

СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ТЕХНОЛОГІЇ



Кривий Ріг
2017

УДК 691.32
ББК 38.626.1
С89

Рецензенти: **Дерев'яно В. М.** докт. техн. наук, професор, директор інституту екології та безпеки життєдіяльності в будівництві ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»
Нетеса М.І. докт. техн. наук, професор кафедри будівельного виробництва та геодезії Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна

Друкується за рішенням Вченої ради ДВНЗ
«Криворізький національний університет»
(Протокол № 1 від 25.04.2017 р.)

С89 **Сучасні будівельні матеріали та їх технології: Монографія.** / О.С. Шинкевич та ін.; за ред. О.О. Шишкіна - Кривий Ріг: Залозний В.В., 2017. - 282 с.
ISBN 978-966-97083-2-4

Монографію створено науковцями Криворізького національного університету та Одеської державної академії будівництва та архітектури. У монографії викладені результати досліджень нових видів будівельних матеріалів, впливу їх виду та складу на фізико-механічні властивості бетонів і будівельних виробів, отриманих на основі означених матеріалів. Визначено особливості властивостей та технології отримання будівельних матеріалів із застосуванням або на основі відходів і вторинних продуктів промисловості, а також на вапняно-, цементно-, гіпсовміщуючих композиційних в'язучих за низько-енергоємними і екологічно-безпечними технологіями. Доведено, що застосування певних видів відходів і вторинних продуктів промисловості, а також комплексно-активованих композитів з необхідними рівнями властивостей за комплексом показників якості на вапняно-, цементно-, гіпсовміщуючих композиційних в'язучих за низько-енергоємними і екологічно-безпечними технологіями для отримання будівельних матеріалів та виробів має технічну та економічну доцільність.

Призначено для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом «Будівництво», магістрантів, аспірантів, працівників наукових установ, а також фахівців у галузі виробництва будівельних матеріалів і виробів

ISBN 978-966-97083-2-4

УДК 691.32
ББК 38.626.1
© Колектив авторів, 2017
© ФОП Залозний В.В., 2017



ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	5
ЧАСТИНА I. Сучасні будівельні матеріали з використанням перехідних d-елементів.....	10
РОЗДІЛ I.1. Роль перехідних d-елементів у формуванні властивостей в'язучих речовин.....	11
РОЗДІЛ I.2. Вплив залізовміщуючої добавки на міцність цементного каменю.....	19
РОЗДІЛ I.3. Дослідження добавок на основі залізовмісних мінеральних комплексів, а також їх впливу на рухливість розчинної суміші	30
РОЗДІЛ I.4. Вплив комплексного поризатора на основі заліза на властивості газобетону.....	43
РОЗДІЛ I.5. Вплив карбоксиметилцелюлози на міцність цементного каменю, що містить іони заліза.....	53
РОЗДІЛ I.6. Вплив натрій-кальцієвих силікатів, активованих іонами заліза, на властивості гіпсоцементного в'язучого.....	63
РОЗДІЛ I.7. Технологія монолітного пінобетону модифікованого сполуками заліза.....	73
РОЗДІЛ I.8. Фізико-хімічні властивості техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу для виготовлення штучного пористого заповнювача та дослідження його міцнісних і теплофізичних характеристик.....	96
РОЗДІЛ I.9. Властивості бетонної суміші та бетонів на пористих заповнювачах з відходів ГЗК	107
РОЗДІЛ I.10. Вплив властивостей абразиву і кута атаки на шорсткість і межу текучості поверхневого шару металу.....	128
ЧАСТИНА II. Сучасні композиційні матеріали на силікатній матриці зниженої енергоємності.....	137

РОЗДІЛ II.1. Сучасні комплексно-активовані силікатні композиції тепло-вологісного твердіння	138
РОЗДІЛ II.2. Фізико-механічні властивості та характеристики структури силікатних композитів тепло-вологісного твердіння	155
РОЗДІЛ II.3. Теплофізичні властивості ефективних та умовно ефективних виробів на основі силікатних композитів тепло-вологісного твердіння	163
РОЗДІЛ II.4. Дослідження основних властивостей композиційного в'язучого та параметрів механіки руйнування силікатних композитів тепло-вологісного твердіння	281
РОЗДІЛ II.5. Структура та властивості силікатної високорухливої суміші та поризованих композитів тепло-вологісного твердіння на їх основі	200
РОЗДІЛ II.6. Комплексна активація силікатних композитів тепло-вологісного твердіння.....	219
РОЗДІЛ II.7. Ультразвукові дослідження деформаційних властивостей силікатних композитів тепло-вологісного твердіння	231
РОЗДІЛ II.8. Властивості модифікованих дрібнозернистих бетонів, модифікованих органо-мінеральними добавками	243
РОЗДІЛ II.9. Підбір складів та властивості екобетону на органічних заповнювачах	261

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть двадцятого століття ознаменувалися значними досягненнями в технології бетону. У ці роки з'явилися і набули широкого поширення нові ефективні в'язучі, модифікатори для в'язучих і бетонів, активні мінеральні добавки і наповнювачі, волокна, що армують, нові технологічні прийоми і методи отримання будівельних композитів. На рубежі століть істотно збагатилися уявлення про структуру та властивості бетону, про процеси структуроутворення, на новий рівень вийшли фізико-хімічні дослідження, з'явилася можливість прогнозування властивостей і активного управління характеристиками матеріалу, успішно розвивається комп'ютерне проектування бетону і автоматизоване управління технологічними процесами.

Все це дозволило не тільки створити і освоїти виробництво нових видів бетону, але і значно розширити номенклатуру застосовуваних в будівництві матеріалів. Означені комплексні в'язучі речовини переважно містять як мінеральні та органічні компоненти тому мають властивості, які відрізняють їх від «традиційних» мінеральних в'язучих.

Великий діапазон органічних речовин та мінеральних в'язучих, який виробляє промисловість, дозволяє широко варіювати їх поєднання, забезпечуючи різноманітність отриманих композицій. Це, в свою чергу, призводить до необхідності встановити загальні закономірності формування їх властивостей.

Аналіз відомих мінерально-органічних композицій дозволяє, загалом, розділити їх на три типи:

1. мінерально-органічні композиції, при формуванні структури і, як наслідок, фізичних і механічних властивостей яких не відбувається ніякої взаємодії між їх мінеральними і органічними компонентами.

2. мінерально-органічні композиції, формування структури і, як наслідок, фізичних і механічних властивостей яких пов'язане із взаємодією їх мінеральних і органічних компонентів.

3. мінерально-органічні композиції, формування структури

композиції і, як наслідок, фізичних та механічних властивостей яких відбувається через взаємодію між їх мінеральними і органічними компонентами, а також продуктами їх взаємодії.

Основою формування структури мінерально-органічних композицій першого виду, який отримав в даний час, найбільш широкого використання є так зване «Правило превалювання», яке запропонував професор Г.М. Сіверцев. Це правило є основою формування властивостей такого комплексу в'язучих, як в шлаковий цемент, гіпс, цемент та інші в'язучі. Згідно з цим правилом, основу властивостей композицій цього типу створює найбільш активний компонент.

Мінерально-органічні композиції цього виду, мають особливі характеристики:

- один компонент мінерально-органічних композицій або продуктів формування його структури не повинні бути агресивними до іншого компоненту мінерально-органічної композиції або продуктів її структурування;

- найбільш активний компонент з мінеральних та органічних сполук або продукти формування структури мінерально-органічної композиції не повинні впливати на формування структури менш активного компонента;

- продукти формування структури найбільш активного компонента мінерально-органічних композицій не повинні перевищувати обсяг пір, які утворюються під час структурування найбільш активного інгредієнту. В іншому випадку, в матриці, утвореної в ході структурування найбільш активної складової мінерально-органічних сполук, розвиватимуться внутрішні напруження і, як наслідок неоднорідності, які будуть сприяти погіршенню його властивостей;

- повинна забезпечуватися висока адгезія між продуктами структуроутворення всіх компонентів мінерально-органічних композицій.

В даний час широко використовуються з мінерально-органічних комплексів системи «мінеральна складова – органічний полімер» або «мінеральна складова – бітум (дьюготь)». Ці ти-

пи м
зні
ефе
ман
сю
но
ці
се
с
в
і

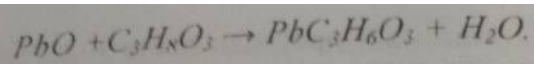


ли мінерально-органічних композицій пройшли достатньо серйозні випробування і знаходяться в експлуатації, що підтвердило їх ефективність. Проте, як відомо, ці типи органічних матеріалів мають недолік – старіння, який супроводжується деполімеризацією полімеру (або) зміною структури (бітумів, смол). Таким чином, термін служби цього типу мінерально-органічних композицій обмежується властивостями органічного компонента.

Таким чином, відомі складні композиції, які включають в себе мінеральні та органічні сполуки, першого роду, мають досить серйозні обмеження в технології їх виробництва та застосування. Це зменшує кількість мінерально-органічних сполук першого типу, які можуть бути отримані на основі їх.

У мінерально-органічних сполук другого типу також є свої особливості. Головна особливість – це міцність і стійкість продуктів взаємодії компонентів означених композицій, а також можливість формування продуктів їх взаємодії, які послаблюють структуру. Мінеральні і органічні сполуки другого типу – це, в першу чергу, кремнійорганічні сполуки. Вони мають багато властивостей, які можуть бути використані для виготовлення та ремонту залізобетонних конструкцій. З цієї точки зору досить високий інтерес викликає питання отримання мінерально-органічних сполук другого типу на основі органічних матеріалів, які полімеризуються за певних умов (зокрема, багатоатомних спиртів). Оскільки відомо, що заміна ненасичених спиртів, таких як вініл, активним гідроксильним воднем або алкідним залишком радикалів кислот, призводить до утворення простих або складних ефірів – достатньо стабільних сполук. Вони легко полімеризуються з утворенням полімерів (наприклад, вініловий спирт перетворюється в полівініловий ефір – стійкий полімерний продукт).

Найбільш відомим представником мінерально-органічних композицій другого типу є цемент на основі тривалентного спирту – гліцерину і оксиду свинцю. Цей цемент протягом декількох годин твердіння досягає межі міцності при стиску до 40,0 МПа і адгезію до сталі до 3,5 МПа, внаслідок утворення гліцерату свинцю - $PbC_3H_6O_3$ за реакцією:



Проте, слід зазначити, що в процесі формування структури цієї мінерально-органічної сполуки відбувається виділення води, що є джерелом структурних дефектів в композиційному матеріалі, і, як наслідок, потенційно обмежує досягнути міцність. Цей же недолік також у мінерально-органічних сполук, які розчиняються у воді.

Ці незручності, очевидно, можуть бути усунені шляхом введення в мінерально-органічні сполуки другого виду «адсорбентів» води. Це речовини, що зв'язують воду, яка вивільняється в ході реакцій між основними компонентами. «Абсорбент» води повинен генерувати маленькі або нерозчинні речовини, що містять значну кількість хімічно зв'язаної води. На підставі цього твердження, встановлено, що використання в мінерально-органічних сполуках, як системах «поліспирт – оксид полівалентного металу», замість оксиду свинцю або разом з оксидом свинцю гіпсу або портландцементу підвищує міцність даної системи. Отриманий композиційний матеріал в 1.5 ... 2,0 рази забезпечує зменшення виділення води. Це третій тип мінерально-органічних композицій.

Об'єктами досліджень, результати яких викладено в монографії, є в'язучі і бетони, які містять іони заліза та вапняно-кремнеземисті композити неавтоклавного твердіння. Зважаючи на це монографію поділено на дві частини.

Основна ідея отримання залізозміщуючих в'язучих полягає у взаємодії іонів заліза з мінералами портландцементу та органічними добавками, а основна ідея отримання силікатних композитів неавтоклавного твердіння полягає в заміні «жорстких» режимів активації кремнеземистих компонентів силікатобетонної суміші в автоклавах за традиційною технологією на комплекс взаємозв'язаних «м'яких» низькоенергоємних та екологічно безпечних режимів активації, які реалізуються за рахунок нанотехнологічних прийомів.

Вступ і розділ І.1 написав Шишкін О.О., розділ І.2. написала Мельниченко Н.П., І.3. написала Астахова Н.В., розділ І.4. на-

писав І
ІІ.6. на
Татаре
написа
розділ
вич О
твом
кови
О.О.
сала
розд
нке
риві
нау

писав Настич О.Б., розділ І.5. написала Герасимова К.В., розділ ІІ.6. написали Щерба В.В. та Гончаренко Н.І., розділ І.7. написав Татаренко М.М. розділ І.8. написав Хильченко О.П., розділ І.9. написав Люльченко Є.В. Розділ І.10. написав Коверніченко Л.М., розділ ІІ.1 написала Шинкевич О.С., розділ ІІ.2 написала Шинкевич О.С., розділ ІІ.3 написав Луцкін Є. С. за науковим керівництвом Шинкевич О.С., розділ ІІ.4. написав Бондаренко Г.Г. за науковим керівництвом Шинкевич О.С., розділ ІІ.5. написав Койчев О.О. за науковим керівництвом Шинкевич О.С розділ ІІ.6 написала Доценко Ю.В. за науковим керівництвом Шинкевич О.С., розділ ІІ.7.написав Чесскій Ю. В. за науковим керівництвом Шинкевич О.С., розділ ІІ.8 написав Тертичний А. А. за науковим керівництвом Шинкевич О.С., розділ ІІ.9 написав Ліннік Д. С. за науковим керівництвом Шинкевич О.С.

РОЗДІЛ 6. КОМПЛЕКСНА АКТИВАЦІЯ ПОРИЗОВАНИХ СИЛІКАТНИХ КОМПЗИТІВ ТЕПЛО-ВОЛОГІСНОГО ТВЕРДІННЯ

Відомою особливістю сучасного будівництва – це його висока енергетичність. Економія енергії сьогодні розглядається як одна з найважливіших проблем, так як енергетичні витрати складають велику частину собівартості кожного виду продукції.

Силікатні бетони та вироби на їх основі відзначаються екологічністю і доступністю сировинних матеріалів, проте поступаються за показниками енергозбереження деяким сучасним матеріалам. Тим не менш, сьогодні попит на силікатні вироби залишається досить високим і перевищує 25% від усіх видів застосовуваних стінових матеріалів і виробів.

На сучасному етапі розвитку будівельного виробництва широко застосовуються різні види активації, яка вважається одним з перспективних методів, що сприяють раціональному використанню ресурсів. У практиці використовуються абсолютно різні види активації, але внесок їх неоднозначний і не до кінця вивчений, тому актуальним є питання вивчення можливостей оцінки впливу різних видів активації на формування властивостей і структури силікатних композитів зниженої енергетичності.

Метою досліджень була оптимізація властивостей активованих дрібнозернистих високорушливих сумішей і силікатних композитів тепло-вологісного твердіння на їх основі шляхом регулювання комплексу різних видів активації. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтувати вибір основних компонентів і домішок для силікатних композитів тепловологісного твердіння, розробити експериментально-статистичні моделі впливу домішок на властивості дрібнозернистих високорушливих сумішей, згідно з якими кількісно оцінити внесок різних видів активації в комплексне
- експериментально підтвердити раціональність застосування комплексу запропонованих різних видів активації і відомі їм синергетичні ефекти.

- проаналізувати закономірності впливу складу суміші і домішок на структуру та властивості силікатних композитів тепловологісного твердіння;

- запропонувати механізм впливу комплексу різних видів активацій і супутніх їм технологічних ефектів на властивості дрібнозернистих високорухливих силікатних сумішей та композитів на їх основі;

- розробити оптимальні склади та технологічний регламент комплексно-активованих композитів тепловологісного твердіння для ефективних і умовно-ефективних стінових виробів за енергозберігаючою литтвовою технологією;

- розрахувати основні техніко-економічні показники.

На першому етапі проведено аналітичний огляд численних досліджень в області технології силікатних матеріалів автоклавного твердіння. Показано, що в перспективі спостерігається перехід до більш низько-енергоємних технологій.

В основу виробництва силікатних бетонів покладено патент Міхаеліса 1880р. Традиційно одержання силікатних матеріалів здійснюється у автоклавах при підвищеній температурі і тиску. Аналіз літературних джерел показав, що виробництво автоклавних силікатних матеріалів в основному базується на технологіях пресування. Висока щільність композитів на дрібнозернистих сумішах обумовлює їх високу теплопровідність. Цей факт був частково виправлений розвитком виробництва газо- і піносилікатів, проте це теж матеріали автоклавного твердіння.

У численних розробках силікатних матеріалів застосовувалося впровадження в практику різних видів активацій і способів їх реалізації: термічна і її різновиди - Е.Р. Козаков, В.А. Матвієнко, Н.Н. Зайченко, С.А. Щербак; хімічна - за рахунок добавок різного виду і призначення - П.П. Будніков, А.В. Волженский, Л.М. Хавкін та ін.; лужна і лужноземельна - за рахунок введення компонентів і добавок, які підвищують лужність середовища - С.А. Кржемінський, Н.А. Нікітін, Л.Н. Рашкович та ін; механічна і механохімічна обробка - спеціальні способи помелу окремих компонентів - В.А. Хінт, Б.К. Буткевич, І.В. Барабаш [1], С.В. Федо-

ркін, О.Ю. Крот; за рахунок контактного твердіння - В.Д. Глуховський [2], Р.Ф. Рунова [3].

До відомих недоліків силікатних матеріалів відноситься: низька водо- і вогнестійкість і недостатня довговічність. За даними О.П. Мчедлова-Петросяна, В.І. Бабушкіна [4] - оптимальні значення рН, які забезпечують високу воздухо- і морозостійкість і довговічність автоклавних силікатних бетонів, повинні знаходитися в межах від 11.5 до 12.5. Й. Штарк, Б. Вихт [5], Е.Г. Аввакумов [6] також вважають, що середовище при $\text{pH} > 11.5$ сприяє збільшенню стійкості силікатного каменю і забезпечує високу якість матеріалів, відзначаючи при цьому, що при $\text{pH} > 12.5$ можуть прискорюватися процеси карбонізації. Те ж саме відмічено у роботах П.В. Кривенко [7], К.Е. Пушкарьової. Коригування кислотно-лужного балансу суміші може здійснюватися введенням луговмісних добавок. Цей аспект активації відображений у працях: Р.Ф. Рунової [3], В.Д. Глуховського [2], А.Н. Пługіна, А.А. Пługіна, Л.І. Дворкіна [8], О.С. Файвусовича, Н.Р. Рахімової, О.О. Шишкіна [9] та ін. Однак питання про величину водневого показника середовища, яка позитивно впливає на стійкість гідросилікатів кальцію і властивості бетонів різних видів, залишається відкритим, що може бути свідченням того, що для різних видів бетонів верхні і нижні межі рН можуть відрізнятися.

На підставі проведеного аналізу була сформульована гіпотеза: можна припустити, що регулювання комплексом різних видів активацій і супутнім їм технологічним ефектів, що реалізуються за литтвовою технологією для високорухливих дрібнозернистих сумішей, дозволить отримувати силікатні композити зниженої енергоємності з підвищеними властивостями.

На наступному етапі проведено аналіз кількісної оцінки вкладів окремих видів активацій і супутніх їм технологічних ефектів в комплексну по експериментально-статистичним (ЕС) моделям з урахуванням взаємодій компонентів між собою. Комплексна активація являє собою послідовний цикл різних видів активацій і включає механічну, механохімічну, хімічну, лужноземельну, лужну, сульфатну та термоактивації [10].

Для вирішення поставленого завдання було реалізовано 12 експериментів, серії яких відрізнялися видом компонентів (пісок/трепел), видом обробки (механохімічна активація сухих компонентів і у водному середовищі) суміші, видом вапна і наявністю луговмієних добавок. У дубльованих експериментах варіювалися одні і ті ж самі фактори і параметри виходу, які були основним предметом аналізу. За результатами цих експериментів побудовані ЕС моделі. В якості основних контрольованих показників у дослідженні використані водневий показник рН і активність А сумішей. Основні відомості представлені в таблиці П.6.1.

Для визначення впливу хімічної активації за рахунок заміни молотого піску трепелом на рН і А було проведено 2 експерименти на вапняно-кремнеземистих і вапняно-трепельних в'язучих з різними питомими поверхнями кремнеземистих компонентів за 24-точковим 6-факторним планом.

В якості трьох незалежних факторів в експериментах варіювалися вміст добавок луку - $C_d=(0,5\div 1)\%$, рідкого скла - $C_{р.с.}=(1\div 5)\%$ і гіпсу - $C_g=(2\div 4)\%$. У якості трьох залежних факторів фіксувалася площа питомої поверхні $S_{пит}$ окремо трепелу і окремо піску на одних і тих же рівнях: 400, 500 і 600 м²/кг.

За результатами двох експериментів були розраховані ЕС-моделі і побудовані діаграми, які описують зміну абсолютних активностей сумішей на піску (рис. П.6.1а), трепелі (рис. П.6.1б) і зміну відносної активності суміші за рахунок заміни піску трепелом (рис. П.6.1в) [11]. В залежності від виду кремнеземистого компонента, активність сумішей змінюється: на трепелі – у 1,6 рази, на піску – у 1,25 рази. В результаті, за рахунок заміни піску трепелом, активність суміші може бути збільшена до 3-х разів (рис. П.6.1в). Помел трепелу дозволяє додатково регулювати активність суміші [12,13].

З викладеного випливає, що хімічна активація у вигляді заміни піску трепелом є ефективним способом підвищення активності сумішей і, як технологічний прийом, частково сприяє зниженню енергоємності виробництва.

Таблиця П.6.1. - Оцінка впливу різних видів активацій на активність А і водневий показник рН сумішей

Розшифровка умовних позначень		Умовні позначення $\Delta \text{pH}, \Delta A, \delta(\text{pH})$	$S_{\text{тр}} \text{ м}^2 \text{ кг трепалу (піску)}$		
			400	500	600
1	Активність піску немолотого - $A_{\text{пн}}$	$A_{\text{пн}}/\text{pH}$	38 5,21		
Механохімічна активація сухих компонентів (механічний помел)					
1	Активність трепалу молотого - $A_{\text{тр}}$	$A_{\text{тр}}/\text{pH}$	132	146 5,64	152
2	Активність піску молотого - $A_{\text{пс}}$	$A_{\text{пс}}/\text{pH}$	51	53 5,21	58
Хімічна активація					
1	Відносна зміна активності за рахунок заміни піску трепалом - $\delta A_{\text{тр}} = A_{\text{тр}} - A_{\text{пн}}$	$\delta A_{\text{тр}}/\delta(\text{pH})$	3,0	2 8 1,1	2,6
Механохімічна активація суміші на трепалі					
1	Відносна зміна $A_{\text{тр}}$ за рахунок МХ обробки - $\delta A_{\text{тр}}^{\text{МХ}} = A_{\text{тр}}^{\text{МХ}} - A_{\text{тр}}$	$\delta A_{\text{тр}}^{\text{МХ}}/\delta(\text{pH})$	1,34	1,3 1	1,25
1.1	$A_{\text{тр}}$ після МХ обробки - $A_{\text{тр}}^{\text{МХ}}$	$A_{\text{тр}}^{\text{МХ}}/\text{pH}$	192	186 5,64	191
Механохімічна активація суміші на піску					
1	Відносна зміна $A_{\text{пс}}$ за рахунок МХ обробки - $\delta A_{\text{пс}}^{\text{МХ}} = A_{\text{пс}}^{\text{МХ}} - A_{\text{пс}}$	$\delta A_{\text{пс}}^{\text{МХ}}/\delta(\text{pH})$	1,51	1,63 1,03	1,42
1.1	$A_{\text{пс}}$ після МХ обробки - $A_{\text{пс}}^{\text{МХ}}$	$A_{\text{пс}}^{\text{МХ}}/\text{pH}$	68	72 5,26	70
2	Відносна зміна $A_{\text{пн}}$ за рахунок МХ обробки - $\delta A_{\text{пн}}^{\text{МХ}} = A_{\text{пн}}^{\text{МХ}} - A_{\text{пн}}$	$\delta A_{\text{пн}}^{\text{МХ}}/\delta(\text{pH})$	1,16 1,03		
2.1	$A_{\text{пн}}$ після МХ обробки - $A_{\text{пн}}^{\text{МХ}}$	$A_{\text{пн}}^{\text{МХ}}/\text{pH}$	44 5,26		
Лужноземельна активація					
1	Відносна зміна $A_{\text{пн}}$ за рахунок зміни вмісту вапна - $\delta A_{\text{пн}}^{\text{В}} = A_{\text{пн}}^{\text{В}} - A_{\text{пн}}$	$\delta A_{\text{пн}}^{\text{В}}/\delta(\text{pH})$	1,1	1,04 1,05	1,07
1.1	Активність в лужного (В=20%) - $A_{\text{пн}}^{\text{В-20\%}}$	$A_{\text{пн}}^{\text{В-20\%}}/\text{pH}$	145,9	134,8 9,8	140,9
1.2	Активність в лужного (В=10%) - $A_{\text{пн}}^{\text{В-10\%}}$	$A_{\text{пн}}^{\text{В-10\%}}/\text{pH}$	132,8	130,7 9,5	132
2	Відносна зміна активності за рахунок зміни вмісту вапна - $\delta A_{\text{пн}}^{\text{В}} = A_{\text{пн}}^{\text{В}} - A_{\text{пн}}$	$\delta A_{\text{пн}}^{\text{В}}/\delta(\text{pH})$	1,18	1,11 1,1	1,16
2.1	$A_{\text{пн}}$ на гашеному вапні (В=20%) - $A_{\text{пн}}^{\text{В}}$	$A_{\text{пн}}^{\text{В}}/\text{pH}$	123,6	121,9 9,1	121,2
Лужна активація					
1	Відносна зміна $A_{\text{пн}}$ за рахунок введення добавки рідкого скла - $\delta A_{\text{пн}}^{\text{РС}} = A_{\text{пн}}^{\text{РС}} - A_{\text{пн}}$	$\delta A_{\text{пн}}^{\text{РС}}/\delta(\text{pH})$	1,18	1,26 1,3	1,21
1.1	$A_{\text{пн}}$ з добавкою рідкого скла - $A_{\text{пн}}^{\text{РС}}$	$A_{\text{пн}}^{\text{РС}}/\text{pH}$	170,4	169,5 10,6	169,6
2	Відносна зміна $A_{\text{пн}}$ за рахунок введення добавки луго - $\delta A_{\text{пн}}^{\text{Л}} = A_{\text{пн}}^{\text{Л}} - A_{\text{пн}}$	$\delta A_{\text{пн}}^{\text{Л}}/\delta(\text{pH})$	1,25	1,33 1,32	1,27
2.1	$A_{\text{пн}}$ з добавкою луго - $A_{\text{пн}}^{\text{Л}}$	$A_{\text{пн}}^{\text{Л}}/\text{pH}$	179,3	179,4 10,9	178,7
3	Відносна зміна $A_{\text{пн}}$ за рахунок спільного введення лужових добавок - $\delta A_{\text{пн}}^{\text{ЛВ}} = A_{\text{пн}}^{\text{ЛВ}} - A_{\text{пн}}$	$\delta A_{\text{пн}}^{\text{ЛВ}}/\delta(\text{pH})$	1,26	1,33 1,36	1,25
3.1	$A_{\text{пн}}$ з добавками рідкого скла і луго - $A_{\text{пн}}^{\text{ЛВ}}$	$A_{\text{пн}}^{\text{ЛВ}}/\text{pH}$	182	176,5 12,1	177,3

*- у таблиці представлені максимальні значення А, рН

На наступному етапі проведено оцінку впливу на рН і А сумішей механохімічної (МХ) обробки, яка здійснюється у водному середовищі змішувача-активатора. Вплив МХ обробки оцінювався як відношення значень активностей і водневих показників МХ активованих сумішей до відповідних значень А і рН МХ

необработанных сумішей [13]. За аналогією з попереднім етапом, за результатами експериментів були розраховані ЕС моделі, аналіз яких показав, що МХ обробка несуттєво впливає на величину рН сумішей.

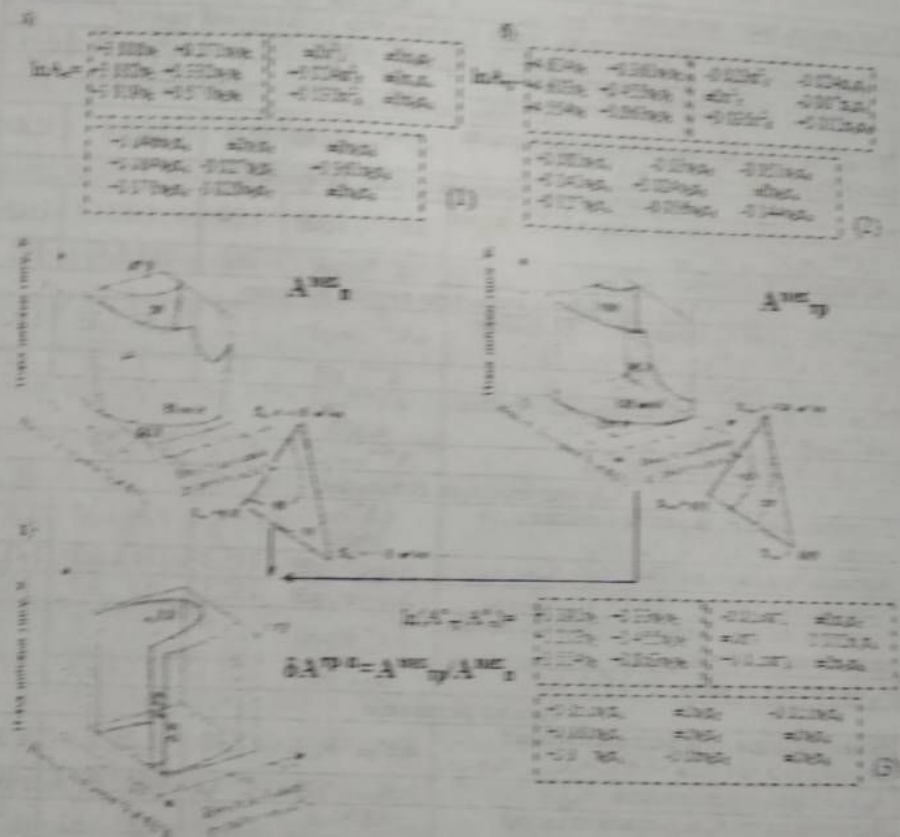


Рис. 2.6.1. Зміна абсолютних значень активностей необроблених в змішувачі-активаторі сумішей: а) на піску, б) на трепелі з різною $S_{\text{пел}}$ цих компонентів, в) зміна відносної активності суміші за рахунок заміни піску трепелом.

За рахунок повної заміни піску трепелом активність ($A_{\text{пел}}$) МХ оброблених сумішей максимально збільшується до 2,1 рази, а неактивованих, як було показано раніше, – до 3-х разів. Абсолютне значення $A_{\text{пел}}$ МХ оброблених сумішей, порівняно з необробленими також збільшується менше на трепелі ніж на піску: на трепелі – до 34% і на піску - до 63%.

З викладеного випливає, що заміна піску трепелом ефективніше для необроблених сумішей, ніж для МХ оброблених, так як заміна піску трепелом істотніше впливає на величини активностей, ніж МХ обробка. Але реалізувати заміну піску трепелом можливо тільки в умовах МХ обробки, яка забезпечує можливість введення трепелу натомість частини меленого піску без підвищення водотвердого відношення в результаті зниження в'язкості суміші.

Таким чином, отримані результати показують, що, якщо повна заміна піску трепелом підвищує активність суміші до 3-х разів, то часткова заміна піску трепелом, передбачена даною технологією, підвищує активність суміші без лужної і лужноземельної активації - до 1,5 разів, кислотно-лужний баланс при цьому характеризується значенням рН - 5,2-5,6.

В роботі для підвищення лужності середовища використаний важливий технологічний прийом - заміна гашеного вапна на негашене. Порівняльний аналіз активностей сумішей на гашеному та негашеному вапні показав, що активність в'язучого на негашеному вапні порівняно з активністю в'язучого на гашеному вапні відрізняється на 11-18% при однаковому його вмісті (табл. П.6.1). Застосування негашеного вапна натомість гашеного і збільшення його вмісту до двох разів у в'язучому призводить до підвищення рН з 9,1 до 9,8. Таким чином, лужноземельна активація, яка здійснюється за рахунок заміни виду вапна, не забезпечує рекомендованого рівня значень $\text{pH} \geq 11,5$.

Ці результати послужили обґрунтуванням для проведення лужної активації. Для підвищення рН сумішей введені добавки луговмісного рідкого скла і луги. Аналіз їх впливу на рН показав, що саме спільне використання цих двох добавок забезпечує необхідне значення водневого показника $\text{pH} \geq 11,5$.

Аналіз кількісної оцінки вкладів різних видів активацій в комплексну показав їх взаємовплив та взаємозв'язок між собою. Як випливає з вищевикладеного, МХ активація як технологічний прийом робить істотний вплив на властивості суміші. МХ актива-

ція сприяє підвищенню активності суміші до 3 разів і можливості гомогенізації і зниження в'язкості виготовленої суміші до 1,5 разів. Роль МХ обробки проявляється також в можливості реалізації важливих технологічних ефектів, які супроводжують даний вид активації. МХ обробка також створює умови для проведення ряду наступних технологічних операцій: забезпечує можливість введення трепелу і дрібнозернистого заповнювача для проведення спільної активації без підвищення водотвердого відношення; застосування негашеного вапна та збільшення його вмісту в в'язучому; введення лужних добавок в підвищених кількостях.

На наступному етапі проаналізовано основні технологічні процеси і супутні їм ефекти, які створюють необхідні умови для забезпечення повного циклу комплексної активації.

Комплексна активація здійснюється реалізацією різних технологічних прийомів і операцій, які обумовлюють перебіг механо-хімічних, хімічних, фізико-хімічних, термічних та інших процесів, пов'язаних із взаємодією компонентів суміші з урахуванням супутніх їм явищ. Супутні основним технологічним прийомам та операціям процеси та явища чинять істотний вплив на властивості суміші та силікатних композитів (рис. П.6.2).

Механізм впливу комплексу різних видів активацій і супутніх їм технологічних процесів на структуру та властивості силікатних композитів тепло-вологісного твердіння (ТВТ) на основі дрібнозернистої високорухняної вапняно-кремнеземистої суміші, модифікованої лужними, луговмісними добавками полягає в такому. Різні види і способи активації вносять різний внесок у комплексну, супроводжуються своїми важливими позитивними технологічними ефектами, які обумовлюють можливість проведення комплексної активації [14]. Причому, внесок окремих видів активації повинен оцінюватися не тільки величинами A і pH сумішей, але і супутніми технологічними ефектами, які супроводжують даний вид активації і забезпечують можливість реалізації наступних видів активації. Аналіз впливу технологічних процесів і супутніх їм ефектів та оцінка їх ролі в загальному процесі активації показав, що всі явища та процеси взаємопов'язані і являють со-

бою комплекс. Таким чином, регулюючи внесок різних видів активацій в комплексну з урахуванням супутніх їм технологічних ефектів, можна цілеспрямовано регулювати властивості сумішей і композитів на їх основі.

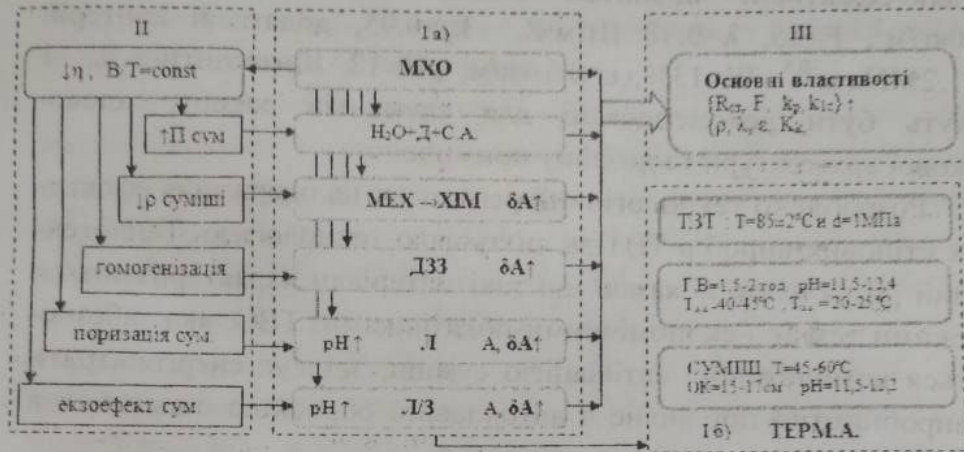


Рис. П.6.2. Схема взаємного впливу технологічних операцій, що реалізуються у вигляді комплексу різних видів активацій і викликаних ними супутніх процесів та явищ, на властивості. І (а, б) – різні види активацій, які утворюють комплекс; ІІ – процеси та явища, які супутні технологічним операціям и прийомам; ІІІ – вплив основних і супутніх процесів та явищ на зміну рівнів властивостей композитів.

Далі була проведена багатокритеріальна оптимізація складів комплексно-активованих силікатних композитів ТВТ на основі досліджених раніше властивостей. Оптимізаційна задача полягала в наступному: отримати умовно-ефективні та ефективні стінові матеріали та вироби нормованих марок по щільності, міцності, морозостійкості, усадки з поліпшеними фізико-механічними і будівельно-експлуатаційними властивостями з урахуванням тріщино-, карбонізаційної стійкості, усадки і значень водневого показника середовища. На підставі проведених досліджень розроблено оптимальні склади, які забезпечують одержання стінових виробів з поліпшеними властивостями. Ефективні повнотілі бло-

ки: R_{ct} -B10, $\rho=1350-1400$ кг/м³, F50, $\lambda=0.33$ Вт/м·К, $k_p=1$; додаткові критерії якості: $k_{1c}=1,5$ МПа·м^{-0.5}, W=12%, $\varepsilon=0,3$ мм/м, pH \approx 12. Пустотілі блоки: R_{ct} -B7,5, $\rho=1250$ кг/м³, F50, $\lambda=0.3$ Вт/м·К, $k_p=1$; додаткові критерії: $k_{1c}=1,3$ МПа·м^{-0.5}, W=12%, $\varepsilon=0,2$ мм/м, pH \approx 12. Умовно-ефективні повнотілі блоки: R_{ct} -B12.5-15, $\rho=1450-1550$ кг/м³, F \geq 35, $\lambda=0.38$ Вт/м·К, $k_p=0.95$, додаткові критерії: $k_{1c}=1,2$ МПа·м^{-0.5}, W=13%, $\varepsilon=0,3$ мм/м, pH \approx 12. Композити з $k_p=1$ можуть бути рекомендовані для елементів декору садово-паркової архітектури та дизайну приміщень.

Розроблено технологічний регламент на одержання ефективних стінових виробів ТВТ за литьовою технологією. Теплотехнічний розрахунок показав, що такі матеріали характеризуються високими техніко-економічними показниками: ТВО, яка забезпечується комплексною активацією суміші, знижує енерговитрати на виробництво порівняно з автоклавної обробкою більш ніж в 2,5 рази.

Таким чином. Обґрунтовано раціональність застосування комплексу різних видів активацій дрібнозернистих високорухливих сумішей, модифікованих добавками, для виробництва силікатних композитів ТВТ з поліпшеними властивостями. Обґрунтовано вибір основних компонентів і добавок для силікатних композитів ТВТ. Розраховані ЕС моделі та проаналізовано можливість регулювання активності і величини водневого показника суміші за рахунок зміни вкладів різних видів активацій. Дана кількісна оцінка вкладів різних видів активацій в комплексну. Визначено можливі інтервали регулювання активності і величини pH сумішей. Встановлено, що різні види активації по-різному впливають на активність і величину pH сумішей. Показано, що різні види і способи активації взаємозв'язані між собою і супроводжуються важливими технологічними ефектами, які взаємообумовлюють можливість проведення комплексної активації. Внесок окремих видів активацій повинен оцінюватися не тільки величинами активності, показника pH і температури сумішей, але і супутніми технологічними ефектами, які супроводжують даний вид активації і забезпечують можливість реалізації наступних видів активації.

Запропоновано механізм впливу комплексу різних видів активації і супутніх їм технологічних ефектів на структуру та властивості силікатних композитів ТВТ на основі дрібнозернистої високо-рухливої суміші, модифікованої добавками. Аналіз впливу технологічних процесів і супутніх їм ефектів та оцінка їх ролі в загальному процесі активації показав, що всі явища та процеси взаємопов'язані і являють собою комплекс.

Рекомендовані оптимальні склади, які забезпечують отримання композитів з поліпшеними фізико-механічними і будівельно-експлуатаційними властивостями: ефективні повнотілі блоки: $R_{cr}-B10$, $\rho=1350-1400$ кг/м³, F_{50} , $\lambda=0.33$ Вт/м·К, $k_p=1$; додаткові критерії якості: $k_{ic}=1,5$ МПа·м^{-0,5}, $W=12\%$, $\varepsilon=0,3$ мм/м, $pH\approx 12$. Пустотілі блоки: $R_{cr}-B7,5$, $\rho=1250$ кг/м³, F_{50} , $\lambda=0.3$ Вт/м·К, $k_p=1$; додаткові критерії: $k_{ic}=1,3$ МПа·м^{-0,5}, $W=12\%$, $\varepsilon=0,2$ мм/м, $pH\approx 12$. Умовно-ефективні повнотілі блоки: $R_{cr}-B12.5-15$, $\rho=1450$ кг/м³, $F\geq 35$, $\lambda=0.38$ Вт/м·К, $k_p=0.95$, додаткові критерії: $k_{ic}=1,2$ МПа·м^{-0,5}, $W=13\%$, $\varepsilon=0,3$ мм/м, $pH\approx 12$.

Розроблено технологічний регламент на отримання ефективних стінових ТВТ за литвювою технологією. Техніко-економічний розрахунок показав, що виробництво виробів даного виду характеризується високими техніко-економічними показниками: ТВО знижує енерговитрати на виробництво порівняно з автоклавною обробкою більш ніж в 2,5 рази.

Посилання за розділом

1. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин: Навчальний посібник. – Одеса, – 2002. – 100с.
2. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. – Киев: Будівельник, 1978. – 184 с.
3. Рунова Р.Ф., Шейнич Л.О., Гелевера О.Г., Гоц В.І. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів. – Київ, 2002. – 321с.
4. Бабушкин В.И., Мчедлов-Петросян О.П. Силикатные водостойкие изделия. – Киев, 1962. – 100с.

5. Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона / Пер. с нем. – Тула-ганова А., Под. ред. Кривенко П.В. – Киев, 2004. – 301с.
6. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 263с.
7. Кривенко П.В. Скурчинская Ж.В., Сидоренко Ю.А. Шлакощелочные вяжущие нового поколения // Цемент. 1991. – №11-12. – С. 4-8.
8. Дворкин Л.И., Кизима В.П. Эффективные литые бетоны. – Львов: В.шк., 1986. – 144с.
9. Шишкин А. А., Астахова Н. В. Активированные вяжущие вещества и бетоны на их основе. – Кривой Рог, Изд-во “Минерал” АГНУ, 2001. – 104с.
10. Розвиток наукових основ отримання вапняно-кремнеземистих будівельних композитів неавтоклавного твердіння: [автореф. дис. д.т.н. 05.23.05] / О.С. Шинкевич. – Одеса, 2008. – 32с.
11. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении / Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. – Одесса:Астропринт, 2006. –116с.
12. Доценко Ю.В. Влияние удельной поверхности кремнеземсодержащего компонента на кинетику структурообразования известково-кремнеземистых дисперсных систем/ Е.С. Шинкевич, Ю.В. Доценко// Вісник ОДАБА. – Вип. 57, Ч.1. – Одеса, 2015. – С.39-48.
13. Доценко Ю.В. Количественная оценка влияния на активность комплексно-активированных дисперсных систем отдельных видов активации / Ю.В. Доценко, Е.С. Шинкевич, Н.В. Сидорова // Вісник ОДАБА. – Вип.60. – Одеса, 2015. – С.96-103.
14. Шинкевич Е.С. Возможности реализации механохимических явлений в производстве строительных силикатных композитов /Е.С. Шинкевич, Е.С. Луцкин, Ю.В. Доценко //Вісник НТУ «ХПІ»-Харків,2009.–Вип.№45.– С.98-104.

Наукове видання

Шишкін Олександр Олексійович
Пинкевич Олена Святославівна
Люльченко Євген Вікторович
Настич Олег Борисович
Герасимова Катерина Варфоломійівна
Мельниченко Наталя Петрівна
Щерба Володимир Вікторович
Гончаренко Надія Іванівна
Астахова Наталя Валентинівна
Коверніченко Леонід Миколайович
Хільченко Олександр Павлович
Луцкін Євген Сергійович
Койчев Олександр Олександрович
Бондаренко Георгій Григорович
Ческий Юрій Володимирович
Тертичний Андрій Андрійович
Ліннік Дмитро Сергійович
Доценко Юлія Валеріївна

Сучасні будівельні матеріали та їх технології

Видавник:
ФОП Залозний В.В.
Науковий редактор О.О. Шишкін
Оригінал-макет надано авторами.

Підписано до друку 24.04.2017
Формат 60x84 1/16 Папір офсетний
Ум. друк. лист. 15,75. Наклад 350 прим.
Замовлення 77

Видавник ФОП Залозний В.В.
адреса: Україна, 50049, Кривий Ріг, вул.Покровська 28/106
Свідоцтво про внесення до державного реєстру,
серія ДП №133-р від 09.07.2007 р.