

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 666.97

**МОДИФІКОВАНІ ЗОЛОВМІСНІ СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ
ДЛЯ ТОНКОШАРОВОЇ КЛАДКИ**

І.М. Риженко

До найбільш актуальних проблем будівельного комплексу України відноситься зниження енергоємності матеріалів і виробів, зменшення витрати дорогих матеріальних ресурсів, до яких відноситься у першу чергу портландцемент, підвищення якості та культури будівельних робіт. Зниження енергоємності найбільш масових будівельних матеріалів – бетонів та розчинів – досягається комплексом технологічних заходів, у тому числі і широким застосуванням такої ефективної техногенної сировини, як зола-виносу. До прогресивних напрямів застосування золи-виносу відноситься використання її у сухих будівельних сумішах (СБС). У композиції з іншими дисперсними мінеральними, а також хімічними добавками з'являється можливість отримання ефективних золівмісних сухих сумішей.

Мурувальні розчини є одними з найбільш масових у будівництві. Введенні вапна у цементно-піщані розчини для підвищення їх пластичності та водутримуючої здатності не приводить до суттєвого зменшення витрати цементу, ускладнює технологію та обмежує область застосування мурувальних розчинів. Звичайні вапняно-цементні розчини не дозволяють забезпечити тонкий клейовий шов при кладці із застосуванням стінових каменів та блоків з ніздрюватих бетонів. Розв'язати задачу отримання сухих мурувальних сумішей для тонкошарової кладки з використанням енергоефективних стінових матеріалів та з пониженою витратою цементу дозволяє застосування композиції золи-виносу та модифікуючих хімічних добавок.

Модифікування цементно-зольних розчинів хімічними та мінеральними добавками

У даній роботі для забезпечення необхідної якості цементно-зольних мурувальних розчинів з широким діапазоном їх можливого застосування розглядається можливість їх модифікування поліфункціональними модифікаторами трьох типів:

- на основі суперпластифікатора та повітровтягуювальної добавки (ПФМ₁);
- на основі суперпластифікатора та водоутримуючої добавки (ПФМ₂);
- на основі суперпластифікатора та вапняно-карбонатного наповнювача (ПФМ₃).

На основі аналізу праць багатьох дослідників [1, 2, 3] можна зробити висновок, що введення золи-виносу ТЕС та карбонатного наповнювача є ефективним напрямком зниження витрати в'язучих і регулювання будівельно-технічних властивостей розчинів. Відповідно до розробленої теорії цементних бетонів та розчинів з активними мінеральними наповнювачами властивості наповнених цементних систем є результатом синтезу хімічних, фізико-хімічних і фізико-механічних впливів на різних рівнях їх структури, у яких наповнювач бере найактивнішу участь. Ефективність добавок-наповнювачів в цементних розчинах і бетонах суттєво збільшується при введенні добавок ПАР. Зокрема, у роботах [2, 4] показана ефективність спільного введення в бетонні суміші добавок-наповнювачів і суперпластифікаторів. Крім зменшення міжфазної поверхневої енергії при створенні адсорбційно активного середовища, що позитивно позначається на величині адгезійних контактів, ПАР також виконують дефлокуючий вплив на високодисперсні золи, схильні до агрегування.

Поряд з доданнями ПАР показана можливість модифікування розчинів і бетонів, наповнених золою й іншими порошками, полімерними добавками. Розчини і бетони з добавками неполярних полімерів мають меншу проникність і високу стійкість при насиченні водою та іншими рідинами, зокрема хімічно агресивними речовинами. Зниження пористості і наповнення пор полімерами, а також втягненим повітрям приводить до підвищення морозостійкості розчинів і бетонів.

Значний інтерес для мурувальних золівмісних розчинів становить також введення карбонатного наповнювача (КН), доцільність якого базується насамперед на відомих теоретичних уявленнях В.М. Юнга про цементний камінь як "мікробетон". Окрім того, карбонати кальцію

взаємодіють з алюмовмісними клінкерними мінералами, утворюючи комплексні з'єднання типу $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Таким чином, введення золи-виносу у поєднанні з іншими хімічними та мінеральними добавками-модифікаторами дозволяє виготовляти ефективні сухі суміші для мурувальних та інших будівельних розчинів. Серед актуальних напрямків технології СБС для мурувальних розчинів можна виділити:

- забезпечення необхідних властивостей при зменшеній витраті цементу без додаткового введення вапна;
- розробку складів розчинів, які забезпечують тонкошарове нанесення у вигляді клею при монтажі стін із блоків з ніздрюватого бетону та інших виробів.

Дослідження технологічних та експлуатаційних властивостей модифікованих цементно-зольних сумішей

Для вирішення поставлених вище завдань було розроблено блок-схему досліджень, яка включала чотири етапи.

1. Дослідження впливу добавок-модифікаторів на реологічні властивості, гідратацію і структуроутворення цементно-зольних та цементно-зольно-карбонатних паст.
2. Дослідження впливу зольного і золакарбонатного наповнювачів та добавок-модифікаторів на властивості розчинових сумішей.
3. Дослідження експлуатаційних властивостей мурувальних розчинів на основі модифікованих золовмісних СБС.
4. Дослідження властивостей, які визначають довговічність золовмісних мурувальних розчинів. Промислова апробація отриманих результатів.

При проведенні досліджень використані такі матеріали:

- портландцемент ПЦ-І М500 Здолбунівського ВАТ “Волинь-цемент” (питома поверхня $295\text{...}310 \text{ м}^2/\text{кг}$, НГ=26,1...26,4%);
- зола-виносу Бурштинської ТЕС з питомою поверхнею $275\text{...}305 \text{ м}^2/\text{кг}$, НГ=25,1...27,2%, вмістом вільного СаО 2,5...3,0%;
- карбонатний наповнювач - пил обертових печей з випалу вапна ВАТ “Любомирський ВСЗ”, який містить карбонат та оксид кальцію. Активність пилу за вмістом активних СаО + MgO знаходиться в межах 30...35 %, час гасіння 15...20 хв, прохід через сито № 002 - не менше 85 %;
- кварцовий пісок з родовищ Славутського району Хмельницької обл. – Нетішинського та Сільце, з модулем крупності 1,42 та 1,69;
- порошкоподібний суперпластифікатор “Поліпласт СП-3” нафталінформальдегідного типу;
- суху порошкоподібну повітровтягувальну добавку “Міх-ДН” – суміш синтетичних повітровтягувальних компонентів та натрієвих солей абієтинової кислоти;
- водоутримуючу добавку - метилгідроксиетилцелюлозу Tylose MN 15002P6.

Реологічні властивості сумішей оцінювали за зміною нормальної густоти та ефективної в'язкості цементних та цементно-зольних паст під дією ПФМ. Як у цементних, так і в цементно-зольних пастах найбільше зниження НГ і в'язкості досягається при переважанні в складі ПФМ усіх типів суперпластифікатора. При цьому найбільше зменшення в'язкості (майже у 3 рази) досягається для цементних паст при вмісті СП-3, рівному 0,7% маси цементу. Для цементно-зольних паст при такому ж вмісті суперпластифікатора в'язкість зменшується лише в 1,5...2 рази.

Повітровтягувальна добавка дещо збільшує нормальну густоту, однак зменшує в'язкість паст, хоча і значно менше, ніж суперпластифікатор. Сумісне введення СП-3 і повітровтягувальної добавки викликає близький до адитивного ефект зменшення в'язкості цементно-зольних паст.

Добавка Tilosa викликає суттєвий ефект збільшення як $K_{н.г.}$, так і в'язкості цементно-зольних паст. Збільшує нормальну густоту та в'язкість паст при $V/C=\text{const}$ також добавка вапняно-карбонатного наповнювача. Привертає до себе увагу наявність певних ефектів взаємодії впливу компонентів ПФМ. Зокрема, із збільшенням вмісту ЕЦ чи карбонатного наповнювача вплив суперпластифікатора СП-3 проявляється сильніше.

Зола-виносу при постійному V/C , збільшуючи загальну концентрацію в пастах дисперсної фази і зменшуючи водов'язуче відношення при $V/C=\text{const}$, закономірно викликає підвищення в'язкості. Проте цей ефект значною мірою згладжується з введенням добавок ПФМ, і особливо

при переваженні в останніх суперпластифікатора.

Найбільш суттєве зниження водопотреби розчинових сумішей має місце при переважанні у їх складі суперпластифікатора СП-3. Повітровтягувальна добавка, будучи слабшим пластифікатором ніж СП-3, у композиції з останнім проявляє значний пластифікуючий ефект. Синергетичний пластифікуючий ефект суперпластифікатора СП-3 та повітровтягувальної ПАР можна пояснити різним механізмом їх розріджуючої дії. У механізмі дії суперпластифікатора СП-3, як відомо, переважає ефект електростатичного відштовхування частинок цементу. Пластифікуюча дія повітровтягувальних ПАР зумовлена, в основному, ефектом змачення повітряної емульсії, яка суттєво збільшує здатність системи деформуватись при прикладанні до неї зовнішніх зусиль. Об'єднання у ПФМ вказаних механізмів пластифікуючої дії його складових дозволяє забезпечити відповідний розріджуючий ефект.

Добавка ЕЦ будучи загущувачем цементних і цементно-зольних паст приводить до певного збільшення їх водопотреби. При введенні ПФМ, який містить поряд з ЕЦ суперпластифікатор СП-3, водопотреба сумішей зменшується, однак “загущуючий” ефект ЕЦ відчувається у всьому дослідженому діапазоні зміни вмісту СП-3.

Введення вапняно-карбонатного наповнювача до складу ПФМ також приводить до збільшення водопотреби розчинових сумішей, однак завдяки введенню суперпластифікатора вдається значним чином нівелювати різницю у водопотребі сумішей з КН та без нього.

Мінімальне водовідділення суміші спостерігається при введенні добавки ЕЦ. Збільшенням вмісту СП-3 і, відповідно, зменшенням $K_{н.г}$ у сумішах зі всіма видами ПФМ тенденція до водовідділення зростає. Разом з тим, введення до складу ПФМ повітровтягувального компонента, і особливо ефірів целюлози, дозволяє цю тенденцію знівелювати і забезпечити достатню седиментаційну стійкість сумішей. Приблизно оцінити кількість води, яка утримується модифікованими цементно-зольними сумішами можна за залежністю

$$V_{ут} = (1,35...1,65)K_{н.г} (Ц+3) + V_{п.П} + KР_{мод},$$

де $R_{мод}$ – параметр, який для досліджених ПФМ оцінюється вмістом ПД та ЕЦ.

На повітровміст досліджених цементно-зольних паст впливає вміст як золи, так і усіх компонентів ПФМ. Збільшення золоцементного відношення та введення КН приводить до помітного зменшення повітровтягування. Добавки СП-3 та ЕЦ порівняно слабо збільшують повітровтягування, особливо порівняно з ПД. Остання, залежно від вмісту у цементно-зольній пасті, може збільшити її повітровміст у 1,5...3 рази. Введення піску у пасту сприяє додатковому повітровтягуванню, що погоджується з відомими даними.

Окремі досліди були проведені для вивчення зміни рухливості в часі золоцементних сумішей з добавками ПФМ. Введення золи-виносу при $Z/Ц < 0,4$ позитивно позначається на збереженні рухливості, при подальшому збільшенні золоцементного відношення темп зменшення рухливості дещо збільшується. Прискорення темпу зменшення рухливості сумішей з підвищеним золоцементним відношенням пояснюється прискоренням строків тужавлення цементу.

Стабілізуючий вплив на втрату рухливості чинить повітровтягувальна і, особливо, водоутримуюча добавка. Вони дозволяють суттєво подовжити живучість розчинових сумішей, які містять суперпластифікатор. Суміші, які містять КН, втрачають рухливість швидше, ніж без нього. Криві спаду рухливості розчинових сумішей з добавками ПФМ можна розбити на етапи відносної стабільності та прогресуючого зниження рухливості. Як весь період зниження рухливості, так і період відносної стабільності (рис. 1) тісно корелюється з періодом формування структури на кривих пластичної міцності за інших рівних умов. На темп спаду рухливості значно впливає добавка золи.

Структурно-механічною характеристикою твердіння дисперсних систем є пластична міцність. Аналіз отриманих пластограм цементно-зольних паст з добавками ПФМ показує, що зола і добавки ПАР, особливо на основі ефірів целюлози, дещо подовжують період коагуляційного структуроутворення. Добавка суперпластифікатора в цементно-зольних пастах викликає більш інтенсивне зростання пластичної міцності на другій ділянці пластограм, яка відповідає періоду зміцнення коагуляційної і початку формування кристалізаційної структури. На цій ділянці введення зольного наповнювача в поєднанні з добавками ПФМ викликає лавиноподібне збільшення пластичної міцності, що погоджується з теоретичними передумовами їхнього впливу

на процес кристалізації новотворень. Уже приблизно через 2...3 год. після кінця тужавлення пластична міцність модифікованих паст збільшується майже в 4 рази і досягає 2,7 Па. Для немодифікованих паст така величина пластичної міцності досягається через значно більший проміжок часу.

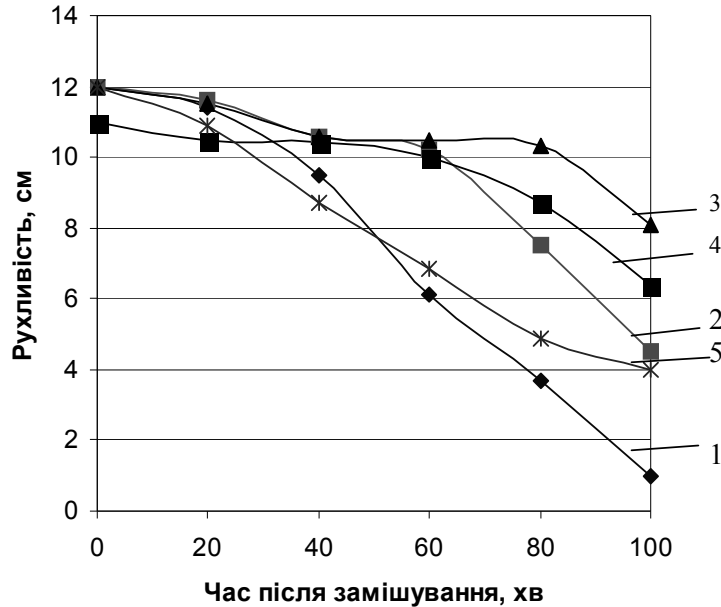


Рис. 1. Зміна рухливості розчинових сумішей у часі (З/Ц=0,35):
 1 – СП-3=0,3%; 2 - СП-3 (0,3%) + ПД 0,03%; 3 - СП-3 (0,3%) + ЕЦ 0,3%;
 4 - СП-3 (0,3%) + ЕЦ 0,3% (З/Ц=0,35); 5 - СП-3 (0,3%) + КН 15%

Дослідження ступеня гідратації паст показало, що у ранньому віці окремі компоненти ПФМ, представлені органічними добавками, проявляють певний стабілізуючий ефект на гідратацію цементно-зольного в'язучого. Це, очевидно, пояснюється екрануючою дією утворених адсорбційних шарів на зернах цементу та золи. За величиною стабілізаційного впливу на ранню гідратацію цементу компоненти ПФМ можна розмістити в ряд: ЕЦ > ПД > СП. У 28-добовому віці цементно-зольного каменю стабілізуючий вплив усіх досліджених ПФМ не відчувається. Перехід від цементно-зольних паст до цементно-зольно-вапняно-карбонатних збільшує кількість гідратної води як у 7 діб нормального твердіння (до 23%), так і в 28 діб (до 7%).

Аналіз пористої структури цементного каменю, визначеної методом водопоглинання, показує, що при $V/C=K_{н.г}$ введення добавок ПАР змінює параметри пористої структури цементного і цементно-зольного каменю. Найбільше зниження відкритої пористості спостерігається при використанні пластифікуючого ефекту добавок, котрий позначається на зменшенні $K_{н.г}$.

Величина інтегральної пористості для ряду складів дещо зростає, особливо при введенні добавок повітровтягувальної добавки та вапняно-карбонатного наповнювача. В усіх випадках при введенні добавок ПФМ має місце перерозподіл пор в бік збільшення кількості закритих і зменшення відкритих пор, доступних для насичення водою. При цьому простежується чітка тенденція до зменшення середнього розміру пор і збільшення їх однорідності. Зменшення відкритої пористості при введенні добавок ПФМ досягається як підвищенням щільності каменю за рахунок зниження $K_{н.г}$, так і додатковим утворенням умовно-замкнених повітряних пор за рахунок повітровтягувальної добавки. З позицій досягнення більш сприятливої порової структури цементного каменю доцільно при використанні в розчинових сумішах водоутримуючих добавок у вигляді ефірів целюлози (Tilosa) та вапняно-карбонатного наповнювача комбінувати їх з суперпластифікуючою добавкою.

Однією з задач модифікування будівельних розчинів є збільшення їх адгезійної здатності, що сприяє підвищенню якості і довговічності кладки. Особливо важливим є забезпечення адгезійної здатності для клеєвих мурувальних розчинів. В даній роботі адгезійну здатність цементно-зольних розчинів визначали як міцність на відрив від бетонної основи зразка розміром

50×50 мм, випиляного з керамічної плитки. Вплив технологічних факторів вивчали за допомогою експериментів, алгоритмізованих відповідно до плану В₄ (табл. 1).

Таблиця 1

Умови планування експерименту при дослідження адгезійних і міцносних властивостей модифікованих цементно-зольних розчинів

| Технологічні фактори | | Рівні варіювання | | | Інтервал варіювання |
|--|------------------|------------------|-------|------|---------------------|
| Натуральний вид | Кодований вид | -1 | 0 | +1 | |
| В/Ц | X ₁ | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 0,2 |
| З/Ц | X ₂ | 0 | 0,35 | 0,7 | 0,35 |
| Вміст суперпластифікатора СП-3, % маси цементу | X ₃ | 0 | 0,35 | 0,7 | 0,35 |
| Вміст повітровтягувальної добавки (ПД), % маси цементу | X ₄ * | 0 | 0,025 | 0,05 | 0,025 |
| Вміст водоутримуючої добавки Tilosa (ЕЦ), % маси цементу | | 0 | 0,15 | 0,3 | 0,15 |
| Вміст карбонатного наповнювача (КН), % маси цементу | | 0 | 7,5 | 15 | 7,5 |

* - вплив добавок ПД, ЕЦ та КН вивчали окремо у складі модифікаторів ПФМ₁, ПФМ₂ та ПФМ₃, відповідно.

Аналіз отриманих даних показує, що вплив на адгезійну міцність R_{ад.} золоцементного відношення має екстремальний характер. При цьому максимум R_{ад.} спостерігається при З/Ц = 0,35...0,4. Суперпластифікатор СП-3 та повітровтягувальна добавка позитивно впливають на адгезію розчинів як через зміни їх поверхневої енергії, так і через зміни якісних характеристик контактного шару. Введення СП-3 покращує характеристики контактного шару розчину, очевидно, насамперед збільшення його змочуваності і зменшення вмісту надлишкової вологи. При збільшенні вмісту суперпластифікатора з 0 до 0,35% від маси цементу адгезійна міцність зростає на 16...35% при В/Ц=0,6 та на 25...40% при В/Ц=1,0. Подальше збільшення вмісту СП-3 до 0,7% приводить до збільшення R_{ад.} ще на 13...20%.

Введення в розчини повітровтягувальної і, особливо, полімерної добавки Tilosa забезпечує необхідну водоутримуючу здатність розчинної суміші і знижує товщину необхідного клеєвого шару, що також позитивно позначається на величині адгезії. За інших рівних умов збільшення вмісту повітровтягувальної добавки від 0 до 0,025% від маси цементу збільшує адгезійну міцність на 30...45%, при подальшому збільшенні вмісту ПД адгезійна міцність дещо знижується. Збільшення вмісту водоутримуючої добавки Tilosa від 0 до 0,15% приводить до зростання адгезійної міцності на 25...55%, подальше зростання вмісту добавки слабо впливає на адгезію золовмісних розчинів.

Введення карбонатного наповнювача збільшує, так як і зольний наповнювач, об'єм гідратних новоутворень, що також позитивно позначається на величині адгезійної міцності розчинів. Збільшення вмісту карбонатного пилу до 15% від маси цементу приводить до збільшення адгезійної міцності на 16...33% у всі строки твердіння за інших рівних умов.

Математичні моделі міцності розчинів у віці 28 діб наведені в табл. 2.

Аналіз отриманих рівнянь (2...7) показує, що в досліджених цементно-зольних розчинах визначальний вплив на міцність як при стиску, так і при згині чинить В/Ц. Наступним за значимістю фактором є вміст суперпластифікатора. Помітну роль також відіграє золоцементне відношення, вплив якого як на міцність при стиску, так і на міцність при згині є екстремальним. Для усіх досліджених складів близьким до оптимального є З/Ц = 0,35...0,4. Найбільше вплив золоцементного відношення спостерігається для розчинів з комплексним золо-карбонатним наповнювачем.

Вплив добавок – поліфункціональних модифікаторів (ПФМ) на міцність розчинів залежить від їх складу та вмісту. При постійній рухливості збільшення вмісту суперпластифікатора СП-3 у складі ПФМ закономірно приводить до збільшення міцності. Зокрема, при збільшенні вмісту СП-3

від 0,3 до 0,7% міцність розчину на стиск зростає на 23...34%, на згин – на 18...24% за інших рівних умов. Збільшення вмісту водоутримуючої і, особливо, повітровтягувальної добавки (рис. 2) призводить до зниження міцності на 10...14% у першому та на 14...21% у другому випадку. Найбільш помітне зниження міцності спостерігається при максимальному вмісті добавок ЕЦ Tilosa та ПД Mix-DH.

Таблиця 2

Математичні моделі міцності модифікованих цементно-зольних розчинів

| Добавка | Математичні моделі міцності |
|---------------------------------|--|
| ПФМ ₁ (СП-3 + ПД) | $R_{ct} = 24,8 - 8,04X_1 + 1,207X_2 + 2,49X_3 - 2,03X_4 + 1,04X_1^2 - 0,458X_2^2 + 0,342X_3^2 - 2,71X_4^2 + 0,33X_1X_2 + 0,66X_1X_3 + 0,23X_1X_4 + 0,44X_2X_4 - 0,18X_3X_4$ (2) $R_{зг} = 3,74 - 0,986X_1 + 0,353X_3 - 0,252X_4 + 0,401X_1^2 - 0,151X_2^2 - 0,051X_3^2 - 0,449X_4^2 - 0,044X_1X_2 + 0,056X_1X_4$ (3) |
| ПФМ ₂ (СП-3 + ЕЦ) | $R_{ct} = 25,5 - 8,4X_1 + 1,106X_2 + 2,61X_3 - 1,62X_4 + 1,83X_1^2 - 1,62X_2^2 + 1,03X_3^2 - 1,87X_4^2 + 0,32X_1X_2 + 1,77X_1X_3 + 1,21X_2X_3 - 0,18X_3X_4$ (4) $R_{зг} = 3,93 - 0,935X_1 - 0,017X_2 + 0,291X_3 - 0,289X_4 + 0,459X_1^2 - 0,267X_2^2 + 0,009X_3^2 - 0,491X_4^2 - 0,069X_1X_2 - 0,044X_1X_4 - 0,031X_3X_4$ (5) |
| ПФМ ₃ (СП-3 + КН) | $R_{ct} = 26,5 - 7,84X_1 + 1,89X_2 + 2,44X_3 + 0,986X_4 + 0,948X_1^2 - 0,452X_2^2 + 0,998X_3^2 - 0,652X_4^2 + 0,294X_1X_3 + 0,506X_1X_4 + 0,858X_2X_3 + 1,14X_2X_4 + 0,41X_3X_4$ (6) $R_{зг} = 3,92 - 0,862X_1 + 0,224X_2 + 0,336X_3 + 0,146X_4 + 0,273X_1^2 + 0,173X_2^2 + 0,173X_3^2 - 0,2272X_4^2 + 0,063X_1X_2 - 0,038X_1X_3 - 0,1X_2X_3 + 0,038X_2X_4$ (7) |

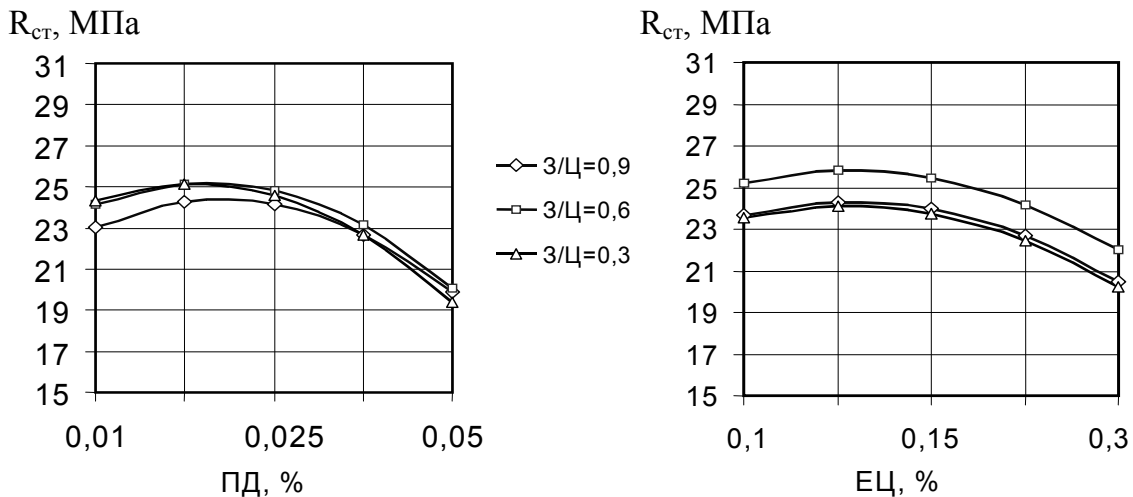


Рис. 2. Залежність міцності модифікованих розчинів на стиск від вмісту повітровтягувальної та водоутримуючої добавок

Однак при оцінці впливу цих добавок варто врахувати той факт, що при укладанні на пористі основи негативний вплив цих добавок на міцність модифікованих розчинів нівелюється підвищеною легкоукладальністю розчинних сумішей та високою якістю розчинового шва.

Збільшення частки КН у складі в'язучого до певної межі приводить до помітного збільшення міцності розчину при близьких значеннях цементно-водного відношення (рис.3). При збільшенні вмісту КН від 50 до 100 кг/м³ міцність розчину на стиск зростає на 13...20% залежно від вмісту золи і суперпластифікатора, на згин – на 9...15%. Збільшення вмісту КН понад 100 кг/м³

недоцільне, оскільки подальшого збільшення міцності при цьому не спостерігається, до того ж при високому вмісті КН водопотреба розчину помітно зростає.

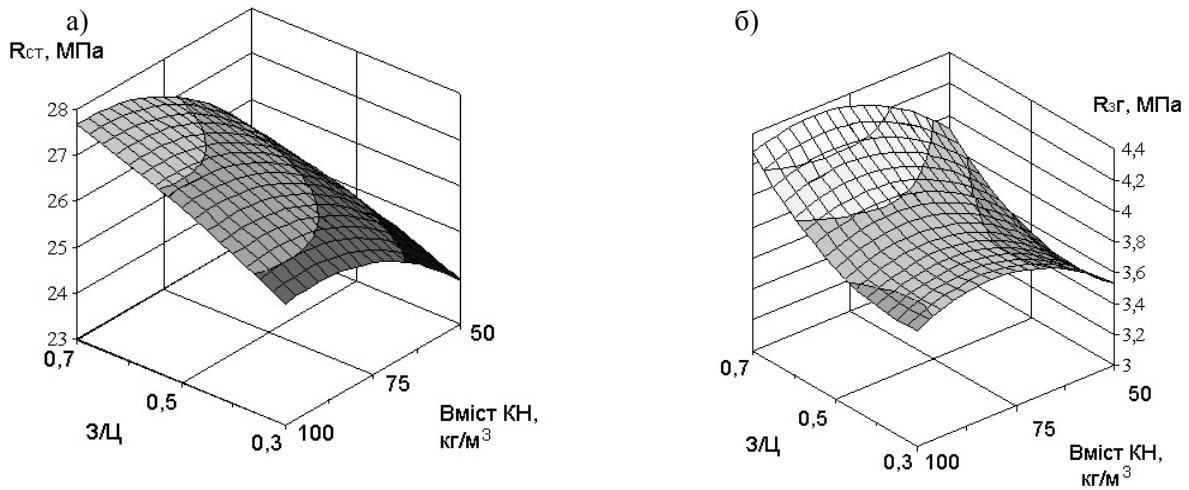


Рис. 3. Міцність розчинів, які містять зольно-карбонатний наповнювач:
а – на стиск; б – на згин

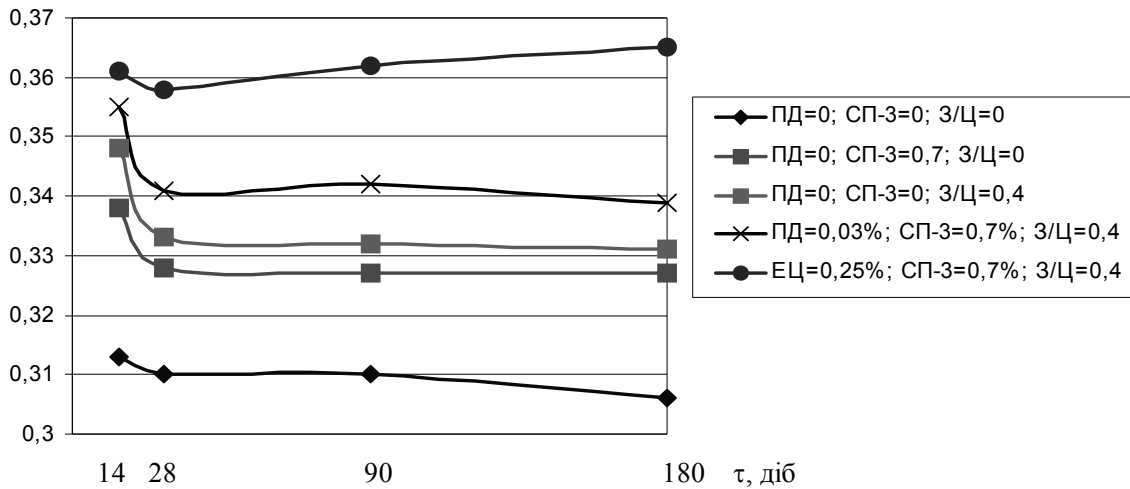


Рис. 4. Залежність критерія тріщиностійкості ($R_{p,з}/R_{ст}$) від строку твердіння розчину, модифікованого ПФМ₁ та ПФМ₂ (В/Ц=0,7)

Для мурувальних розчинів важливе значення має забезпечення високих показників властивостей, які забезпечують їх довговічність. Критерієм тріщиностійкості розчинів може бути відношення міцності на розтяг до міцності на стиск ($R_{p,з}/R_{ст}$). Модифікування розчинів органічними добавками позитивно позначається на згаданому критерії тріщиностійкості (рис. 4). Збільшення його значень характерне для модифікованих розчинів як у віці 28 діб, так і в інші строки твердіння.

Усадку зразків-призм розмірами 40×40×160 мм розчинів з добавками ПФМ заміряли за допомогою штативного приладу, оснащеного індикатором годинникового типу (мессурою) з ціною поділки 0,001 мм. Репери в торцьові грані призм встановлювали через 8 год. після ущільнення їх у формах. Зразки зберігали при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і відносній вологості $75 \pm 5\%$. Аналіз отриманих кривих усадки показує, що для всіх досліджуваних складів усадочні деформації стабілізуються до віку 100 діб. Найвищі значення усадки мають розчини без добавок ПФМ. Їхня усадка

до моменту затухання коливається в діапазоні 0,7...1,5 мм/м, характерному для дрібнозернистих бетонів при аналогічних В/Ц [5]. У ранні строки твердіння добавка золи-виносу збільшує усадочні деформації, які потім вирівнюються з деформаціями розчинів без золи. Добавка ПФМ₂ зменшує граничні усадочні деформації на 20...35%, добавка ПФМ₁ – на 30...50%. Ступінь зменшення усадочних деформацій зростає із збільшенням пластифікуючого ефекту ПФМ. Найбільш суттєве зменшення усадки спостерігається при введенні повітровтягувальної добавки – на 40...60%.

Для оцінки сульфатостійкості наповнених розчинів визначали зміну міцності на розтяг при розколюванні ($R_{p,p}$) у 5%-вому розчині Na₂SO₄. Відповідно до відомої класифікації, середовище вважається сильноагресивним, якщо при експлуатації конструкцій у ньому протягом року зниження міцності досягає більше 20%, середньоагресивним - 5...20%, слабоагресивним - менше 5% і неагресивним - 0%. У наших дослідженнях 5%-вий водний розчин Na₂SO₄ виявився сильноагресивним середовищем для розчину без наповнювача. Для розчинів, наповнених лише золою, воно виявилось слабоагресивним, а для модифікованих розчинів - неагресивним. Для них відзначається не зниження міцності в 5%-вому розчині Na₂SO₄, а навіть її деяке зростання.

Марка за морозостійкістю досліджених розчинів ($K_{mрз} \geq 0,95$) коливається в діапазоні F25...F250. Найвищу морозостійкість мають розчини, які містять повітровтягувальну добавку. Темп спаду міцності таких розчинів у міру заморожування і відтавання виявився також більш низьким, ніж для бетонів без добавки. Позитивно впливають на морозостійкість розчинів, хоча і меншою мірою, добавки СП-3 та ефіру целюлози. Для наповнених розчинів з мінімальним вмістом органічних добавок та низькою витратою цементу (В/Ц=1,0) морозостійкість виявилась в межах 25...75. Нижчу морозостійкість мають розчини з найвищим співвідношенням зола : цемент.

В результаті аналізу отриманих даних була запропонована методика розрахунку складів модифікованих розчинів, яка полягає у сумісному розв'язанні отриманих математичних моделей властивостей (міцності зчеплення з основою, марочної міцності, морозостійкості та інш.) відносно факторів складу – В/Ц, З/Ц, вмісту компонентів ПФМ. Оптимізація отриманих складів за собівартістю виконується дисоціативно-кроковим методом.

В умовах ТОВ "Адена" (м. Рівне) була проведена промислова апробація запропонованих СБС. Її результати свідчать про те, що за рахунок введення ПФМ високі нормативні показники мурувальних розчинів можуть бути забезпечені при зменшенні собівартості на 25...40%.

Висновки

Модифікування цементно-зольних розчинів комплексними добавками, що містять суперпластифікатор у поєднанні з повітровтягувальною або водоутримуючою добавкою чи вапняно-карбонатним наповнювачем, дозволяє отримати СБС, які забезпечують весь комплекс нормованих властивостей мурувальних розчинів для тонкошарової кладки, зокрема для мурування каменями з ніздрюватого чи легкого бетону, ефективною кераміки. Собівартість таких розчинів на 25...40% менша відповідного показника для сумішей, які зараз випускаються промисловістю на основі добавок редиспергованих полімерних поросків.

Список літератури

1. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / Л.И. Дворкин, В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, С.М. Чудновский; под ред. Л.И. Дворкина. – К.: Будивельник, 1991. – 136 с.
2. Дворкин Л.И. Эффект активных наполнителей в пластифицированных цементных бетонах / Дворкин Л.И. // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1988. – №9. – С. 53-57.
3. Кокубу И.М. Цементы с добавкой золы / Кокубу И.М., Ямада Д. // Шестой международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – Т.3. – С. 83-94.
4. Саницький М.А. Структуроутворення композиційних портландцементів з хімічними добавками / Саницький М.А., Шевчук Г.Я., Хаба П.М. // Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – 1997. – №316. – С. 195-197.
5. Баженов Ю.М. Высокопрочный мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций / Баженов Ю.М. – М.: Стройиздат, 1963. – 183 с.

Риженко Ігор Миколайович – к.т.н., асистент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності Національного університету водного господарства та природокористування.