніта на міцність на розтяг при згині: f_{ctfm} з 4 до 6,8 МПа тобто у 1,7 раза при міцності при стиску 15 МПа, тріщиностійкість - $0,88 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$, та мікротвердість по Брінелю 3,5НВ. Взаємовплив добавок супроводжується поліпшенням: водостійкості $K_p=0,85-0,92$; $\rho=1400\div1450 \text{ кг/м}^3$; водопотреба складає 0,55-0,60; $W_m=1-8\%$; $P_{відк}=1-15\%$.

3. Проведена оцінка властивостей арболітобетона: адгезійна міцність $f_a=0,17\div0,22 \text{ МПа}$, середня густина $\rho=300\div500 \text{ кг/м}^3$; міцність при стиску $f_{cm}=0,53\div0,95 \text{ МПа}$. Проведена оцінка додаткових показників якості арболітобетона: теплопровідність $\lambda\geq 0,06-0,10 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, звукоізоляція - 38 дБ, що нижче норми на 37%. Результати фізико-хімічних досліджень показали формування рівномірно розподілених нанокристалічних утворень у мікроструктурі в'язучого та на поверхні органічного заповнювача. Показана можливість підвищення біостійкості арболітобетона шляхом введення

колоїдного срібла в кількості 2% від маси мікрокремнезему, що забезпечує високу біостійкість арболітобетону.

4. Розроблено та проведена оптимізація складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу, який містить гідрофобізатор нового покоління White, суперпластифікатор та суміш лужних компонентів. Показано доцільність застосування полікомпонентного органо-мінерального комплексу окремо як для модифікації композиційного гіпсового в'язучого так і для мінералізації костриці коноплі технічної. Застосування полікомпонентного органо-мінерального комплексу забезпечує приріст міцності модифікованого композиційного гіпсового в'язучого на 25% - з 15 до 18,5 МПа; за рахунок створення лужного середовища у арболітобетонній суміші з $pH = 12-12,1$ і наявності в складі органо-мінерального комплексу колоїдного срібла забезпечується підвищення біостійкості арболітобетона.

5. Проведена поетапна оптимізація складів арболітобетона: розроблено оптимальний склад модифікованого композиційного гіпсового в'язучого, розроблено та оптимізовано склад полікомпонентного органо-мінерального комплексу, підібрано оптимальний фракційний склад органічного заповнювача та оптимальне співвідношення компонентів в системі «органічний заповнювач-в'язуче». Рекомендовано склади, які забезпечують наступні рівні критеріїв якості стінних блоків: класи по f_{cm} – В 0,35, В 0,75, В1, середньої густини $\rho = 300-500 \text{ кг/м}^3$, теплопровідністю $\lambda = 0,06-0,10 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$.

6. Розроблено технологічна схема виробництва арболітобетонної суміші та стінних блоків для внутрішнього та зовнішнього застосування. Випущена дослідна партія об'ємом 60 м^3 стінних блоків на підприємстві ТОВ «Consulting Engeneering» м. Києва, яка була використана при будівництві технічної споруди на території підприємства. Проведено впровадження в навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти ступеня магістр по спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Линник Д.С., Тертичный А.А. Оптимизация составов сухих строительных смесей на основе экспериментально-статистических моделей. Науково-технічний збірник "Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка". Київ: 2013. Вип. 48. С. 179-183. *Особистий внесок здобувача - проведений вибір пуццолановой добавки для композиційного гіпсового в'язучого.*

2. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Экостроительство из арболітобетона на основе композиционного гипсового вяжущего. Наук.-тех.

Збірник "Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка". Київ: 2014. Вип. 52. С. 112-116. *Особистий внесок здобувача - виконаний порівняльний аналіз впливу пуццоланової добавки на властивості арболітобетона.*

3. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Линник Д.С., Мироненко И.Н., Юсипчук В.И. Подбор состава матричного материала для костробретона на основе известкового вяжущего, модифицированного добавками и наполнителями. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2014, №55. С. 294-300. *Особистий внесок здобувача - проведений порівняльний аналіз властивостей арболітобетона різних видів в'язучого.*

4. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Влияние высокоактивной пуццолановой добавки на свойства композиционного гипсового вяжущего и арболітобетона на его основе. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, №57. С. 273-278. *Особистий внесок здобувача - проведений аналіз впливу органічних добавок та неорганічних наповнювачів на властивості арболітобетона на вапномісткому в'язучому.*

5. Юсипчук В.И., Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Повышение биостойкости костробретона добавкой пирогенного микрокремнезема, модифицированного соединениями серебра, меди и цинка. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, № 60. С. 370-376. *Особистий внесок здобувача - виконаний порівняльний аналіз властивостей арболітобетона на різних видах в'язучого.*

6. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Закаблук С.С., Юсипчук В.И. Подбор состава арболітобетона по экспериментально-статистическим моделям. Науковий вісник будівництва. Харків: 2017. №4(90). С. 86-92. *Особистий внесок здобувача - виконаний підбір складу арболітобетона по ЕС моделям.*

7. Шинкевич О.С., Ліннік Д.С. Багатопараметрична оптимізація складу арболітобетону. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип.174. С.81-88. *(індексується наукометричною базою Index Copernicus). Особистий внесок здобувача - виконано обґрунтування і вибір в'язучого для арболітобетона, підібране співвідношення «органічний заповнювач-в'язуче».*

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

8. Тымняк А.Б., Линник Д.С., Юсипчук В.И., Шинкевич Е.С. Оптимизация составов и свойств мелкозернистых бетонов на композиционном вяжущем. Зборник Bulletin incercom scientific research institute of construction. Chisinau, Republic Moldova: "INTERCOM", 2015. Nr.6. ISSN 1857-3762. С. 136-140. *Особистий внесок здобувача - вибір компонентів для композиційного вапномісткому в'язучого.*

9. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Закаблук С.С. Арболітобетон пониженной плотности на композиционном гипсовом вяжущем. Проблемы

современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Минск: БелНИИС, 2019. Вып. 11. С. 331–347. *Особистий внесок здобувача - виконаний підбір складу арболітобетона зниженої щільності на композиційному гіпсовому в'язучому.*

10. E.S. Shinkevich, D.S. Linnik, V.I. Ysypchuk Improvement of Arbolit Concrete Bio-Resistance with Additives by Nanomodificators. Materials Science Forum. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2019, Vol 968, pp. 76-81. ISSN: 1662-9752. (індексуються наукометричною базою Scopus). *Особистий внесок здобувача - виконаний вибір і обґрунтування виду в'язучого для арболітобетона.*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

11. Shinkevich E.S., Linnik D.S. Selection and optimization fractional composition of organic filler for arbolite. Materials of the XIII International Scientific practical conference «Fundamental and applied science». England: Sheffield, 2017. Vol.7 pp. 40-42. *Особистий внесок здобувача - оцінка впливу фракційного складу обмеженого заповнювача, середня густина та міцність арболітобетона.*

12. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Повышение биостойкости арболітобетона добавками наномодификаторами. Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки». Одеса: ОДАБА, 2019. С. 311-314. *Особистий внесок здобувача – виконано розрахунок моделей, які описують вплив добавок-модифікаторів на властивості композиційного гіпсового в'язучого.*

13. Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Арболітобетон на композиционном гипсовом вяжущем. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2019. С. 94-96. *Особистий внесок здобувача - виконаний підбір і оптимізація складу арболітобетона.*

14. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Подбор состава арболітобетона на композиционном гипсовом вяжущем по показателям прочности и средней плотности. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій». Одеса: ОДАБА, 2018. С. 88-89. *Особистий внесок здобувача - виконаний підбір складу арболітобетона по ЕС моделям.*

15. Linnik D.S., Shinkevich E.S. Optimization of composition and properties of arbolit concrete on composite gypsum binder. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів». Одеса: ОДАБА, 2017. С. 64-66. *Особистий внесок здобувача -*

виконана оцінка впливу фракційного складу органічного заповнювача на властивості арболітобетона по ЕС моделям.

16. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Оптимизация фракционного состава органического заполнителя для арболітобетона. Тези доповідей 6й міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків: УкрДЗУТ, 2017 С. 28-29. *Особистий внесок здобувача - проведений вибір і обґрунтування виду в'язучого для арболітобетона.*

17. Линник Д.С., Шинкевич Е.С., Петренко А.Л., Нововсельский Д.В. Подбор гранулометрического состава органического заполнителя для арболітобетона. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2016. С. 79-81. *Особистий внесок здобувача - виконаний підбір фракційного складу органічного заповнювача для арболітобетона.*

18. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Юсипчук В.И., Линник Д.С. Оптимизация состава и свойств штукатурных растворов на композиционном известьсодержащем вяжущем. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2014. С. 106-108. *Особистий внесок здобувача - розраховані ЕС моделі впливу фракційного складу органічного заповнювача на властивості арболітобетона.*

19. Сурков А.И., Стрелецкий А.И., Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Оптимизация свойств арболітобетона по теплофизическим показателям. Тези доповідей I Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фізичні процеси в енергетиці, екології та будівництві», Одеса: ОДАБА, 2018. С. 56-59. *Особистий внесок здобувача - виконаний аналіз теплофізичних властивостей арболітобетона.*

20. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Загинайло И.В., Бондаренко Г.Г. Полиминеральная микропуццолановая добавка для композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости. Тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні», Харків: ХНУБА, 2020. С. 184-185. *Особистий внесок здобувача - виконаний аналіз впливу полімінеральної добавки на водостійкість композиційного гіпсового в'язучого.*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

21. Ліннік Д.С. Підбір складів екобетонів на органічних заповнювачах. Розділ в колективній монографії. Сучасні будівельні матеріали та їх технології. / за редакцією О.О. Шишкіна. Кривий Ріг: Залозний В.В., 2017. С. 261-281. *Особистий внесок здобувача - виконаний підбір складу органічного заповнювача для арболітобетона.*

АНОТАЦІЯ

Ліннік Д.С. Арболітобетон на комплексно модифікованому композиційному гіпсовому в'язучому. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.23.05 - Будівельні матеріали і вироби. - Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2021.

Робота присвячена отриманню теплоізоляційних арболітобетонів середньою густиною 300-500 кг/м³ підвищеної міцності на розтяг при згині, тріщиностійкості при необхідних показниках міцності при стиску, водостійкості на органічному заповнювачі у вигляді костриці технічної коноплі, на модифікованому композиційному гіпсовому в'язучому. Досліджена ефективність спільного впливу і сумісності двох видів мікропуццоланових добавок підвищеної гідравлічної активності високоактивного метакаоліну та мікрокремнезему, мікроармуючої добавки волластонита і суперпластифікатора на властивості композиційного гіпсового в'язучого. Розроблено склад та проведена оптимізація органо-мінерального комплексу, який містить вітчизняний гідрофобізатор нового покоління. Органо-мінеральний комплекс застосований окремо як для модифікації композиційного гіпсового в'язучого так і для мінералізації костриці технічної коноплі. Розроблена технологічна схема виробництва арболітобетонних стінних блоків для внутрішнього та зовнішнього застосування.

Ключові слова: арболітобетон, композиційне гіпсове в'язуче, мікропуццоланова добавка, мікроармуюча добавка, органічний заповнювач, костриця коноплі, ЕС моделі, оптимізація.

АННОТАЦИЯ

Линник Д.С. Арболитобетон на комплексно модифицированном композиционном гипсовом вяжущем. – 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.

Работа посвящена получению теплоизоляционных арболитобетонных плотностью 300-500 кг/м³ повышенной прочности на растяжение при изгибе, трещиностойкости при необходимых показателях прочности при сжатии, водостойкости на органическом заполнителе в виде костры технической конопли, на модифицированном композиционном гипсовом вяжущем. Исследована эффективность совместного действия и совместимость двух видов микропуццолановых добавок повышенной гидравлической активности высокоактивного метакаолина и микрокремнезема, микроармирующей добавки волластонита и суперпластификатора на свойства композиционного гипсового вяжущего. Разработан состав и проведена оптимизация органо-минерального комплекса, который содержит отечественный гидрофобизатор

нового поколения. Органо-минеральный комплекс применен отдельно как для модификации композиционного гипсового вяжущего так и для минерализации костры технической конопли.

Ключевые слова: арболитобетон, композиционное гипсовое вяжущее, микропуццолановая добавка, микроармирующая добавка, органический заполнитель, костра конопли, ЭС модели, оптимизация.

SUMMARY

Linnik D.S. Hempcrete on a complexly modified composite gypsum binder. - 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.

The dissertation is devoted to development of heat-insulating hempcrete of average density of 300-500 kg/m³ of the increased tensile strength at a bend, crack resistance at necessary indicators of durability at compression, water resistance on an organic filler in the form of a fire of technical hemp and on a composite. increased hydraulic activity, micro-reinforcing additive, three-component organo-mineral complex which includes a superplasticizer, a new generation water repellent and an alkaline component.

The aim of the work is to select the optimal compositions of hempcrete on an organic aggregate in the form of a technical hemp fire and a complex modified composite gypsum binder.

The scientific novelty of the obtained results is that for the first time the composition of hempcrete was developed on the basis of a complex modified composite gypsum binder and organic aggregate in the form of technical hemp fire, which is produced in Ukraine in large volumes.

A comparative analysis of the effect of micropuzzolan additives of highly active metakaolin and microsilica on the properties of composite gypsum binder was performed. It has been experimentally established that the addition of highly active metakaolin has a more effective effect on the physical and mechanical properties of composite gypsum binder in comparison with microsilica: the strength indicators increase by 18-20%.

This effect of the microreinforcing additive wollastonite on the properties is given. It is shown that the addition of wollastonite has a positive effect not only on crack resistance, but also tensile strength in bending, as well as contributes to increased compressive strength, medium density, reduces water absorption and open porosity. It should also be noted the positive effect of wollastonite on the strength of adhesion of composite gypsum binder to the fire. Due to the introduction of wollastonite of the required fraction can increase the adhesive strength by 15%.

The effectiveness of the combined effect of highly active metakaolin and microsilica and wollastonite on the properties of composite gypsum binder is shown. It is shown that the interaction of additives is accompanied by their synergistic interaction and general improvement of properties.

The composition of the mineral combined two-component micropuzzolan additive of the increased hydraulic activity which provides the increased water resistance of composite gypsum binder 0,85-0,92 at compressive strength of 11,5-12,5 MPa for its complex modification is substantiated.

This effect of the microreinforcing additive wollastonite on the properties is given. It is shown that the addition of wollastonite has a positive effect not only on crack resistance, but also tensile strength in bending, as well as contributes to increased compressive strength, medium density, reduces water absorption and open porosity.

It is shown that organic aggregates, which are used for hempcrete, differ significantly in structure, structure and basic properties, as well as the content of harmful components.

The analysis of the change of the thermal conductivity coefficient of hempcrete depending on the average density is carried out. The obtained experimental values of thermal conductivity of hempcrete samples are lower than those recommended by the standard in terms of thermophysical parameters.

The influence of different types of bulk and surface water repellents on wettability, water resistance and biostability of composite modified gypsum binder is analyzed. The possibility of obtaining, due to hydrophobization of composite gypsum binder, water resistance 0.9-0.94 at maximum compressive strength of 14.5-15 MPa, tensile strength at bending of 5.5-6.5 MPa at the required compressive strength of M15 and water consumption 0.55-0.65.

Extensive possibilities of regulating the structure of hempcrete at different scale levels due to changes in the content and ratio of combined two-component micropuzzolan additive of increased hydraulic activity, microreinforcing additive of wollastonite and polycarboxylate superplasticizing additive Sika 520 are revealed.

Gradual optimization of hempcrete compositions, modified organo-mineral complex according to EU models is carried out. Developed organo-mineral complex, provides protection against the penetration of lignins and sugars from the fire to the binder. Sequential step-by-step optimization allowed to conduct an in-depth analysis of the impact on the properties of hempcrete three different scale components of a complex dispatch system.

The technological scheme of production of heat-insulating hempcrete blocks for internal and external application in low-rise construction is developed. The technical and economic calculation of arbolite concrete production at MKGV is given. An experimental batch of wall blocks has been released at the enterprise Consulting Engineering Ltd in Kyiv, which were implemented during the construction of the premises with the temperature regime specified by the customer on the territory of the enterprise.

Key words: hempcrete, composite gypsum binder, micropuzzolanic additive, microreinforcing additive, organic aggregate, hemp fire, ES models, optimization.