

Міністерство освіти і науки України
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Ariel University (Ізраїль)
University North (Хорватія)
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi (Румунія)
Politechnika Lubelska (Польща)
ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних
конструкцій»
Академія будівництва України
Українська академія архітектури
ТОВ «Гефест»
НВЦ «Екострой»
ТОВ «Стікон»



ЗБІРНИК ТЕЗ міжнародної науково-технічної конференції

**Структурування та руйнування
композиційних будівельних матеріалів
та конструкцій**



**27-28 квітня 2023 р.
м. Одеса**

Оргкомітет

Ковров А. В., к.т.н., проф., заслужений діяч науки і техніки України, голова територіального відділення Академії будівництва України, голова регіонального представництва Української академії архітектури, ректор Одеської державної академії будівництва та архітектури, **голова оргкомітету;**

Кровяков С. О., д.т.н., проф., проректор з НР Одеської державної академії будівництва та архітектури, **заступник голови;**

Суханов В. Г., д.т.н., проф., директор Будівельно-технологічного інституту Одеської державної академії будівництва та архітектури, науковий керівник НВЦ «Екострой», **заступник голови;**

Заволока М. В. к.т.н., проф., завідувач кафедри ВБК Одеської державної академії будівництва та архітектури, **заступник голови;**

Вировой В. М., д.т.н., проф. кафедри ВБК Одеської державної академії будівництва та архітектури, **заступник голови;**

Барабаш І. В., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Бумбурас В. П., керівник ТОВ «Гефест»;

Дворкін Л. Й., д.т.н., проф., Національний університет водного господарства та природокористування;

Дерев'яно В. Н., д.т.н., проф., Придніпровська державна академія будівництва та архітектури;

Кривенко П. В., д.т.н., проф., Київський національний університет будівництва і архітектури;

Коробко О. О., д.т.н., доц., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Карпюк В. М., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Крючков Л. Я., директор ТОВ «Стікон»;

Лепадату Д., PhD, проф., Gheorghe Asachi Technical University of Iasi (Румунія);

Ляшенко Т. В., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Мартинов В. І., д.т.н., доц., Одеська державна академії будівництва та архітектури;

Мішутін А. В., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури;

Нетеса М. І., д.т.н., проф., Український державний університет науки і технологій;

Плугин А. А., д.т.н., проф., Український державний університет залізничного транспорту;

Руссу І. В., д.т.н., проф., Технічний університет Молдови (Молдова);

Рибаков Ю., д.т.н., проф., Ariel University (Ізраїль);

Саницький М. А., д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка»;

Сербінов О. М., офіційний представник «МАРЕІ Україна» на півдні України;

Солодо Б., PhD, проф., University North (Хорватія);

Фаренюк Г. Г., д.т.н., проф., директор ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»;

Фіц С. Б., д.т.н., проф. Politechnika Lubelska (Польща);

Шинкевич О. С., д.т.н., проф., Одеська державна академія будівництва та архітектури.

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧЕ ВИРОБНИЦТВО ГАЗОБЕТОНУ НА ОБЛАДНАННІ «WERNHANN»

**Амеліна Н. О., к.т.н., доц., Майстренко А. А., к.т.н., доц.,
Бердник О. Ю., к.т.н., доц., Петрикова Є. М., к.т.н., доц.**
(Київський національний університет будівництва і архітектури,
Україна)

Технології виробництва газобетонних виробів фірми «WERNHANN» (Німеччина) успішно застосовуються на ТОВ «Аерок» (м. Обухів), що є лідером відповідного ринку в Україні і найбільшим його постачальником під торговою маркою AEROC по Україні.

Компанія «WERNHANN» приділяє особливу увагу питанням раціоналізації виробництва. Основна мета – досягнення максимальної рентабельності виробництва в рамках концепції сталого розвитку, що потребує бережливого ставлення до природних і людських ресурсів. Раціоналізація виробництва - це комплексна задача, рішення якої потребує роботи по декількох напрямках. Основні з них - це раціоналізація використання сировинної бази, утилізація вторинної теплової енергії, заходи із збереження електроенергії, що особливо актуально в наш час.

Раціоналізація використання сировинних матеріалів.

Тема раціонального використання сировини розробляється WERNHANN на протязі багатьох років. Так, в 2002 році була запатентована установка видалення нижнього підрізного шару масиву, що забезпечує безвідходне виробництво газобетонної продукції високої якості з використанням технології кантування. Цей винахід дозволив виготовляти блоки поліпшеної якості, економити сировину та енергоресурси (до 7%) та витрати на утилізацію твердих відходів.

Переробка твердих відходів

На підприємстві в залежності від обладнання і технологічного процесу утворюється певна кількість твердих відходів. Досвід використання твердих відходів на різних заводах, наприклад, в Німеччині, показує, що додавання їх в рецептуру не тільки вирішує питання їх утилізації, але і дозволяє покращити якість газобетонної продукції, забезпечуючи:

- Підвищений вміст тоберморіту;
- Збільшення міцності блоків на стиск;
- Збільшення міцності кромки блоків.

Також технологи WEHRHANN провели серію дослідів по вторинному використанню твердих газобетонних відходів у виробництві. Були виготовлені пробні масиви з додаванням різної кількості тонкомелених твердих відходів (від 0% до 5,25% від загальної маси твердих речовин, при цьому відповідна кількість піску видалялась з рецептури).

Було встановлено, що тверді відходи у кількості до 3% від загального вмісту сухих речовин підвищують міцність газобетону. Найбільшу перевагу з технологічної точки зору є дозування твердих відходів безпосередньо у головний змішувач. Тоді крім дробарки необхідний молотковий млин для подрібнення твердих відходів до розміру зерен менше 1мм. Із силосу за допомогою вагового обладнання сировина дозується точно у відповідності з рецептурою у головний змішувач. Цей метод забезпечує точне і цільове дозування для виробництва певного продукту і дає можливість додавати до 10% відходів від загальної маси твердих матеріалів, так як при цьому виникає менше проблем з в'язкістю газобетонного шламу.

Виробництво блоків пониженої щільності

Розробки з виробництва блоків зниженої щільності проводяться, перш за все, з метою розширення асортименту газобетонної продукції, в тому числі за рахунок випуску надлегких термоізоляційних панелей щільністю не більше 200 кг/м³.

Розглянемо приклади для виробництва блоків різної щільності. В якості вихідного для розрахунку можливих рецептів для блоків зниженої щільності взятий рецепт блоків щільністю 600 кг/м³. При виробництві блоків зниженої щільності вміст твердих речовин в газобетонній суміші значно знижується. В даних рецептах загальний вміст твердих речовин зменшується з 568,3 кг на 1м³ продукції при щільності 600 кг/м³ до 181,7 кг при щільності 200 кг/м³. Це значить що витрата сировини на 1 кубометр продукції зменшується на 68%.

Крім того, змінюється співвідношення сировинних матеріалів. Так, повинно бути збільшений вміст в'язучих. При цьому звичайно потрібно збільшення вмісту цементу по відношенню до вапна, оскільки цемент забезпечує більш високу початкову міцність масиву. Вміст піску відповідно зменшується, а алюмінію збільшується. Блоки зниженої щільності є енергозберігаючими як на етапі їх виробництва, так і за своїми експлуатаційними властивостями. При автоклавуванні блоків зниженої щільності час витримки може бути скорочено на 2 години. Це пояснюється більш пористою структурою газобетону, що дозволяє насиченій парі швидше проникати всередину матеріалу. По мірі зменшення щільності газобетонних блоків знижується

теплопровідність матеріалу, тобто підвищуються його теплоізоляційні властивості .

Рекуперация теплової енергії: підігрів води для парогенератору.

При виробництві автоклавного газобетону найбільш енергоємним є процес автоклавування. При цьому створюється велика кількість вторинної теплової енергії у вигляді відпрацьованого пару і конденсату. Використання цієї теплової енергії дозволяє суттєво знизити витрату енергоносіїв. Найбільш ефективно вторинна теплова енергія може бути використана для підігріву води парогенератору.

Система рекуператії тепла конденсату. Попередній підігрів води парогенератору потрібен в першу чергу з метою її дегазації, інакше гази, що розчинені в ній, викличуть корозію обладнання: парового котлу, трубопроводу, автоклавів. Для видалення CO₂ воду парогенератора необхідно нагріти до температури вище 100°C, що здійснюється в дозаторі води за рахунок свіжої пари із парогенератору. На це витрачається близько 15% і більше свіжої пари. Система рекуператії теплової енергії WEHRHANN забезпечує підігрів води парогенератору виключно за допомогою вторинного тепла відпрацьованої пари і конденсату, що дозволяє економити до 15% теплової енергії протягом року. Нагрів води в ємності високого тиску. Крім дегазації нагрів води парогенератору дозволяє знизити енерговитрати самого парогенератору на виробництво пари; чим вище температура води, тим менше теплової енергії необхідно для створення насиченої пари. Звичайний дегазатор води з робочим тиском трохи більше атмосферного не дозволяє нагрівати воду до температури вище 100°C. При збільшенні температури в звичайному дегазаторі збільшення тиску призводить до спрацювання запобіжного клапану, що випускає надмірний тиск. Температура води при цьому знову знижується до 100°C. Тому WEHRHANN пропонує дегазатор води високого тиску (до 8 бар), який дозволяє підігрівати воду до 170°C. Система рекуператії теплової енергії WEHRHANN дозволяє повторно використовувати до 90% остаточного тепла, що утворюється в конденсаті. Це суттєво знижує навантаження на парогенератор і забезпечує економію до 25% теплової енергії. Електроменеджмент в заході щодо зниження електроспоживання (WEHRHANN Energie Management System - W- EMS). Наразі на всіх лініях WEHRHANN впроваджується ефективна система електроменеджменту, що дозволяє значно скорочувати електроспоживання і відповідно виробничі витрати. W- EMS складається з системи збору та обробки даних електроспоживання окремими машинами і лінією в цілому, а також із енергозберігаючих компонентів.

Система збирання та обробки даних електроспоживання дозволяє:

- Ідентифікувати найбільш енергоємних споживачів;
- Оптимізувати закупівлю електроенергії (в тому числі завдяки зниженню пікових навантажень);
- Протоколювати енергозберігаючі заходи;
- формувати у обслуговуючого персоналу свідоме ставлення до енергоспоживання.

Спеціальне програмне забезпечення «Powermanager» зберігає всі дані електроспоживання і дозволяє робити звіти в форматі EXCEL. Найбільш важлива інформація виводиться на монітор управління і дозволяє оператору з розпізнавати збої обладнання за аномально високим електроспоживанням, небезпеку перевищення допустимих пікових навантажень. Рекуперація електроенергії в електромережу. Звичайно до частотних перетворювачів підключений гальмівний опір, за допомогою якого під час гальмування електродинамічна енергія перетворюється на тепло. За допомогою мережевого приладу рекуперації, що підключений до частотного перетворювача замість гальмівного опору, електродинамічна енергія повертається знову в електромережу заводу, де відразу використовується обладнанням лінії.

В залежності від частоти та інтенсивності процесів гальмування можна зекономити до 40% вартості електроенергії на кожен привід. Енергозберігаючі мотори. Майже на всіх заводах WERNHANN застосовує енергозберігаючі частотні перетворювачі, завдяки яким двигуни працюють з оптимальним ККД, що дозволяє економити до 30% енергії. Передбачена автоматика відключення. Нові системи управління оснащені «передбаченою» автоматикою відключення. Якщо ясно, що привід в найближчому часі не буде використовуватись і з енергетичної точки зору вигідно його відключити, то він автоматично відключається і за необхідністю автоматично включається. Це економить електроенергію і забезпечує ощадливий режим роботи електроприводу.

Таким чином, на кожному газобетонному підприємстві є можливість для збільшення ефективності виробництва і економії енергоресурсів, що є найактуальнішою проблемою в наш час.

1. Zhang F. H. Interfacial shearing strength and reinforcing mechanisms of an epoxy composite reinforced using a carbon nanotube. *J. Mater. Sci.* – 2009. V. 44. № 13. pp. 3574–3577.

2. Джигирис Д. Д. Основы производства базальтовых волокон и изделий / Д. Д. Джигирис, М.Ф. Махова. –М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416с.

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ – ПЕРЕХІД ВІД НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ХАОСУ ДО ДИСКРЕТНОСТІ ТА ПЕРІОДИЧНОСТІ

Арсирій В. А., д.т.н., проф., Арсирій А. Н., к.т.н., доц.,
(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)
Антощук С. Г., д.т.н., проф., Кондратьєв С. Б., к.т.н., доц.
(Національний університет «Одеська політехніка», Україна)

ХАОС передбачає можливості оптимізації, тому невизначеність і опосередкування параметрів неможливо знайти основою точних розрахунків. У природі багато прикладів самоорганізації процесів. Закономірності самоорганізації в рідких та твердих середовищах проявляється у структуроутворенні. Для підвищення якості енергетичних процесів потрібно пробувати застосовувати закономірності організації внутрішньої структури під час удосконалення динамічних процесів завдання оптимізації технологічних процесів. Прикладом низької якості процесів може бути енергетичні системи багатоповерхового будинку.



Рис. 1. Вітряк $N_{ел} < 2$ кВт та вентиляція $N_{ел} > 20$ кВт на даху будинку.

На рис. 1 показаний вітряк $N_{ел} < 2$ кВт на даху будинку як малопотужна генерація, тому що будь-яка система житлового будинку в багато разів потужніша - вентиляція $N_{ел} 20$ кВт (праворуч). Вітряк на даху будинку 2кВт коштує близько 100 тис грн, а вентиляція використовує електрику об'єднаної енергосистеми ОЕС, де ціна електрики $Ц_{укр} = 1,6$ грн./квт.год. Але це триватиме не довго. В Європі ціна електрики $Ц_{Евр} > 5$ грн./квт.год. Сьогодні всі обговорюють доцільність розподіленої генерації електрики. Потрібно ставити

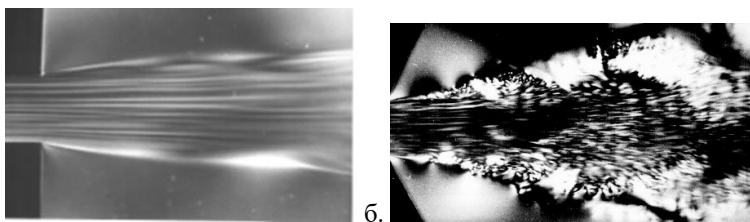
питання про те, що один вітряк повинен забезпечувати $N_{ел} > 5$ кВт (у 2 – 5 разів більше), а вентиляція та інші системи не більше $N_{ел} < 10$ кВт (у 2 – 5 разів менше).

Обговорювати масове впровадження альтернативних джерел енергії АДЕ через аварійність і низьку надійність ОЕС можна поки що свіжі спогади військової агресії. Якість характеризує лише ефективність нагнітачів, турбін $\eta_{нагн} = N_{аро} / N_{ел} \approx 0,9$ та не виправдано високі опори R . Актуальність такої оптимізації показали періоди масового відключення електрики через природні, військові та інші катаклізми.

При проектуванні використовують опори R , але приймаються як неминуче. Потрібно дослідити опорів з урахуванням законів кількості руху, законів Ньютона. Слід спробувати знайти варіанти переформатування коефіцієнтів опорів R у показники якості динаміки μ енергетичних технологій як відношення $\mu = \text{Динаміки} / \text{Потенціалу}$. Пошук шляхів зниження опорів можна шукати у закономірностях самоорганізації структури поліпшення динамічних якостей.

Динамізм – як додатковий показник удосконалення та оптимізації аеро та гідросистем

Найважливіше відкриття у гідродинаміці – відділення шаруватого чи ламінарного руху від турбулентного чи хаотичного. Розрахунок опорів у цих двох режимів відрізняються кардинально...



а. Ламінарний - шаруватий режим течії;
б) перехід від шаруватого до турбулентного режиму течії.

Досвід використання методу виявлення або діагностики структури потоків показав можливість вирішення складних завдань при русі рідин та газів, а організація структури потоків може стати ключем до вирішення багатьох проблем турбулентності та зниження опорів R .

Самоорганізація твердих та плинних середовищ у рамках життєвої періодичності. Дослідження структуроутворення рідини підказали ідею експерименту виявлення хвильового характеру зміни опорів R .

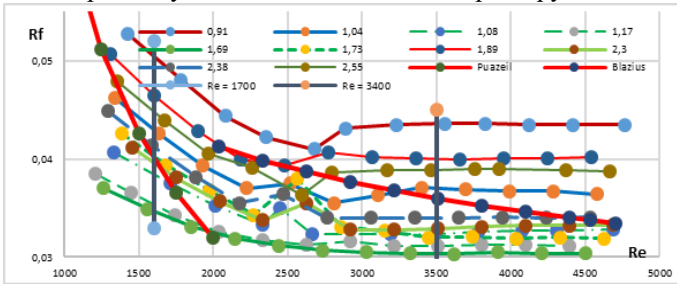


Рис. 3. Опір гладких поверхонь гідравлічних каналів

Лінії Пуазейля ($Re = 2300$) і Блазіуса ($Re = 2320$) показують середні значення опорів.

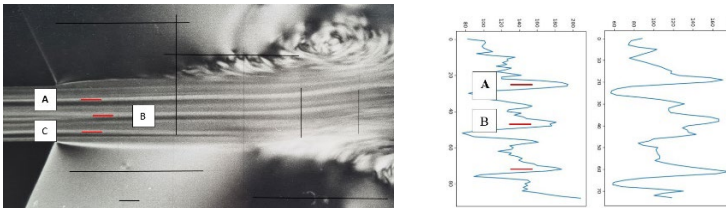


Рис. 4. Хвильовий характер динамічних процесів у рідині

Головне питання дискусії – чи можна вважати проявом динаміки формування утворень твердих середовищ – структурна організація каменю – шари характеризують формування структур у поздовжньому та поперечному перерізах на етапах формування чи руйнування...

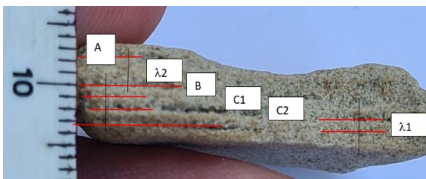


Рис. 5. Дослідження каменю за ознакою самоорганізації структури

Динамізм та самоорганізацію структур у різних середовищах доцільно досліджувати з погляду енергетичних якостей досконалості.

ПЕРЕДОВА ТЕХНОЛОГІЯ АМЕРИКАНСЬКОЇ КОМПАНІЇ «ALCHEMCO» ДЛЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ, РЕМОНТУ ТА ЗАХИСТУ БЕТОННИХ Й ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Баджо М.

(Генеральний директор компанії «Alchemco», США)

Левицький Ю.

(Директор з розвитку компанії «Герметік Хоум», Україна)

Державні органи, однією з функцій яких є створення і підтримка інфраструктури нашої країни, прагнуть знизити витрати на технічне обслуговування і захистити свої структурні бетонні інвестиції (мости, шляхопроводи, цементнобетонні дороги, гідрозпоруди та інше). Зараз вони потребують комплексної системи гідроізоляції та захисту набагато більше, ніж будь-коли.

Зараз більшість матеріалів для гідроізоляції, ремонту та захисту наносяться на поверхню бетону з метою запобігання проникненню води всередину конструкції. Проте ці матеріали є тимчасовим рішенням та можуть бути пошкоджені та/або зношені і повинні бути видалені та повторно нанесені через декілька років. Загалом, для державного бюджету це дуже великі витрати.

Біохімічно-модифікована технологія “Alchemco” може запропонувати довгостроковий захист як комплексне рішення, яке захищає бетонні конструкції протягом всього терміну їх служби.

Це інтегральні модифіковані силікатні розчини, які працюють в тілі бетонної конструкції.

Ці продукти представляють собою прозорі безбарвні рідини, які розпоршуються на затверділу поверхню конструкції та проникають у бетон на глибину до 2 см у процесі дифузії, заповнюючи тріщини, пори і капіляри, та утворюють гнучку водонепроникну структуру всередині бетону, захищаючи його від проникнення води, хлорид-іонів (протижелезних реагентів) та інших забруднюючих речовин, тим самим захищаючи сталеву арматуру від корозії, а бетон від карбонізації.

Матеріали компанії «Alchemco» – гнучкий силікатний гель – спеціально розроблені для динамічно навантажених бетонів. Сьогодні це єдині в Україні матеріали, здатні під час нанесення герметизувати без розшивки тріщини шириною розкриття до 2 мм та майбутні тріщини шириною до 0,4 мм, які виникають під час експлуатації. Це дає можливість захистити цілісність та несучу здатність конструкції, забезпечити довгостроковий структурний та

гідроізоляційний захист бетону без повторного застосування і технічного обслуговування в майбутньому.

Гідроізоляція та захист цементобетону сприятиме збільшенню морозостійкості та довговічності бетонних доріг, мостових конструкцій, гідроспоруд, збільшить стійкість до хімічних реагентів, що застосовуються для зимового утримання бетонних доріг.

Перед нанесенням розчину силікату ULTRA Waterproofing Agent поверхня повинна бути чистою і сухою з віком бетону не менше 28 діб. Якщо поверхня брудна, необхідно використовувати гідроструменеве або піскоструминне очищення. Там, де помітні порожнечі, використовується ремонтна суміш. Після ремонту необхідно дочекатися не менше 24 годин для висихання і затвердіння. Якщо температура навколишнього середовища нижче +4°C, розчин не використовується.

В середньому 1 літру вистачає на 5 кв. м. Ступінь покриття може варіюватися в залежності від абсорбції основи, яка залежить від віку бетону та вихідної щільності. Через 28 діб після укладання бетону і після підготовки поверхні можливо наносити матеріал.

У період, коли середньодобова температура досягає +20°C, допускається нанесення матеріалу через 14 днів після укладання бетону. Для нанесення використовується розпилювач ручного, рюкзачного або циліндричного типу. Спочатку продукт наноситься на всі тріщини за допомогою розпилювального приладу, потім тріщина покривається з обох боків щонайменше на 50 мм. Після обробки всіх тріщин матеріал наноситься рівномірним шаром з невеликим накладенням на всю поверхню. Висихання на дотик, яке триває не більше 6 годин, означає, що можна починати перший полив водою, яка повинна подаватися із розрахунку не менше 5 літрів на кожні 10 кв. м. робочої зони.

Не менше ніж через 6 годин після полива води розпиленням наноситься Crack & Void Treatment – матеріал для тріщин, який підвищує ефективність гідроізоляційної системи для герметизації тріщин шириною розкриття до 2,0 мм та пустот в бетоні, а потім Acclerating Agent – акселератор реакції, призначений для використання в складі системи гідроізоляції з метою скорочення часу між нанесенням і використанням. Норма нанесення складає в середньому 1 літр на 5 кв. м.

Після висихання проводиться другий полив води, відразу після якого води поверхня готова до експлуатації.

На відміну від мембран, полімерних, епоксидних та інших матеріалів, які широко представлені на ринку, цей продукт є не тільки

гідроізоляційним, але і має ряд переваг в порівнянні з перерахованими вище матеріалами, а саме:

- не змінює зовнішній вигляд бетонної конструкції;
- не утворює плівку на поверхні, не може бути пошкоджений;
- блокує потрапляння води, ПММ та інших забруднюючих речовин в конструкцію;
- стійкий до хлорид-іонів (протиожеледних реагентів і т. д.);
- гідроізолює тріщини без розшивки до 2,0 мм при первинному нанесенні, а також майбутні неструктурні тріщини до 0,4 мм;
- захищає від наслідків заморожування/ відтавання;
- стійкий до ультрафіолету і динамічних навантажень, паропроникний;
- зміцнює верхній шар до 8 одиниць за шкалою Мооса (твердість граніту);
- захищає сталеву арматуру від корозії, а бетон від карбонізації;
- працює як на позитивний, так і на негативний тиск води;
- бетон, оброблений гідроізоляційними матеріалами, успішно пройшов випробування під тиском води 400 метрів;
- безпечний для використання на поверхнях, що контактують із питною водою;
- має високу швидкість нанесення – 350-500 кв.м./год.;
- працездатність через 8 годин після нанесення;
- може застосовуватися як при новому будівництві, так і під час реконструкції, ремонту, у тому числі при консервації об'єктів;
- наноситься один раз і захищає бетонні конструкції протягом усього терміну експлуатації;
- пройшов сертифікацію в Україні.

Компанія “Alchemso” була створена, щоб запропонувати рішення з унікальною технологією, яка впроваджує свої гідроізоляційні властивості протягом більше ніж 40 років. З розвитком нової інфраструктури компанія “Alchemso” прагне стати світовим лідером у гідроізоляції та ремонті бетонних й залізобетонних конструкцій шляхом інновацій, навчання і професійного впровадження запатентованої формули. Проблеми, які можуть виникнути на бетоні (корозія, розтріскування і коксування), залишилися в минулому і безумовно не стануть проблемою завтра, з гарантіями компанії світового рівня і підтримкою проекту.

Розуміння біохімічної-модифікованої гелевої реакції.

Етап 1: Коли біохімічно модифіковані матеріали застосовуються до бетону і зрошуються водою, вони проникають у бетон і силікати вступають в реакцію з доступними іонами металів (в основному, з кальцієм у формі гідроксиду). Реакція між гідроксидом кальція і іншими іонами утворює гель гідрату силікату кальція з високим вмістом.

Етап 2: В процесі висихання бетону в результаті реакції між гелем гідрату силікату кальцію і діоксидом вуглецю утворюється гель з низьким співвідношенням і карбонат кальцію в якості побічного продукту.

Етап 3: Якщо утворюється тріщина, вода викликає реакцію між гідроксидом кальцію і гелем гідрату силікату кальцію з низьким вмістом кальцію з утворенням гелю гідрату силікату кальцію з високим вмістом, який за допомогою побічного продукту карбонату кальцію герметизує тріщину, допомагаючи запобігти подальшому розвитку просочування води.

Різниця між біохімічно-модифікованою технологією «Alchemso» і звичайними силікатними продуктами полягає в тому, що біохімічний каталізатор цього циклу дозволяє карбонізації повторюватися нескінченно довго. Прості силікати застряють, коли вони проходять процес карбонізації, і не можуть пізніше знову вступити в реакцію. В результаті звичайні силікатні продукти не здатні навіть закрити існуючі тріщини, а тим більше майбутні тріщини, які можуть утворитися. Також слід зазначити, що при використанні гідроізоляційних матеріалів системи «Alchemso» виникають два компоненти реакції. Карбонат кальцію, який утворився, діє як ущільнювальний клей або заповнювач простору в тріщинах, порах, капілярах і т. д. Гель CSH також відіграє життєво важливу роль, тому що він не тільки дозволяє добродійному циклу повторюватися знову і знову (фабрика по виробництву карбонату кальцію), а також цей колоїдний гель не є жорстким, як продукти кристалічної технології, тому він допускає динамічні рухи, такі як усадка або теплові рухи в бетоні.

Таким чином, коли біохімічно-модифікована технологія «Alchemso» вступає в контакт з водою, вона утворює водостійкий гель, який набухає, заповнює та перекриває порожнечу (тріщин), в які потрапила вода. Після цього фабрика приступає до роботи, відкладаючи карбонат кальцію, щоб назавжди герметизувати його. Після цього гідроізоляційний гель буде залишатися в «сплячому стані» до тих пір, поки на нього знову не потрапить вода.

RADIO WAVE SOUNDING OF MASSIVE CONCRETE STRUCTURES

Vashpanov Yu. A., D.Sc., prof.

(Odessa State Academy of Construction and Architecture, Ukraine)

Kudelya A. M., prof., Son J. Y., prof.

(Department of Civil Engineering, Konyang University, Republic of Korea)

The technology of radio-wave sounding method (RWS) allows survey of underground areas in terms of determination of their lithological structure, detection of horizons filtration flows of the ground waters the minerals deposit search and, etc. [1]. One of the important applications of this method can be the scanning of massive concrete structures, for example, dams (Fig. 1). This is important for determining the condition of concrete structures under significant mechanical stress.

We are developing an inductive method of RWS, the idea of which is as follows. The primary alternating field of the loop induces eddy currents in the conducting geoelectric section, the intensity of which is determined by the resistivity of the geoelectric section and its magnetic properties, as well as the position of the loop. Currents flowing on subsurface of media create secondary magnetic field which overlaps over the primary magnetic field and creates abnormalities (responses to influence of the first magnetic field) which to measure with the help of receiving loop.

Figure 2 shows a Ground Penetrating Radar SDI K-5 on the dam in South Korea. A radio wave transmitter (T) located at the surface issued to generate radio waves which penetrate into the subsurface. Some of the energy carried by these waves is transmitted to greater and greater depths, while some of the energy is reflected back towards the surface receiver (R) whenever a contrast in dielectric properties is encountered. The amount of energy reflected is dependent on the contrast in electrical properties encountered by the radio waves.

Our method is based on the study of the process of propagation of electromagnetic waves in rocks and the observation of induction effects in soil layers with different values of conductivity, dielectric and magnetic permeability. In inductive methods, an electromagnetic field is created using ungrounded circuits (frames) flowed around with alternating current. Two frames (generator magnetic dipole and receiving magnetic dipole) make up a dipole inductive system (DIS) for profiling and probing the soil mass.

SDI – K-5 to measures two components of an electromagnetic field: vertical magnetic H_z and electrical E_x components, the sum S of these a

component and differential phase shift ϕ between H_z and E_x . These data register in electronic memory of a SD card and further are transferred to the computer for the further calculations. All procedures of data gathering and their processing can be automatically carry out on in advance chosen algorithm.



Fig.1. The dam at Nonsan (Republic of Korea)



Fig. 2. Ground Penetrating Radar SDI K-5 on the dam at Nonsan. T is the radio wave transmitter; R is the receiver.

Practical application of Ground-Penetrating Radar technology demand on analyses geological properties of topology ground surfaces. We used a computer method for the convert experimental data to a 3D surface graph, which published in our paper [2-4]. Experimental data of radio sounding using of the Ground-Penetrating Radar SDI K-5 was written in the ASCII table by microcontroller and then imported to OriginLab™ program. Where x, y are coordinates of measurement points, H_z and E_x are magnitudes of magnetics and electrical fields, S is a total magnitude of signal. A total number of our measurements is 50. Surface topographies for the H_z, E_x, ϕ, S data of our geological object are shown in Figs. 3-5.

The radio wave method was used to study the area of the dam surface with a size of $25 \times 50 \text{ m}^2$ to a depth of 50 m. Based on the results of processing the received field data of the components of the electromagnetic field, the vertical magnetic component H_z , the electrical E_x , the phase shift ϕ between H_z and E_x , and the vector sum of the components H_z and E_x , 3D images of the sections of the studied rock mass were constructed. Fig. 4 shows a 3D vertical geological and geophysical section of the rock mass to a depth of 50 m. The color scheme on the scale shows the parameters of rocks in terms of apparent electrical resistivity in ohm. According to the

obtained parameters of rocks from the surface to a depth of 50 m, the following interpretation of the 3D image is possible: up to depths of about 10 m, the rock mass is composed of soft soils with a resistivity of 300 to 700 Ohm. With an increase in depth to 50 m, a crystalline fault with a resistivity of about 2600 Ohm×m is observed in the coordinates x (45 ± 50) m and y (0 ± 15) m.

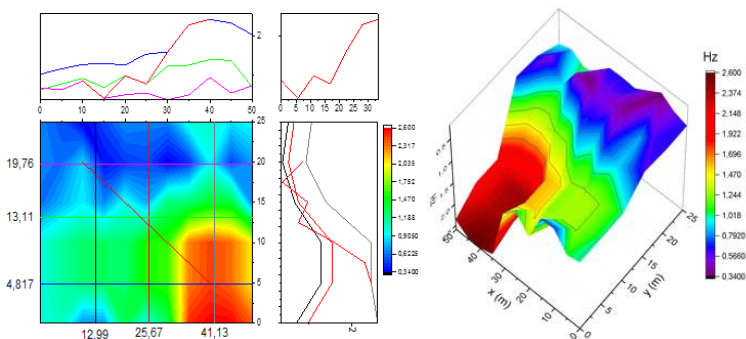


Fig. 3. Surface topography and 3D graph for the H_z data under the dam surface

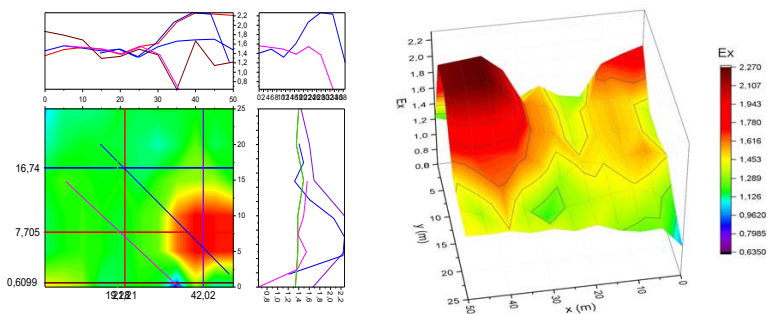


Fig. 4. Surface topography and 3D graph for the E_x data under the dam surface

Figs. 3 and 4 give the spatial arrangement of the cavity in the concrete structure of the dam. The cavity under the concrete surface can be measured with an accuracy of 5 %. Fig. 4 describe the response of the E_x parameter for the investigated geological structure. 3D graphs for parameters ϕ and S (Fig. 5) differ from the previous ones. A deep theoretical analysis of these results is required, which may be the subject of the following studies.

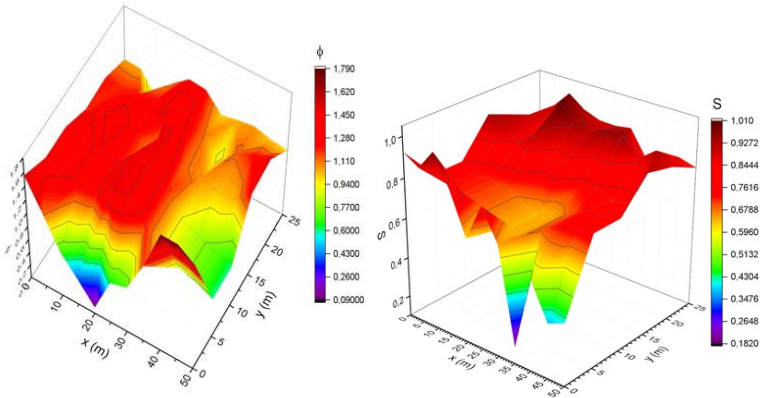


Fig. 5. 3D graph of the phase distribution and the parameter S under the dam surface

Conclusion

Our studies performed by the radio wave method based on the impulse Ground-Penetrating Radar SDI K-5 showed the possibility of:

- 1) Measurements of the topology of the internal structure of the concrete structure of the dam in the form of a longitudinal vertical section;
- 2) The use of computer processing of experimental data made it possible to obtain a 3D image of the cavity inside the dam, not visible to humans from the surface.
- 3) The method can be used to detect hidden areas and cavities in massive concrete structures.

References

1. M. S. Zhdanov, Foundations of geophysical electromagnetic theory and methods, Second Edition, Elsevier, 2018.
2. Yuriy Vashpanov, Jung-Young Son, Gwanghee Heo, Tatyana Podousova and Yong Suk Kim Vision-based Measurement of Geometric Parameters of Cracks in Concrete, in Anuj Kumar Goel (Ed.), *Advanced Aspects of Engineering Research*, Vol. 11, BP International, London, Chapter 5, 2021, pp. 41-58.
3. Yuriy Vashpanov, Gwanghee Heo, Jung-Young Son and Tatyana Podousova, Remote optical measurements of cracks in concrete structures using computer image processing, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1141, 2021, 012028.
4. Yuriy Vashpanov, Jung-Young Son, Gwanghee Heo, Tatyana Podousova, and Yong Suk Kim, Determination of Geometric Parameters of Cracks in Concrete by Image Processing, *Advances in Civil Engineering*, 2019, Article ID 2398124.

STRUCTURE FORMATION AND SAVING OF ENERGY RESOURCES IN PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES OF HEATING DOLOMITE WASTE

Vinnichenko V. I.

(Cool Clean Researches & Technologies, France)

Vinnychenko O. V.

(Beketov O. M. National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine)

Introduction. Dolomite rocks are one of the most widespread and insufficiently developed varieties of mineral raw materials in the construction industry. They can be used for the production of various types of binders and building materials based on them [1-2]. However, at present such materials are commercially produced in small quantities. Using magnesian binders, various types of finishing and heat-insulating materials are produced [2-4]. One of the advantages of magnesia binders is the significantly lower energy costs for their production compared to the production of lime and Portland cement. When firing dolomite, less gaseous pollutants are released.

THEORETICAL

Theoretical costs of heat energy for dolomite clinker formation are the costs of heat for dissociation of $MgCO_3$, a certain amount of $CaCO_3$, and impurities dehydration:

$$q_{kl} = G_{CaCO_3}^C \cdot (\Delta H_t)_1 + G_{MgCO_3}^C \cdot (\Delta H_t)_2 + G_{AS_2H_2}^C \cdot (\Delta H_t)_3$$

where, $G_{CaCO_3}^C$, $G_{MgCO_3}^C$, $G_{AS_2H_2}^C$ are the content of calcium carbonate, magnesium carbonate and aluminosilicates respectively in dolomite per 1 kg of clinker,

$(\Delta H_t)_1$, $(\Delta H_t)_2$, $(\Delta H_t)_3$ are the enthalpy of the reactions of decarbonization of calcium carbonate, magnesium carbonate, aluminosilicate impurity.

Theoretical costs of heat energy for dolomite firing are (220-230) kcal/kg of clinker. For comparison, theoretical heat consumption for firing Portland cement clinker is (420-430) kcal/kg of clinker, on average. Actual fuel consumption for firing depends on the commodity moisture and efficiency of the heat generating unit. Fuel consumption for firing dolomite clinker is reduced by 47% as compared to Portland cement clinker, i.e.

almost twice under equal conditions of the initial moisture content of the commodity and the furnace efficiency.

EXPERIMENTAL

An STA 449 F3 Jupiter synchronous thermal analysis instrument with a QMC 409C Aeolos mass spectrometer (Great Britain) was used for experimental studies of the behavior of materials upon heating.

The possibility and advisability of joint application of waste coal and dolomite waste to obtain binders is first determined by the nature of the behavior under heating of the organic component of the waste coal. Gravity concentration waste of the Belorechensk concentrating mill and Krasnoyarsk dolomite were used for making the studies.

The process of thermal oxidative breakdown characterized by the release of gaseous volatile products is within the temperature range of (100-366.8)°C. Under further heating the processes of thermal breakdown of the organic mass of waste is intensified accompanied by the release of volatile substances and resins, occurring together with the dehydration of aqueous oxides of aluminosilicates. The character of the effect i.e. two maxima on the DSC curve indicates that the composition of the organic component is inhomogeneous. On the DTA curve, intense exothermic effects with a maximum at 480°C and 550°C correspond to this process. The process ends at 654.4°C, therewith a 9.73% weight loss is observed due to volatile organic compound release.

The process of thermal breakdown of the organic component within 654.4°C-980°C temperature range is known as semicoking with the formation of a liquid phase - the plastic state of coal - with the subsequent transformation thereof into semicoke.

Comparison of the heating curves of dolomite and a mixture of dolomite and waste coal indicates a decrease in temperature at the beginning of carbonate dissociation. The temperature of the start of dissociation of carbonates is, °C:

dolomite - 747.2

dolomite/mixture 1:1 - 716.7

dolomite/mixture 1:2 - 709.3

dolomite/mixture 1:3 - 701.6.

It can be seen that the endothermic process of decarburization of MgCO₃ and CaCO₃ with waste undergoes significant changes.

Deviations of the DTA curve of dolomite after heating in the temperature range of 700 - 750°C indicate a stepwise process of dolomite decarburization.

An intense endothermic peak at 815.9°C corresponds to the dissociation of magnesium carbonate, and an endothermic effect with a maximum at 919.9°C corresponds to the dissociation of calcium carbonate.

When waste coal is added to dolomite, the nature of the thermal effect changes significantly, although the features of thermochemical transformations of the organic component of the waste remain. The exothermic effects observed on the curve are due to the thermal-oxidative decomposition of the organic component of the spent coal.

According to the analysis of thermal regimes, the decarburization process is intensified.

Energy consumption for endothermic reactions of decarbonization of magnesium and calcium carbonates decreases and amounts, J/g:

dolomite - 745.7 (area - 745.7 J/g)

dolomite/mixture 1:1 - 440.5

dolomite/mixture 1:2 - 331.6

dolomite/mixture 1:3 - 255.6.

The combustion of the organic component of the waste at the required temperature and oxygen leads to exothermic transformations and is accompanied by a change in the internal heat content of the system. This is confirmed by a significant decrease in the area occupied by the curves on the thermograms recording endothermic reactions, from the point where heat absorption begins to the point where it ends.

Comparison of data shows that the decarburization of dolomite requires more thermal energy than the decarburization of mixtures of dolomite and waste coal.

Based on these data, it can be said that the production of cement from dolomite is energetically beneficial.

A very interesting dependence is observed when analyzing the amount of heat required for the decarburization reaction

The total thermal energy required for the occurrence of chemical reactions is reduced by more than three times.

Exothermic reactions in dolomite and waste mixtures provide the need for endothermic processes in thermal energy.

Gaseous substances are released from mixtures in different quantities. They consist mainly of carbon dioxide - CO₂ and products of combustion of the organic mass of waste. A change in the mass of a substance occurs due to the release of gases from minerals during transformation reactions. Comparison of the mass change in fig. 3 shows the reduction in outgassing. The thermograms clearly show a decrease in the mass of a substance during thermal destruction in the series:

- dolomite waste,

- dolomite waste: coal waste 1:1,
- dolomite waste: coal waste 1:2,
- dolomite waste: coal waste 1:3.

This indicates that this technology reduces atmospheric pollution by gases, mainly CO₂.

These data indicate that the production of cement and lime from dolomite is environmentally sound.

RESULTS

The economic and energy feasibility of obtaining dolomite binders from waste is substantiated. The research results showed that carbon and its gasification products, participating in the dissociation reactions of magnesium and calcium carbonates, make it possible to intensify the process of dolomite decarburization.

Comparative studies of the thermal characteristics of coal waste, dolomite waste and a mixture of coal waste and dolomite waste have been carried out. It has been established that the decrease in the energy intensity of endothermic processes of dolomite decarburization is associated with exothermic reactions in the mixture. It is shown that this technology contributes to a significant reduction in the cost of energy resources.

The conducted studies show that it is possible to completely replace the raw materials extracted from the deposits with waste.

Based on these data, it can be said that the production of cement from a mixture of dolomite and coal waste is economically and energetically beneficial, as well as environmentally safe compared to currently produced cements.

BIBLIOGRAPHY:

1. Sorel S. Improved composition to be used as a Cement and as a Plastic Material for Molding Various Articles //United States Patent Office. Patent 53/092, 6 March, 1866, Paris, France.
2. Kozlova V.K. Integrated use of Taenzinskoye deposit dolomites / V.K. Kozlova, T.F. Sweet, A.M. Dushevina, A.S. Chelyshev, A.T. Pimenov // Construction materials, 2004. No.1 pp. 29-31.
3. Kozlova V.K. Construction materials based on Taenzinskoye dolomite / V.K. Kozlova, A.M. Dushevina, A.S. Chelyshev // Reliability and durability of construction materials and structures: Proceedings of the III International Scientific and Technical Conference. Volgograd: VolgGASA, 2003. P.3, pp. 108-110.
4. De Wolff, P.M. Hydratations prozesse und Erhartungs eigenschaften in Systemen MgO-MgCl₂ [text] / P. M. De Wolff, M. L. Walter – Levy // Zement-Kalk-Gips.– 1953, – II. №4. – P. 125-137.

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ: ВИЗНАЧЕННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ

Вировой В. М., *д.т.н., проф.,* **Коробко О. А.,** *д.т.н., доц.,*
Суханов В. Г., *д.т.н., проф.,* **Заволока М. В.,** *к.т.н., проф.*
(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Історично так склалося, що властивості будь-яких систем пов'язуються з їх структурою. Більш детальний аналіз дозволяє дійти висновку, що структура, як така, відображає миттєвий кількісний та якісний склади цілісної системи з фіксованими орієнтуваннями в просторі компонентів один відносно одного, що забезпечує прояв «миттєвих» властивостей. В такому тлумаченні структура, а також вся система, існує поза своєю історією.

Відсутність історії знеособлює структуру, надає багатоваріантність невизначених в минулому та майбутньому. Для розкриття потенційних можливостей структури слід, на нашу думку, доповнити її змістовну частину змінними в часі процесами.

До таких процесів, які не замирають ні на мить, відносяться безперервні процеси структуриування. Завдяки структуриуючим процесам в системах самовільно виникають принципово нові елементи, змінюються взаємовідносини між окремими елементами та структурами, виникають конфліктні та критичні ситуації, реалізуються ефекти адаптації та, головне, система здатна виконувати своє функціональне призначення.

Тому важливими та начальними задачами слід вважати задачі, пов'язані з визначенням поняття «структуриування», аналіз механізмів прояву з метою направленою розвитку для забезпечення безпечного функціонування об'єктів-систем в умовах негативної дії навколишнього середовища. В загальному випадку під структуриуванням розуміється змінний в часі процес самовільного виникнення із всієї множини елементів на даний час цілісної системи, можливості якої стають значно більшими порівняно з можливостями індивідуальних елементів, взятих в сукупності.

В такому визначенні головним є слово процес, що підкреслює, що структуриування неможливо вивчати та аналізувати шляхом його зупинки. Таким чином, структуриування слід розглядати як сукупний безперервний змінний в часі процес, який розвивається невинно на різних рівнях неоднорідностей за різними механізмами та в різних темпоритмах. Це означає, що в поліструктурних об'єктах, до

яких відноситься вся гамма композиційних будівельних матеріалів і конструкцій, можна виділити вертикальну та горизонтальну складові структуроутворення.

Вертикальна складова включає всю множину принципово різних механізмів організації структури в залежності від рівнів неоднорідностей структури. Вона вносить різноманітність як в просторі, так і в часі, в загальний безперервний процес структурних трансформацій.

Саме вертикальна складова привносить повну «автономність» структурних рівнів, їхній своєрідний «сепаратизм», який не здатний радикалізуватися за рахунок взаємодії та взаємозалежності від інших рівнів структури. Горизонтальна складова реалізує певні механізми структуроутворення, які характерні саме для певного рівня неоднорідностей.

Попередній аналіз та дослідження дозволили виділити наступні рівні структурних неоднорідностей: - рівень мікроструктури, на якому реалізуються механізми міжчасткових взаємодій; - макрорівень, на якому відбувається взаємодія матричного матеріалу з заповнювачами; - рівень виробу, на якому геометричні характеристики виробу впливають на процеси структуроутворення матеріалу. Взаємодія вертикальної та горизонтальної складових веде до того, що конструкція (зразок, виріб) не може розглядатися як монолітне поєднання окремих склеєваних компонентів, а являє собою утворення, яке є багатошаровим, багатоукладним, наповненим структурним різноманіттям та залишковими локальними та інтегральними деформаціями.

При цьому слід враховувати, що на кожному горизонтальному рівні реалізується свій індивідуальний механізм багатоосередкового структуроутворення. Саме він на кожному рівні веде до прояву ефектів еквіфінальності: незалежно від рівня структури та механізмів прояву виникають принципово нові елементи структури – поверхні розділу.

Поява нових домінуючих елементів дозволяє стверджувати, що структуроутворення закладає певну асиметрію між тим, що було, та тим, що буде, і, тим самим, починає нову історію формування структури по типу «від досягнутого».

Структуроутворення показує, що структурні рівні не завжди управляють поведінкою один одного, навіть у випадках, коли вони є складовими один одного. На нашу думку, можна стверджувати, що розкриття сутності поняття «структуроутворення» дозволяє підіймати за навіс, за яким відкриваються всі репертуари та сценарії

реалізованих та нереалізованих п'єс. При цьому один сценарій не викликає супротив іншому.

Проведений аналіз ще далекий від розкриття сутності поняття структуроутворення, але достатній, щоб стверджувати, що структура і структуроутворення різні по інформаційній насиченості поняття. Особливо, це слід враховувати при проектуванні та виготовленні конструкцій, які являють собою матеріал, оформлений в певні геометричні форми.

ВПЛИВ МОДИФІКАТОРІВ НА АДГЕЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ І ТЕПЛОВИДІЛЕННЯ ЕПОКСИДНИХ ПОЛІМЕРНИХ РОЗЧИНІВ

Гара Ан. О., к.т.н., доц., Гара О. А., к.т.н., доц.

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Ефективною технологією підвищення терміну служби бетонних конструкцій є нанесення захисних покриттів із матеріалів підвищеної стійкості. Для цих цілей широко використовуються композиційні матеріали на основі епоксидних смол, поєднання яких (особливо актуальне при їх дефіциті) з іншими олігомерами та наповнювачами дозволяє знижувати вартість та покращувати технологічні та експлуатаційні властивості таких матеріалів.

В Україні виробляється та застосовується на різних будівельних об'єктах пластифікована каучуком смола «Макро» (на основі ЕД-20, за патентом України №112268). Дослідження експлуатаційних властивостей полімеррозчинів на цій смолі показали доцільність додаткової модифікації – за рахунок запровадження фурфуролу та цеоліту (патент України №5408). Однак, причини та умови їх позитивного впливу на структуру модифікованих епоксидних композицій (виявленого за характеристиками адсорбції, стійкості та ін критеріям якості) мало досліджені.

Найбільш надійним захистом бетону від впливу навколишнього середовища є ізоляція поверхні захисними покриттями, тому адгезія полімерного покриття до бетонного субстрату є найважливішою характеристикою захисних покриттів. Наявність мікропорожнеч, що виникають у процесі формування клейового прошарку, концентрація напруги на межі розділу та інші фактори сприяють тому, що слабким місцем у поєднанні є граничний шар. Тим не менш, при правильному виборі способу підготовки поверхні та дотриманні інших технологічних рекомендацій руйнування сполук на епоксидних сполучних має яскраво виражений когезійний характер.

Епоксикаукукові сполуки мають покращені адгезійні властивості в порівнянні з не модифікованими епоксидними смолами. Щеплення молекул каучуку проходить кінцевим функціональним групам смоли, і зі збільшенням його змісту підвищується молекулярна рухливість ланцюгів, змінює структурні параметри просторової сітки. Оцінка адгезійної міцності здійснювалася за допомогою спеціально спроектованого та виготовленого пристрою за зусиллями відриву від бетонної основи. В експерименті досліджувалися 14 композицій з різним вмістом компонентів дисперсної системи: кількість мінерального каркасу (пісок до 0.3 мм +

наповнювач, в.ч. на 100 в.ч. смоли) – ступінь наповнення $X_1 = 280 \pm 100$ в.ч.; вагова частка наповнювача у каркасі (діабаза з питомою поверхнею $S = 300$ м²/кг + цеоліту) $X_2 = 0.6 \pm 0.3$; частка цеоліту у наповнювачі $X_3 = 0.15 \pm 0.1$; дозування фурфуролу (м. год. на 100 м. год. смоли) $X_4 = 7 \pm 5$.

Для оцінки адгезійної міцності між бетоном та захисним покриттям, були попередньо виготовлені зразки-куби з ребром 4см із дрібнозернистого бетону (міцність на стиск – 60 МПа). Шар досліджуваного полімер-розчину (0.3 мм) було укладено між бетонними зразками та круглими металевими пластинами діаметром 27 мм. Випробування на відрив проводилися у віці 1, 2, та 30 діб на розривній машині. При проектуванні пристрою виходили з припущення, що міцність приклеювання епоксидних композицій до бетону в будь-якому випадку буде менше адгезійної міцності останніх до сталі. У композиціях з підвищенням вмістом фурфуролу відрив бетону відбувається вже в першу добу твердіння полімер-розчину (Табл. 1), що підтверджує його участь у процесах інтенсифікації початкової фази структуроутворення.

Таблиця 1. Міцність приклеювання та характер руйнування композицій

№	Мінеральний каркас, м.ч.	Масова доля наповнювача, в.ч.	Доля цеоліта в наповнювачі, в.ч.	Вміст фурфуролу, в.ч.	Міцність приклеювання при отриві		
					1-е сутки	2-е сутки	28-е сутки
1	180	0.3	0.05	7	1.08-бп	5.11-б	Відрив по бетону
2	180	0.9	0.05	12	4.76-п	6.20-б	
3	180	0.3	0.25	12	4.21п	5.06-б	
4	180	0.9	0.25	12	3.91-б	6.14-б	
5	380	0.3	0.25	2	–	0.12-п	
6	380	0.9	0.05	2	–	0.12-п	
7	280	0.9	0.25	2	–	1.32-п	
8	280	0.3	0.25	12	4.39-б	5.06-б	
9	380	0.6	0.25	2	–	0.60-п	
10	180	0.6	0.25	12	5.30-б	5.96-б	
11	380	0.9	0.15	2	–	2.41-п	
12	180	0.9	0.15	12	5.06-б	6.38-б	
13	380	0.3	0.15	7	0.84-п	3.85-б	
14	280	0.6	0.15	7	1.16-п	5.48-б	

Літерні позначення в таблиці вказують на характер руйнування: б – по бетону, п – по полімеррозчину.

Слід зазначити, що міцність приклеювання покриттів до бетону всіх досліджуваних зразків у віці 28 діб перевищувала розривну міцність бетону. Руйнування завжди протікало по тілу бетону у вигляді глибокого виризу-вири. У всій області досліджуваних складів значення адгезійної міцності (у віці 28 діб) вище 4 Мпа що значно перевищує специфіковану для полімеррозчинів межу.

Для підтвердження гіпотези про інтенсифікацію процесів формування структури наповнених композицій на смолі "Макро" внаслідок введення органічного модифікатора-фурфуролу проведено серію експериментів, пов'язаних з визначенням характеристик тепловиділення.

В експерименті за допомогою рідинного калориметра-інтегратора визначалася сумарна кількість теплоти Q (кДж/кг), що виділяється при твердінні дев'яти композицій, наведених у табл. 2. Рівні дозувань фурфуролу (Ф%) та питома поверхня наповнювачів ($S=300 \text{ м}^2/\text{кг}$), діабазу (Д) та цеоліту (Ц), обрані відповідно до умов випробувань адгезійних властивостей композицій та експерименту, в якому для широкого діапазону складів модифікованих полімеррозчинів визначалися експлуатаційні властивості.

Таблиця 2. Композиції для визначення характеристик тепловиділення.

В'яжуче	Наповнювач (вагові частини на 100 в.ч. смоли)		
Макро	0	100 Д	70 Д +30 Ц
Макро + 7% Ф	0	100 Д	70 Д +30 Ц
Макро + 12% Ф	0	100 Д	70 Д +30 Ц

Слід зазначити, що через введення каучуку тепловиділення смоли «Макро» менше, ніж у базової смоли ЕД-20.

При введенні мінерального наповнювача кількість виділеного тепла знижується (насамперед через заміщення частини смоли поглинаючими тепло зернами діабазу). При цьому падає швидкість тепловиділення: при співвідношенні наповнювач-смола масою 1:1 максимальна швидкість вдвічі нижча, ніж у «Макро» без наповнювача.

У всіх трьох групах результатів (без наповнювача та 2 варіанти наповнення) фурфурол збільшує тепловиділення в перші 30 хвилин твердіння, інтенсифікує початкову фазу структуроутворення. Це особливо помітно в не наповнених композиціях (максимальна швидкість

тепловиділення при $\Phi=7\%$ вдвічі вища, ніж чиста «Макро»). У цей період виділяється більша частина тепла, а при $\Phi = 12\%$ - практично все тепло.

У композиціях без наповнювача максимум кількості тепла Q , виділеного протягом 2 годин, відповідає доза Φ близько 5%. У наповнених композиціях введення фурфуролу не має такого ефекту, що можливо пов'язане з орієнтовною дією поверхні наповнювача і зміною співвідношення між компонентами епоксидної системи в поверхневому шарі [3,7].

Введення наповнювачів у кожне із трьох в'язучих (з різною кількістю фурфуролу), очікувано, призводить до зменшення тепловиділення. Якщо частина діабазу (30%) замінюється цеолітом, що має принципово іншу кристалохімічну структуру, то за відсутності фурфуролу зменшення Q менш інтенсивне. Введення фурфуролу знімає різницю між наповнювачами за ефектом зниження тепловиділення.

Активізуючи початкову передгелеву стадію структуроутворення (до початку схоплювання, за досить високої рухливості молекулярних ланцюгів), фурфурол уповільнює процес більш пізніх стадій. У наповнених епоксидних системах це може сприяти релаксації напруг, що виникають при твердінні, а також формуванню щільного граничного шару (якщо швидкість адсорбційної взаємодії вище швидкості утворення просторової сітки). Таким чином, певною мірою усуваються умови для утворення тріщин і пір, що повинно привести до поліпшення експлуатаційних властивостей матеріалу.

Додаткова модифікація фурфуролом композицій на модифікованій каучуком епоксидній смолі, практично не знижуючи рівня тепловиділення, змінює його кінетику, що повинне сприяти зниженню внутрішніх напруг у затверділих матеріалах, зокрема, у захисних та ремонтних покриттях. Можливість управління кінетикою твердіння наповнених модифікованих систем при достатній кількості тепла, що виділяється, дозволяє використовувати такі композиції в ремонтних технологіях пошарово з твердіючим бетоном (патент України № 26905), покращуючи при цьому умови гідратації цементу та отримуючи в зоні ремонту високоякісний монолітний композит.

ОЦІНКА ФАКТИЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ-ПАМ'ЯТОК В МІСТІ ОДЕСА

Гнип О. П. *к.т.н., доц.*, Мішин В. М., *к.т.н., доц.*,
Стрельцов К. О., *к.т.н., доц.*

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

У жовтні 2022 року Президент України В. Зеленський офіційно оголосив про подання заявки до ЮНЕСКО. Оціночні органи вивчали номінацію протягом наступних тижнів, що дозволило її розглянути на надзвичайному засіданні Комітету всесвітньої спадщини в Парижі.

За результатами 18-ї позачергової сесії ЮНЕСКО в Парижі 25 січня 2023 року Комітет всесвітньої спадщини ухвалив рішення про включення культурно-історичної пам'ятки «Історичний центр міста-порту Одеса» до списку всесвітньої спадщини під загрозою, що дає йому доступ до посиленої технічної та фінансової міжнародної допомоги, яку Україна може запросити, щоб забезпечити захист об'єкта і, у разі потреби, допомогти у його відновленні. Це рішення визнає визначну універсальну цінність об'єкта та обов'язок всього людства захищати його.

Йдеться про центр міста, спланований Францом де Воланом наприкінці XVIII століття. Якщо подивитися на плани та карти, то планування нашого міста не змінилося. Саме планування міста і все, що всередині історичного центру - це пам'ятка архітектури.

Лише частина історичного центру міста визнана Світовою спадщиною ЮНЕСКО, зокрема, Одеський торговельний порт та номінована зона - обмежена вулицями Приморською, Садовою, Преображенською, а також Соборною площею, Польським узвозом тощо. У певних межах знаходяться лише 42 пам'ятки архітектури та об'єкти культурної спадщини національного та місцевого значення. Серед них і відомий усьому світу Одеський театр опери та балету, будівля Філармонії, будівля Старої біржі, комплекси будівель на Приморському бульварі, Дерibasівській та Пушкінській вулицях.

«Включення історичного центру Одеси до списку всесвітньої спадщини означає певні гарантії безпеки над небом Одеси, бо це певною мірою захист для Одеси. З іншого боку, це також вказівка місцевій владі, центральній владі почати впорядковувати історичний центр Одеси ...», - сказав міністр культури та інформаційної політики О. Ткаченко.

Статус об'єкта Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО дає гарантії збереження та цілісності унікальних природних та культурних комплексів, підвищує престиж територій та установ, які ними дбають.

Унікальність Одеси для світу номінується за двома критеріями: унікальна мультикультурність та унікальне містобудівне рішення, тобто спочатку ми говоримо про культурні цінності, а потім уже знаходимо відображення цього в архітектурі.

Одеса – це місто, до якого приїхали італійці, французи, німці, греки. Зрозуміло, тут на той момент вже були українці, росіяни, потім приїхали євреї. Це був плавильний котел культур, де людей об'єднала насамперед свобода і, зокрема, свобода підприємництва. Це дало можливість місту в описуваний період стати найшвидшим містом у світі! І це було зроблено величезною кількістю культур ~ 130 національностей.

Основні переваги вступу Одеси до ЮНЕСКО можна звести до наступного короткого переліку: підвищення престижу територій та установ, що керують ними; популяризація включених до списку об'єктів; пріоритетність у залученні фінансових коштів для підтримки об'єктів Світової спадщини, а також надання обладнання для оцифрування щонайменше 1000 витворів мистецтва в Одесі та документальну колекцію Одеси.

На міську владу м. Одеси новий статус міста накладає основний обов'язок – збереження пам'яток містобудування та архітектури. Виділено дві зони: центральна та буферна. У центральній заборонено будувати будь-що, можна лише ремонтувати та консервувати. У буферній також дуже багато заборон. Зокрема, висотність нових будинків не повинна руйнувати краєвид, щільність населення та дороги. Правил, яких ми повинні дотримуватись, дуже багато.

Проблем ще довоєнних вистачає. Зокрема це стосується стану пам'яток архітектури та містобудівництва. Деякі з них, зокрема багатостраждальні будинки Русова та Лібмана реставрували. Але більшість історичних будівель все ще чекає на відновлення.

В центральній частині, окрім пам'яток містобудування і архітектури, знаходяться об'єкти збудовані в період 1820-тих років і до 1920-их. Більша частина громадських будинків старої забудови була переобладнана під житлову з переплануванням під так звані «комуналки». Паралельно з цим процесом розвивались житлово-комунальні послуги, а саме – виконувалася розводка інженерних мереж водопроводу, опалення та каналізації. Саме ці заходи явились одним із найбільших впливових чинників, що вплинули на технічний

стан основних несучих конструкцій – фундаментів, стін і перекриттів, під частих аварійних проривів в системах.

Іншим чинником, що впливав і впливає в теперішній час на технічний стан будівель, є автентичне первісне конструктивне рішення кроквяних конструкцій дахів і покрівель. На деяких будинках ці конструкції не ремонтувалися і не замінювалися по 30...50 років. Попадання атмосферних опадів через аварійні ділянки покрівлі призводить до руйнівного стану дерев'яних конструкцій, у тому числі і перекриттів, їх загнивання і руйнування.

Майже всі будинки зведені в кам'яній кладці з природнього каменю вапняку-ракушняку. Неналежне обслуговування і відсутність окремих деталей і елементів в системах зовнішнього водовідведення стічних дахових вод веде до зниження не тільки зниження міцності окремих каменів – розрихлення структури, але й до зниження несучої здатності конструкцій фундаментів і стін, що, в свою чергу, призводить до виникнення в них дефектів у вигляді наскрізних тріщин і просідань окремих ділянок.

Іншим показником погіршення технічного стану будівель старої забудови є вплив динамічного характеру. Незадовільний стан трамвайних колій в безпосередній близькості до будівель, збільшений потік автомобільного транспорту негативно впливають на стан зовнішніх несучих конструкцій – вібрація через основи фундаментів передається на стіни і перекриття. Ці руйнування можна помітити на фасадах будівель по вулицях Пантелеймонівська, Преображенська, Софіївська, Катеринівська та ін.

На протязі останнього збільшився ризик від впливу на технічний стан будівель-пам'яток ще одного фактору – підвищення сейсмічної активності. Великої сили землетруси зафіксовано в Турції, Сирії в Середній Азії, на Далекому сході призвели до катастрофічних наслідків з великою кількістю жертв серед населення. Основним матеріалом, що пов'язує окремі камені в конструкціях будівель старої забудови використовувався вапняно-піщаний, а в окремих випадках глиняно-піщаний розчини. Навіть при великій товщині стін (0,80...1,20 м) цілісність кам'яних конструкцій при дії сейсмічних впливів не забезпечується. Стан клиноподібних перемичок також не відповідає збереженню планувальних параметрів – відбувається висипання розчину зі швів і осідання окремих каменів.

В останні 10...15 років міська влада Одеси приділила і приділяє увагу до відродження автентичного стану фасадів будинків-пам'яток з ремонтом дахів з покрівлями. Так, свіжий вигляд одержали будівлі-пам'ятки, розташовані по вулицях Гоголя, Ланжеронівська,

Софіївська, Преображенська, Сабанєєв міст, Соборна площа і ін. із збереженням архітектурно-стилістичного вирішення фасадів.

Для продовження терміну служби і експлуатації об'єктів в якості культурної спадщини та збереження композиційного і утилітарного рішень виконуються реставраційні роботи у відповідності з розробленими проектами. При реконструкції будівель використовувалися сучасні технології з застосуванням сучасних будівельних матеріалів і виробів, сертифікованих в Україні з їх прямим функціональним призначенням, які по своїм температурно-вологісним показникам не призводять до виникнення пошкоджень, дефектів і руйнувань.

З 24 лютого 2022 року на території України ведуться бойові дії. За останній рік в зоні міста Одеси, виділеній Світовою спадщиною ЮНЕСКО, за період бойових дій обстрілами ворожими силами були нанесені пошкодження будівлям і спорудам як старого фонду, так і сучасного. Наказом від 28.04.2022 р. за №65 Міністерством розвитку громад та територій України була розроблена «Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів», яка регламентує процедуру проведення огляду та обстеження постраждалих об'єктів.

Обстеження виконується спеціалізованими організаціями, або із залученням кваліфікованих експертів з метою обґрунтування рішень заявника щодо подальшої експлуатації пошкодженого об'єкта, зокрема: підтвердження можливості подальшої безпечної експлуатації; встановлення необхідності відновлення будівлі чи споруди; планування невідкладних протиаварійних робіт, консервації; обґрунтування прийняття рішення щодо припинення експлуатації, виконання робіт із демонтажу.

За результатами обстеження, крім встановлення категорії технічного стану будівельних конструкцій, інженерних мереж та об'єкта в цілому визначається категорія пошкоджень об'єкта з урахуванням класифікаційних ознак, що можуть бути уточнені з урахуванням галузевої специфіки об'єкта.

Вплив і результат стану від дії снарядів та ударної хвилі від вибухів на стан несучих і огорожувальних конструкцій різний. Так встановлено, що найбільшому руйнуванню зазнають конструкції з кам'яної кладки (штучного чи природнього каменю), меншого – залізобетонні конструкції і, особливо, самонесучі і навісні панелі на основі пористого заповнювача (керамзитобетонні). Це можливо пояснити з позицій структуроутворення і руйнування матеріалу конструкцій, а також з позицій того, що руйнування важкого бетону є

крихким, а легкого – пластичним. Контактна зона «заповнювач - розчин» у керамзитобетонах незважаючи на його функцій не призначення не є яскраво вираженою, в той час як у кам'яних і важких бетонних конструкціях ця зона утримується за рахунок цементно-піщаної матриці.

Таким чином, при проектуванні будівництва об'єктів громадської і житлової інфраструктури, виробничих будівель і споруд, реконструкції і реставрації об'єктів культурної спадщини необхідно враховувати різноманітний вплив як природніх так і фізико-технічних факторів.

ПРОЦЕС ГІДРАТАЦІЇ НАНОМОДИФІКОВАНОГО НАПВВОДНОГО СУЛЬФАТА КАЛЬЦІУ

Дерев'яню В. М., д.т.н., проф.

*(Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
Україна)*

Кондратьєва Н. В., к.т.н., доц.

*(Український державний хіміко-технологічний університет,
Україна)*

Гришко Г. М., к.т.н., доц.

*(Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
Україна)*

Савін Ю. Л., к.т.н., доц.

*(Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
Україна)*

Актуальність теми досліджень полягає у визначенні основних факторів впливу нанохарактеристичних параметрів модифікаторів на процеси гідратації в'язучих речовин. Введенням наноструктурних елементів та додатків поверхнево активних речовин (ПАР) можна суттєво покращити або отримати нові властивості матеріалу В цьому плані перспективним напрямком є застосування наноматеріалів для модифікації гіпсових в'язучих речовин.

Аналіз досліджень та публікацій показує досить широкого спектру добавок-модифікаторів: мікро, ультра, нано [1]. Які є багатокомпонентними системами: нанодобавки, або комплексу, поверхнево активних речовин (ПАР) та затворювача. Методології і методики експериментів не завжди враховують індивідуальний та сумісний вплив компонентів.

В роботах [1-5] спостерігаються відмінності концентраційних залежностей властивостей та структури і відповідно механічних характеристик. Вміст модифікуючих добавок в багатьох випадках значно відрізняється, але у в основному для групи макро і мікро знаходиться у межах до 1-2 %, ультра і нано 0,005-0,25%. Це пояснюється такими факторами [1]: природа модифікаторів, параметри синтезу, структурно-морфологічні особливості модифікаторів, спосіб введення, ступінь диспергування, хімічний склад поверхні [6].

Гіпотези, що пояснюють зміну властивостей в'язучих речовин при модифікуванні ультрадисперсними та нанодобавками приведені в працях: Фішера Г.Б., Пругіна А. А.; Войтовіча Є. В.; Яковлева Г. І., Гаркаві М. С.; Бур'янова А. Ф.; Кондратьєвої Н. В., Токарева Ю. В.,

Дерев'яно В. М [6]. Але розвиток цього напрямку потребує теоретичної бази та експериментального підтвердження [7].

Матеріали та обладнання. В роботі проводилося дослідження впливу ультра- та нанорозмірних модифікаторів на властивості будівельний гіпсу Г5-Н-П ДСТУ Б В.2.7-82:2010.

Мікро і нанодобавки - дисперсні порошки SiC у вигляді розчину з заданою концентрацією (г/л). Мікро-, нанопорошки SiC синтезуються шляхом лазерного піролізу газоподібної суміші (SiH₄, C₂H₂). виробництва (SL-AM) комерційного мікронного розміру α-SiC (чистота > 99,5%; d₅₀ ~15 мкм; Beijing Zhongjinyan Co. Ltd., Китай) і нанорозмірні α-SiC (чистота >9 9,9%; d₅₀ ~ 40 нм [8].

Важливою складовою матеріалів досліджень є **поверхнево-активні речовини (ПАР), використання яких пов'язано з процесом диспергації нанодобавок**, і добавок вміст яких менше 1% в суміші.

На основі апріорної інформації і згідно програми досліджень проведено визначення ефективності дії наступних поверхнево-активних речовин, що найбільш широко використовуються для регулювання властивостей мінеральних в'язучих речовин.

Суперпластифікатор полікарбоксилатного типу Basf Glenium ACE 430 (PCE) є добавкою нового покоління на основі поверхнево-активних полімерів з наноспроекованими бічними ланцюгами [9]. Середня молярна маса суперпластифікатора PCE становить близько 10 000 г/моль. Згідно з даними ІЧ-спектроскопії в складі PCE присутні активні полярні групи: -SO₃ ; -OH; -COO ; -CO, а також групи -COOR; -CH₂OR

Проведено попереднє визначення пластифікуючої дії та перевірка степені диспергації ПАР **Master X-SEED 100**. Який згідно з концепцією Crystal Speed Hardening представляє суспензію колоїдних частинок гідросилікатів кальцію – C-S-H [10].

Пластифікатор Sika Visco Crete – рідка добавка на основі модифікованих, рівень рН 8,2. Sika Visco Crete G2 – суперпластифікатор третього покоління на основі полікарбоксилат полімерної технології Visco Crete, рівень рН – 4,0/5,0, щільність- 1,050 до 1,150 г/см³. Хімічна основа – водний розчин модифікованих полікарбоксилатів [11].

Основний матеріал. Програма досліджень складалась: визначення найбільш ефективної добавки ПАР пластифікуючої дії (табл. 1), концентрації дисперсії в розчині (табл. 2). Вплив SiC-micro та SiC-nano на процеси гідратації, структуру і властивості продуктів (табл. 1).

Таблиця 1

Результати випробувань будівельного гіпсу

Гіпсовий розчин	Терміни схоплення, хв - с		В/Г
	початок	кінець	
Із водопроводною	8-55	12-15	0,63
Із дистильованою водою	9	16	0,63
Добавка Кріопласт	14	26	0,55
Добавка Експресс Пласт.	9	16	0,60
Добавка Sika Retarber	15	26	0,58
Добавка Pallete No20	21	33	0,51
Добавка VC 2045	8	17	0,52
Sika ViscoCrete G2	23	29	0,45

Таблиця 2

Вплив добавок на властивості гіпса будівельного Г5-Н-II

Показник	Г5-Н-II	Sika Visco-Crete G2	МС Баухе-ми, 2695 PF	Стахема, STP 156 GL1	МС Баухе-ми, 7915	Корал, N4Sm
Вміст добавки, %	0	0,8	5	1,5	2	1,5
В/Г	0,64	0,473	0,52	0,53	0,557	0,567
Пластифікуючий ефект, %	0	18,7	14	13	10,3	9,3
Початок схоплення, хв-с	8-10	22 -10	14-20	10-50	6 -20	39-50
Кінець схоплення, хв-с	12-20	29-10	21-10	14-10	8-10	43-00
Рзг, МПа	2,2	3,74	3,8	2,71	2,55	1,59
Рст, МПа	4,76	6,68	6,56	5,5	4,31	3,78

Дослідження впливу середовища на ступінь диспергації наночастинок [12] показують, що ізольовані мікро і наночастинок, і їх розчини в воді є енергетичною системою. Ступінь диспергації залежить від типу ПАР (табл. 2) і технології перемішування.

Проведеними дослідженнями фізико-механічних властивостей встановлено найбільш ефективні добавки [13]: добавка MC Баухеми, 2695 PF VC 2045, в/г = 0,52; Sika ViscoCrete G2 з в/г співвідношенням 0,47.

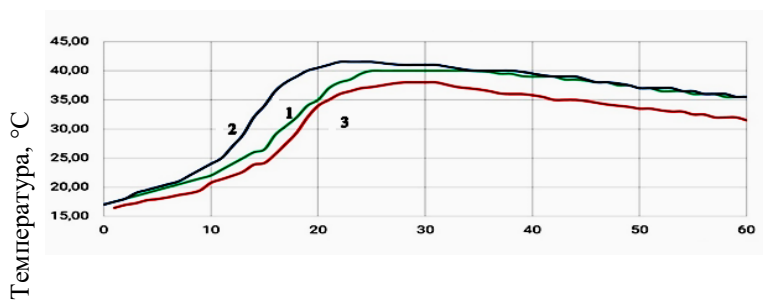
Приготування розчину SiC-micro 0,009 и SiC-nano 241 проводили по розробленій технології. Визначення заданої концентрації (кількість SiC в перерахунку на сухий залишок) добавляється в воду затворювання. Після цього проводиться змішування і формування. Результати приведенні в таблиці 3.

Таблиця 3

Розрахункова концентрація

Найменування добавки	Маса добавки, г	Концентрація, г/л	Кількість води, мл
SiC-nano 241	0,06	0,1	600
SiC-micro 0,009	4	1	1000

Процес гідратації – екзотермічний процес, при якому виділяється значна кількість енергії, що полегшує руйнування кристалічної решітки та дисоціації електролітів. Додавання SiC в водний розчин будівельного гіпсу інтенсифікує процес гідратації, про що свідчить збільшення температурного максимуму та зменшення часу його досягнення (рис. 1).



1 – с SiC-micro, 2 – с SiC-nano, 3 – без добавки
Время, хв
його досягн

Рис. 1. Графіки зміни температури при гідратації β-напівводного гіпсу з добавками SiC-micro, SiC-nano

Модифікація добавками SiC-micro, SiC-nano дозволяє інтенсифікувати процес гідратації напівводного гіпсу та утворення дигідрату за рахунок збільшення поверхневої енергії твердої фази розчину і тим, що мікро і наночастинки відіграють роль центрів кристалізації і в результаті терміни схоплення значно змінюються (рис. 2).

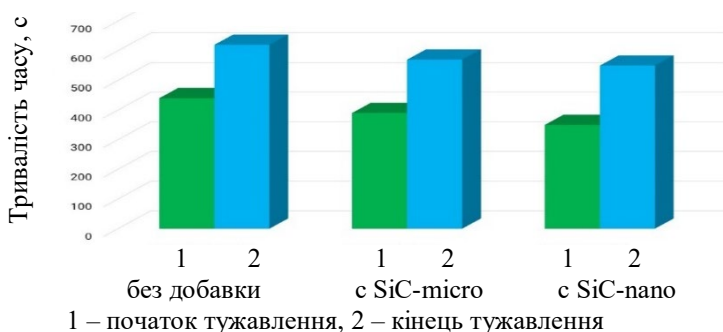


Рис. 2. Діаграми часу схоплення при гідратації напівводного гіпсу

Сутність експериментів заключається в визначенні залежності характеристик структури від кристалоутворюючого середовища.



Рис.3. Фотографії кристалів $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ вирощуваних методом зустрічної дифузії: а) – без добавок; б) – з пластифікатором Sika Visco Grete; в) – Sika Visco Grete і нанопорошок «Тауріт»

Структура, форми і розміри визначають властивості затверділих матеріалів. Використовуючи метод зустрічної дифузії в роботі вирощували кристали гіпсу із насичених розчинів CaCl_2 та Na_2SO_4 без і з добавками [14].

Кристали вирощені без додатків (рис. 3а) тонкі та голкоподібні. Розташування кристалів рівномірне; підкладка (основа) приблизно

1 мм. Довжина кристалів близько 3 - 5 мм, ширина 0,1 - 0,15 мм і товщина близько 0,05 мм. Їх формування проходило по кромці стакану.

На фотографіях (рис. 3б) кристали, вирощені в присутності пластифікатора Sika, можна помітити, що їх зростання почалося з однієї точки, вірогідно, це пов'язано зі зміною поверхневого натягу. І в основному всі кристали росли в друзах. Дослідження структури за допомогою електронної мікроскопії показало, що вони мають довжину від 0,7 до 1,5 см, ширина кристала – 0,8-1 мм. При цьому грані уздовж осі (012) розвивалися не рівномірно, в результаті чого форма кристалів з шестикутника трансформувалася в п'ятикутну.

Механізм гідратації мінеральних в'язучих речовин (в даному випадку напівводного сульфата кальцію) при використанні додатків змінюється також за рахунок зміни концентрації розчину і поверхневої енергії. На це вказують і термодинамічні криві в роботі [15].

Наномодифікація, наприклад, добавкою 'Таурит' (рис. 3в) змінює процес гідратації в'язучих речовин і морфологію кристалів.

Модифікація розчину ультра дисперсною добавкою SiC-micro (5%) та Sika Visco Grete (0,2%, концентрація 0,8 г/л) створює кристалоутворююче середовище в якому в процесі гідратації утворюються переважаючою формою кристалів є стовпчата та деревоподібна.

Проведенні дослідження із зміною до кількості модифікатора до 10% збільшує товщину кристалів до 3 - 5 мм, а довжину 10-15 мм. Утворення різних форм кристалів показує, що вид і кількість добавки змінює параметри процесу гідратації і відповідно структуру та властивості.

Кристали, вирощені з добавкою **SiC-nano**, також мають стовпчасту форму, але ці кристали більш щільні і довші, діаметр 0,5-1мм, довжина – 15мм. Аналіз мікрофотографій, вказує, що кристал росте шар за шаром (рис.4б), які розташовані перпендикулярно осі росту.

Висновки. Механізм процесів гідратації мінеральних в'язучих речовин є досить складним в зв'язку з багатокомпонентністю системи, нестабільністю і значною кількістю факторів впливу. У системі механізм гідратації та тверднення постійно змінюється стан твердою і рідкою фази, що впливає на топологію структури. В результаті формуються гідратні фази з різною кристалічною структурою (голки, волокна, призми, пластинки). Процес гідратації мінеральних в'язучих речовин, тобто переходу неньютоновської рідини в твердий стан, можна розділити три основних періоди: зародження кристалів, формування скелета і його заповнення. Розгляд з цієї позиції дає можливість визначити в спрощеному вигляді механізм структуроутворення.

А також встановити певний зв'язок між властивостями початкових матеріалів, умов процесу гідратації і структурою та властивостями затверділого матеріалу.

Додавання мікро- та нанодобавок дозволяє змінювати поверхневу енергію, а додавання пластифікаторів змінює час перебування розчину в перенасиченому стані. Зміна цих факторів дозволяє впливати на морфологію кристалів. З введенням нанодобавок спостерігається більша впорядкованість у зростанні кристалів, що може бути пов'язано з перерозподілом поверхневої енергії, зі збільшенням кількості центрів кристалізації, більш рівномірним взаємним розташуванням частинок, що збільшує кількість контактів.

У системах зв'язування в процесі гідратації та затвердіння гіпсу стан та топологія структури постійно змінюються. Утворюються гідратні фази з різною кристалічною структурою (голки, волокна, призми, пластинки). Все це вносить певну нестабільність і розлад у формування структури.

Виявлення залежностей між параметрами гідратації, структурою сполучного та функціональними властивостями відкриває нові можливості для отримання матеріалів з поліпшеними або новими властивостями, що відповідають вимогам сучасного будівництва.

1. Solberga Cristell Dissolution of $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ and precipitation of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: a kinetic study by synchrotron X-ray powder diffraction / Cristell Solberga, Staffan Hansena // Cement and Concrete Research. – 2001. – Vol.31. – №4. – P. 641–646.

2. Derevianko V. The influence of nanoparticles on the processes of gypsum hydration/ Derevianko V., Tchymak A., Vaganov V. // Building materials. – М.: 2014, 7. С.22-24. (in Russian).

3. Fischer H.-B. Zum'Altern'von Gipsbinemitteln/H.-B. Fischer, P.V. Krivenko, M.A. Sanytsky // 15. Ibausil, Weimar 2003. – Tagungsband2 - S. 1127-1138.

4. Tolmachev S.N. The using of carbon nanoparticles in the fine-grained concrete // S.N. Tolmachev, E. A. Belichenko. – Kharkiv.: 2014, - 152p. (in Russian).

5. Modifications in water resistance and engineering properties of calcium sulphate hemihydrate plaster-superplasticizer blends / Mridul Garg, Aakanksha Pundir, Randhir Singh // Materials and Structures. – 2016. – Vol. 49. – №. 8. – P. 3253–3263.

6. Plugin A. The mechanism of structure formation and dehydration of gypsum binders/ A.N. Plugin, H.-B. Fisher, A.A. Plugin, K.A. Rapina // Kharkov, 2010. 115. – p.5-22. (in Russian).

7. Нанотехнологии как перспективное направление в строительстве. В.Н. Дерев'янку, А.А. Максименко, А.Г. Чумак, Т.В. Мартыненко, В.Л. Мушкет, Н.В. Кондратьева. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса: ОДАБА, 2013. С.42-52.

8. Kassiba, S. Charpentier. Nanostructured Silicon-based powders and composites. Edited by Andre P. Legrand and Christiane Senemaud ISBN / pp. 139-152 ISBN 0-415-30113-0 (print Edition) ISBN 0-203-27679-5 (adobe eReader Format) ISBN 0-203-22229-6 Master e book].

9. Марушак , Colloidal chemistry examination the steric effect of polycarboxylate superplasticizers / J. Plank, D. Vlad, A. Brandl et al. // Cement international. 2005. № 2. P. 100–110.

10. Добавки в бетон : технический каталог. М. : BASF Construction Chemicals, 2009. 136 с.

11. Дерев'янку В.М. Визначення впливу оптимальних складів нанодобавок-модифікаторів на властивості в'язучих речовин / В.М. Дерев'янку, В.Є. Волкова, Г.М. Гришко, А. Шинкаренко // Водне господарство, водна інженерія та водні технології: Матер. конф – 2021: універ. студ. конф., (11-13 травня 2021 р. – Дніпро): ДДАЕУ, 2021. – С. 4-6.- Режим доступу: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/5521>.

12. Investigation of nanomodified hemihydrate calcium sulfate hydration processes. Derevianko V., Kondratieva N., Sanitskiy N., Hryshko H. // Meridian ingenieresc: № 4, 2016,- Published by technical university of Moldova, - С. 37-41.

13. Kondratieva N., Sanytsky M.; Soltysik R. Microstructure and properties of modified gypsum systems 3. Weimarer gipstagung, Weimar Bundesrepublik Deutschland tagungsbericht, 2017. p. 162-165. ISBN: 9783000554476; 3000554475.

14. Processes occurring during the hydration of nanomodified hemihydrate calcium sulfate/ Rusu I.V., Derevianko V.N., Kondratieva N.V., Hryshko H.M.// Сучасний стан та перспективи розвитку водного господарства/ Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпропетровськ, ДДАЕУ, 19-20 травня 2016 р. – Дніпропетровськ: "СВИДЛЕР А.Л.", 2016. – С.95-97.

15. Дерев'янку В.Н., Соловьева А.Н., Шаповалова О.В, Кондратьева Н.В. Разработка добавок на основе вторичных продуктов сахарной промышленности отходов газового производства.// Вісник. ОДАБА. Вип.№20, - Одеса, 2005. - с.102-110.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРАТАЦІЇ В СИСТЕМІ $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$

Дерев'яно В. М., *д.т.н., проф.*

*(Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,
Україна)*

Кондратьєва Н. В., *к.т.н., доц.*

(Український державний хіміко-технологічний університет, Україна)

Гришко Г. М., *к.т.н., доц.*

(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Україна)

Актуальність. Серед мінеральних в'язучих речовин досить значна увага приділяється практичним і теоретичним і експериментальним дослідженням створення цементів із спеціальними властивостями. До таких цементів відносяться алюмінатні і сульфоалюмінатні цементи.

Існують декілька альтернативних назв кальцієво-алюмінатного цементу, які використовуються у різних країнах: високоалюмінатний цемент, глиноземистий цемент, плавлений високоалюмінатний цемент.

Алюмінатні цементи мають в своєму складі переважно низькоосновні алюмінати кальцію. Вони характеризуються переважно швидким ростом міцності, високою щільністю, стійкістю в сульфатних водах, здатністю твердіння при низьких температурах, а також жаростійкістю.

Для сульфоалюмінатних цементів характерним є наявність в своєму складі сульфоалюмінатів кальцію, крім силікатів, алюмінатів і алюмоферритів кальцію [1]. Вони мають високу швидкість твердіння, крім того можуть викликати розширення, зниження усадки, самонапруження. Однокальцієвий алюмінат є основним складником кальцієво-алюмінатного цементу, забезпечує гідравлічне твердіння, утворення кальцієво-алюмінатних гідратів та нерозчинного тригідрату алюмінію без вивільнення кальцій гідроксиду (портландиту). Таким чином бетон на сульфо-алюмінатному цементі має високу стійкість до дії агресивних середовищ.

Слід відмітити, що в Україні цементи таких видів не виробляються не зважаючи на досить значну потребу в'язучих речовин цього класу.

Основною причиною є відсутність природної сировини – бокситів. Хоча є досить значна кількість вторинних продуктів виробництва, які можуть слугувати сировинною базою для виробництва алюмінатів і сульфоалюмінатів.

Використання імпортової сировини обмежує висока вартість і певні недоліки, що виникають при експлуатації – це швидке тужавлення,

значне тепловиділення, яке пов'язане з нестабільною стійкістю деяких сульфоалюмінатів. При цьому можливе виділення наступних проблем в напрямку розширення можливостей використання спеціальних цементів даного типу: стабілізація в часі і умовах експлуатації гідросульфатної фази на основі глиноземистого цементу, а також для модифікації складів мінеральних в'язучих речовин на основі двуводного сульфату кальцію ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) та розробка в'язучих речовин цього класу на основі вторинних продуктів виробництва. В зв'язку з цим актуальною проблемою є розробка технології стабілізації сульфоалюмінатних фаз при дії різних чинників.

Мета. Дослідити процеси гідратації в системі $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.

Аналіз літератури. Сировинні матеріали, склади та процеси гідратації А+С.А можна відмити їх схожість: алюмінатні (а) та сульфоалюмінатні (б) цементі мають у своєму складі:

а) – Al_2O_3 – 35-50; CaO – 35-45; SiO_2 – 5-15; TiO_2 , MgO , SO_2 , K_2O від 0 до 2,5.

б) – Al_2O_3 – не менше 20-25; CaO – 55; SiO_2 – 10; SO_3 – 3; Fe_2O_3 – 5-10; MgO – 2 [1] та в залежності від технології хімічний склад може бути дуже різноманітним, але основною умовою є наявність не менше 20% Al_2O_3 . І не бажаною складовою є SiO_2 .

Мінералогічний склад цементів:

а) алюмінатний: CA , CA_2 , C_3A , C_5A_3 , C_{12}A_7 .

б) сульфатоалюмінатний: CA , C_2S , C_4AF , C_3A , $\text{C}_3\text{A}_3\text{CaSO}_4$ ($\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$), CaSO_4 .

Основним фактором є те, що при гідратації сульфоалюмінатів і алюмінатів в присутності гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) утворюються гідросульфоалюмінатна фаза, що дає змогу отримати структуру цементного каменю зі спеціальними властивостями [2, 3].

Потім однокальцієвий гідросульфоалюмінат переходить в гідросульфоалюмінат низькосульфатної форми $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ з виділенням гіббситу $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Також утворюється еtringіт $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ і $2(\text{C}_2\text{S}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ може утворитися гідросилікат кальцію $\text{CSH}(\text{В})$ [2, 3].

Методика досліджень полягала в модифікуванні напівводного гіпсу глиноземистим цементом. При цьому визначалась оптимальна кількість модифікатора для підвищення фізико-механічних властивостей, а також впливу мінералогічного складу модифікованого в'язучого.

Результати досліджень. Стабільність еtringіта необхідна при використанні ПЦ, САЦ, композиційних в'язучих речовин на основі

ГЦ+Гіпс, а також при модифікації гіпсових в'язучих речовин глиноземистим цементом.

Останній варіант є досить малодослідженим напрямом в зв'язку з енерговитратами на виробництво і придання спеціальних властивостей за рахунок формування еtringіту.

Для проведення досліджень використовували гіпс Г-5-II в кількості 30÷70 %, основним мінералом якого є напівводний гіпс.

В системі $\text{CaO-Al(OH)}_3\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$ процес гідратації досить складний.

По-перше відбувається формування первинної структури та одночасне формування гідроалюмінатів і гідросульфоалюмінатів ТГСАК і МГСАК, $\text{C}_n\text{A}_m\text{H}_x$.

По-друге, результатами взаємодії гідроалюмінатів з сульфатами кальцію, є вторинні мінерали – ТГСАК і МГСАК. Процес утворення вторинних мінералів впливає на формування структури та визначає основні фізико-механічні властивості, внутрішні напруження та розширення. Проблема, що потребує рішення на даному етапі - установлення співвідношення утворення на першому етапі $\text{C}_n\text{A}_m\text{H}_x$ і ТГСАК, МГСАК та визначення поверхні формування. Вирішення цієї проблеми дає змогу визначити протікання фізико-хімічних процесів системи в часі.

Висновки. По вибраній методиці досліджень відбувалася модифікація напівводного гіпсу глиноземистим цементом. Експериментальним шляхом встановлено оптимальну кількість модифікатора – 70% глиноземистого цементу, яка необхідна для підвищення фізико-механічних властивостей, а також формування необхідного мінералогічного складу модифікованого в'язучого.

При гідратації модифікованих в'язучих речовин на основі глиноземистого цементу та гіпсу відбувається утворення еtringіта, який дав можливість сформувати необхідну структуру та основні фізико-механічні властивості.

1. Land G., The Acceleration of the Hydration of Cements with and without supplementary cementitious materials by C-S-H seeds / G. Land, D. Stephan // 19 Internationale Baustofftagung. – 16-18 September, 2015. – Bauhaus-Universität Weimar. Bundesrepublik Deutschland. – Band 2. – P. 1011-1017.

2. Рунова, Р. Ф. В'язучі речовини / Р. Ф. Рунова, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, Ю.Л. Носовський // Підручник. – К.: Основа, – 2012. – 448 с.

3. Пашенко, О. О. В'язучі матеріали / Пашенко О.О. // Підручник. – К: Вища школа, – 1995. – 416 с.

ПОШКОДЖЕНІСТЬ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНУ

Довгань О. Д., к.т.н., доц., Вировой В. М., д.т.н., проф.
(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Довгань П. М., к.т.н.
(ПП «Портал Юг», Одеса, Україна)

Під час експлуатації декоративні бетони в архітектурних елементах будинків і споруд піддаються прихованій руйнації від несилового впливу різноманітних зовнішніх факторів. До кліматичних чинників, негативну дію котрих постійно сприймають елементи декору [1, 2], варто віднести різкі коливання температури, вплив вологи, градієнти температури й вологи за перетином виробів, атмосферні гази, морський (сольовий) й наземний (міський) пил тощо. Тож синергетичний вплив цих кліматичних навантажень може призводити до незворотних змін структури бетону і, відповідно, до погіршення декоративно-експлуатаційних характеристик архітектурних деталей. Зокрема, в роботах F.H. Wittmann, В.М. Вирового та ін. продемонстровано [3, 4], що більшість комбінованих навантажень суттєво пришвидшує розвиток наявних та утворення нових пошкоджень в бетоні. В механічному аспекті пошкодження матеріалу фізично інтерпретують як присутність розсіяних в його об'ємі різних мікроскопічних дефектів (пор, пустот, тріщин, внутрішніх поверхонь розділу тощо), які призводять до зменшення несучої здатності матеріалу виробів чинити опір кліматичним навантаженням [5, 6]. За думкою В.П. Тамуж, Andrzej M. Brant, В.М. Вирового та ін. [4, 7, 8] мікродефекти появляються в найбільш слабких і перенапружених місцях структури матеріалу, які є причиною поступового кінцевого його руйнування. З огляду на це, важливо проектувати склади бетону зі структурою, яка б могла рівномірно розподіляти напруження в мікродефектах (утворених під час виготовлення виробів) та бути стійкою до розвитку цих (чи появи нових) дефектів під впливом кліматичних навантажень під час експлуатації виробів.

Загально прийнято рівень пошкодження композиційних матеріалів оцінювати за параметром, що називають «індексом» чи «коефіцієнтом» пошкоженості, величина якого повинна коливатися в межах від 0 до 1. Ефективними й практичними для оцінки пошкодження композитів є неруйнівні та руйнівні методи. Більш широкого розповсюдження набули неруйнівні методи (капілярні, акустичні, радіаційні, теплові тощо). Однак не завжди величини їх параметрів вдається точно виміряти чи зафіксувати з деякою

розбіжністю від попередніх значень (наприклад, загальну площу тріщини чи їх протяжність на певній ділянці поверхні матеріалу, швидкість зародження мікродфектів, зміну динамічного модуля пружності тощо), що здебільшого унеможливило їх використання в практичних обчисленнях. В свою чергу, поряд з неруйнівними способами не менш ефективними є руйнівні, за допомогою яких величину пошкодження оцінюють на основі результатів випробувань бетонних зразків на стиск, розтяг, згин тощо. Водночас варто зауважити, що методи контролю повинні бути адаптовані під матеріал виробів дослідження.

Для аналізу впливу початкового складу бетону (в період набору механічної міцності його зразків) та факторів навколишнього середовища на структурні характеристики матеріалу виробів (в період їх експлуатації) авторами пропонується нова методика визначення пошкодження матеріалу за руйнівним способом. Метод передбачає поетапне дослідження зразків за двома характеристиками. На 1-му етапі бетонні зразки-призми квадратного перерізу випробовуються на міцність на розтяг при згині, на 2-му етапі за характером поверхні розлому зразків-призм, через співвідношення фіксованої площі поверхні S основи зразку до площі поверхні розлому S_p , розраховується коефіцієнт пошкоженості K_p . Визначення K_p за розробленим способом проводилось для 27-ми різних складів декоративного бетону. За кожним складом досліджено по шість половинок шести розламаних зразків-призм. Коефіцієнт пошкоженості складів бетону, які попередньо пройшли випробування на вологостійкість, варіювався в діапазоні від 0.81 до 0.95. За отриманими експериментальними даними розглянуто кореляційний зв'язок K_p з фізико-механічними властивостями бетону, побудовано експериментально-статичні моделі. Результати отриманих даних будуть представлені в наступній публікації.

Література

1. Architectural Precast Concrete / PCI Architectural Precast Concrete Manual Committee / Sidney Freedman Editor *et al.*, 2007. Third Edition. 588р.
2. Довгань О.Д., Вировой В.М. Умови експлуатації енергоефективних декоративних матеріалів і виробів. *Сучасні проблеми енергозбереження в будівництві, містобудуванні та житлово-комунальному господарстві*: матеріали Всеукраїн. наук.-практ. конференції. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. С. 7-9.

3. Wittmann F.H., Zhang P., Zhao T. Damage of Concrete under Combined Actions. *Restoration of Buildings and Monuments Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege*, 2011. Vol. 17. No. 5. pp. 321-330.
4. Суханов В.Г., Выровой В.Н., Коробко О.А. Структура материала в структуре конструкции: монография. Одесса: «Полиграф», 2016. 244с.
5. Lemaitre J., Desmorat R. *Engineering Damage Mechanics: Ductile, Creep, Fatigue and Brittle Failures*. Springer Berlin, Heidelberg, 2005. 380p.
6. Khoroshun L. P., Nazarenko L. V. Deformation and Damage of Composites with Anisotropic Components (Review). *International Applied Mechanics*, July 2013. Vol. 49. No. 4. pp. 387-455.
7. Тамуж В.П., Куксенко В.С. Микромеханика разрушения полимерных материалов. Рига: Зинатне, 1978. 294с.
8. Andrzej M. Brant *Cement-based composites: materials, mechanical properties, and performance*. Taylor & Francis, London and New York, 2009. 526p.

CHLORIDE BINDING IN PORTLAND CEMENT SYSTEMS WITH CARBONATE ADDITIVES

Zhuravel Vitalii

(Ukrainian State University of Railway Transport)

Rucińska Teresa, DSc, Borziak Olga, DSc

(West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Poland)

Corrosion of steel reinforcement of reinforced concrete structures, which is caused by chlorides, poses a serious threat to global infrastructure. The main sources of chloride ions exposure to reinforced concrete are aqueous solutions containing chlorides – seawater, anti-icing salts. With the penetration of chlorides into concrete and reaching a critical concentration, depassivation occurs, and then corrosion of steel reinforcement.

Important parameters that determine the risk of corrosion caused by chlorides are: the ratio of the concentrations of chloride and hydroxyl ions in the pore solution; diffusion coefficient of chloride ions through concrete.

Chlorides diffuse deep into the concrete from an external source in accordance with Fick's laws. However, other factors also influence the diffusion process, including ion exchange and the binding of chlorides into the C–S–H and AFm phase(s) [1]. Only the unbound part of the chloride dissolved in the liquid phase of concrete has a destructive effect on steel. Thus, it is useful to have accurate information about the distribution of chloride between free and bound states.

Many works [1-3 and etc.] are devoted to the study of the effect of chlorides on the mineralogy of hydrated Portland cement systems. The ability of a hydrated cement paste to accumulate chlorides in the resulting hydrates determines the protective properties of concrete in relation to steel reinforcement.

As shown in [2], chloride, penetrating into the hardened cement paste, easily displaces sulfate from monosulfoaluminate AFm ($\text{SO}_4\text{-AFm}$). At a low chloride concentration in the solution, the intermediate Kusel salt $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{Cl})(\text{SO}_4)_{0.5}(\text{OH})_{12}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ is formed, and at a high chloride concentration, Friedel's salt $\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{Cl})_{1.95}(\text{OH})_{12.05}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ is formed. The formation of Friedel's salt is a mechanism for slowing down the diffusion of chloride ions deep into the concrete and reducing their concentration in the liquid phase. At the same time, sulfate ions are released from the monosulfoaluminate and ettringite is formed. Additional formation of ettringite leads to a significant increase in the molar volume of solids.

The addition of carbonates has a significant effect on the mineral composition of hydration products and the structure of cement systems. The

finely dispersed carbonate additive in the process of Portland cement hydration interacts with tricalcium aluminate to form calcium hydrocarboaluminates. A predominantly low-carbonate form of the $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ type is formed, which belongs to the hexagonal AFm phases. In this case, only a small amount of calcium carbonate (4-5 wt.%) plays an active structure-forming role due to the inclusion of hexagonal AFm phases into the structure.

The process of structure formation in cement systems with carbonate additives differs for additives obtained from rocks of different genetic types. According to [4] after joint grinding with Portland cement clinker, limestone provides a fine fraction (less than 5 microns) in cement. This helps to increase the activity of mixed Portland cement by optimizing the particle size distribution and providing a wider range of grain distribution by fractions. Thus, the volume of voids between the clinker grains is reduced. As noted in the work [5] the presence of finely dispersed chalk in the cement stone composition results in a change of the phase composition of the hydrates of new formations, i.e. it results in a decreased content of the free calcium hydroxide, the binding of aluminate phases to form stable hydration products – calcium hydrocarbonate, and and formation of additional low-base hydrosilicates. The use of this additive contributes also to the compaction of the microstructure of cement stone due to the occupation by additive grains of the vacancies in the gaps between the cement grains and due to an increased dispersion of hydration products for which calcite particles serve as crystallization centers.

The work [1] investigated phase transformations in cement systems with the addition of carbonates, which are exposed to an aggressive environment with chlorides. As the chloride content increases, the carbonate ions in the AFm are replaced by chloride, forming a Friedel's salt. The released carbonate ions bind in calcite. The volume change in this case is much less than in a carbonate-free system.

The analysis of the process of binding chlorine ions in concrete structures theoretically confirms the effectiveness of the use of carbonate additives to increase the corrosion resistance of reinforced concrete structures that are exposed to aggressive environments containing chlorides. In carbonate-free systems, when exposed to chlorides, the amount of ettringite and Friedel's salt increases and there is a significant increase in the molar volume of solids. The presence of a reactive carbonate significantly reduces the change in molar size during the formation of the Friedel's salt and hence the possibility of expansion. This is a positive argument for including carbonate in cement: to mitigate the expansion potential that occurs when chlorides enter. It should be taken into account that the

processes of structure formation in concrete with carbonate additives will be significantly affected by the properties of the additive (the genetic type of the original rocks, the dispersion of particles). A series of experimental studies is planned to confirm the presented theoretical conclusions.

References

1. Cherif R., Hamami Ameer El Amine, Aït-Mokhtar A., Bosschaerts W. Thermodynamic equilibria-based modelling of reactive chloride transport in blended cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 2022, **156**, 106770.
2. Balonis M., Lothenbach B., Le Saout G., Fredrik Glasser F.P. Impact of chloride on the mineralogy of hydrated Portland cement systems. *Cement and Concrete Research*, 2010, **40 (7)**, 1009-1022.
3. Klaartje De Weerd. Chloride binding in concrete: recent investigations and recognised knowledge gaps: RILEM Robert L’Hermite Medal Paper 2021. *Materials and Structures*, 2021, **54**, 214.
4. Sanytsky M., Usharov-Marshak A., Kropyvnytska T., Heviuk I. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite, and limestone. *Cement Wapno Beton*, 2020, **25(5)**, 416-427
5. Borziak O., Chepurna S., Zidkova T., Zhyhlo A., Ismagilov A. Use of a highly dispersed chalk additive for the production of concrete for transport structures. *MATEC Web Conf.*, 2018, **230**, 03003.

СУЧАСНІ РІШЕННЯ ТЕПЛОЗАХИСТУ ЗОВНІШНІХ СТІН У МОНОЛІТНОМУ ДОМОБУДУВАННІ

Заволока М. В., *к.т.н., проф.*, Пліт А. Д., *асп.*,
Сушицький Е. Б., *наук. співроб.*, Шевченко В. В., *наук.
співроб.*

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Аналіз літературних даних показав, що на сьогоднішній день в Одесі найпоширенішим та найбільш економічно доцільним з експлуатації та теплозахисту утеплювачем вважається мінеральна вата. Для монолітного будинку найбільш ефективним є варіант двошарового утеплення будівлі. У такому випадку газобетонна стіна зовні утеплюється мінеральною ватою і покривається захисним шаром штукатурки, що захищає від зовнішніх дій.

Згідно з ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель», територія України умовно поділяється на дві температурні зони. Наш регіон будівництва належить до другої, теплішої температурної зони

Значення коефіцієнта термічного опору R різних конструктивних елементів відрізняється. Це тому, що втрати, через стіни, дах, вікна і двері різні, дані наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Значення коефіцієнта R для різних конструктивних елементів

№	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \text{ min}}$, м ² ·К/Вт, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщенні покриття	6,0	5,5
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу	4,95	4,5
4	Горищні перекриття неопалювальних горищ	4,95	4,5
5	Перекриття над проїздами та неопалюваних горищ	3,75	3,3
6	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
7	Зовнішні двері	0,6	0,5

Для перевірки термічного опору стіни були виконані розрахунки матеріалів, що використовуються. Розрахунки проводилися з урахуванням використання газобетону різної щільності товщиною 30 см та мінераловатним утеплювачем. Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методі вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель» теплопровідність матеріалів, що використовуються в розрахунку за умов експлуатації «а» та «б», представлені в табл.2.

Таблиця 2. Технічні характеристики газобетону різних марок

Марка газобетону	D300	D350	D400	D500
Товщина δ , м	0,3	0,3	0,3	0,3
Густина ρ , кг/м ³	300	350	400	500
Теплопровідність λ , Вт/(м·°C), за умов експлуатації «а»	0,09	0,1	0,11	0,13
Теплопровідність λ , Вт/(м·°C), за умов експлуатації «б»	0,1	0,12	0,15	0,16

Таблиця 3. Технічні характеристики мінеральної вати

Густина ρ , кг/м ³	135
Теплопровідність λ , Вт/(м·°C), за умов експлуатації «а»	0,046
Теплопровідність λ , Вт/(м·°C), за умов експлуатації «б»	0,049

Для визначення необхідної товщини утеплювача необхідно скористатися формулою $R = \delta/\lambda$, де R - термічний опір (м²·°C/Вт), δ - товщина утеплювача в метрах, λ - розрахунковий коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару з урахуванням умов експлуатації конструкцій, що захищають (Вт/М·°C).

На підставі табличних даних за наведеною вище формулою було розраховано термічний опір стіни з газобетонних блоків завтовшки 30см, результати наведені в табл.4.

Таблиця 4. Термічний опір газобетону різних марок за щільністю

Марка Газобетону	D300		D350		D400		D500	
Умови експлуатації	«а»	«б»	«а»	«б»	«а»	«б»	«а»	«б»
Термічний опір R, м ² ·°C/Вт	3,33	3,0	3,0	2,5	2,73	2,31	2,0	1,88

Як видно з отриманих даних, термічний опір тільки в найлегших марках (D300 за умови експлуатації «а» та «б», D350 за умови

експлуатації «а») газобетону задовольняє нормам і за умов експлуатації з низьким рівнем вологості. Для відповідності нормам у нашій кліматичній зоні термічний опір має бути вищим за 2,8 м²·°C/Вт, необхідний за ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» для даної температурної зони.

Проте згідно з ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Бетоні ніздрювати. Загальні технічні умови» Відпускна вологість бетонних виробів не повинна перевищувати за масою, %: 35 - бетонів марок від D200 до D400; 30 - бетону марки D500, виготовленому на піску; 25 - бетонів марок D600 - D1100, виготовленому на піску; 35 - бетонів марок D500 - D1100, виготовленому на інших кремнеземних компонентах. Відпускна вологість значно перевищує вологість встановлену умовами експлуатації, через що газобетонні блоки високої вологості можуть бути використані в роботі, що в свою чергу знижує з теплозахисні властивості. Зміна вологості вимагає перерахунку термічного опору за фактичними даними для відповідності чинним нормам.

За літературними даними було взято значення теплопровідності газобетону з вищою вологістю ніж це передбачає умови експлуатації «а» і «б», табл.5.

Таблиця 5. Теплопровідність газобетону різних марок за щільністю та різною вологістю

Марка газобетону	Теплопровідність λ , Вт/(м·°C)							
Вологість W, %	0%	4%	6%	9%	14%	18%	21%	27%
D300	0,08	0,09	0,1	0,11	0,13	0,15	0,15	0,17
Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	13%	17%	20%	24%
D350	0,09	0,1	0,12	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19
Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	11%	15%	19%	22%
D400	0,1	0,11	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20
Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	11%	14%	17%	21%
D500	0,12	0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,27

На підставі табличних даних за наведеною вище формулою було розраховано термічний опір газобетону при різних значеннях вологості, результати представлені в табл.6.

Таблиця 6. Термічний опір газобетону різних марок за щільністю за різної вологості

Марка газобетону	Термічний опір R, м ² ·°C/Вт								
	Вологість W, %	0%	4%	6%	9%	14%	18%	21%	27%
D300	Вологість W, %	0%	4%	6%	9%	14%	18%	21%	27%
		3,75	3,33	3,00	2,73	2,38	2,02	1,99	1,76
D350	Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	13%	17%	20%	24%
		3,33	3,00	2,50	2,31	2,14	1,87	1,73	1,58
D400	Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	11%	15%	19%	22%
		3,00	2,73	2,31	2,14	1,88	1,81	1,64	1,53
D500	Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	11%	14%	17%	21%
		2,50	2,00	1,88	1,67	1,43	1,35	1,23	1,10

Як видно з отриманих даних газобетонні блоки (марки D300 вологістю вище 6%; D350 вологістю вище 4%; D400 вологістю вище 0%; D500 будь-якої вологості) не можуть повністю забезпечити термічний опір будови. Додатковий опір може забезпечити утеплення мінеральними плитами товщиною 5см.

Термічний опір мінеральної вати за умов експлуатації «а» становить:

$$R = \frac{0,05}{0,046} = 1,09 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \quad (1)$$

Сумарний термічний опір вважається як сума всіх (у разі двох) окремих термічних опорів, результати наведено в табл.7.

Марка газобетону	Термічний опір R _{сумм} , м ² ·°C/Вт								
	Вологість W, %	0%	4%	6%	9%	14%	18%	21%	27%
D300	Вологість W, %	0%	4%	6%	9%	14%	18%	21%	27%
		4,48	4,42	4,09	3,81	3,47	3,11	3,08	2,85
D350	Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	13%	17%	20%	24%
		4,42	4,09	3,59	3,39	3,23	2,95	2,82	2,67
D400	Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	11%	15%	19%	22%
		4,09	3,81	3,39	3,23	2,96	2,90	2,73	2,62
D500	Вологість W, %	0%	4%	6%	8%	11%	14%	17%	21%
		3,59	3,09	2,96	2,75	2,52	2,44	2,32	2,19

Таблиця 7. Сумарний термічний опір газобетону різних марок за щільністю за різної вологості.

Навіть із заданим утеплювачем газобетон (марки D300 вологістю вище 27%; D350 вологістю вище 20%; D400 вологістю вище 15%;

D500 вологістю вище 6%) не може повністю забезпечити термічний опір будівлі. Для забезпечення належного термічного опору відповідного державним нормам товщину утеплювача варто збільшувати до 55% від товщини вибраної мінералватної плити, що використовується в експерименті.

Висновки. Необхідно враховувати реальну вологість під час експлуатації будівлі. Для вирішення цієї проблеми необхідно висушувати газобетонні блоки до вологості умов експлуатації або визначати термічний опір для реальних значень вологості.

ДИНАМІЧНЕ ФОРМУВАННЯ ТЕПЛОПРОВІДНИХ СТРУКТУР В КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ

Загинайло І. В., к.ф.-м.н., доц., **Писаренко О. М.**, к.ф.-м.н., доц.
(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Актуальність досліджень. Дисперсно-наповнені композити знаходять широке застосування як конструкційні матеріали. Значна увага приділяється останнім часом тепловим властивостям таких композитів, зокрема, коефіцієнту теплового розширення, термопружності та ефективної теплопровідності [1]. Отримання композитних матеріалів (КМ) з необхідними експлуатаційними характеристиками може бути досягнуто цілеспрямованим регулюванням структури та пов'язаних із нею властивостей різних рівнях структурної організації.

Стан проблеми. Для вивчення впливу параметрів наповнювача на властивості КМ широко використовують чисельне моделювання. Зокрема, чисельні дослідження ефективної теплопровідності двовимірних та двокомпонентних композитів для випадку теплопровідних та теплоізолюючих наповнювачів виконані у роботах [2, 3]. Ефективна теплопровідність λ_e двовимірного КМ очікувано виявилася залежною від ефективної теплопровідності матеріалу матриці λ_m , теплопровідності матеріалу наповнювача λ_f , відносної об'ємної концентрації наповнювача c , розмірів частинок наповнювача b і параметрів їх розподілу в матриці КМ.

Раніше нами було встановлено [4], що у матриці КМ з теплоізолюючим наповнювачем можуть виникати індуковані теплопровідні канали (ІТК). При цьому два зразки з однаковими λ_m , λ_f і c будуть в залежності від числа та протяжності таких каналів мати різні λ_e , чого не враховують численні відомі моделі теплопровідності КМ. Також нами було виявлено [5], що у КМ з теплоізолюючим наповнювачем може виникати ефективна анізотропія теплопровідності (різниця теплопровідностей у двох взаємно-перпендикулярних напрямках), та вивчено вплив на неї параметрів розміщення частинок наповнювача у матриці КМ, зокрема концентрації, розподілу розмірів частинок наповнювача, мінімальної дистанції d між частинками наповнювача. Також було показано, що зміна напрямку доданого градієнта температури еквівалентно переходу до іншого зразка КМ зі статистично незалежною реалізацією розміщення частинок наповнювача. Наявність анізотропії теплопровідності не передбачено

прийнятими моделями опису ефективної теплопровідності двовимірних КМ.

Мета роботи. Виходячи з аналітичного огляду та з попередніх досліджень визначити основні фактори та механізми управління для цілеспрямованого “наведення” або запобігання виникненню теплопровідних структур в будівельних композитах.

Отримані результати. Як об’єкти дослідження використовувалися квазидвовимірні моделі КМ з матрицею, що має теплопровідні характеристики цементно-пісочного каменю: теплопровідність матриці $\lambda_m = 0,93$ Вт/(м·К); теплопровідність теплоізолюючого наповнювача λ_{fi} обрана рівною теплопровідністю пінополістиролу: $0,045$ Вт/(м·К); теплопровідність теплопровідного наповнювача λ_{fi} обрана рівною теплопровідністю арматурної сталі 07X16H6 за $T = 300$ К – 42 Вт/(м·К). Таким чином, $\lambda_{fi} / \lambda_m \approx 0,048$, а $\lambda_{fi} / \lambda_m \approx 45$. Як віртуальні зразки моделювалися квадратні області з розміром сторони a . Відношення характерних розмірів частинок наповнювача до розміру зразка b/a змінювалося в межах від $0,0078$ до $0,125$. У зразках моделювався нормальний розподіл розмірів частинок наповнювача з коефіцієнтом варіації v_b (для монорозмірних моделей $v_b = 0$). Просторово розміщення частинок наповнювача було випадковим і рівноймовірним, але з обмеженням мінімальної дистанції, де можуть розміщуватися сусідні частки наповнювача. Відношення мінімальної дистанції між частинками наповнювача до характерного розміру частинок наповнювача d/b варіювалося в межах від 0 (допускався безпосередній контакт частинок наповнювача) до $2,0$. Діапазон концентрацій частинок наповнювача складав від $0,08$ до $0,6$. Аналізувалися статистичні характеристики розподілу ефективної теплопровідності КМ у т.ч. її анізотропії за сукупністю реалізацій (при цьому число реалізацій з фіксованими параметрами λ_f / λ_m , b/a , v_b , d/b і c сукупно становило від 2000 до 8000), а також топологічні карти розрахованих локальних теплових потоків.

Аналіз наших попередніх досліджень [3 – 5] показує, що виникнення ІТК реєструється на картах локальних теплових потоків при концентраціях наповнювача з $c > 0,22$. У цьому максимальні значення анізотропії теплопровідності реалізуються при концентрації порядку $c = 0,33$. При цьому характерні розміри ІТК L_{ch} виявляються різними для випадків теплопровідних та теплоізолюючих наповнювачів: відношення L_{cht} / b виявляється близько $10 - 12$, а відношення L_{chi} / b виявляється близько $6 - 9$ відповідно. При цьому

оптимальними з точки зору анізотропії теплопровідності виявлялися моделі зразків з $2,0 > L_{ch} / a > 1,0$.

Висновки. У КМ при прикладенні градієнта температури виникають ІТК, причому напрямок і довжина цих каналів динамічно змінюються за зміни напрямку та величини градієнта температури. Локальні градієнти температур, що виникають на межах ІТК, можуть служити джерелами деформаційних хвиль за типом тих, що спостерігалися авторами [6]. У зразках з $a \gg L_{ch}$ анізотропія теплопровідності не проявляється, проте ІТК та неоднорідне поле локальних градієнтів температур, здатні викликати хвилі деформацій, присутні.

Література.

1. Kume S., Yamada I. and Watari K. (2009), “High-Thermal-Conductivity AlN Filler for Polymer/Ceramics Composites”, *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 92, pp. S153–S156.

2. Jiang M., Jasiuk I. and Ostoja-Starzewski M. (2002), “Apparent thermal conductivity of periodic two-dimensional composites”, *Computational Materials Science*, vol. 25, pp. 329–338.

3. Pysarenko A. and Zaginaylo I. (2019), “Numerical Simulation of the Heat Conductivity of Randomly Inhomogeneous Two-Dimensional Composite Materials”. New York: Nova Science Publishers, 2019. 197 p.

4. Pysarenko A. and Zaginaylo I. (2021), “Influence of matrix-filler thermal conductivity on micro heat transfer in two-component composites”. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, v.1162, 012013.

5. Загинайло И. В., Писаренко А. Н., Спиридонов Д. А. Статистический анализ эффективной анизотропии теплопроводности композиционных материалов. *Вісник КрНУ*. Кременчук: КрНУ, 2017. Вип. 3(104). С. 39–45.

6. Жуковский В.К., Гохман А.Р., Выровой В.Н., Заволока М.В., Заволока Ю.М. (2016). Механизм формирования деформационных волн в условиях тепловых градиентов. *Вісник ОДАБА*, 2016. – Вип. № 62, С. 61–68.

БАГАТООСЕРЕДКОВЕ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ

Зенченко Д. А., асп.; Вировой В. М., д.т.н., проф.
(*Одеська державна академія будівництва та архітектури,
Україна*)

В поліструктурних матеріалах, до яких відноситься широка гамма будівельних матеріалів, виділяють рівень неоднорідності, організація якої відбувається за рахунок неврівноважених міжчасткових взаємодій – це так звана мікроструктура. Дослідження мікроструктури показало, що в ній присутні компоненти, які не входять до переліку вихідних складових. Саме ці компоненти, до яких відносять пори, капіляри, поверхні розділу та тріщини, визначають весь комплекс фізико-механічних властивостей та поведінку матеріалу при дії на нього кліматичних навантажень. Тому важливою задачею слід вважати визначення причин, механізмів та термінів визначення в початково умовно неперервному середовищі нових складових у вигляді несущільностей різного типу.

В якості об'єктів досліджень прийняті цементно-водні композиції з різним цементно-водним відношенням. Для аналізу механізмів організації структури таких композитів прийняті їх моделі в яких використовували ідеї та методи, які використовують при аналізі структури особливостей дисперсних систем. Це дало можливість, з урахуванням складних складів цементів, подати цементно-водні композиції у вигляді висококонцентрованих грубодисперсних ліюфобних систем з ліюфільною границею розділу фаз. Подібне уявлення дало можливість використовувати в якості часток дисперсної фази частки різної природи, розмірів та кількості. Дисперсним середовищем слугувала епоксидна смола ЕД-20 без пластифікаторів та без затверджувачів. Використання такого дисперсійного середовища дало змогу досліджувати в часі взаємодію часток дисперсної фази різних якісного та кількісного складу з фотофіксацією кожного етапу організації структури.

Проведені дослідження дозволили встановити, що в прийнятих моделях самовільно виникали центри навколо яких концентрувалися частки дисперсної фази. Такі явища спостерігалися при використанні різних кількостей природи та дисперсності часток. На нашу думку, реалізувався принцип багатоосередкового структуроутворення, під яким розуміють спонтанний процес самовільного виникнення в дисперсних системах структуроутворюючих центрів (осередків), що спонукає утворенню структур. Як показав проведений аналіз такі такі

локалізовані структурні групи складаються з різних по якісному та кількісному складів часток, індивідуальних для кожної групи. Саме при утворенні структурних блоків (агрегатів, кластерів тощо) в системі самовільно виникають принципово інші елементи структури у вигляді внутрішніх поверхонь розділу.

Аналіз поведінки утворених блоків показує, що за рахунок переміщення окремих часток кожної до свого блоку ініціюється переміщення блоків одних відносно інших. При цьому блоки починають повертатися навколо умовної осі, що веде до виникнення деформації зсуву уздовж утворених поверхонь розділу. Це не дозволяє поверхням зафіксуватись в одному положенні і веде до їх з'єднання з іншими поверхнями. На нашу думку, на етапі утворення нових елементів структури закінчується вплив вихідного складу на подальші процеси структуроутворення. Логічна залежність впливу вихідного складу на властивості готового матеріалу при появі принципово нових та інших елементів структури розривається. Подальше структуроутворення відбувається по типу «від досягнутого», що дозволяє прийти до висновку про реалізацію революційно-еволюційного розвитку структури, що самоорганізується.

Проведені дослідження дозволили запропонувати фактори управління процесами самовільного багатоосередкового структуроутворення. До таких факторів відносять вже відомі методи цільового використання наповнювачів раціональної кількості та дисперсності. Підтвердились базові закономірності впливу природи часток дисперсної фази на формування структурних блоків і, тим самим, на загальну протяжність внутрішніх поверхонь розділу.

Аналіз отриманих результатів дозволив прийти до висновку, що до основних причин утворення неоднорідностей слід віднести багатоосередкове структуроутворення з реалізацією якого виникають нові елементи структури – несучільності у вигляді поверхонь розділу. Проведений аналіз дає можливість продовжити дослідження по впливу багатоосередкового структуроутворення на формування властивостей будівельних композитів.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КИСЛОТОСТІЙКИХ ЦЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ ЛУЖНИХ ЦЕМЕНТІВ

Зозулинець В. В., асп., м.н.с., Ковальчук О. Ю., к.т.н., с.н.с.
*(Науково-дослідний інститут в'язучих речовин та матеріалів
ім. В.Д. Глуховського, Київський національний університет
будівництва і архітектури, Україна)*

На сьогоднішній день, кислотостійкість є важливою властивістю для цементних матеріалів за рахунок широкого спектра застосування, де вони піддаються впливу агресивних кислотних середовищ [1, 2]. Мова йде про об'єкти харчової та хімічної промисловості, а також сільськогосподарське середовище каналізаційні системи та нафтові свердловини.

Відомо, що звичайні в'язучі на основі портландцементу чутливі до кислотного впливу через хімічну природу їх основних гідратованих фаз (тобто C-S-H, Ca(OH)₂, AFm і AFt). В'язучі, активовані лугом, є чудовою альтернативою традиційним в'язучим на основі портландцементу, що підтверджується дослідженнями розчинності та корозійної стійкості низькоосновних мінералів, які є основною складовою фазового складу лужних цементів [3, 4].

Науковою школою НДІВМ ім. В.Д. Глуховського попередньо проводились дослідження, які вивчали питання взаємодії штучного каменю на основі лужних в'язучих речовин з корозійними середовищами з низьким рН. Зокрема, в роботі [5] наведено, що найбільшою кислотостійкістю характеризуються зразки, до складу яких входить 20% висококремнеземистої дегідратованої цеолітової породи, що містить мінерали шабазит і морденіт ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 8,8 \dots 10,0$). При цьому коефіцієнт стійкості випробуваних зразків складає $K_c = 1,55$. Застосування цеолітових порід, що містять наряду з шабазитом стильбіт ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,2 \dots 8,0$) дозволяє отримати зразки з $K_c = 1,39$, а використання порід, які включають натроліт і шабазит, визначає синтез матеріалу з коефіцієнтом стійкості $K_c = 0,98$. Дане дослідження базувалось на додатковому введенні цеолітових порід для підвищення кислотостійкості лужних цементів. Відмінність подальшого дослідження, полягає у забезпеченні умов формування цеолітоподібних фаз безпосередньо в структурі цементного каменю.

Для отримання кислотостійких гібридних лужних цементів було проведено дослідження рецептурних факторів, що впливають на розвиток кислотостійких новоутворень. Для формування стійких

гідросилікатних і цеолітоподібних фаз, які характеризуються кислотостійкістю та забезпеченням гідравлічних властивостей необхідно визначити правильне співвідношення оксидів у системі. Для цього було сформовано ряд модельних систем $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$, з використанням метакаоліну ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) [6] та трепелу (SiO_2).

Перш за все було визначено вплив різного співвідношення між оксидами $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ на показник ТНГ, терміни тужавлення та міцність розроблених складів.

Згідно отриманим результатам, контрольний склад з вмістом метасилікату у кількості 12% характеризується показником тіста нормальної густини (ТНГ) – 20,5%, початком і кінцем тужавлення 25 хв і 35 хв відповідно. Контрольний склад з вмістом метасилікату у кількості 8% характеризується більшим показником ТНГ 21,5% та початком і кінцем тужавлення 30 хв і 50 хв відповідно.

Додаткове введення метакаоліну та трепелу призводить до значного підвищення ТНГ, що в подальшому має негативний вплив на щільність структури затверділого цементного каменю. Але також призводить до збільшення термінів тужавлення, що робить суміш більш технологічною. Оптимальним є сумісне введення 20% метакаоліну та 10% трепелу за вмісту лужного компоненту у кількості 10%. Співвідношення між оксидами $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ даної системи знаходиться в межах 3,95...4,1. При цьому показник ТНГ складає 31,1%, а початок та кінець тужавлення 55 хв і 145 хв відповідно.

Підвищення вмісту метакаоліну до 40% та трепелу до 20% ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,1...3,2$) в одній системі сприяє занадто високій водопотребі (ТНГ = 44,5%), що говорить про необхідність використання пластифікаторів для такої суміші. В протилежному випадку даний матеріал є неефективним при експлуатації в умовах агресивного середовища.

Також оптимальними є показники складів з вибіркоким введенням однієї добавки (метакаоліну у кількості 20% ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,3...3,4$) або трепелу – 10% ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=7,45...7,5$)) та, відповідно, збільшенням алюмосилікатної складової у вигляді шлаку.

Що стосується міцності отриманих цементів, то підвищений вміст метакаоліну (40%) призводить до значної втрати показника міцності на стиск на 28 добу випробування. Співвідношення між оксидами $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ за таких умов складає лише 2,3...2,35. Тоді як введення трепелу у кількості 20% хоч і не має значного впливу на міцнісні показники, у порівнянні з компонентним складом (52,5 та 53,7 МПа відповідно). Однак дозволяє підвищити показник $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ до 10,1,

що в подальшому може мати позитивний вплив на підвищення коефіцієнта кислотостійкості.

Найменшою втратою міцності у порівнянні з компонентними складами характеризуються системи з вибіркоvim введенням одного додаткового компоненту при вмісті метасилікату – 10%. А саме: склад вмістом трепелу – 10% забезпечує міцність на 28 добу, що складає 39,8 МПа, а склад з вмістом метакаоліну – 20% – 38,5 МПа.

Таким чином прослідковується пряма залежність реологічних та фізико-механічних властивостей кислотостійких цементів на основі гібридних лужних цементів від показника співвідношення між оксидом SiO_2 та Al_2O_3 системи $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$. А саме, збільшенням даного показника, вищенаведені характеристики матеріалу покращуються.

Подяка. Автори висловлюють подяку Міністерству освіти і науки України за фінансову підтримку проекту (реєстраційний № 0122U001199), який виконується за рахунок бюджетного фінансування в 2022-2023 рр.

Література

1. Aiken, T. A., Gu, L., Kwasny, J., Huseien, G. F., McPolin, D., & Sha, W. (2022). Acid resistance of alkali-activated binders: A review of performance, mechanisms of deterioration and testing procedures. *Construction and Building Materials*, 342, 128057.
2. Damion, T., & Chaunsali, P. (2022). Evaluating acid resistance of Portland cement, calcium aluminate cement, and calcium sulfoaluminate based cement using acid neutralisation. *Cement and Concrete Research*, 162, 107000.
3. Кривенко П.В. / Специальные шлакощелочные цементы – К.: Будівельник, 1992. – 192 с.
4. Bašćarević, Z. (2015). The resistance of alkali-activated cement-based binders to chemical attack. In *Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes* (pp. 373-396). Woodhead Publishing.
5. Бродко О.А. Шлакощелочные вяжущие и бетоны повышенной кислотостойкости. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Киев 1991 г.
6. Bouguermouh, K., Bouzidi, N., Mahtout, L., Pérez-Villarejo, L., and Martínez-Cartas, M. L. (2017). Effect of acid attack on microstructure and composition of metakaolin-based geopolymers: The role of alkaline activator. *J. of Non Crystalline Solids*, 463, 128-137 <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2017.03.011>.

NORMAL STRENGTH CONCRETE TRANSVERSE DEFORMATIONS AT HIGH LOADING RATE FOR ANALYZING HIGH-STRENGTH CONCRETE NONLINEAR BEHAVIOR

Iakov Iskhakov, Prof.

(Department of Civil Engineering, Ariel University, Ariel 40700, Israel)

Ilya Frolov, Ph.D, student

(Department of Civil Engineering, Ariel University, Ariel 40700, Israel)

Yuri Ribakov, Prof.

(Department of Civil Engineering, Ariel University, Ariel 40700, Israel)

Loading rate straightly affects a behavior of compressed concrete specimen and deformations' development, including transverse ones. At rather high loading rates longitudinal deformations in compressed concrete are practically elastic up to the ultimate limit state.

Previous investigations of high-strength concrete showed high efficiency of transverse deformations for analyzing concrete behavior in the entire loading range. A corresponding theoretical model, based on a structural phenomenon, has been proposed for compressed concrete failure.

The purpose of the present research is an experimental verification of transverse deformation efficiency as an indicator of high strength concrete non-elastic behavior. For this reason, normal strength concrete cylindrical specimens were subjected to uniaxial compression at relatively high loading rates.

The obtained experimental results were compared with available data for high-strength concrete behavior at the non-elastic stage. Additionally, a model of compressed specimen failure was experimentally confirmed.

This model also includes specimens' failure scheme, as well as initiation and development of longitudinal cracks due to transverse deformations. Significance of transverse deformations development for analysis of nonlinear behavior of high strength concrete classes up to C90 was confirmed using experimental data for normal strength concrete specimens of class C30 subjected to relatively high loading rates.

Keywords: concrete nonlinear behavior, high strength concrete

ІДЕОЛОГІЯ ЯК ПРОВІДНИЙ ЧИННИК БУДІВНИЦТВА СУСПІЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Кадієвська І. А., *д. ф. н., проф.*

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Унікальною властивістю філософії є можливість долучитись до будь-якої наукової дискусії, у тому числі й до аналізу проблем будівельної галузі. Справа полягає в тому, що з давніх-давен традиційно саме філософи прийняли на себе роль ідеологів, популяризаторів та пропагандистів тих чи інших т.з. ідеальних моделей суспільного розвитку. Із історії світової цивілізації ми знаємо, що більшість подібних моделей увійшли до культури та залишилися в ній як «Утопії», що означає «Місце, якого нема». Ми добре знаємо трактати: «Ідеальна держава» Платона, «Утопія» Томаса Мора, «Місто сонця» Кампанелли та ін. Варто знати та завжди пам'ятати той факт, що саме філософи у пошуках глобального сенсу людського буття, окреслюють мету розвитку будь-якої сфери, створюючи різні ідеології. Провідною місією філософії є підняття питань щодо сенсу розвитку науки, освіти, мистецтва, релігії, моралі, політики та ін. Принципово усвідомлювати, що як в особистому, так і в суспільному житті, просто не існує такої спеціалізації, стосовно якої філософи не окреслили б питання: Навіщо існує ця сфера? Що вона несе людям? Чи сприяє вона досягненню щастя, чи навпаки, створює штучні проблеми? Які перспективи її подальшого розвитку? Як узгоджується та чи інша діяльність із суспільним прогресом? Та взагалі, що ми можемо вважати прогресом? Які критерії прогресу є істинними? Чи варто, наприклад, принести в жертву вищі духовні цінності заради НТП, який, як ми бачимо, об'єктивно може призводити до дегуманізації, духовної деградації та соціального відчуження?

Із філософської точки зору особливої уваги заслуговують всі існуючі в світі ідеології, адже вони в будь-який момент можуть набути практичної реалізації, а це означає тотальне перетворення як індивідуального, так і суспільного буття. Людський розум завжди спрямований уважно шукати сенсотворчі ідеї, цінності та орієнтири. Суспільство не погоджується із примітивним існуванням та продовжує шукати поважні вищі значимі підстави людського буття. Тобто створюють різні ідеології. Ідеологія - сукупність взаємопов'язаних ідей, уявлень та переконань, призначених об'єднувати людей заради спільного життя та спільних дій. На сьогодні можна виділити як

гуманні так і антигуманні ідеології. Важливим є вчасне розуміння та відокремлення гуманних від антигуманних деструктивних соціальних проєктів. Адже нерідко суспільною свідомістю мають всі шанси оволодіти різноманітні антигуманні терористичні, екстремістські та маргінальні ідеології. Таким чином, кожен громадянин має знати про те, якщо запропонована ідеологія вимагає від людей пожертвувати власним життям, здоров'ям, свободою, особистими стосунками, сім'єю або власністю, це означає, що з правової та моральної точки зору подібна ідеологія, які б привабливі цілі вона не ставила перед суспільством, є цілком не прийнятною, антигуманною. Поряд із цим зіткнувшись із гуманними ідеологіями ми відразу зможемо побачити, що запропонована система цінностей та пов'язані із нею зміни не будуть нести в собі жодної небезпечної матеріальної чи духовної загрози. За своєю суттю вимоги гуманних ідеологій, можуть призводити лише до різноманітних світоглядних, інтелектуальних, організаційних та інших позитивних змін. Яскравим прикладом в цьому аспекті може бути ідеологія просвітництва, яка ставила на меті утвердження рівних прав та свобод всіх людей, їх всебічний інтелектуальний та духовний розвиток засобами якісної фундаментальної освіти та виховання.

Кваліфіковані фахівці в галузі будівництва та архітектури знають та розуміють, що задля досягнення найкращого результату, необхідно не тільки створити гарний та науково обґрунтований проєкт, але й проконтролювати щоб будівельні матеріали відповідали високим стандартам. Науковці інженерних спеціальностей із поважним досвідом роботи прекрасно усвідомлюють, що окрім об'єктивних вище зазначених факторів, успіх також залежить від таких суб'єктивних чинників, як: сумлінність в роботі, професійна кваліфікованість та майстерність, мотивація, ентузіазм, та ін. Таким чином ми можемо провести певні паралелі із створенням та подальшою практичною реалізацією т.з. ідеальних моделей суспільного розвитку, в основі яких завжди покладені певні ідеології. Так само, як в галузі будівництва, в справі суспільного розвитку успіх буде залежати від: вдалої, реалістичної та життєздатної моделі суспільного розвитку; провідних ідей та цінностей, які покладені до основи ідеології; ідеологів, як тих реалізаторів, які будуть здатними цілеспрямовано та наполегливо просувати зазначений Соціальний проєкт.

Інженери знають не тільки теорію. У своїй повсякденній роботі вони постійно стикаються із практичними ситуаціями, коли в силу тих чи інших обставин не вдається досягти доброго результату. Як кажуть будівельники: сам Проєкт може виявитись недостатньо реалістичним

чи науково обґрунтованим, він може містити помилки у розрахунках, тощо. Сумним прикладом сьогодення є наслідки руйнівних землетрусів в Туреччині, де відразу стало зрозуміло, які споруди миттєво піддалися стихії, а які, незважаючи на подекуди поважний вік, залишились цілими та непошкодженими. Реалізація навіть вдалого інженерного задуму, гарного проекту, потребує адекватних будівельних матеріалів, без яких, як ми бачимо, справа може закінчитись досить трагічно. Та й кваліфікацію і зацікавленість в роботі не можна не враховувати. Не важко помітити, що незважаючи на велику об'єктивну складність створення проектів у будівництві, проблема розбудови суспільства у всі часи, є ще більш складною та відповідальною. Можна навіть сказати, що це як раз і є провідним лейтмотивом розвитку людської цивілізації. У сучасних демократичних суспільствах спостерігається ідеологічний плюралізм, проте це не може виключати прийняття деяких найважливіших цінностей та норм, без яких не може існувати жодне демократичне суспільство. Однією з сучасних ідеологій є ідеологія суспільства масового споживання. Саме ця утилітарна система поглядів та цінностей призвела до передчасного виснаження ресурсів та загального погіршення стану навколишнього природного середовища. Ідеологія суспільства масового споживання здатна негативно впливати не тільки на біосферу, але й на духовну сферу суспільного життя. Так останнім часом помітного розповсюдження набули такі духовні проблеми, як: втрата сенсу життя, загальне погіршення соціального настрою, масове розповсюдження песимістичного та депресивного темного світосприйняття, соціальна байдужість, агресія тощо. Ще однією сучасною ідеологічною тенденцією є просування нової ідеології віртуалізації людського життя навіть після того, коли пандемія в кінці кінців буде успішно подолана та об'єктивна необхідність в застосуванні обмежувальних карантинних заходах просто зникне.

Тому задля успішного вирішення вищезначених складних проблем, людство має знайти в собі духовні сили, мудрість та консолідуватись. Саме зараз настав час шукати та знаходити нові позитивні світоглядні ціннісні орієнтири та нові перспективні ідеології.

ВИМІРЮВАННЯ УДАРНОГО ШУМУ В ЗАДАЧАХ СТВОРЕННЯ ЗВУКОІЗОЛЮЮЧИХ ОСНОВ ПІД ПІДЛОГИ

Керш В. Я., к.т.н., проф., Замула М. А., асп.,

Колесников А. В., к.т.н., доц., Хлицов М. В., к.т.н., доц.

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Будівництво сучасних будівель найрізноманітнішого призначення потребує створення в них акустичного комфорту – забезпечення тиші та належних умов слухового сприйняття. Ця вимога пов'язана з збільшенням за останні десятиліття «шумового навантаження» на людину, що викликано зростанням потужності обладнання та машин, використанням нових потужних засобів транспорту, різким зростанням кількості побутової, музичної та відео техніки. Проблема акустичного дискомфорту загострилася в панельних та блокових житлових будинках масової забудови, а останнім часом, особливо – у багатоповерхових монолітно-каркасних будинках.

Звук може поширюватися не тільки через повітря, але і через тверді матеріали, такі як стіни, стелі, підлоги та інші конструкції, що захищають. Звукопроникність конструкцій будівель часто перевищує таку у повітряних проміжках. Таким чином, для забезпечення ефективної звукоізоляції необхідно враховувати обидва ці механізми поширення звуку.

Дослідження проблем будівельної акустики показує суттєву складність та багатofакторність залежності звукоізолюючих властивостей конструкцій від її параметрів. Тут істотну роль грають розміри, форма, граничні показники. Істотно акустичні властивості залежать від характеру матеріалу, його структури та, насамперед, характеристик внутрішніх поверхонь розділу. При цьому цікавими є оптимальні акустичні властивості матеріалу, досяжні при найкращій конструктивній організації виробу з нього. За таких умов, пов'язаних з максимізацією за конструкційними факторами, акустичні властивості виявляються залежними тільки від різномасштабної структури матеріалу і опосередковано від рецептурно-технологічних факторів, пов'язаних з його отриманням.

Однією з найпоширеніших проблем у багатоповерхових житлових будинках є погана звукоізоляція міжповерхових перекриттів, особливо від ударного шуму, що призводить до дискомфорту мешканців. Міжповерхові перекриття і підлоги є багатoshаровими конструкціями, що складаються з шарів різних матеріалів, кожен з яких відіграє певну роль у забезпеченні звукоізоляції.

Вирішення проблеми недостатньої звукової ізоляції перекриттів в першу чергу досягається за допомогою певних будівельно-акустичних заходів, здійснення яких неможливе без застосування спеціальних звукопоглинаючих та звукоізолюючих матеріалів. В рамках роботи зі створення матеріалів для звукоізолюючих основ під підлоги, розроблено методику та установку для вимірювання ударного шуму на дослідних зразках. Необхідність такої розробки викликана тим, що стандартизовані методи визначення звукоізолюючої здатності зразків малих розмірів відсутні. У той же час без кількісної оцінки звукових характеристик експериментальних зразків матеріалів, що розробляються, неможливі їх порівняння, аналіз впливу різних компонентів пропонованих сумішей на акустичні властивості і вибір найкращих складів.

Характерно, що для оптимізації звукоізоляції до ударного шуму є достатніми відносний метод вимірювання, при якому дійсна характеристика звукоізолюючої здатності до ударного шуму виявляється пропорційною (з невідомим, але постійним коефіцієнтом пропорційності) вимірюваним за допомогою звукоаналізаторів різних видів. Переваги відносного методу в даному випадку впливають із суттєвої залежності акустичних властивостей від розмірів зразка, параметрів вимірювальної установки, тут слід також відзначити відсутність чітких кількісних процедур нормування за відношенням до ударного шуму для подібних методик і завдань. Відносний метод дозволяє коректно виконати найважливіше завдання дослідження – оптимізувати склад і технологічні фактори отримання матеріалу.

Запропонована методика визначення звукоізолюючої здатності заснована на перетворенні кінетичної енергії металевої кульки 1, що падає вертикально з постійної висоти на ударну поверхню 5, що контактує з досліджуваним зразком 6, в електричний сигнал, що вимірюється за допомогою комп'ютеру. Схему дослідної установки наведено на рис. 1.

На підставі планованого експерименту (рис.2), в якому змінювалося співвідношення між наповнювачами трьох типів та одним компонентом матричного матеріалу (золи як пуцоланової добавки гіпсо-цементний склад) отримані дані - відносні амплітуди ударного звуку.

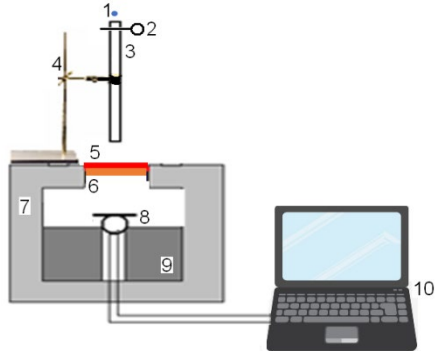


Рис.1. Установа для вимірювання ударного звуку: 1- металева куля, 2-затворний механізм, 3-напрямна трубка, 4- лабораторний штатив, 5- ударна поверхня, 6-досліджуваний зразок, 7-звукова камера, 8-динамічний мікрофон, 9- звукоізолююче заповнення, 10-ноутбук зі звуковим входом (звуковою картою)



Рис. 2. Схема планованого експерименту з отримання оптимального енергозберігаючого звукоізолюючого складу

Отримані дані дозволили побудувати експериментально-статистичну модель звукопроникності для ударного шуму у відносних одиницях, відображену на рис. 3.

Blow noise =	R-Squared 0.5563
+0.910 * x_1	Adj R-Squared 0.4232
+0.931 * x_2	Pred R-Squared 0.3118
+0.938 * x_3	Adeq Precision 5.149
-0.906 * x_1 * x_2	

Рис. 3. ЕС-модель ударного шуму.

Отримана ЕС-модель відображена на трикутнику (рис.4), вершини якого відповідають максимальному змісту одного із заповнювачів.

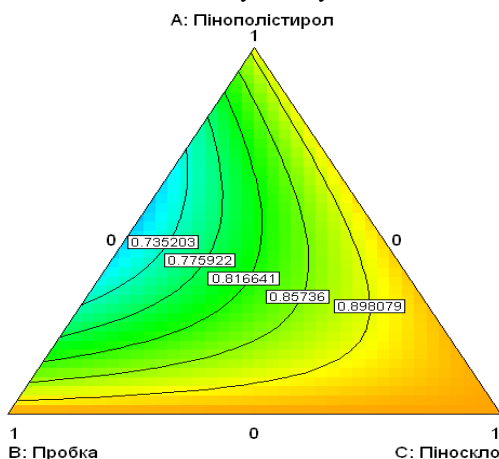


Рис. 4. Відображення моделі ЕС на трикутнику, що відображає вміст заповнювачів.

Мінімальному значенню сигналу (і найбільшим показником звукоізоляції від ударного шуму) відповідає склад, що включає тільки пробку та піноскло. Це може бути пов'язана з двома ефектами:

1. Зменшення товщини перегородок матричного матеріалу, яким переважно поширюється ударний шум;
2. У розсіянні енергії деформації та перетворенні її на тепло частки пробки та полістиролу беруть участь синергічно, зокрема, завдяки контакту цих частинок у матеріалі.

Аналіз регресійної ЕС-моделі дозволяє зробити припущення про значну роль конструкційних факторів, що контролювалися при вимірюванні лише частково, наприклад характеру стиснення зразка при випробуванні, геометричних властивостей поверхні зразків, а також технологічних факторів приготування матеріалу. Більшість з цих факторів може бути усунута підвищенням якості обладнання та збільшенням кількості вимірювань.

Отримана експериментально-статистична модель використовувалася для подальшої багатокритеріальної оптимізації, що дозволила підібрати енергозберігаючий гіпсовмісний композит з покращеними акустичними характеристиками щодо ударного шуму.

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ З ДИСПЕРСІЙНИМ АРМУВАННЯМ ЗАЛІЗОБЕТОНУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Коврова В. О., маг., Волкова В. Є., д.т.н., проф.

*(Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
Національний технічний університет «Дніпровська Політехніка»,
Україна)*

За сучасних тенденцій у будівельній галузі використання залізобетону для зведення будівель та споруд є нагальним. Широке застосування бетону для зведення несучих елементів каркасу будівлі обумовлено його універсальністю, низькою вартістю, доступністю, міцністю на стиск, здатністю створювати конструкції різних форм. Не дивлячись на те, що досвід масового застосування бетону у будівельних конструкціях перевищує 120 років, дослідження з метою покращення його характеристик стають дедалі актуальнішими.

Наразі підвищилися вимоги до рівня безпеки житлових споруд, що вимагає розробки нових конструкційних матеріалів та конструктивних форм. Використання бетону в будівлях обумовлене насамперед його міцністю, надійністю, низьким коефіцієнтом податливості проникненню. Однак на ряду з істотними перевагами важких бетонів є і ряд суттєвих недоліків. Головними з них є низька ударна міцність [1], схильність до утворення та розповсюдження тріщин, крихкість матеріалу [1]. Таким чином, за впливу граничних навантажень бетон може руйнуватися миттєво. Це може призвести до неможливості подальшої експлуатації, а також може становити загрозу для життя людей, що перебували у будівлях.

Ефективним способом подолання цих недоліків бетону є використання модифікованих бетонів з дисперсійним армуванням фібрами різних типів, наприклад, синтетичних, металевих або природних [2]. Фіробетонам властива вища міцність на розтяг при згині, а також стійкість до ударних навантажень. Слід зазначити, що фіробетони мають вищу тріщиностійкість, водонепроникність та корозійну стійкість у порівнянні зі звичайним бетоном [2]. Однак впровадженню фіробетонів у масове будівництво дещо перешкоджає недостатній досвід технології його використання.

Дослідженню властивостей фіробетону, як будівельного матеріалу присвячено низку робіт як вітчизняних, так і закордонних науковців. Спираючись на наукові дослідження [2,3,4] можна виокремити вплив волокон на фізико-механічні характеристики фіробетонів залежно від

типу волокон. У дослідженні [2] розглянуто застосування базальтових волокон. Дані волокна збільшують щільність матеріалу, є негорючими і близькими за коефіцієнтами температурного розширення до цементного каменю. Проте наразі базальтовим волокнам властива висока вартість. При виконанні робіт з використанням базальтових волокон робітники потребують у додаткових захисних засобах.

У дослідженні [3] викладено результати експериментальних досліджень механічних характеристик фібробетонів із додаванням сталевих волокон різних типів. Цей тип фібри дозволяє підвищити міцність бетону на розтяг та перешкоджає крихкому руйнуванню. Однак сталева фібра схильна до корозії та має велику вагу. Також слід враховувати зниження об'ємів виробництва сталі в Україні та перерозподіл її використання між галузями економіки. У статті [4] розглянуто властивості поліпропіленових волокон. Дані волокна характеризуються високим модулем пружності, великою щільністю та стійкістю до хімічних реагентів та порівняно з іншими варіантами є економічно виправданими.

Метою даного дослідження є визначення особливостей напружено-деформованого стану та динамічних характеристик багатоповерхової каркасної будівлі із застосуванням конструкцій з фібробетону з поліпропіленовими волокнами. Дослідження виконуються із застосуванням методу кінцевих елементів.

Дана будівля є повною каркасною з двома ядрами жорсткості, які сконструйовано за допомогою пластинчатих елементів. Фундамент проекту є плитним жорстко закріпленим. Розмір у плані будівлі в осях – 18×58 м з висотою поверху 4,2 м. У будівлі 5 поверхів та 1 цокольний поверх. У якості району будівництва прийнято м. Дніпро.

У роботі виконано аналіз трьох варіантів розрахункових схем багатоповерхової каркасної будівлі. У першому варіанті перекриттям було присвоєно жорсткості фібробетонів з поліпропіленовими волокнами, а іншим конструкціям – важкого бетону С25. У другій моделі з фібробетонів були перекриття і балки, а в третьому – перекриття балки та колони. Ці варіанти розрахункових схем порівнювалися з моделлю будівлі, конструкції якої виготовлено повністю з важкого бетону С25. Спираючись на результати, отримані експериментальним шляхом, наведені в [4], механічними характеристиками фібробетону були призначені наступні значення (див. табл. 1).

Створення розрахункових схем будівлі втілено у програмному комплексі SCAD. При моделюванні використано наступні типи кінцевих елементів – пластинчасті трикутні та прямокутні, а також

стрижневі елементи. Загальна кількість кінцевих елементів проекту складала – 64345, а кількість вузлів – 51671.

Таблиця 1 – Характеристики матеріалів несучих конструкцій

Характеристика	Значення	
	Фібробетон	Бетон С25
Об’ємна вага	2300 кг/м ³	2500 кг/м ³
Модуль пружності	30 ГПа	30,02 ГПа
Коефіцієнт Пуассона	0,16	0,2
Міцність на стиск	40,5 МПа	32,1 МПа

При розрахунку скінченно-елементної моделі в ПК SCAD використано багатofронтальний метод. У розрахункових схемах враховано постійні, довготривалі, короточасні навантаження.

Надалі акцент дослідження зосереджено на оцінці власних значень та частот форм власних коливань (рис. 1,2), отриманих у результаті модального аналізу.

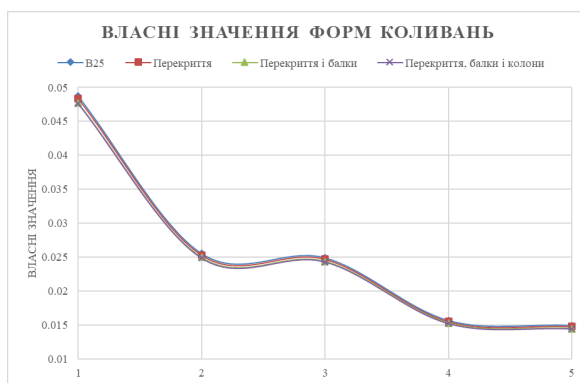


Рисунок 1 – Графік власних значень форм власних коливань

На основі отриманих результатів побудовано графіки власних значень та частот форм власних коливань (рис. 1,2) для кожної схеми. Власні значення 1 форми власних коливань є найбільшими і значно різняться з іншими. Друга та третя форми є близькими за своїми значеннями, а решта форм є майже рівними між собою. Частоти форм власних коливань є найнижчими для першої форми. Частоти другої та третьої форм, а також четвертої і п'ятої є близькими за значеннями між собою.

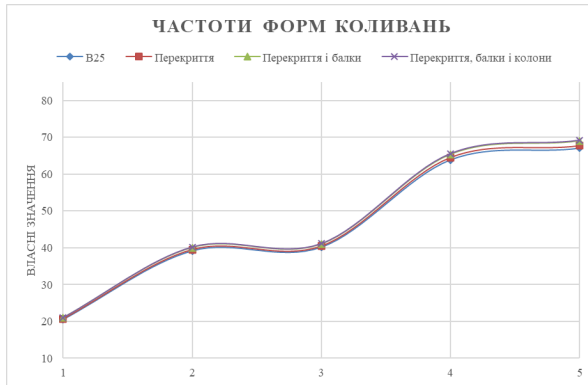


Рисунок 2 – Графік частот форм власних коливань

Таким чином, застосування фібробетонів з поліпропіленовим волокном є доцільним. У варіантах розрахункових схем з конструкціями з фібробетонів зменшилися переміщення. За модального аналізу виявлено збільшення частот форм власних коливань зі збільшенням кількості конструктивних елементів з фібробетону. Відповідно власні значення зменшилися у варіанті з перекриттями, балками та колонами з фібробетону в порівнянні зі схемою, де всім елементам присвоєно матеріал – важкий бетон С25.

Перелік посилань

1. Марущак У. Д., Саницький М. А., Королько С. Наномодифіковані швидкотверднучі бетони, армовані дисперсними волокнами // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва. – 2017. – № 877. – С. 136- 144.

2. Korolko, S. V., Martyniuk I. M., Stadnichuk, O. M., & Gorchynskuj, I. V. (2018). Перспективи використання базальтових фібробетонів для фортифікаційних споруд. Військово-технічний збірник, (19), 66–72. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.19.2018.66-72>.

3. М. Г. Сур'янінов, С. П. Неутов, І. Б. Корнеєва, Д. В. Величко. Несуча здатність сталевібробетону з фіброю різного типу // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2020. – № 2(49). – С. 18-24.

4. Del Savio, A.A.; La Torre Esquivel, D.; Carrillo, J.; Chi Yep, E. Determination of Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete Compressive Strength and Elasticity Modulus via Ultrasonic Pulse Tests. Appl. Sci. 2022, 12, 10375. <https://doi.org/10.3390/app122010375>.

ВЛАСТИВОСТІ ЯК ФУНКЦІЯ СТРУКТУРИ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТИВ

Колесников А. В., *к.т.н., доц.,* **Семенова С. В.,** *к.т.н., доц.,*
Вировой В. М., *д.т.н., проф.*

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Важливою характеристикою композиційних матеріалів, що застосовуються у будівництві, є мимовільне формування структури протягом усього життєвого циклу. Під структурою тут розуміється деяка сукупність зв'язків та відносин між елементами різних просторових масштабів, що визначає спосіб їхньої взаємодії та організації [1]. Структурування – формування внутрішньої структури матеріалів під впливом процесів на мікроскопічному та молекулярному рівні, наприклад, гідратації чи полімеризації, а також макроскопічних процесів та явищ. Процеси формування структури матеріалу є причиною змін властивостей матеріалу, зокрема експлуатаційних. Одне з основних завдань будівельного матеріалознавства - аналіз причинно-наслідкових зв'язків відносини "структура - властивості", що і є основною метою роботи. Підхід до аналізу цього відношення, що використовується у даній роботі – дискретний варіант принципу «від простого до складного» і концептуальне моделювання.

На першому етапі дослідження слід виділити окремі елементи структури. Для композитів на основі полімерів основними елементами можуть бути сегменти полімерного ланцюга, вузли флуктуаційної сітки, пов'язані прохідними ланцюгами, фібрилярні або ламелярні структури чи сфероліти [2], а також частинки наповнювача, які взаємодіють з матричним матеріалом [3]. Для композитів на основі мінеральних в'язучих основними структуроутворюючими елементами є групи частинок різних масштабів, що утворюють єдину структурно-механічну одиницю (кластер) та частково відокремлені між собою міжкластерними межами розділу [4].

Виходячи з базових положень теоретичного матеріалознавства [5] структуру матеріалу можна уявити як об'ємну сітку. Припущення про об'ємну сітку, що охоплює весь досліджувальний зразок, з сучасних позицій може бути розглянуто як виправдане, але істотно спрощене. Властивості матеріалу, а точніше, зразків і виробів з них, тісно пов'язані з особливостями тривимірної сітки, що виявляються на мезоскопічному рівні [6]. Переважно на цьому рівні в матеріалі виникають нові елементи структури, відсутні в затвореному

в'язучому, і композиті на його основі. Виникнення нових структур (наприклад, дисипативних) є однією з головних особливостей відкритих складноорганізованих нерівноважних систем, якими і є матеріали в процесі структуроутворення. Для композитів основними елементами, що формуються, слід визнати такі елементи як кластерні структури, міжкластерні межі розділу [6], а також продукти їх еволюції – пори, капіляри та тріщини.

Зв'язок фізичних і, зокрема, експлуатаційних властивостей з новими сформованими елементами композиційних матеріалів може бути розглянутий з двох позицій:

1. Рівні та діапазони відповідних характеристик залежать в основному від характеру взаємодії одиночної структури з навколишнім відносно однорідним матеріалом (наприклад, пори з матеріалом міжпорових проміжків), і щільності відповідних структур. Цей підхід виправданий у такій теорії композиційних матеріалів, де нових елементів структури досить мало чи вони грають роль структурно-системної домінанти, визначаючи характер процесів у навколишньому об'ємі матеріалу. Таке припущення застосовується, наприклад, при моделюванні матеріалу з тріщиною (одною або декількома)

2. Фізичні та експлуатаційні властивості визначаються не так наявністю окремих нових елементів структури, як результатом їх взаємодії та комбінованого (синергічного або антагоністичного) впливу. Нові структури потенційно здатні, в свою чергу, формувати структурні ансамблі різного якісного та кількісного складу [7]. Ці ансамблі при аналізованому другому підході є структурними вузлами, взаємодіючими з навколишнім матеріалом. Таке припущення видається виправданим у разі матеріалів з розвиненою внутрішньою структурою, наприклад, високонаповнених композитів, а також пористих та інших фракталоподібних матеріалів.

Розглянуті дві позиції видаються не альтернативами, а припущеннями, що взаємодоповнюють один одного.

Літературні дані [8] та результати досліджень дозволяють охарактеризувати відносний вплив нових елементів основних відомих типів на експлуатаційні властивості (рис.1). Зі схеми видно, що всі види несутільностей негативно позначаються на характеристиках міцності, теплопровідності, але позитивно впливають на паропроникність і звукопроникність. Інтенсивність впливу суттєво відрізняється. Так, структура, утворена тріщинами, що розгалужуються та приходять по міжкластерних границях розділу, найбільшою мірою впливає на міцнісні характеристики, в той же час для звукопроникності найбільшу значимість мають капіляри і дрібні

пори (відомим фактом є хороші звукоізолюючі властивості плит з гіпсу). Слід також враховувати, що у композиційних матеріалах спостерігається значно більша різноманітність структурних елементів, особливо з урахуванням структур поблизу поверхні частинок наповнювача.

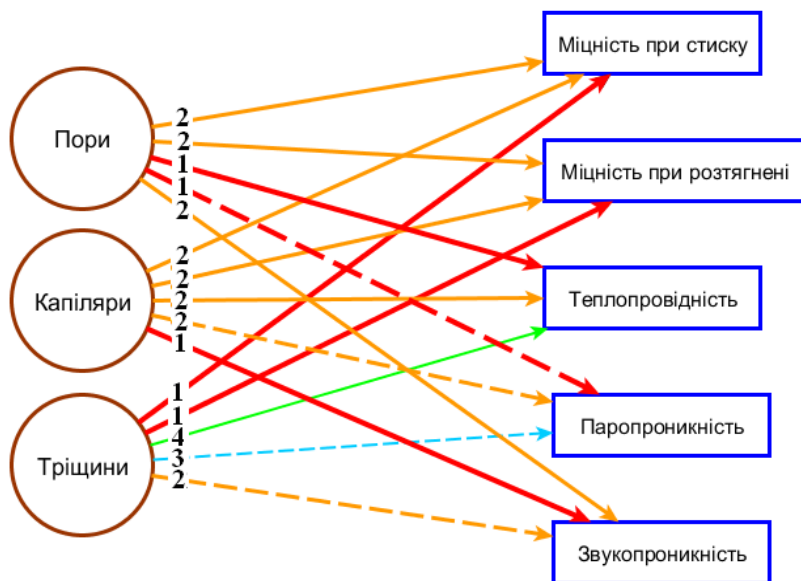


Рис.1. Спрощена схема впливу нових елементів структури композитів на їхні експлуатаційні властивості. Суцільні лінії – негативні впливи, пунктирні – позитивні. Вказані умовні бали (1-4) ступеня впливу структурних елементів на властивості, у порядку зменшення

При дослідженні композиційних матеріалів особливо яскраво та багатогранно проявляється властивість системності. Щодо впливу структурних елементів ця властивість проявляється у їх взаємодії та формуванні єдиного структурного ансамблю [7]. Структурні ансамблі при формуванні здатні, зокрема, відобразитися на локальних фізичних властивостях матеріалу. Так, у процесі твердіння в'язучого, яке супроводжується екзотермічною гідратацією, у в'язучому тісті проявляються термічні осередки [9], що відповідають структурно-механічним осередкам (структурним ансамблям). Процес

структуроутворення у цьому та багатьох інших випадках здійснюється відповідно до багатоосередкового механізму [1].

Таким чином, формування властивостей матеріалів у процесі структуроутворення, продуктивно розглядати як наслідок виникнення та розвитку нових елементів структури, здатних окремо або спільно впливати на макроскопічні властивості зразка. Формування нових елементів, у свою чергу, відбувається під впливом полів деформації та температурних полів. Наявна схема циклічної причинності, характерна для матеріалів як систем, що самоорганізуються. У подальших дослідженнях одним із продуктивних методів аналізу таких систем є метод структурних потенціалів.

Література

1. Структуроутворення та руйнування будівельних композитів: навч. посіб. / В. М. Вировой та ін. Одеса: ОДАБА, 2020. 172 с.
2. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. Издание 4-е, переработанное и дополненное. М.: Научный мир, 2007. 576 с.
3. Вировой В.Н., Довгань И.В., Семёнова С.В. Особенности структурообразования и формирования свойств полимерных композиционных материалов. Одесса: ТЭС, 2004. 168 с.
4. Вировой, В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства. Одесса: «ТЭС», 2010. 169 с.
5. Дворкін Л.Й. Будівельні в'язучі матеріали.. К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. 628 с.
6. Коробко О.А., Вировой В.Н., Тофанило В.Ю., Уразманова Н.Ф. Динамика развития структур бетонов. *Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. 2015. Вип.30. С.36-43.
6. Колесников, А.В., Дмитренко, М.П., Кириленко, Г.А. Исследование некоторых системных механизмов формирования структурных ансамблей в строительных композитных материалах, *Вісник ОДАБА*. 2017. №67. С. 84-88
7. Браутман Л., Крок Р. Современные композиционные материалы: Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 672 с.
8. Колесников А.В., Семенова С.В., Вировой В.Н., Керш В.Я. Анализ тепловых эффектов при многоочаговом структурообразовании, *Вісник ОДАБА*. 2021. Вип. 85. С.89-99.

УПРАВЛІННЯ ТЕРМІНАМИ ТУЖАВЛЕННЯ ЦЕМЕНТІВ, АКТИВОВАНИХ РОЗЧИННИМ СКЛОМ

Кривенко П. В., *д.т.н., проф.*, Гелевера О. Г., *к.т.н., доц.*,
Руденко І. І., *д.т.н., проф.*, **Константиновський О. П.**, *к.т.н., доц.*
(Київський національний університет будівництва і архітектури,
Україна)

У світовій будівельній практиці все більше зростає потреба у високоміцних та супервисокоміцних бетонах з інтенсивним набором міцності у ранні строки. Це зумовлено постійним підвищенням вимог до фізико-механічних та експлуатаційних характеристик бетонів та прагненням до скорочення термінів будівництва. З цієї точки зору все більше зростає інтерес до лужно-активованих цементів, що обумовлено комплексом спеціальних властивостей, зокрема, високою міцністю і довговічністю штучного каменю, що отримується, які перевершують традиційні цементи [1-4]. А цементи, виготовлені з використанням розчинного скла як лужного компонента, заслуговують особливої уваги у зв'язку з їх здатністю при правильному виборі параметрів технологічного процесу і композиційного складу демонструвати високу міцність і супершвидкий набір міцності при збереженні високих експлуатаційних властивостей [3, 4]. Окрім того, це особливо актуально і з точки зору захисту та будівництва об'єктів критичної інфраструктури країни, там де необхідні високі гарантії захисту, непроникності та довговічності.

Однак проблемою ефективного використання в'язучих цементних композицій, активованих розчинними високомодульними силікатами натрію, і максимальної реалізації їх спеціальних властивостей залишаються короткі строки тужавлення. Враховуючи, що взаємодія силікатів кальцію клінкера з лужними компонентами у вигляді розчинних високомодульних силікатів натрію характеризується активною коагуляцією [5-7], виникає необхідність пошуку і використання модифікуючих добавок з уповільнюючим ефектом, стійких до дії високолужного середовища. Тому метою даного дослідження була розробка високоміцних швидкотверднучих цементів з контрольованими строками тужавлення, а також вивчення впливу модифікуючих добавок, силікатного модуля гідросилікатів натрію та режимів технології на досягнення високої міцності на стиск (≥ 80 МПа у нормативному віці 28 діб та ≥ 20 МПа через 3 години твердіння у нормальних умовах).

Як алюмосилікатний компонент використовували мелений гранульований доменний шлак і портландцемент М500. Питома поверхня шлаку становила $4500 \text{ см}^2/\text{г}$ за Блейном. Як лужні компоненти використовувалися розчинні високомодульні силікати натрію ($M_c=2,6$ і $M_c=3,0$ з $p = 1,4 \text{ г/мл}$) та розчин метасилікату натрію з $p = 1,25 \text{ г/мл}$. Для сповільнення тужавлення досліджуваних цементних композицій було обрано сіль $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (далі за текстом ТНФ). Вміст ТНФ підбрано експериментально таким чином, щоб забезпечити початок тужавлення $\geq 15 \text{ хв.}$, що вимагається для надшвидкотверднучих систем на основі портландцементу. ТНФ попередньо розчиняли у розчині високомодульного силікату натрію у кількості 10% від маси скла з подальшим доведенням отриманого однорідного розчину до необхідної середньої густини $1,4 \text{ г/мл}$.

За результатами попередніх досліджень, модифікуючим агентом була обрана добавка гліцерину, яка здатна підсилювати дію ТНФ у напрямку управління термінами тужавлення. З іншого боку, так як гліцерин, це поліфункціональна органічна сполука, яка здатна зв'язувати поверхневі групи кремнекисневих олігомерів за допомогою водневих зв'язків шляхом зшивки молекул кремнієвої кислоти, тому за рахунок цього він здатний принагідно також покращувати і еластичність затверділого бетону. Добавка гліцерину вводилася у розчин розчинного скла, що містить ТНФ, і перемішувалась з ним. Отриманою сумішшю замішували цементи. Приготування тіста та цементно-піщаних розчинів здійснювали у стандартному змішувачі типу Хобарт. Як дрібний заповнювач у цементно-піщаних розчинах використовували стандартний пісок Гусарівського родовища. Міцність цементів визначали відповідно до EN 196-1. Відношення об'єму розчинного силікату до маси цементу (далі Р/Ц) при приготуванні цементно-піщаних розчинів підбирали експериментально, щоб величина розпливу, виміряна на стандартному струшуючому столику становила $106 \dots 115 \text{ мм}$. Умови затвердіння зразків були наступними: після виготовлення та до 3 діб – відносна вологість $\varphi = 95 \dots 100\%$, $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$. А після 3 діб і до моменту випробувань зразки витримувалися у воді. Дослідження мікроструктури цементного каменю виконувалося за допомогою растрового скануючого електронного мікроскопа РЕМА 102-02. Тепловиділення гідратованих цементних композицій визначалося напівдіабатичним (термосним) методом відповідно до ДСТУ Б В.2.7-289:2011 (EN 196-9:2010, MOD).

У результаті виконаних досліджень встановлено позитивний синергетичний ефект від використання гліцерину у якості додаткового

модифікуючого компонента комплексної добавки "ГНФ + гліцерин" для управління строками тужавлення в лужно-активованих цементах на основі високомодульних розчинних стекел. Це дозволило розширити строки початку тужавлення лужно-активованих цементів при використанні розчинних високомодульних стекел до значень 26...120 хв. При цьому отримані цементи мали міцність на стиск через 3 години 18,9...26,3 МПа, через 1 добу 34,5...54,0 МПа, через 28 діб 83,2...117,1 МПа. Встановлено, що наявність гліцерину сприяє не тільки подовженню строків тужавлення, але й пластифікації цементних паст (зменшення Р/Ц на 4...21%) та підвищенню міцності на стиск штучного каменя до 24,5%. Відмічено, що використання досліджених модифікуючих добавок сприяє підвищенню ступеню гідратації шлаку, формуванню поряд з гідросилікатними сполуками ксерогелевих структур та целітоподібних сполук, які відкладаються на гідросилікатній основі матриці у вигляді блоків-агрегатів та підвищують загальний об'єм структуроутворюючих одиниць. Можна припустити, що вищевказаний розвиток структури модифікованих шлаколужних цементів може позитивно впливати на характеристики пружно-деформованого стану цементного каменя у напрямку підвищення протидії статичним та динамічним навантаженням за рахунок демпфуючої дії додаткових новоутворень.

Література

1. 5th International Conference "Non-Traditional Cement & Concrete", Brno University of Technology and ZPSV, a.s., June 16-19, 2014, Brno, Czech Republic.
2. The Announcement of International Conference on Alkali-activated Cements and Concretes, Chongqing, P.R. China, October 11-12, 2014.
3. Шлаколужні бетони на дрібнозернистих заповнювачах / Під ред. В.Д. Глуховського. – Київ: Вища школа, 1981, – 224 с.
4. Виробництво бетонів та конструкцій на основі шлаколужних в'язучих / Під загальною ред. В.Д. Глуховського. - Київ. Будівельник, 1988. – 144 с.
5. Лугинина И.Г., Петренко М.А. Гидратация цемента при добавках силиката и фосфата натрия // Цемент, 1987, №1 – С.16-17.
6. Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло – М.: Стройиздат, 1956. – 90 с.
7. Айлер Р. Химия кремнезема. Часть 1. М.: Мир, 1982. – С.184-186.

ВПЛИВ АНІОНУ СОЛЕЙ ЛУЖНИХ МЕТАЛІВ НА АКТИВНІСТЬ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІВ

Кривенко П. В., *д.т.н., проф.*, **Руденко І. І.**, *д.т.н., с.н.с.*,
Константиновський О. П., *к.т.н., доц.*, **Кириченко В. М.**, *студент*
(Науково-дослідний інститут в'язучих і матеріалів ім. В. Д.
Глуховського,
Київський національний університет будівництва і архітектури)

Запровадження портландцементів, отриманих в результаті заміни клінкерної складової відходами промисловості, зокрема гранульованим доменним шлаком (далі, ГДШ), відноситься до основних тенденцій сталого розвитку цементного виробництва з огляду на ефективне споживання сировини, заощадження енергоресурсів, зменшення впливу на оточуюче середовище [1]. Однак, сповільнена кінетика набору міцності шлакопортландцементів, особливо на ранніх термінах гідратації, обумовлює необхідність застосування заходів з їх активації [2].

Використання солей лужних металів є одним з способів хімічної активації алюмосилікатної складової портландцементів, зокрема ГДШ, і лежить в основі отримання лужно-активованих цементів (за національним стандартом ДСТУ Б В.2.7-181:2008 – лужні цементи). Окрім сполук лужних металів, які забезпечують високі значення водного рН середовища і характеризуються найбільшим активуючим впливом [3], в якості альтернативних лужних активаторів можуть використовуватися також слаболужні [4] і майже нейтральні солі [5]. Відомо, що ефективність аніону натрієвої солі залежить від основності портландцементних систем, яка визначається вмістом алюмосилікатної складової [6].

Морська вода або рідкі промислові відходи, основними складовими яких є хлориди і сульфати, як майже нейтральні солі, також можуть відігравати роль лужного активатора алюмосилікатної складової портландцементів [7]. Для запобігання ризику корозії сталевій арматури в бетонах під дією хлоридів і сульфатів, присутність яких обумовлена введенням активуючої речовини (зокрема, морської води при замішуванні) або транспортом з агресивного середовища експлуатації, запропоновано модифікацію портландцементів добавкою алюмосилікатного іоніту у вигляді природного цеоліту (кліноптилоліт) [8].

Зважаючи на вказане, **метою роботи** є визначення ефективності впливу аніонної складової натрієвих солей на активність

портландцементів залежно від їх основності, яка корегувалася вмістом шлакової складової. Присутність цеоліту в системі обґрунтовується забезпеченням адсорбції агресивних іонів (Cl^- , SO_4^{2-}), джерелом яких може виступати як суто лужний активатор, так і агресивне середовище експлуатації.

Критерієм основності портландцементів прийнято модуль основності (M_o) – відношення масових концентрацій оксидів ($\text{CaO} + \text{MgO}/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$). Використано наступні склади портландцементів, % за масою:

- портландцемент – 90, цеоліт – 10 (система 1, $M_o = 2.1$);
- портландцемент – 45, ГДШ – 45, цеоліт – 10 (система 2, $M_o = 1.5$);
- портландцемент – 5, ГДШ – 85, цеоліт – 10 (система 3, $M_o = 1.2$).

Для активації алюмосилікатної складової портландцементів використано розчин солей, комплекс яких на 99,9 % моделює склад солей морської води – переважно *майже нейтральні солі* (хлориди, сульфати), вміст комплексу солей складає 1 % від маси алюмосилікатних компонентів). Для додаткової активації використано соду кальциновану технічну (Na_2CO_3) (згідно з CAS 497-19-8) – *слаболужна сіль*, вміст прийнято рівним 4 % від маси алюмосилікатних компонентів. Контрольні склади (аналоги для порівняння) замішувались прісною водою.

Консистенція розчинової суміші (співвідношення портландцемент:пісок = 1:3) становила 106...115 мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-181:2009. Міцність на стиск розчину після тверднення визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7-187:2009.

Система 1 ($M_o = 2,1$): виявлено ефективність майже нейтральних солей для активізації гідратації тільки на ранніх етапах тверднення. Так, замішування портландцементу морською водою визначає збільшення міцності на стиск тільки на 2 добу. Приріст становить 53,6 % відносно аналогу, замішаного прісною водою. На наступних етапах тверднення міцність портландцементу залишалась на рівні аналогу.

Фазовий склад продуктів гідратації такого портландцементу, замішаного морською водою, на 28 добу тверднення представлений гелеподібними високоосновними гідросилікатами кальцію типу CSH(II) , а також кристалічними фазами – портландитом Ca(OH)_2 , кальцитом CaCO_3 , еtringітом $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ і сіллю Кузеля $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Відсутність змін в об'ємі кристалічної фази порівняно з аналогом, замішаним прісною водою, підтверджує активуючий ефект майже нейтральних солей тільки на ранніх етапах гідратації системи. Зв'язування агресивних іонів цементною матрицею забезпечується завдяки хемосорбції

гелевими фазами, хімічному зв'язуванні в AFm-фази (сіль Кузеля), а також адсорбції в структурі цеоліт-вміщуючої добавки [8].

Система 2 ($M_o = 1,45$): період активізуючого впливу майже нейтральних солей на гідратацію розширюється. Замішування морською водою призводить до синергетичного активуючого ефекту дії як на клінкерну, так і на шлакову складову, що супроводжується підвищенням міцності на стиск порівняно з аналогом, замішаним прісною водою, на 53,2 %, 58,3 % і 24,3 % на 2, 7 і 28 добу. Зменшення основності цементної системи і введення майже нейтральних солей (сполуки натрію) сприяє формуванню при гідратації гідросилікатів пониженої основності порівняно з системою 1 – CSH(I), гіроліт $2CaO \cdot 3SiO_2 \cdot 2,5H_2O$, афвіліт $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$. Відомо, що зниження основності гідросилікатів кальцію в складі продуктів гідратації сприяє підвищенню міцності штучного каменю [9]. Зв'язування агресивних іонів цементною матрицею здійснюється аналогічно розглянутій вище схемі.

Система 3 ($M_o = 1,2$): вимагає додаткового використання в якості активуючих добавок *слаболужних солей*. Використання сумісно з майже нейтральними солями морської води лужного компоненту у вигляді Na_2CO_3 обумовлює підсилення активуючого ефекту, орієнтованого переважно на шлакову складову, що супроводжується збільшенням міцності на стиск на 141,2 %, 25,7 % і 95,1 % на 2, 7 і 28 добу порівняно з аналогом, замішаним прісною водою. Підвищення міцності портландцементного розчину обумовлюється формуванням в складі продуктів гідратації більшого об'єму низькоосновних гідросилікатів кальцію. Підвищена здатність до зв'язування агресивних іонів цементною матрицею такого складу обумовлена їх хемосорбцією і хімічним зв'язуванням лужними цеолітоподібними гідроалюмосилікатами, які перебувають в субмікрокристалічному стані, додатково до механізму в системах 1 і 2.

Таким чином, визначено вплив аніонної складової солей лужних металів на активність портландцементів залежно від основності, як функції вмісту шлакової складової. Показано, що із зменшенням значень M_o від 2,1 до 1,5 підвищується ефективність дії майже нейтральних солей, що проявляється в розширенні періоду активізуючого впливу з початкових стадій гідратації до марочного віку. При подальшому зменшенні основності до $M_o = 1,2$ доцільним стає додаткове введення слаболужних солей для максимального розкриття гідравлічної активності ГДШ в складі портландцементу. В загальному випадку, підвищення активності портландцементу обумовлюється зниженням основності гідросилікатів кальцію і

збільшенням їх вмісту в продуктах гідратації. Отримані результати надають перспективу розробки портландцементів з високим вмістом ГДШ, що відповідає сучасним тенденціям розвитку будівельної галузі. Підвищена здатність таких портландцементів до зв'язування Cl^- , SO_4^{2-} -іонів внаслідок їх адсорбції в структурі природного цеоліту обумовлює можливість їх запровадження в бетонах, як замішаних агресивними речовинами, в т.ч. морською водою, так і функціонуючих в умовах зовнішнього впливу агресивних середовищ.

Подяка. Автори висловлюють подяку Міністерству освіти і науки України за фінансову підтримку досліджень, які виконуються в рамках бюджетного фінансування НДР № 0123U101831.

Список літератури

1. Amran M., Murali G., Khalid N.H.A., Fediuk R., Ozbakkaloglu T., Lee Y.H., Haruna S., Lee Y.Y. Slag uses in making an ecofriendly and sustainable concrete: A review. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 272. 121942.
2. Jain M. Use and properties of blast furnace slag as a building material- a review. *International journal of recent contributions from engineering, science & IT (iJES)*. 2014. Vol. 2(4). P. 54-60.
3. Krivenko P.V. Why alkaline activation – 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials. *Journal of ceramic science and technology*. 2017. Vol. 8 (3). P. 323-334.
4. Bernal S.A. Advances in near-neutral salts activation of blast furnace slags. *RILEM Technical Letters*. 2016. Vol. 1. P. 39-44.
5. Krivenko P., Rudenko I., Konstantynovskyi O. Design of slag cement, activated by Na(K) salts of strong acids, for concrete reinforced with steel fittings. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2020. Vol. 6 (6–108). P. 26-40.
6. Fundi Y.S.A. Alkaline pozzolana portland cement. Proceedings of the 1st international conference on alkali cement and concrete. 1994. Vol. 1. P. 181-192.
7. Moussawel H. Effects of using sea water in the mixing and curing of concrete. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*. 2020. MAT-03.
8. Krivenko P., Rudenko I., Konstantynovskyi O., Vaičiukynienė D. Mitigation of corrosion initiated by Cl^- and SO_4^{2-} -ions in blast furnace cement concrete mixed with sea water. 2022. *Materials*. Vol. 15(9). 3003.
9. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К. Довговічність шлаколужного бетону. К.: Будівельник, 1993. 224 с.

МІЦНІСТЬ БЕТОНІВ І ФІБРОБЕТОНІВ ЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ В ПРОЕКТНОМУ І РАННЬОМУ ВІЦІ

**Кривяков С. О., д.т.н., проф., Мішутін А. В., д.т.н., проф.,
Полторапавлов А. О., Заволока М. В. к.т.н., проф.**

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Жорсткі цементобетонні дорожні покриття мають суттєві переваги перед асфальтобетонними. Основними з цих переваг, що обумовлюють все більш широке використання цементобетонних доріг у світі, є довговічність покриття та стійкість до утворення колії [1].

Дорожні покриття експлуатуються при змінному напрямку дії навантажень та піддаються динамічним впливам. У таких умовах ефективним є використання дисперсного армування бетону стійкою до корозії фіброю [2]. Одним з найбільш ефективних типів дисперсної арматури є поліпропіленова фібра, виробництво якої постійно вдосконалюється [3]. Відомо, що раціональна кількість фібри суттєво залежить від геометричних особливостей її волокон, вимог до бетону та його складу. Відповідно розробка ефективних фібробетонів дорожніх покриттів має проводитися з врахуванням наявної сировинної бази, зокрема цементів та новітніх суперпластифікаторів.

Дослідження властивостей бетонів і фібробетонів дорожніх покриттів проводиться за 15-ти точковим оптимальним планом [4]. Варіювалися наступні фактори складу [5]:

- X_1 , портландцемент ПЦ II/A-K(Ш-В)-500Р, від 350 до 450 кг/м³;
- X_2 , поліпропіленова фібра «X Mesh» з довжиною волокон 39 мм та еквівалентним діаметром 0,45 мм, від 0 до 3 кг/м³;
- X_3 , добавка суперпластифікатор STACHEMENT 2570/5/G на основі полікарбоксилатів, від 1 до 2% від маси цементу.

Використовувався пісок з модулем крупності 2,59 і гранітний щебінь фракції 5-20 мм. Всі суміші мали рівну рухомість S1, відповідно їх В/Ц залежало від складу. За отриманими в дослідженнях даними була побудована адекватна експериментально-статистична (ЕС) модель [4], аналіз якої показав, що при зростанні кількості портландцементу В/Ц суміші очікувано знижується. При підвищенні кількості суперпластифікатору з 1 до 2% від маси цементу В/Ц знижується на 10-12%. При введенні фібри у кількості до 1,5 кг/м³ В/Ц практично не змінюється, а при підвищенні кількості фібри до 2,5-3 кг/м³ зростає на 5-6%.

Міцність бетонів визначалася у віці 3-х і 28-ми діб. За відповідними ЕС-моделями були побудовані однофакторні діаграми, які

відображають вплив варійованих факторів складу на міцність на стиск бетонів і фібробетонів зонах мінімуму і максимуму (рис.1). Аналіз діаграм показує, що у віці 3-х діб міцність на стиск бетонів досягла вже рівня у 63-69% від їх міцності у проектному віці. За рахунок зниження В/Ц суміші при підвищенні кількості суперпластифікатору до 2% від маси цементу міцність бетонів і фібробетонів у віці 3-х діб збільшується на 4,5-6 МПа, у віці 28-ми діб – на 7-9 МПа. По мірі зростання у складі композиту кількості поліпропіленової фібри до 1,5-1,8 кг/м³ міцність бетону на стиск підвищується в середньому на 3 МПа. Подальше підвищення кількості дисперсного армування вже негативно відображається на міцності, що пояснюється впливом волокон на В/Ц суміші.

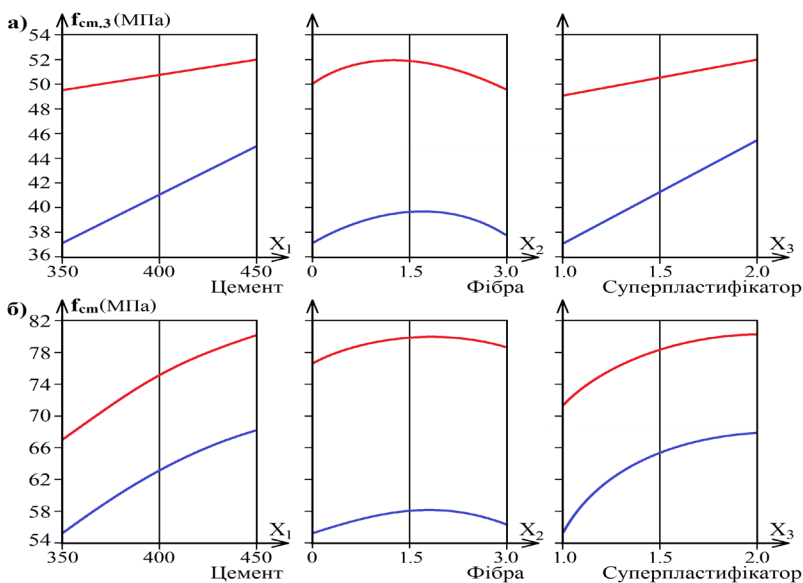


Рис.1 Вплив варійованих факторів складу на міцність на стиск бетонів в зонах мінімуму і максимуму у віці 3-х (а) і 28-ми діб (б)

На рис.2 показані однофакторні діаграми, які побудовані за відповідними ЕС-моделями і відображають вплив варійованих факторів складу на міцність на розтяг при згині досліджених бетонів і фібробетонів.

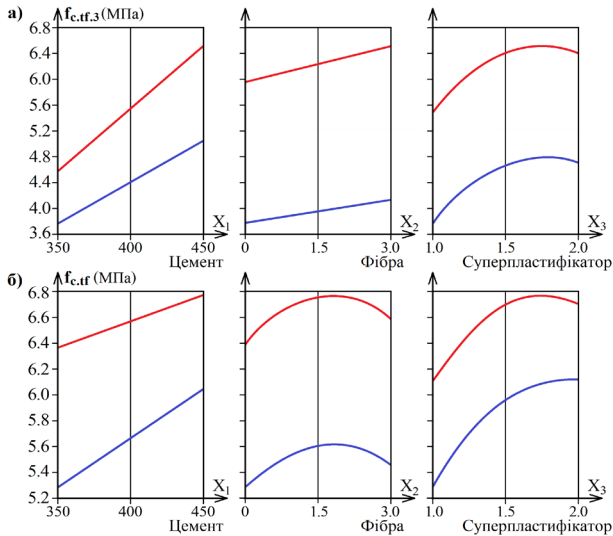


Рис.2 Вплив варійованих факторів складу на міцність при стиску бетонів в зонах мінімуму і максимуму у віці 3-х (а) і 28-ми діб (б)

Як можна побачити на діаграмах, рання міцність на розтяг при згині бетону має рівень від 70 до 94% від проектної. По мірі підвищення кількості портландцементу міцність на розтяг при згині бетонів і фібробетонів очікувано зростає. У ранньому віці вплив кількості в'язучого на міцність на розтяг є більш відчутним, ніж у проектному. За рахунок підвищення кількості портландцементу до 450 кг/м³ міцність на розтяг при згині бетону у віці 3-х діб підвищується в середньому на 1,4 МПа, а у віці 28-ми діб – на 0,5 МПа. Це може бути пояснено зменшенням з часом безпосереднього впливу міцності цементно-піщаної матриці на опір напруженням, що виникають при розтягуванні. При цьому з часом впливом на міцність адгезії матриці до крупного заповнювача навпаки стає більшим. У ранньому і проектному віці найбільшу міцність на розтяг при згині мають бетони з кількістю суперпластифікатору 1,7-1,8% від маси цементу.

При введенні фібри міцність на розтяг при згині досліджених бетонів підвищується на 0,3-0,5 МПа. У ранньому віці більша ефективність простежується при застосуванні максимальної кількості волокон, у проектному віці – при кількості дисперсної арматури від 1,5 до 1,8 кг/м³, що аналогічно діапазону, який забезпечував найбільшу

міцність бетону на стиск. Такий ефект від зміни кількості фібри у складі можна пояснити її нелінійним впливом на В/Ц суміші. Проте слід наголосити, що дисперсне армування для бетонів дорожніх покриттів є важливим не лише з позиції підвищення міцності, а і для забезпечення довговічності. В типових для України та більшості європейських країн умовах експлуатації довговічність покриттів обумовлюється морозостійкістю і зносостійкістю бетону [2,6].

Таким чином при застосуванні раціональної кількості суперпластифікатору STACHEMENT 2570/5/G і поліпропіленової фібри міцність на розтяг при згині досліджених бетонів складає не менш 6 МПа, що відповідає класу $B_{\text{bet}}4,8$. Такі бетони згідно вимог ДБН В.2.3-4:2015 можуть використовуватися для жорстких дорожніх покриттів доріг всіх категорій, включаючи Іа. Для найбільш завантажених ділянок доріг для забезпечити максимальної конструктивної надійності покриття за відповідним обґрунтуванням можна використовувати модифіковані фібробетони з підвищеною до 400-450 кг/м³ кількістю цементу у складі. При цьому завдяки високій ранній міцності експлуатацію покриттів можна починати швидше, також такі властивості бетону полегшують технологічні операції влаштування дорожнього покриття.

Література

1. Hoxha E., Vignisdottir H.R., Barbieri D.M., Wang F., Bohne R.A., Kristensen T., Passer A. Life cycle assessment of roads: Exploring research trends and harmonization challenges. *Science of the total environment*, 2021, 759, 143506

2. Ефективні види фібробетонів / Л.Й. Дворкін, А.В. Мішутін, С.О. Кровяков, О.М. Бордюженко, Л. Кінтя. Одеса: ОДАБА, 2021. 249 с.

3. Hussain I., Ali B., Akhtar T., Jameel M.S., Raza S.S. Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene). *Case Studies in Construction Materials*, 2020, 13, e00429.

4. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2017. 168 с.

5. Кровяков С.О., Полторапавлов А.О., Мішутін А.В., Заволока М.В. Вплив кількості фібри і суперпластифікатору на міцність бетонів жорстких дорожніх покриттів. *Сучасне будівництво та архітектура*, 2022, №2, С.60-69

6. Kroviakov S., Mishutin A., Chintea L. Multi-criteria optimization of the fiber concretes compositions of rigid pavement. *Mechanics and mathematical methods*, 2021, 3 (1). pp. 62-71

OPTIMISATION DES CARACTERISTIQUES MECANIQUES DU BETON POLYMERIQUE AVEC DU CENDRE VOLANTE UTILISANT LES PLANS D'EXPERIENCES NUMERIQUES

Daniel Lepadatu, Loredana Judele

(Universite Technique Gheorghe Asachi de Iasi, Roumanie)

Proaspat Eduard

*(Universite Technique de Moldavie, République de Moldavie Auteur
correspondant)*

Gabriel Sandulache

(Universite Technique Gheorghe Asachi de Iasi, Roumanie)

1. Introduction

Ce papier présente l'optimisation numérique du béton polymère avec ceindre volante à partir d'essais réels. L'idée consiste à définir une fonction (surface de réponse) capable de prédire le comportement d'une ou plusieurs caractéristiques mécaniques en explorant différentes combinaisons (recettes) du domaine d'étude multidimensionnel. Ainsi, plusieurs plans d'expériences (1,2) numériques seront définis et réalisés, qui seront ensuite analysés statistiquement pour déterminer la zone dans l'espace multidimensionnel d'étude qui améliore les caractéristiques mécaniques étudiées.

2. Matériel et méthodes

En fait il s'agit d'un béton polymérique ayant comme facteurs d'études par plans d'expériences numériques la résine époxy : **X1**, le cendre volante : **X2**, l'agrégats 1 : **X3**, en enfin l'agrégats 2 : **X4**. Le plan initial est le suivant

(3) et les réponses analysées sont la force de compression **Y1**, résistance en flexion **Y2** et la densité **Y3**.

Tableau 1. Le plan d'expériences initial avec les différents réponses

ESS	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3
					N/mm ²	N/mm ²	g/cm ³
1	18.8	6.48	37.4	37.4	59,20	15,89	2.03
2	12.4	12.8	37.4	37.4	58,79	12,29	2.08
3	12.4	6.4	43.8	37.4	59,59	16,79	2.1
4	12.4	6.4	37.4	43.8	57,61	15,59	2.12
5	15.6	9.6	37.4	37.4	64,08	15,81	1.97
6	15.6	6.4	40.6	37.4	58,62	17,57	2.01
7	15.6	6.4	37.4	40.6	43,47	14,09	2.06
8	12.4	9.6	40.6	37.4	45,95	14,30	2.04
9	12.4	9.6	37.4	40.6	55,21	13,49	2.00
10	12.4	6.4	40.6	40.6	55,62	14,60	2.13
11	16.4	7.2	38.2	38.2	58,80	15,59	1.96
12	13.2	10.4	38.2	38.2	63,20	14,39	2.05
13	13.2	7.2	41.4	38.2	65,32	14,81	2.12
14	13.2	7.2	38.2	41.4	57,61	14,39	2.06
15	14.0	8.0	39	39,0	57,75	14,87	2.02

Il s'agit d'un plan d'expériences pour les mélanges (4,5) pour lesquelles il y a une contrainte supplémentaire de la matrice d'expériences – la somme par chaque ligne doit être égale à 100% (Tableau 1). Les coefficients de régression des équations de prédiction sont dans le tableau 2.

Tableau 2. Les coefficients de régression pour les réponses analysées

Le MODEL	Y1	Y2	Y3
X1	518.12	-11.82	32.57
X2	980.85	-23.92	57.30
X3	110.80	0.16	7.24
X4	-51.86	7.31	-2.98
X1X2	-81.43	1.99	-4.67
X1X3	-14.27	0.42	-0.92
X1X4	-1.69	-0.16	-0.10
X2X3	-28.23	0.58	-1.61
X2X4	-0.17	-0.03	-0.08
X3X4	-0.12	-0.16	-0.01
X1X2X3	2.18	-0.05	0.13

On obtient alors des équations de régression (6,7) qui donnent les prédictions des réponses sur différents domaines d'études. La forme générale d'une telle équation est donnée par l'équation de régression pour la compression (Eq. 1):

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 518.12 \cdot X_1 + 980.85 \cdot X_2 + 110.80 \cdot X_3 - 51.86 \cdot X_4 - 81.43 \\
 & \cdot X_1X_2 + 14.27 \cdot X_1X_3 - 1.69 \cdot X_1X_4 - 28.23 \cdot X_2X_3 \quad (1) \\
 & - 0.17 \cdot X_2X_4 - 0.12 \cdot X_3X_4 + 2.18 \cdot X_1 X_2X_3
 \end{aligned}$$

3. Résultats et discussions

Pour cette étude, 5 plans d'expériences ont été définis et réalisés, variant les niveaux de chaque facteur, afin que nous puissions exploiter un champ aussi large que possible de l'espace de recherche. Le comportement du béton étant fortement non linéaire, du fait de la complexité des processus chimiques existant entre ses constituants et plus encore dans le cas de l'utilisation d'un nouveau composant, une étude attentive de la variation des caractéristiques mécaniques en fonction de la variation de paramètres étaient nécessaires, afin d'identifier les combinaisons (recettes) qui conduisent à augmenter leurs performances mécaniques. Pour la bonne exploitation de ces investigations,

il est nécessaire que les valeurs optimales potentielles soient validées par des tests expérimentaux. Dans les cinq plans utilisés on avait changé les domaines de variations de la cendre volante d'après comme suite 14% - 17%, 14% -18%, 14% -19%, 14% -21%, 13% -21%. La proportion de la cendre volante est comprise entre 13 et 21% de la masse du béton, ce qui en fait est une proportion non négligeable.

Pour la force de compression – réponse Y1 est liée à l'interaction de 2 facteurs : le pourcentage de résine époxy et de cendre volantes.

Essais	Epoxy resin (%)	Cendre volante (%)	Aggregate sort I (%)	Aggregate sort II (%)	Y-FC	Y-FT
1	17	14	35	34	126,9315	27,1731
2	12	19	35	34	88,059	3,1071
3	12	14	40	34	79,412	17,8376
4	12	14	35	39	60,3375	10,9781
5	14,5	16,5	35	34	115,9352	17,9526
6	14,5	14	37,5	34	76,91488	13,20785
7	14,5	14	35	36,5	95,022	18,24497
8	12	16,5	37,5	34	85,453	11,8536
9	12	16,5	35	36,5	72,12387	7,41635
10	12	14	37,5	36,5	72,83537	14,02785
11	15,125	14,625	35,625	34,625	102,1116	18,53042
12	12,625	17,125	35,625	34,625	88,80346	9,468204
13	12,625	14,625	38,125	34,625	77,06449	13,61752
14	12,625	14,625	35,625	37,125	74,07054	12,24695
15	13,25	15,25	36,25	35,25	84,06824	12,90015

Figure 1. Le plan numérique pour la compression et - Y1

Les contraintes les plus fortes ont été obtenues lorsque la combinaison des deux étaient importante, et un certain nombre des valeurs les plus faibles ont été enregistrées lorsque leur combinaison ne représentait qu'une faible part du béton. On remarque dans tous les résultats que la variation de la densité est due en grande partie a cause de la cendre volante. Ainsi, plus le béton aura un taux élevé de cendre, plus il sera dense. Le béton le plus dense trouvé est aussi celui qui possède le plus fort pourcentage de cendre : 18% de cendres volante.

Essais	Epoxy resin (%)	Cendre volante (%)	Aggregate sort I (%)	Aggregate sort II (%)	Y-FTD	Y-DENSITE
1	16	14	35	35	16,7201	1,7974
2	12	18	35	35	4,2057	2,4718
3	12	14	39	35	7,7977	2,1558
4	12	14	35	39	4,9325	2,0446
5	14	16	35	35	12,3669	2,0586
6	14	14	37	35	7,5893	2,0742
7	14	14	35	37	11,4735	1,9106
8	12	16	37	35	6,5321	2,2913
9	12	16	35	37	4,7367	2,221
10	12	14	37	37	6,8515	2,1114
11	14,5	14,5	35,5	35,5	11,87114	1,9604
12	12,5	16,5	35,5	35,5	6,794038	2,261
13	12,5	14,5	37,5	35,5	7,026337	2,1585
14	12,5	14,5	35,5	37,5	6,918588	2,0701
15	13	15	36	36	8,0078	2,1122

Figure 1. Le plan numérique pour la densité – Y3

Et inversement, les bétons les moins denses sont ceux avec le moins de cendre. Les autres facteurs n'ont pas, ou moins d'influence sur la densité du béton.

4. Conclusions

La cendre volante est donc utile, puisqu'elle ne diminue pas les performances des matériaux cimentaire, et même au contraire, dans certain cas, sous certaines contraintes, elle peut les améliorer. La cendre volante, pour généraliser le matériau cimentaire a une double utilité :

- Elle permet de fabriquer un béton plus écologique car c'est un matériau recyclable, et qu'elle occupe en moyenne 15% de la masse du béton
- Elle permet ensuite de fabriquer des bétons plus performants sur certains aspects sans dégrader les autres.

Les déchets recyclables dans le béton ont l'avantage de fabriquer des constructions plus « propres » et plus résistantes. Du fait de la nature non linéaire du comportement du béton polymérique, la méthode est utile car elle minimise l'exploration du domaine expérimental par cette exploration numérique de son espace d'étude multidimensionnel.

Bibliographie

1. Muthukumar, M., and Mohan, D., Optimization of Mechanical Properties of Polymer, Concrete & Mix Design Recommendation Based on Design of Experiments, Journal of Applied Polymer Science 94, pp: 1107-1116, 2004.
2. Rebeiz K. S., Serhal S. P. and Craft A. P., Properties of Polymer Concrete using Fly Ash, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 16, No. 1. pp. 15-19, 2004.
3. Barbuta M, Lepadatu D, Cimpeanu S M and Bucur R D, Silica fume capitalisation for polymer concrete obtained: Multiple response optimizations of mechanical characteristics using RSM, Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.12 (2):867-872. 2014
4. Cornell J.A. How to Apply Response Surface Methodology, vol. 8, ASQC, Wisconsin - 1990.
5. Montgomery Douglas C., Design and analysis of experiments 5th edition by Wiley& Sons Inc., New York, 2001.
6. Lepadatu D, Judele L, Antonescu I. 2018. Advanced Experimental Design and Optimization Methods for New Building Materials Developed in Civil Engineering., Sustainable Industrial Processing Summit SIPS2018 Volume 6. New and Advanced Materials and Technologies (pp. 263-286). Montreal, Canada: FLOGEN Star Outreach.
7. Muthukumar, M., and Mohan, D., Rajendran D., "Optimization of mix proportion of mineral aggregates using Box Behneken design of experiments", Cement and Concrete Composites, 25, pp: 751-758, 2003.

ПЕРЕДУМОВИ СИНТЕЗУ НОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мартинів В. І., *д.т.н., доц.*, **Макарова С. С.**, *к.т.н., доц.*,
Тайчан Д. С., *аспірант*, **Гавришук А. В.**, *студентка*
(*Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна*)

Вивчаючи той, чи інший об'єкт науковець стає учасником суб'єкт-об'єктних відношень. Передумовою таких досліджень є не тільки постановка їх мети, завдань, але і виборів методів та методики. Їх вибір базується на інформаційній обізнаності дослідника (суб'єкта). Одними з таких ефективних методів пізнання є «аналіз» та «синтез». Аналіз та синтез — універсальні, протилежно спрямовані способи вивчення об'єкта. Вони використовуються як у теоретичних розробках, так і на практиці, особливо в експериментальній діяльності. Згідно Великої Української Енциклопедії «Аналіз» (грец. *ἀνάλυσις*) — розкладання, розчленовування, а «Синтез» (*σύνθεσις*) — з'єднування, складання. Шляхом аналізу здобувають знання про окремі елементи об'єкта пізнання їх індивідуальні характерні ознаки. На рівні синтезу формується уявлення про його структуру й системні ознаки, види та характер взаємозв'язків окремих елементів. Якщо «Аналіз» це дезінтеграційний процес то «Синтез», навпаки – інтеграційний. При застосуванні цих методів досліджень можливі два випадки. Перший, дослідження за ланцюгом: аналіз – синтез – аналіз. Другий, синтез-аналіз-синтез. Другий ланцюжок, навіть історично, виглядає більш логічним. На початку свого існування людина не мала здатності та навичок диференціювати явища та об'єкти, та сприймала оточуючий світ в цілому, тобто інтеграційно. Сучасна наукова спільнота, в більшості, також схиляється до другого варіанту. Оскільки він притаманний системному підходу. Це означає, що при першому ознайомленні з об'єктом досліджень у дослідника складаються загальні враження, поверхневі. Тобто геометричні форми, колір, місце знаходження тощо. Такий характер знань можна позначити як Синтез А. Далі починається процес більш детального ознайомлення з об'єктом, тобто процес Аналізу. Він супроводжується розкладанням, вичлененням окремих часток, елементів (як складових об'єкт-системи), та детальним вивченням їх характерних ознак, поведінки, властивостей. Таке вивчення відбувається поетапно на різних рівнях ієрархічно-структурної організації та можливе аж до атомно-молекулярного рівня, в залежності від мети та завдань дослідження та інструментарію, який є

в наявності дослідника. За рахунок цього розширюється обсяг знань стосовно об'єкту. На відповідному рівні накопичення інформації суб'єкт (дослідник) знову здатний до інтеграційного процесу, тобто конструювання нового об'єкту (Синтез Б). Цей процес відбувається за алгоритмами та правилами відмінними від Синтезу А, за рахунок зміни характеристик окремих елементів та виду і характеру зав'язків між елементами. В результаті об'єкт Синтез Б, при збереженні зовнішніх ознак та функціонального призначення відрізняється якісно покращеними властивостями та більшими функціональними можливостями.

В якості об'єкту досліджень вибрано цементний камінь. Цементний камінь є головним носієм властивостей бетонів та будівельних розчинів. Тому підвищення міцності цементного каменю є досить важливою задачею сучасного будівельного матеріалознавства. При першому знайомстві, цементний камінь являє собою твердий подібний каменю матеріал сірого кольору. Може бути різної форми без смаку і запаху. На цьому процес Синтезу А можна закінчити і почати процес Аналізу.

Цей процес почнемо «від зворотного». Задамо питання, як відбувається руйнування цементного каменю в природніх умовах, тобто в умовах експлуатації. Для прискорення процесу зразок правильної геометричної форми піддавали діям змінних температур та вологості.

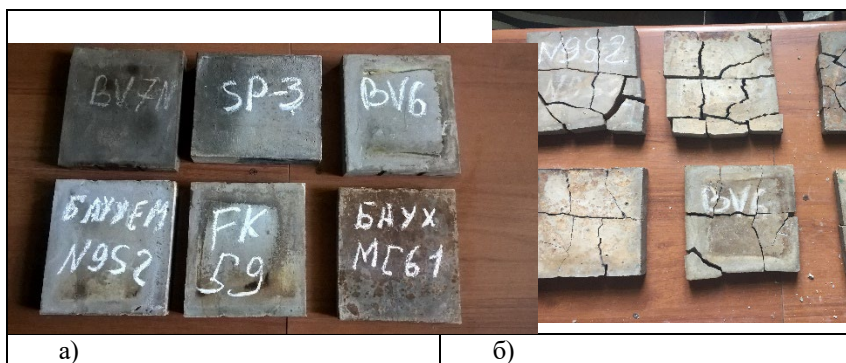


Рис.1. Зовнішній вигляд зразків: а) до випробувань, б) після випробувань.

З рис.1 б видно, що зруйнований цементний камінь складається з структурних блоків, які взаємодіють через поверхні розділу. Такі структури утворюються в результаті об'ємних змін у процесі їх формування, причиною яких є хімічні реакції, дегідратація,

температурні та градієнти вологості, градієнти концентрацій реагентів тощо. Усе це призводить до порушення суцільності матеріалу та утворення в ньому окремих структурних елементів, що дозволяє розглядати об'єкт досліджень, як систему. В цьому випадку під системою мають на увазі сукупність взаємопов'язаних та взаємозалежних структурних елементів, об'єднаних у єдине ціле, що мають загальне функціональне призначення. Це дозволяє також ототожнювати поняття «структура» і «система» і застосувати загальносистемні закономірності для пояснення деяких явищ і процесів, що супроводжують структуроутворення КБМ та намітити можливі шляхи керування їх фізико-механічними властивостями. Представлення об'єкта досліджень у вигляді системи дозволяє узгодити його властивості з: кількістю та розмірами структурних елементів; довжиною границь розділу між елементами; силами зчеплення між елементами. Таким чином логічно припустити, що руйнування матеріалів буде відбуватися по границях розділу найбільшого масштабного рівня структурної організації. Для руйнування матеріалу необхідно витратити певну кількість енергії. Кількість цієї енергії буде залежати від площі контактів між структурними елементами, а вона, у свою чергу, від розмірів самих елементів. Тобто чим менше розмір елементів (більша їхня кількість) тим більші сили тертя між елементами або більшу міцність буде мати матеріал. Таким чином, для підвищення міцності КБМ необхідно прагнути до отримання структур з якомога більшою кількістю структурних елементів (малих розмірів).

В доповіді наведені результати фізичного та комп'ютерного моделювання процесу структуроутворення та виникнення внутрішніх поверхонь розділу (ВІР) в цементному камені. В дослідженнях застосовано метод аналогій. Динаміку процесу структуроутворення цементного каменю та виникнення в ньому внутрішніх поверхонь розділу показано на зміні в часі характеру структури фізичної моделі аналога цементного тіста та цементного каменю. Щоб відповісти на питання як виникають, в якому місці, та як розвивається траєкторія внутрішніх поверхонь розділу було застосоване комп'ютерне моделювання. Було висунуте припущення, що майбутня ВІР зароджується на стадії міжчасткових взаємодій. Для вивчення цього процесу були розроблені спеціальні програми. В одній програмі за допомогою генератора випадкових чисел є можливість вивчити зміну характеру структури одномодальних упаковок часток твердої фази (цемент, наповнювач, тощо) сферичної форми однакового розміру. Для того, щоб кількісно оцінити характер структури запропоновано використати фрактальну геометрію. Це дозволило якісно оцінити зміну

характеру структури упаковок часток, та побудувати кількісну залежність фрактальної розмірності від розміру часток. За результатами визначено, що зі зменшенням розміру часток фрактальна розмірність збільшується, тобто збільшується протяжність ВПР. Результати також пояснюють відомі твердження, що зі збільшенням питомої поверхні цементу міцність цементного каменю збільшується. Далі було визначено вплив полідисперсних за розмірами часток на зміну характеру структури упаковок часток. В цій програмі є можливість визначити характер структур упаковок часток від двомодальної до десятимодальної упаковки. Визначено, що зі збільшенням полідисперсності часток фрактальна розмірність збільшується.

На цьому, враховуючи наявний у нас інструментарій, процес Аналізу закінчимо. Процес Синтезу Б почнемо на міжчастковому рівні, де частки твердої фази моделюють окремі частинки цементу в цементному тісті. Для визначення математичної залежності впливу розміру часток на характер структури упаковок часток були побудовані багатомодальні упаковки часток в, так званих, геометрично правильних упаковках – кубічній та гексагональній. Це дозволило визначити кількість та розміри часток в упаковці.

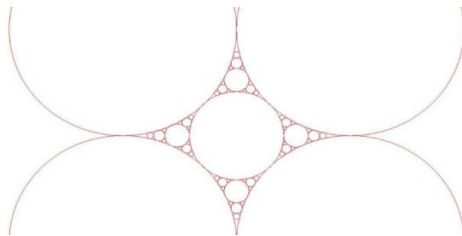


Рис. 2. Кубічна упаковка часток правильної геометричної форми.

Наприклад, у випадку, коли частки доторкаються одна до одної (рис.2), в упаковці з чотирьох часток діаметром D розміщується одна частинка діаметром $D1$ чотири частинки діаметром $D2$, вісім діаметром $D3$, чотири – $D4$ тощо. Визначивши діаметри всіх можливих часток можна побудувати математичну модель співвідношень розмірів часток. Після визначення певних залежностей створюється можливість для вивчення процесу структуроутворення цементного каменю на фізичних моделях з урахуванням нових знань. Тобто в результаті аналізу створені передумови для направленного структуроутворення цементного каменю з раціональними початковими умовами (активне управління процесом структуроутворення).

ЦЕМЕНТОБЕТОННІ ПЛИТИ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

Мишутін А. В., д.т.н., проф., Іськов В. О., маг.
(Одеська державна академія будівництва та
архітектури, Україна)

В останній час багато уваги приділяють будівництву цементобетонних доріг, а саме тому що в порівнянні з асфальтобетоном: - це менш витратне будівництво; великий термін придатності; менше потрібність у поточних та капітальних ремонтів; менш забруднення навколишнього середовища. Тому, саме цементобетон має більший пріоритет у будівництві доріг.

Для виготовлення дорожніх плит потрібно керуватися ДСТУ та ДБН, саме в цих стандартах є оптимальні правила та характеристики. Для бетонного автодорожнього покриття основні вимоги є згідно ДСТУ 8858:2019 «Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній» Технічні умови, та ДСТУ Б В.2.6-120:2010 «Конструкції будинків і споруд. Плити залізобетонні для покриття міських доріг.» Технічні умови:

- В якості в'язучих потрібно застосовувати портландцемент типу ПЦ I і ПЦ II/A-III без мінеральних добавок і з добавками меленого шлаку у кількості не більше ніж 20 %, марок не нижче ніж М500, класів міцності на стиск не менше ніж 42.5, за ДСТУ Б В.2.7-46; Вміст трьохвалентного алюмінію ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), від маси клинкера не більше 7%;

- Витрата поліпропіленової фібри типу «мікроарм» повинна становити від 0,6 кг/м³ до 1,1 кг/м³, фібри типу «поліарм» – від 1 кг/м³ до 3 кг/м³.

Металева фібра повинна мати корозійностійке покриття, та захисний бетонний шар.

- Для цементобетонів дорожніх встановлені наступні марки за морозостійкістю: одношарових і верхнього шару двошарових покриттів – F200; F300; F400.

Мінімальна марка для цементобетону дорожнього одношарових і верхнього шару двошарових покриттів за морозостійкістю для всіх регіонів України встановлена F200.

- Для цементобетонів дорожніх водопоглинання повинно бути не більше ніж: 4 % – для цементобетону одношарових і верхніх шарів двошарових покриттів автомобільних доріг.

- Вимогами до арматури та армування:

- Арматурна сталь повинна задовольняти вимогам: стрижнева арматурна сталь класів А-V, А-IV, А-III та А-I; термомеханічно та термічно зміцнена арматурна сталь класів Ат-V, Ат-IV, Ат-IVС та Ат-IIIС; арматурний дріт класу Вр-I;

В лабораторії, кафедри Автомобільні дороги та аеродроми, проводилося дослідження бетону дорожніх плит ІПЗ0.18.30 Плити залізобетонні з ненапруженою арматурою для покриття міських доріг розміром 3000*1750*170 мм (виготовлених на Одеському заводі залізобетонних виробів). Перша – без фібри (далі А), друга – з фіброю (далі В).

З обох плит було висвердлено 8 кернів, по 4 з кожної плити: діаметром Ø15 - 4 керна (плита А) – А1, А2, А3, А4; 1 керн (плита В) – В1; діаметром Ø10 - 3 керна (плита В) – В2, В3, В4.

Дослідження кернів було наступне: неруйнівний метод контролю (молотком Шмідта та арматуроскопом); міцність на стиск, розщеплення фібри, водопоглинання, пористість, морозостійкість;

Визначення водопоглинання. Керни помістили в ємність з водою до тих пір, поки результати насичення двох послідовних зважувань будуть відрізнятися не більше ніж на 0,1 %. Згідно цього водопоглинання зразків дорівнює: $W'_m A1 = 0,71\%$; $W'_m B1 = 0,83\%$. Це є дуже гарним показником згідно ДСТУ, тому що допуском є не більше 4%.

ДСТУ Б В.2.7.170:2008 дозволяє розрахувати пористість згідно з водопоглинанням, а саме: пористість для зразка А1 дорівнює 0,71 %, а для зразка В1 = 0,83%

Результати середньої густини показали:

$$\rho_{\text{ср без фібри}} = 2.4 \text{ г/см}^2$$

$$\rho_{\text{ср з фіброю}} = 2.5 \text{ г/см}^2$$

Визначення міцності на стиск проводилося згідно ДСТУ «БЕТОНИ. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗА КОНТРОЛЬНИМИ ЗРАЗКАМИ» на пресі гідравлічному МС-1000.

Результати розрахунку міцності на стиск показали:

$$R_{\text{міц.стиск без фібри}} = 29.7 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{міц.стиск з фіброю}} = 36,1 \text{ МПа}$$

Провелося дослідження неруйнівним методом, а саме: молотком Шмідта

$$R_{\text{міц.стиск без фібри}} = 40 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{міц.стиск з фіброю}} = 40 \text{ МПа}$$

Арматуроскоп шукає відстань заложення арматури, її положення, та приблизний діаметр арматури. Та показав Ø арматури – 12 мм, та рівномірне (18 шт на шар) розподілення фібри.

Згідно з ДСТУ «Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні», провели випробування на морозостійкість за методом «номер 3» для дорожнього бетону. (табл.1)

Таблиця 1

Результати випробування морозостійкості

№/№	1	2	3			4	
			Маса, г			Міцність на стиск, мПа	
1	F	№ зерна	До	Після	Δ, %	До	Після
			2	F100	Б2		
3	Б3	1920	1919		0,1		
4	Б4	1960	1959		0,1		

Фібра підвищує міцність бетону. Стосовно розподілу фібри у нашому бетоні – вона розподілена рівномірно. Зразок висотою 175 мм розділили на рівні частини (кожна з них 58.3 мм), та у ширину - 70 мм. На верхній частині – 18 шт.; Середня – 17 шт.; Нижня – 17 шт. Але у даної фібри є великий недолік – фібра металева, без антикорозійного покриття та захисного шару бетону.

Висновки

Після дослідження та аналізу бетону плит, розміром 3000*1750*175 мм – по зернам d=100 мм, та d=150 мм, можна зробити висновки:

1) Бетон з фіброю (плита Б) має більш велику міцність на стиск на 24,38% від бетону без фібри і складає – 31,6 мПа;

2) Середня густина бетону - з фіброю 2.49 г/см³, а без фібри = 2.43 г/см³;

3) Водонасичення (пористість) у бетону з фіброю (плита Б) більше, ніж у бетону без фібри (плита А) на 55 г/см³ і складає 0,8%;

4) Фібра металева – швидко кородує у модельному просторі, та вилазе назовні. Фібра не має антикорозійного покриття та захисного шару бетону, тим самим може пошкодити автомобільні колеса – для дорожнього будівництва, та вимогам ДСТУ вона не підходить;

5) Кафедра АДІА розробила регламент по технології приготування фібробетону з використанням полімерної фібри, узгодила його з Службою Автомобільних доріг, і рекомендує його до використання.

СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬ ЗІ СТІНАМИ З КАМ'ЯНОГО МУРУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ КОНФІГУРАЦІЇ ТА РОЗТАШУВАННЯ ОТВОРІВ

Мурашко О. В., д.т.н., доц.,

Волощук В. В., асп.

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Забезпечення сейсмостійкості завжди є однією із основних задач при проектуванні та зведенні будівель і споруд в сейсмонебезпечних районах. Останнім часом актуальність цієї проблеми суттєво збільшилася у зв'язку з частими випадками землетрусів в Європі, та Турції.

В результаті аналізу будівель з різними конструктивними схемами (за однакової сейсмічності майданчика) розмір економічних втрат від землетрусів свідчить, що широко розповсюджені в Україні будівлі із кам'яного мурування є досить уразливими до сейсмічних впливів. Зазначене обумовлено зокрема підвищеною масою конструкцій та наявністю великої кількості стиків, швів, а також конфігурацією та розташуванням отворів, що призводить до пошкоджень елементів будівель.

Так, згідно зі звітами про минулі землетруси і доказами досліджень, наявність отворів негативно впливає на сейсмостійкість стін.

Пошкодження стін з отворами під дією бічного навантаження пов'язано, перш за все, з великою концентрацією напружень у кутах отворів, що призводить до утворення діагональних (зсувних) тріщин і, як наслідок, руйнування кладки стін. Незважаючи на те, що було проведено багато досліджень для оцінки впливу отворів на поведінку бічних навантажень цегляних стін, мало зусиль було приділено для дослідження того, як можна зменшити негативний вплив від нераціонального розташування та конфігурації отворів.

Крім того, під час землетрусу стіни з цегляної кладки одночасно зазнають як площинних, так і позаплощинних навантажень. Несуча здатність цегляних стін з отворами може бути суттєво ослаблена після пошкодження, що ставить під загрозу їх загальну стійкість. Огляд міжнародних досліджень і рекомендацій показує, що регулярне розташування отворів має сприятливий вплив чим нерегулярне

За результатами дослідів проведених департаментом цивільного будівництва брістольського університету було показано, що ефекти отворів, включаючи розмір і положення отвору, впливають на ступінь

пошкодження та руйнування стін. Отвори зменшують жорсткість кладки стін і навіть можуть змінити механізми руйнування кладки стін. Крім того асиметричне розташування отворів створює несучі стіни та коли отвори мають великі габарити, тоді нерівномірний розподіл гравітаційних навантажень може розвинути в стінах з кам'яної кладки, що призводить до концентрації напружень які впливають на міцність та зсув в локальних частинах стін. Це може призвести до локального руйнування та збільшити сейсмічну вразливість усієї конструкції. Виконаний авторами чисельний аналіз впливу форми та конфігурації отворів у стінах свідчить про аналогічні результати. Але слід відокремити, що аналіз впливу отворів у стінах на двох-п'яти поверхових моделях будівель продемонстрував чутливість моделей до крутильних форм коливань. А також зі збільшенням поверховості зростає вплив розмірів отворів відносно суцільної частини стіни. Нелінійний статичний метод розрахунку використаний для цього чисельного експерименту є дієвим інструментом, що при додатковій доробці дозволяє враховувати вплив вищих (у тому числі крутильно-поступальних) форм коливань. Марка та характеристик цегли були використані при розрахунку аналогічні з дослідями брістольського університету.

Отже, міцність та несуча здатність цегляних стін у площині зменшується зі збільшенням розміру отвору, але конкретне співвідношення між боковою міцністю стін і відсотком отвору залежить потребує додаткового аналітичного та лабораторного дослідження. У свою чергу, розташування отворів у стінах з кам'яної кладки мають значний вплив на несучу здатність стіни в площині

Висновки

1. Дослідження впливу конфігурації отворів та їх розташування на сейсмостійкість будівель зі стінами є актуальним питанням, а наявні результати потребують додаткової проробки та уточнення

2. Аналіз впливу отворів у стінах на двох-п'яти поверхових моделях будівель продемонстрував чутливість моделей до крутильних форм коливань.

3. Зі збільшенням поверховості зростає вплив розмірів отворів відносно суцільної частини стіни.

4. Нелінійний статичний метод розрахунку використаний для цього чисельного експерименту є дієвим інструментом, що при додатковій доробці дозволяє враховувати вплив вищих (у тому числі крутильно-поступальних) форм коливань.

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АДГЕЗІЙНИХ ДОБАВОК, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ДОРОЖНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Пиріг Я. І., к.т.н., с.н.с.

*(Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Україна)*

В'язкі нафтові дорожні бітуми, що використовуються в дорожній галузі України характеризуються низькою адгезійною здатністю. Застосування цих бітумів не дозволяє забезпечити отримання якісних та довговічних асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг. Для покращення водостійкості асфальтобетону та його довговічності застосовуються певні заходи, одним з яких є введення в бітуми адгезійних добавок.

Враховуючи широку номенклатуру адгезійних добавок, як вітчизняних (Удом, Адбіт, Карбозалін, іDOP-H та інші), так і імпортованих (Wetfix, ДАД, Iterlene та інші) виробників [1 – 4], що представлені на вітчизняному ринку дорожніх матеріалів, питання вибору добавки для покращення адгезійної здатності дорожніх бітумів є актуальним.

На виробництві головним критерієм, за яким приймається рішення, щодо доцільності використання тієї чи іншої добавки, зазвичай, є її вартість. При цьому до уваги не приймається ряд факторів, які суттєво впливають на ефективність застосування адгезійної добавки: ефективна концентрація добавки; термостабільність добавки; вплив на дисперсну структуру та на процеси старіння бітуму.

Наприкінці минулого століття вітчизняними науковцями [5] було запропоновано систему оцінки ефективності застосування адгезійних добавок, що враховувала їх індивідуальні особливості шляхом зведення технічних показників до питомих витрат. Адгезія бітуму визначалась згідно ДСТУ Б.В.2.7-81-98 «Метод визначення показника зчеплення з поверхнею скла та кам'яних матеріалів». До складу системи входило ряд показників: коефіцієнт адгезійної активності; індекс термічної стабільності; інтегральний показник адгезійної стабільності; показник економічної ефективності.

Використовуючи певні принципи цієї системи, запропоновано критерії оцінювання ефективності добавок – показник підвищення адгезійної здатності та показник термостабільності добавки, які розраховувались за наступними формулами:

$$P_{II} = \frac{C_{адг} - C_0}{C_{адг}} \cdot 100, \quad (1)$$

де $C_{адг}$ – значення зчеплюваності бітуму з адгезійною добавкою, %;
 C_0 – значення зчеплюваності бітуму без добавки, %,

$$P_T = \frac{C_{до} - C_{після}}{C_{до}} \cdot 100, \quad (2)$$

де $C_{до}$ – значення зчеплюваності в'язучого до старіння, %;
 $C_{після}$ – значення зчеплюваності в'язучого після старіння, %,

Визначення зчеплюваності бітумів, модифікованих адгезійними добавками, здійснювалось за методом, наведеним в ДСТУ 9169 [6]. Для отримання коректних результатів оцінки впливу адгезійних добавок на зчеплюваність бітуму всі добавки вводились у вихідний бітум в кількості 0,3 %. Об'єднання бітумів з адгезійними добавками здійснювалось в лабораторній мішалці за температури 150 °С впродовж 15 хв. Перевірка на термостабільність здійснювалась шляхом зістарювання бітумів з адгезійними добавками за методами, наведеними в ГОСТ 18180 [7] та методом RTFOT [8].

В якості об'єктів дослідження було прийнято адгезійні добавки, що використовуються в дорожній галузі України – Карбозалін (марки АК, АК-Д та АК-Е), іDOP-Н, ДАД (марок ДАД-1, ДАД-К та ДАД-КТ), Iterlene (марок In/400 L Green, Pe 31F та SL/100-Plus), результати дослідження яких наведені в роботах [1 – 4].

Таблиця 1 – Порівняльна оцінка ефективності адгезійних добавок

Адгезійна добавка	Показник підвищення адгезійної здатності	Показник термостабільності добавки після старіння за	
		ГОСТ 18180	RTFOT
Карбозалін АК	54,3	29,7	15,6
Карбозалін АК-Д	56,2	68,0	18,6
Карбозалін АК-Е	60,5	61,1	48,8
іDOP-Н	65,5	36,9	6,4
ДАД-1	55,6	48,6	65,8
ДАД-К	66,9	71,4	76,2
ДАД-КТ	74,0	83,2	77,6
Iterlene In/400 L	82,9	75,7	72,2
Iterlene Pe 31F	85,0	33,3	14,1
Iterlene SL/100-Plus	88,3	0	0

Згідно з запропонованими показниками ефективність адгезійної добавки є тим більшою, чим вище значення показника підвищення адгезійної здатності та чим нижче значення показника термостабільності.

У відповідності з отриманими даними (табл. 1) найбільш ефективною є добавка Iterlene SL/100-Plus, використання якої забезпечує найбільше підвищення адгезійної здатності в'язучого та його найвищу термостабільність.

Показник термостабільності, визначений після старіння за різними методами, дозволяє оцінити вплив факторів старіння – тривалий вплив високої температури (метод, наведений в ГОСТ 18180) або інтенсивний вплив повітря (метод RTFOT), та може використовуватися при виборі методу введення адгезійної добавки в бітум та доцільність його тривалого збереження.

Література

1. Пиріг Я.І., Галкін А.В. Використання адгезійних домішок ДАД для підвищення зчеплюваності дорожніх в'язких бітумів. *Вісник ХНАДУ*. 2021. Вип. 93. С. 83-92.
2. Пиріг Я.І., Галкін А.В., Новаковська В.Я., Роман П.С. Вплив добавок ITERLENE на властивості в'язких бітумів. *Вісник ХНАДУ*. 2022. Вип. 96. С. 131-140.
3. Пиріг Я.І., Галкін А.В., Роман П.С. Вплив адгезійної добавки iDOP-RH на підвищення зчеплюваності дорожніх в'язких бітумів. *Вісник ХНАДУ*. 2021. Вип. 93. С. 201-208.
4. Пиріг Я.І., Галкін А.В. Аналіз адгезійних добавок Карбозалін. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2021. № 15. С. 71-78.
5. Золотарьов В.О., Писанко А.О. Показники оцінки адгезійної ефективності поверхнево-активних речовин в дорожніх бітумах. *Автошляховик України*. 2001. № 4. С. 33-36.
6. ДСТУ 9169:2021 Бітум та бітумні в'язучі. Визначення зчеплюваності з мінеральним матеріалом [Чинний з 2022-08-01]. Вид. офіц. Київ, ДП «УкрНДНЦ». 2021. 19 с.
7. ГОСТ 18180-72 (СТ СЭВ 4543-84). Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева [Не действует]. Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1972. 4 с.
8. ДСТУ Б EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT. [Чинний з 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України. 2016. 23 с.

ВПЛИВ РЕЖИМУ АКТИВАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ЦЕМЕНТУ, ЦЕМЕНТНОГО ТІСТА ТА КАМЕНЮ НА ЙОГО ОСНОВІ

Пірогов Д. О., асп., Барабаш І. В., д.т.н., проф.

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Розкриття потенційних можливостей мінеральних в'язучих шляхом підвищення їх активності дозволяє вирішувати дві важливі і взаємодоповнюючі задачі, а саме: а) підвищити механічні і експлуатаційні характеристики бетону; б) знизити енерго- і матеріалоемність бетону і виробів із нього. До ефективних методів активації мінеральних в'язучих слід віднести більш тонкий помел, сумісне введення при їх помелі мінеральних добавок і поверхньо-активних речовин з урахуванням попутних продуктів других виробництв; помел в середовищі з регулюємою температурою і хімічним складом та інш. Значна увага приділяється підвищенню хімічної активності мінеральних в'язучих в процесі структуроутворення і твердіння. Одним із ефективних способів підвищення швидкості твердіння і набору міцності в'язучим є підвищення температури. Для досягнення цієї мети були створені теплові агрегати для прогріву виробів з регульованими в широкому інтервалі температурою, тиском і вологістю. Розроблена широка номенклатура хімічних добавок, які дозволяють ефективно регулювати реологічні властивості цементного тіста та бетонної суміші на його основі, періоди формування структури, температуру твердіння.

Видне місце в цьому ряду займають механохімічні способи активації мінеральних в'язучих. В результаті зіткнення двох твердих тіл в локальній зоні спостерігається емісія електронів, руйнування кристалічної решітки, розвиток пластичних деформацій, які супроводжуються підвищенням температури та зародженням мікротріщин. Як наслідок, це приведе до підвищення хімічної активності в'язучого, що обумовлює якісну зміну структури і покращення властивостей кінцевого продукту.

Перспективним напрямом можливо рахувати механохімічну обробку портландцементу в спеціально сконструйованому роторному протитечійному млину(авт.Пірогов Д.О.). В корпусі млина, який має вигляд двох зварених між собою циліндрів, встановлено два вертикальних ротори. Кожний із роторів складається з валу, до якого кріпляться пластини із високоміцної сталі. В зазор між роторами через патрубок, який розташований у верхній частині млина, подається матеріал для тонкого помелу. В нижній зоні млина, на одній вісі із живильним патрубком, знаходиться патрубок для виходу меленого матеріалу. Після запуску млина

обидва ротори починають обертатись назустріч один одному із швидкістю 11000 об/хв. При обертанні роторів перед пластинами створюється область підвищеного повітряного тиску, який змушує рухатись подрібнюваний матеріал по радіальній траєкторії. Розігнаний кожним із ротором до певної швидкості подрібнюваний матеріал зустрічається в зоні помелу, де внаслідок зіткнень дисперсних часток відбувається активація їх поверхонь. Після виходу із зони помелу матеріал переміщується в нижню частину млина і транспортується в дозатор бетонозмішувального відділення.

Програмою досліджень передбачено вивчення впливу механохімічної активації в'язучого в протитечійному млину на властивості цементу (насіпна густина, питома поверхня), цементного тіста (нормальна густина, терміни тужавлення, екзотермія твердіючого цементного тіста, кількість хімічно зв'язаної води) і каменю на його основі (міцність при стиску цементного каменю як в ранньому так і в 28-и денному віці). В дослідженнях використовувався сульфатостійкий шлакопортландцемент ССШПЦ 400-Д60 ДСТУ Б.В.2.7-85-99. Виробник: ТОВ «Цемент», м. Одеса.

На початковому етапі роботи проведені експериментальні дослідження, пов'язані з впливом механохімічної активації шлакопортландцементу на насипну густину в'язучого, питому поверхню та міцність цементного каменю в ранньому (2-х денному віці). Механохімічна активація цементу здійснювалась протягом 60, 180, 300 і 600 сек. Для контролю використовувалось в'язуче, яке активації не підлягало (контроль).

Експериментально встановлено, що в процесі обробки в'язучого в швидкісному млині спостерігається зростання його питомої поверхні з 415 (контроль) до 450 м²/кг (10-и хвилинна активація). Слід також відмітити, що зростання терміну активації цементу викликає зростання його насипної густини з 1130 (контроль) до 1300 кг/м³ (10-и хвилинна активація).

Для визначення міцності цементного каменю виготовлялись зразки-балочки розміром 4x4x16 см із тіста з нормальною густиною 0,30. Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що, за інших рівних умов, тільки за рахунок активації цементу досягається підвищення міцності цементного каменю в 2-х денному віці з 16,3 до 19,8 МПа, тобто більше ніж на 20 %.

На наше глибоке переконання, використання суперпластифікуючих добавок в поєднанні з тонкодисперсними наповнювачами (наприклад, мікрокремнеземом), тільки підсилить роль механохімічної активації в'язучого в протитечійному млині і дозволить більш повно реалізувати її потенційні можливості у бетонах та розчинах.

COMPARATIVE FUNCTIONAL ANALYSIS FOR PARTICULATE COMPOSITES THERMAL CONDUCTIVITY

Pysarenko A. N., *PhD, Assoc. Prof.*, **Zaginaylo I. V.**, *PhD, Assoc. Prof.*
(*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine*)

Composites belong to those kinds of heterogeneous materials for which application in industry and everyday life is still expanding. The transient and steady-state temperature distribution in composite configurations consisting of several distinct thermally anisotropic subdomains have numerous applications to heat transfer problems in re-entry vehicles, air frames, nuclear reactors, etc. The increased use of composite materials in the automotive, aerospace, and construction industries has motivated research into experimental techniques and solution methods to determine the thermal properties of these materials. Thermal processes occur in composite materials during their production or application. Heat transfer in composites is mainly due to heat conduction. Other modes of heat transfer are of importance only in special cases. Studies carried out on composite media proved that effective properties of heat transfer in heterogeneous materials greatly depend on their microstructure. A large number of theoretical and numerical studies are devoted to obtaining a generalized formula for the thermal conductivity of composites, which would take into account the influence of geometric and thermophysical characteristics of inclusions on heat transfer processes.

Numerous models have been proposed to predict macroscopic properties of composite material, knowing the properties and volume fractions of the constituents. The Maxwell model (model 1 - models whose formulas will be used in this paper are numbered for convenience) should be attributed to the first attempts to analytically describe the thermal conductivity coefficient of two-component media. He considered the problem of dilute dispersion of spherical particles of conductivity κ_1 embedded in a continuous matrix of conductivity κ_m , where thermal interactions between filler particles were ignored.

Rayleigh (model 2) considered material in the form of spherical inclusions arranged in a simple cubic array, embedded in a continuous matrix. The thermal interaction between particles had been taken into consideration in his study.

Hasselmann and Johnson (model 3) emphasized that for a composite with a given shape of inclusion, the effective thermal conductivity depends on not only the filler volume fraction, but particle size as well. The authors

derived expressions for a continuous matrix phase with dilute concentrations of dispersions with spherical, cylindrical and flat plate geometry.

Bruggeman assumed that a composite material may be constructed incrementally by introducing infinitesimal changes to an already existing material. The advantage of his scheme is that it covers a large number of materials, e.g. composites, nanofluids, porous materials, aerosols etc. Using Bruggeman's approach, Every and Tzou obtained an expression for effective thermal conductivity of particulate composites. The formula has been verified by experimental measurements on *ZnS*/diamond composites with two particle sizes and varying percentages of filler. The advantages of Lewis-Nielsen empirical model (model 4) are its simplicity and coverage of a wide range of particle shapes and patterns.

Chen et al. [1] proposed a model for polymer composites containing aligned hexagonal boron nitride (h-BN) platelets. They derived the model based on the unit cell selection and calculation of anisotropic thermal conductivity. Xu et al. [2] reconstructed the Maxwell model using a continuum approach with contact resistance among particles. They also developed a statistical model using a circuit network approach.

Accounting for the effect of shape and size of fillers was the next obvious stage in the development of heat transfer models in composite materials, which contain an explicit analytical expression for effective heat conductivity. Chauhan et al. find out the effect of geometrical shapes such as spherical, elliptical and hexagonal fillers (graphite, copper and aluminum oxide) particles on the thermal conductivity of two-phase system [3].

Kumlutas and Tavman the numerical study of variation of effective thermal conductivity for spheres in cube and cubes in cube systems for different conductivity ratio of filler and matrix [4].

Most theoretical and experimental studies conclude that the effects of the shape and concentration of the filler on the effective thermal conductivity of the composites are decisive in comparison with the effects of the size of the filler particles on the processes of heat transfer in heterogeneous media. However, the experimentally discovered effects of contact heat transfer between the filler particles, especially for high concentrations indicate that the dispersion of the particle size of the filler should also be taken into account in analytical formulas for effective thermal conductivity.

The purpose of this work is a comparative analysis of characteristic analytical expressions for the effective thermal conductivity of particle-reinforced composites. In addition, the work plans to develop

recommendations for the unification of formulas for thermal conductivity while taking into account primarily the geometric parameters of the filler.

The following explicit expressions for the effective thermal conductivity κ_e of composites are presented in the above models.

Model 1.

$$\kappa_e = \kappa_m + \frac{3\varphi\kappa_m}{\left(\frac{\kappa_f + 2\kappa_m}{\kappa_f - \kappa_m}\right) - \varphi}, \quad (1)$$

where κ_f is the thermal conductivity of the filler; κ_m is the thermal conductivity of matrix; φ is volume fraction of the filler.

Formula (1) was found to be valid only in the case of low φ .

Model 2.

$$\kappa_e = \kappa_m + \frac{3\varphi\kappa_m}{\left(\frac{\kappa_f - 2\kappa_m}{\kappa_f - \kappa_m}\right) - \varphi + 1.569\left(\frac{\kappa_f - \kappa_m}{3\kappa_f - 4\kappa_m}\right)\varphi^{10/3} + \dots}, \quad (2)$$

Formula (2) includes an infinite series in the dominator in which higher order components are ignored. When ignoring all of them, equation (2) reduces to equation (1). Nevertheless, equation (2) is important as it includes analytical expressions of another type of composite – a continuous matrix reinforced with parallel cylindrical fibers arranged in uniaxial cubic array.

Model 3.

$$\kappa_e = \kappa_m \frac{2\left(\frac{\kappa_f}{\kappa_m} - \frac{\kappa_f}{a\kappa_c} - 1\right)\varphi + \frac{\kappa_f}{\kappa_m} + \frac{2\kappa_f}{a\kappa_c} + 2}{\left(1 - \frac{\kappa_f}{\kappa_m} + \frac{\kappa_f}{a\kappa_c}\right)\varphi + \frac{\kappa_f}{\kappa_m} + \frac{2\kappa_f}{a\kappa_c} + 2}, \quad (3)$$

$$\kappa_e = \kappa_m \frac{\left(\frac{\kappa_f}{\kappa_m} - \frac{\kappa_f}{a\kappa_c} - 1\right)\varphi + \left(1 + \frac{\kappa_f}{\kappa_m} + \frac{\kappa_f}{a\kappa_c}\right)}{\left(1 - \frac{\kappa_f}{\kappa_m} + \frac{\kappa_f}{a\kappa_c}\right)\varphi + \left(1 - \frac{\kappa_f}{\kappa_m} + \frac{\kappa_f}{a\kappa_c}\right)}, \quad (4)$$

$$\kappa_e = \frac{\kappa_f}{\left(1 - \frac{\kappa_f}{\kappa_m} + \frac{2\kappa_f}{a\kappa_c}\right)\varphi + \frac{\kappa_f}{\kappa_m}}, \quad (5)$$

where a is filler particle radius; κ_c is thermal boundary conductivity.

Model 3 formulas assume the following types of geometries: spherical (3), cylindrical (4) and flat plate (5).

Model 4.

$$\kappa_e = \kappa_m + \frac{3\varphi\kappa_m[\kappa_f(1-\alpha)-\kappa_m]}{\kappa_f(1+2\alpha)+2\kappa_m}, \quad (6)$$

where $\alpha = r_K/a$; r_K is Kapitza radius.

A comparative analysis of the formulas for effective thermal conductivity was made using the following dimensionless values: $\kappa_f/\kappa_m = 10$, $\kappa_f/a\kappa_c = 5$, $\alpha = 0.2$. Therefore, it is necessary to take into account the geometric and thermophysical parameters associated with particle sizes, effects at the filler-matrix interface, and contact interparticle interaction when generalizing formulas 1-5 to the case of large values of filler concentrations.

The experimental data performed by Tsekmes et al. [5] were analyzed in order to obtain an example of dependence $\kappa_e = \kappa_e(a)$. The authors investigated composites of epoxy resin with alumina (Al_2O_3) and silica (SiO_2) microfillers. In the case of high filler concentrations ($\varphi > 0.3$) composites exhibit much higher thermal conductivity compared to neat polymers. Two important parameters can be claimed that play a major role in determining the thermal conductivity of composites, i.e. the thermal conductivity of the fillers and interaction between them.

The results of the analysis led to the following analytical form of dependence $\kappa_e, W/(m \cdot K)$ on $a, \mu m$

$$\kappa_e = A_1 \ln(a) + A_2, \quad A_1 = 0.0912, \quad A_2 = -0.2102, \quad R^2 = 0.6812. \quad (7)$$

Summarizing the above, it can be argued that the considered models 1–4 give similar expressions for the effective thermal conductivity of composites. To eliminate the discrepancies of the dependences 34 at high concentrations, it is necessary to take into account the nonlinear dependence of the effective thermal conductivity on the particle size of the filler.

Therefore, formulas (1) – (6) can be written in the following generalized polynomial-logarithmic form

$$\kappa_e = \frac{\sum_i \alpha_i \beta_i}{\sum_j \gamma_j \beta_j}, \quad \beta = \frac{\kappa_f}{\kappa_m}, \quad \alpha, \gamma = \alpha, \gamma(Lna, \rho_m, c_m, v_m, \varphi, \kappa_c), \quad (8)$$

where ρ_m is matrix density; c_m is the specific heat of matrix; v_m is Debye velocity for matrix.

Conclusions. Analytical expressions for the effective thermal conductivity of composites are analyzed according to basic homogeneous theories. Maxwell's and Rayleigh's models indicate higher values of effective thermal conductivity compared to Hasselman-Johnson and Lewis-Nielsen models for high values of volume fraction of the filler. Discrepancies found in model predictions can be eliminated by taking into account the functional dependence of the thermal conductivity coefficient on the particle size of the filler. Approximate processing of experimental data indicates that such a dependence should be nonlinear. It is convenient to generalize the analyzed formulas for thermal conductivity in a polynomial-logarithmic form.

References

1. Lin Chen, Ying-Ying Sun, Hong-Fei Xu, Shao-Jian He, Gao-Sheng Wei, Xiao-Ze Du, Jun Lin. Analytic Modeling for the Anisotropic Thermal Conductivity of Polymer Composites Containing Aligned Hexagonal Boron Nitride. *Composites Science and Technology*. 2016. Vol. 122. P. 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.11.013>.
2. Jinzao Xu, Benzheng Gao, Hongda Du, Feiyu Kang. A Reconstruction of Maxwell Model for Effective Thermal Conductivity of Composite Materials. *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 102. P. 972–979. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.03.155>.
3. Deepti Chauhan, Nilima Singhvi and Ramvir Singh. Effect of Geometry of Filler Particles on the Effective Thermal Conductivity of Two-Phase Systems. *International Journal of Modern Nonlinear Theory and Applications*. 2012. Vol. 1. P. 40–46. <https://doi.org/10.4236/ijmnta.2012.12005>.
4. Dilek Kumlutas and Ismail Tavman. A Numerical and Experimental Study on Thermal Conductivity of Particle Filled Polymer Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2006. Vol. 19. P. 441–455. <https://doi.org/10.1177/0892705706062203>.
5. I. A. Tsekmes, R. Kochetov, P. H. F. Morshuis, J. J. Smit. Thermal Conductivity of Polymeric Composites: A Review. International Conference on Solid Dielectrics, Bologna, Italy, June 30–July 4, 2013. P. 678–681. <https://doi.org/10.1109/icsd.2013.6619698>.

WAVELET TRANSFORM FOR POLYMER COMPOSITES

Pysarenko A. N., *PhD, Associate Prof.*,
(*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine*)

Industrial composite materials consist of a large number of microstructural components with different characteristics, the combination of which determines the properties of the material as a whole. The processes used in composite materials are described by differential equations with rapidly oscillating coefficients. The numerical solution of these problems requires significant computational costs, since it involves the use of a small step computational grid. This led to the emergence of a new area of mathematical research, the purpose of which is to construct methods for mediating partial differential operators such that the resulting solutions of equations with average coefficients are close to the solutions of the original equations and adequately describe the behaviour of the composite. The effective characteristics of composite materials are determined experimentally or numerically.

The efficiency of discrete wavelet transformation in damage identification based on transient heat conduction experiments in [1]. The examples of damage detection based on real experiments of transient heat transfer and measurements of temperature fields with the infrared digital camera showed a good qualitative agreement with the examples based on numerically simulated experiments.

However, most often, when testing prototypes, a number of difficulties arise related to the choice of sizes and shapes of samples, the exclusion of the influence of edge zones of fastening of the sample and internal defects, the creation of the stress state or thermal fields necessary for calculations. In addition, the methods of testing and processing the results are different for different types of composite materials - a single approach is hardly possible here. These shortcomings complicate the determination of the characteristics of the composite based on experiment, and the experimental results given in the literature in some cases differ significantly.

The existing analytical estimates of the characteristics of composites for elastic constants, thermal and filtration properties usually give a wide range of possible values of material properties and are used only for a rough estimate.

The lack of classical mediation methods encourages the development of new mathematical approaches. The basis of one of the approaches was the use of wavelets - a class of basic functions used in digital signal processing, as well as in information compression, pattern recognition [2].

One of the main advantages of the wavelet transform is the ability to obtain a representation of quantities at the scale of interest. Using the wavelet transform, one can obtain an average representation of a function (coarse scale - "low resolution") and highlight its local properties (small scale - "high resolution").

The influence of thermal and geometrical parameters on the temperature distribution in multilayer composites, associated with dimensionless time, was determined using a numerical finite element model for the wavelet transform [3]. Experimental analysis shows differences in heat distribution in intact and defective structures. The delamination thickness has a significant effect on the temperature in the defect zone. This transformation property is associated with multi-scale analysis of the function under study or analysis with variable resolution.

The main novelty of this work lays in the analysis of the wavelet transform for extruded polystyrene, expanded polystyrene and polyurethane studied in [4]. The coefficient of thermal conductivity is determined by the differential method of local heat influence. The method of local heat influence is based on applying a heat flux of constant density to the sample surface through a probe with a heater, while the second probe remains undisturbed by the thermal effect area.

The wavelet transform method was selected to analyze the thermal conductivity of materials in the range of $0.2 - 1.4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Wavelet analysis is used for the decomposition, reconstruction, and denoising reduction of thermal conductivity time series $\Delta t = Nt'$, where $t' = 100 \text{ s}$, $N = 1, 2, \dots, 15$ is the argument shown in Fig. 1.

Discrete wavelet transform is based on wavelet coefficients, which are scalar products of the signal $f(t)$ and the mother wavelet ψ_{mn} . Discrete inverse transform is defined by the following relationship

$$f(t) = \sum_{m,n} (f, \psi_{mn}) \psi_{mn} = \sum_m \sum_n d_m[n] \psi_{mn}, \quad (1)$$

where the wavelet coefficients $d_m[n](f, \psi_{mn})$ define the common features of the signal $f(t)$ and the wavelet.

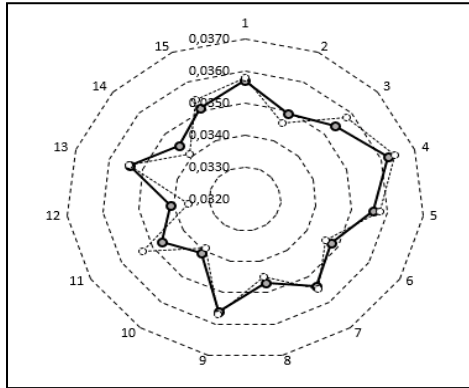


Figure 1. Relative thermal conductivity ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) amplitude subsidence for extruded polystyrene ($\sigma_1' = 0.0022$). Wavelet – solid curve, signal – dotted curve.

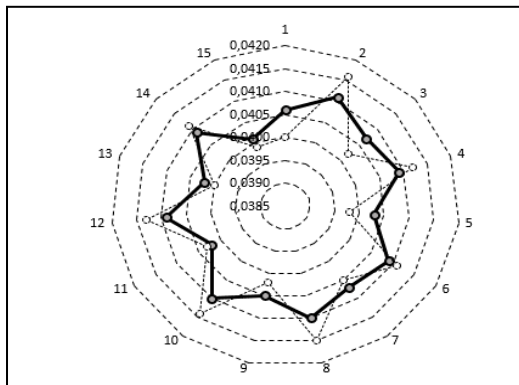


Figure 2. Relative thermal conductivity ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) amplitude subsidence for expanded polystyrene ($\sigma_3' = 0.0024$). Wavelet – solid curve, signal – dotted curve.

Multiresolution analysis of the signal is based on discrete wavelet transform and can be defined by the following equation

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^J \sum_{n \in Z} d_j[n] + \sum_{n \in Z} a_j[n] \varphi_j, \quad (2)$$

where $a_j[n]\varphi_j$ are the approximation coefficients representing the low-frequency components, and $d_j[n]$ are the detail coefficients representing the high-frequencies of signal $f(t)$.

The parameter m allows one to determine the scale level, and the parameter n enables signal location in time when signal $f(t)$ should be analyzed.

The results of a comparative analysis for the thermal conductivity signal and the Daubechies wavelet of the order of 2 are shown in Fig. 1, 2.

Conclusions. An increase in the average relative amplitude subsidence for extruded polystyrene (Fig. 1) indicates a worse wavelet decomposition process of the thermal conductivity signal for heterochain polymers in comparison with uniform closed-pore structures, which include extruded polystyrene foam.

REFERENCES

1. Ziopaja K., Pozorski Z., Garstecki A. Damage detection using thermal experiments and wavelet transformation / K. Ziopaja, Z. Pozorski, A. Garstecki // *Inverse Prob. Sci. Eng.* – 2011, 19 (1), 127 – 153.
2. Guo Y., Qiu H., Ruan K., Zhang Y., Gu J. Hierarchically Multifunctional Polyimide Composite Films with Strongly Enhanced Thermal Conductivity / Y. Guo, H. Qiu, K. Ruan, Y. Zhang, J. Gu // *Nano-Micro Lett.* – 2022, 14:26, 1 – 13.
3. Muc A., Chwał M., Stawiarski A. Experimental and numerical analysis of heat convection in cylindrical composite structures with internal defects / A. Muc, M. Chwał, A. Stawiarski // *Adv. Compos. Lett.* – 2019, 28, 1 – 7.
4. Hotra O., Kovtun S., Dekusha O., Grądz Ż. Prospects for the Application of Wavelet Analysis to the Results of Thermal Conductivity Express Control of Thermal Insulation Materials / O. Hotra, S. Kovtun, O. Dekusha, Ż. Grądz // *Energies* – 2021, 14, 5223 1–15.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ЗБІРНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО РЕЗЕРВУАРУ

Псурцева Н. О., к.т.н., доц., Лугченко О. І., к.т.н., доц.,
*(Харківський національний університет міського господарства
ім. О. М. Бекетова, Україна)*

В Україні та за кордоном накопичено великий досвід застосування полімерних композицій у будівництві та при гідроізоляції залізобетонних елементів.

Для забезпечення монолітності та водонепроникності деяких споруд комунального господарства був використаний акриловий полімеррозчин. Досвід застосування та технологія використання даного полімеррозчину, накопичений в університеті, свідчить про те, що вони мають переваги перед іншими композиціями. Акрилові полімеррозчини за адгезійними і когезійними властивостями не поступаються існуючим (наприклад, епоксидним), але мають кращі технологічні властивості і коштують дешевше.

Теоретичні та експериментальні дослідження напружено-деформованого стану з'єднання бетонів акриловими композиціями показали їхню високу міцність та корозійну стійкість при різних видах навантажень. Дослідження тривалої міцності та гідроізоляції показали наступне. Деформації повзучості мають тенденцію до згасання. Найбільш інтенсивно їх зростання проявляється у перші 20 діб після завантаження. Потім швидкість деформації сповільнюється. При цьому тривала міцність клейового з'єднання в 1,3 рази більше за розрахунковий опір бетону. Акрилові полімеррозчини були використані при закладенні стиків збірного залізобетонного резервуару для збирання та регенерації дубильних розчинів.

Резервуар розмірами в плані 30×15 м і має висоту 2,6 м. Стики зашпаровували акриловими композиціями після влаштування опалубки, яка одночасно була захисним пристроєм від проникнення води та інших рідких середовищ в бетон і, відповідно, через стіни резервуара. Опалубку встановлювали шляхом наклейки смуг шириною 200 і довжиною 600 мм. У якості смуги застосовували пористу тканину (типу мішковини), яка добре вбирає акриловий полімеррозчин. Наклеювання смуг на поверхню бетону проводилася за схемою, в наступній послідовності:

- очищення поверхні бетону від різних напливів, бруду тощо;
- промивання водою очищеної поверхні бетону;
- просочення смуги з тканинного матеріалу в розчині;

- встановлення опалубки в проектне положення;
- після затвердіння клею проводилася заливка в опалубку полімеррозчину.

Заливання полімеррозчину в опалубку стіку проводилося за схемою. Спочатку заливали перший ярус. Після твердіння полімеру встановлювався наступний ярус опалубки. Після придбання просоченої полімеррозчином смуги необхідної міцності проводилася заливка другого ярусу і т.д. Такі операції повторювалися поетапно до повного заливання стіку.

Після закладення стиків було нанесено гідроізоляційне покриття з акрилового полімеру на стінки резервуара. Нанесення полімеррозчину виконували на чисту поверхню бетону, для чого останню очищали попередньо струменем води. Роботи з нанесення полімеррозчину починали не раніше ніж через 30 хвилин. При відшаровуванні, наявності напливів, бульбашок та інших дефектів покриття на цих ділянках знімали та замінювали на нове. Готова гідроізолювана поверхня має відповідати всім розробленим вимогам.

Приготування акрилового полімеррозчину включає наступні операції: підготовка, дозування складових та їх змішування.

Процес підготовки складових переважно складається із сушіння наповнювача до вологості не більше 1%. Необхідну кількість полімеру (порошку), затверджувача (рідини) та наповнювача відважують в окремі ємності. У ємності заливали рідину і додавали порошок, потім робили періодичне перемішування до набухання порошку рідини, після чого вводили наповнювач з безперервним перемішуванням. Момент набухання порошку рідини визначається отриманням одноколірної сметаноподібної маси.

Час перемішування акрилового полімеру після введення наповнювача становить 3...5 хв до рівномірного розподілу зерен піску в об'ємі суміші. Орієнтовний час набухання порошку рідини становить при температурі навколишнього середовища від 15 до 25°C близько 15 хв. У зв'язку з обмеженою технологічною життєздатністю розчину його приготування проводиться після закінчення всіх робіт, пов'язаних з підготовкою поверхні бетону.

Товщина гідроізоляційного покриття з акрилового полімеру становила 3...8 мм.

Орієнтовна витрата матеріалів на 1 м² при товщині покриття 10 мм, кг: мономер – 6,5; полімер – 6,5; пісок – 9,75.

Час використання приготовленого акрилового полімеру близько 30 хв при нормальній температурі навколишнього середовища.

Як показало дослідне впровадження, монолітні гідроізоляційні покриття на основі акрилових полімерів, модифікованих добавками, більш ефективні в порівнянні з покриттями на основі інших полімерів, що застосовуються для зазначених цілей в даний час. Акрилові полімеррозчини прості у приготуванні та мало компонентні. Проста технологія влаштування покриття та закладення стиків. У стверженому стані акриловий полімеррозчин має високу корозійну стійкість до впливів розчинів солей (у тому числі окису хрому), кислот різної концентрації, лугів, а також впливу води. При цьому твердіння полімеррозчину при температурі 20...25°C відбувається протягом 2...4 годин.

ДОСВІД ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕКОРАТИВНИХ ШЛАКОЛУЖНИХ БЕТОНІВ І РОЗЧИНІВ

Рогозіна Н. В., асп.

*(Київський національний університет будівництва і архітектури,
Україна)*

Розвиток будівельної галузі, з огляду, на сучасні тенденції, обумовлює актуальність запровадження шлаколуужних цементів, зокрема у якості декоративних, зважаючи на відповідальне ставлення до екології оточуючого середовища та ефективне споживання сировини і енергоресурсів [1].

Аналіз попередніх досліджень показує, що використання шлаколуужних цементів в якості декоративних є досить перспективним [2, 3]. У подальших дослідженнях [4-5] показана можливість отримання на основі доменних шлаків якісних повноцінних декоративних шлаколуужних цементів. В якості відбілювачів було використано TiO_2 , каолін і $CaCO_3$. В результаті досліджень були отримані білі цементи з білизною не менше 70% та міцністю на стиск через 28 діб 43,1...50,6 МПа. Вони відносяться до швидкотверднучих, демонструючи міцність на стиск через 2 доби 25,1...29,8 МПа. Але такі цементи і матеріали на їх основі, окрім основних фізико-механічних та декоративних властивостей, мають відповідати ряду вимог за технологічними та експлуатаційними характеристиками. Тому були дослідженні: водоутримуюча здатність розчинів, адгезія до основи, усадка, стійкість до висолоутворення, морозо- та атмосферостійкість, розвиток міцності у часі, стійкість пігментованих зразків до ультрафіолетового опромінення.

У ході проведення досліджень, як алюмосилікатна складова цементу, був використаний доменний гранульований шлак зі ступенем помелу 4414 cm^2/g за Блейном. Подрібнення шлаку проводили у млині з футеровкою та алубітовими мелючими тілами. В якості лужного компоненту був використаний метасилікат натрію пентагідрат ($Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$) у кількості 10%. За відбілюючі добавки було обрано діоксид титану (TiO_2) рутил; каолін класу КН 84 і карбонат кальцію ($CaCO_3$) з білизною 90% у порошкоподібній формі.

Як барвники використовувалися пігменти мінерального походження різного кольору та червоний шлам у кількості 5%; органічні пігменти дозувалися у кількості 0,5%.

Для зменшення ризику появи висолів було використано водоутримуючу добавку натрій карбоксиметилцелюлоза, що також

принагідно покращило пластичні властивості штукатурних розчинів.

Технологічні, фізико-механічні та експлуатаційні властивості шлаколужних цементів визначалися відповідно до діючих в Україні державних стандартів і методик.

У результаті виконаних робіт було встановлено, що *водоутримуюча здатність* свіжоприготованих у лабораторних умовах цементно-піщаних шлаколужних декоративних розчинів склала 93...95%. Введення добавки натрій карбоксиметилцелюлози у кількості 0,5% дало змогу підвищити водоутримуючу здатність до 95...98%, знизити водопотребу на 8...10% і покращити реологічні властивості розчину.

Випробування *на адгезію до основи* виконувались згідно з методикою, викладеною у ДСТУ Б В.2.7-126-2011 "Суміші сухі будівельні модифіковані. Загальні технічні умови". Були використані дві основи – цегляна і бетонна. Згідно з результатами випробувань, при використанні цегляної основи руйнування відбувається по матеріалу основи (тип руйнування О/О). Тобто, у всіх випадках міцність зразків і адгезія до цегляної основи виявилися вищими за міцність самої основи. Таким чином, міцність на відрив була міцністю самої цегляної основи і склала 5,22...5,51 МПа. Окрім цегляної основи була також використана портландцементна бетонна основа міцністю 25,6 МПа з водопоглинанням 6,3%. Руйнування відбувалося по матеріалу затверділого розчину (тип руйнування Р/Р). Міцність на відрив склала 6,72...7,01 МПа.

Шлаколужні декоративні розчини продемонстрували високу *морозостійкість*. Після 200 циклів випробувань втрати маси відсутні, тріщини та лущення на поверхні зразків не спостерігались. Випробування були обмежені 200 циклами виходячи з міркувань доцільності.

Тест на *атмосферостійкість* усі зразки шлаколужних декоративних розчинів, які містять відбілюючі та колоруючі добавки, також пройшли успішно. Після 100 циклів замочування та висушування втрати їх міцності були в межах 6,5...9,2% при допустимих 25%.

Схильність складів до утворення *висолів* контролювалася за методикою ДСТУ Б В.2.7-69-98 "Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності" на зразках 4×4×16 см складу 1:3 (цемент: пісок). Встановлено, що введення добавки натрій карбоксиметилцелюлози в кількості 0,25...0,5% повністю виключає появу висолів.

Стійкість кольорів шлаколуужних декоративних пігментованих цементів до впливу ультрафіолетового випромінювання та пропарювання визначалась відповідно до методики ДСТУ Б В.2.7-268:2011 "Портландцемент кольоровий. Технічні умови". В результаті досліджень і спостережень встановлено високу стійкість кольорів шлаколуужних декоративних пігментованих цементів до впливу ультрафіолетового випромінювання та пропарювання. Стійкість кольору зразків з цементного тіста визначалась візуально порівнянням кольору зразків-коржиків, підданих пропарюванню та ультрафіолетовому опроміненню, з кольором контрольних неопромінених зразків-коржиків. Кольори контрольних і опромінених зразків після випробувань практично не відрізнялися між собою.

Генезис міцності на тиск у часі: через 28 діб – 43,1...50,6 МПа, через 90 діб – 46,3...57,8 МПа, через 180 діб – 48,8...59,7 МПа.

Власні *деформації усадки* декоративних шлаколуужних цементів склали на момент стабілізації 0,54...0,7 мм/м.

Після циклу успішних стандартних лабораторних випробувань декоративних шлаколуужних цементів і розчинів були виконані *натурні випробування у різних умовах*. Для моделювання різних умов експлуатації зовні і всередині приміщення на бетонній стіні будівлі були нанесені ділянки штукатурки. Зовні вони піддавались впливу усіх атмосферних факторів у зимово-весняно-літньо-осінній період (температура $-15...+30^{\circ}\text{C}$, сніг, дощ, сонячна радіація, вологість 70...100%). А всередині приміщень (температура $+18...+24^{\circ}\text{C}$, вологість 55...80%). Склад суміші – 1:3, пісок дніпровський, кварцовий. В/Ц = 0,46...0,53. Консистенція суміші була зручна для нанесення на основу. Нині термін випробувань становить близько 18 місяців. Випробування продовжуються. Результати поточних випробувань у вигляді фотографій фрагментів покриттів представлені у табл. 1 і на рис. 1.

Таблиця 1 – Покриття, які тверділи та знаходилися у приміщенні

Пігмент	Шлаколуужний цемент з відбілюючими добавками			Білий клінкерний цемент
	TiO ₂	каолин	CaCO ₃	
Коричневий				
Жовтий				–
Червоний шлам				–



Рис.1. Штукатурні покриття з використанням декоративних шлаколузних розчинів, які знаходились зовні приміщень:

1, 2, 3 – з відбілюючою добавкою каолін та мінеральними пігментами у кількості 5%; 4, 5, 6 – з відбілюючою добавкою CaCO_3 та мінеральними пігментами у кількості 5%; 7 – з відбілюючою добавкою TiO_2 та органічним пігментом у кількості 0,5%; 8 – з відбілюючою добавкою TiO_2 та червоним шламом у кількості 5%; 9 – з відбілюючою добавкою TiO_2 та мінеральним пігментом у кількості 5%.

Як видно з табл.1 та рис.1, після 18 місяців експлуатації покриття мають привабливий вигляд, висоли і відшарування відсутні.

На основі отриманих результатів розроблено і затверджено двос. Технічних умов України на білі та кольорові шлаколузні цементи.

Література

[1] Krivenko P. Why Alkaline activation – 60 years of the theory and practice of alkali-activated materials. *Journal of Ceramic Science and Technology*. 8 (2017) 323 –3 34.

[2] Krivenko P. V., Kovalchuk A. Yu., Ostrovskaja L. M. Studying of possibility of increase of slag-alkali cements whiteness degree. *Collection "Building materials, producters and technical equipment"*. 2011. No 41. (Kyiv, Research Institute of Building Materials and Products). P. 10-14.

[3] Krivenko P., Petropavlvskyy O., Puskar V., Ostrovskaja L. Decorative alkaline cements. *IV Intern. Symp: Non-Traditional cement & Concrete*. 2011. (Brno). P. 257- 265.

[4] Gots V I, Gelevera A G, Petropavlovsky O N, Rogozina N V, Smeshko V V. Influence of whitening additives on the properties of decorative slag-alkaline cements. IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering. – Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020)*. Vol. 907. – 012033. DOI: <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012033>.

[5] P V Krivenko, A G Gelevera, O Yu Kovalchuk, V Rogozina Influence of the chemical composition of blast-furnace slag on the whiteness of decorative slag-alkaline cements. IOP Conf. Ser.: *Mater. Sci. Eng*, 2021. Vol. 1164. 012040. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1164/1/012040>.

ВПЛИВ АКТИВНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК НА ВЛАСТИВОСТІ НАДВИСОКОМІЦНОГО БЕТОНУ

Саницький М. А., д.т.н., проф.

Вахула О. М., к.т.н., доц.

Трефлер Р. Ю., асп.

(Національний університет “Львівська політехніка”, Україна)

Одним з найважливіших напрямків у будівництві є розроблення конструкційних матеріалів нового покоління, зокрема надвисокоміцних бетонів, які характеризуються покращеними будівельно-технічними властивостями та відносяться до класу ультрависокофункціональних бетонів (УНРС). Такі бетони використовуються в будівництві мостів, споруд військового призначення та будівельних конструкцій (Radoslav Sovják, 2021). Надвисокоміцний бетон демонструє високі механічні властивості, зокрема міцність на стиск, що перевищує 120 МПа. Управління процесами структуроутворення за рахунок використання комплексних модифікаторів забезпечує можливість для розроблення багатофункціональних надвисокоміцних композитів з високими експлуатаційними характеристиками, зносостійкістю та ін. Такі цементуючі композити як правило отримуються за рахунок застосування портландцементів з добавкою мікрокремнезему та гіперпластифікаторів полікарбосилатного типу (Aashay Arora, 2018).

Одержання якісних бетонних сумішей забезпечує високомарочний портландцемент ПЦ І-500Р-Н(СЕМ І 42,5R) ПрАТ “Івано-Франківськцемент”, який виготовляється на основі портландцементного клінкеру нормованого мінералогічного складу. Для проектування зернового складу надвисокоміцних бетонів застосовано піски Давидівського родовища ($\rho_{\text{нас.}}=1370 \text{ кг/м}^3$, $M_k=1,16$) та родовища Славута ($\rho_{\text{нас.}}=1502 \text{ кг/м}^3$, $M_k=2,03$).

В якості високоактивної мінеральної добавки пуцоланічної дії застосовано мікрокремнезем Elkem Microsilica Grade 940-U (вміст SiO_2 – 92,3 мас.%, $S_{\text{пит}}=1500 \text{ м}^2/\text{кг}$). Аморфний кремнезем відіграє важливу роль у покращенні реології та механічних характеристик УНРС завдяки його властивостям: висока чистота, пуцоланова активність і значна питома поверхня.

Як активний мінеральний складник пуцоланічної дії використано цеолітовий туф Сокириницького родовища, основним мінералом якого є кліноптилоліт ($(\text{Na}, \text{K})_4\text{CaAl}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}\cdot 24\text{H}_2\text{O}$). Високодисперсний цеоліт віднесено до класу суперцеоліту (СЦ), який застосовано для

розроблення надвисокоміцного бетону багатofункціонального призначення.

Встановлено, що для бетону, який містить 10 мас.% мікрокремнезему від маси цементу значення міцності на стиск через 2 доби тверднення складає 88,8 МПа, а через 28 діб 161,0 МПа. Цеоліти в складі бетонів дозволяють зменшити їх водовідділення, седиментацію, підвищити водоутримувальну здатність, що призводить до зростання міцності бетону в пізніші терміни тверднення (Sanytskyu, 2021). Введення до складу надвисокоміцного бетону суперцеоліту сприяє підвищенню міцності та когезії цементуючої пасти. Для бетону з добавкою суперцеоліту у кількості 10 мас.% від маси цементу рання міцність через 48 год тверднення становила відповідно 57,6 МПа, стандартна – 160,6 МПа.

Модифікований надвисокоміцний бетон з добавками мікрокремнезему та суперцеоліту цементу характеризується підвищеними механічними властивостями: у ранньому віці – через 2 доби міцність на стиск складає $f_{cm2}=75,8$ МПа, а через 28 діб тверднення збільшується в 2,1 рази та становить 163,2 МПа, при цьому розтяг при згині $f_{3c}=12,3$ МПа.

Показано, що підвищена поверхнева активність мікрокремнезему та суперцеоліту в поєднанні з гіперпластифікатором полікарбоксилатного типу призводить до прискорення процесів раннього структуроутворення. Сумісне введення суперцеоліту та мікрокремнезему забезпечує позитивний ефект зростання ранньої та стандартної міцностей надвисокоміцного бетону.

Література

1. Radoslav Sovják, Ondřej Koutný, Petr Hala.(2021).Penetration Resistance of Building Materials against 7.62-mm Armor-Piercing Projectile. [Journal of Materials in Civil Engineering](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003858) 33(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003858](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003858)
2. Aashay Arora, Matthew Aguayo, Hannah Hansen, Cesar Castro. (2018). Microstructural packing- and rheology-based binder selection and characterization for Ultra-high Performance Concrete (UHPC). *Cement and Concrete Research*,103,179-190. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.10.013>
3. Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., Heviuk I., Sikora, P., & Braichenko, S. (2021). Development of rapid-hardening ultra-high strength cementitious composites using superzeolite and N-C-S-H-PCE alkaline nanomodifier. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(6 (113), 62–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242813>

МЕТОД ПОТЕНЦІАЛІВ В ТЕОРІЇ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ

**Семенова С. В., к.т.н., доц., Колесников А. В., к.т.н., доц.,
Маковецька О. О., ас., Левицький Д. В., асп.**

(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Однією з характеристик часової еволюції матеріалів є процес структуроутворення. Його наслідком є зміна фізико-механічних властивостей композиційних матеріалів. У процесі структуроутворення відбувається багатоетапне формування різних структур: первинних, що складаються з частинок вихідних і новоутворень, вторинних - у вигляді кластерів і межкластерних меж розділу, і третинних – у вигляді пір, капілярів, тріщин як у об'ємі матричного матеріалу, так і поблизу частинок наповнювача. Оскільки різноманіття структурних елементів, що формуються, навіть одного масштабного рівня, наприклад, мезоскопічного, дуже велике, актуальним є підхід, заснований на параметризації. Параметризація в даному випадку - відображення багатьох структур, що спостерігаються, за допомогою обмеженого набору параметрів. Цей прийом дозволяє підійти до всього розмаїття структурних елементів, що формуються, з єдиної точки зору.

У роботі використовувався підхід структурно-геометричної параметризації. Результати електронно-мікроскопічних досліджень композиційних матеріалів як на основі мінеральних в'язучих, так і на основі полімерного зв'язуючого показують, що будь-який об'єм на мезорівні можна представити як заповнений елементами, характерні особливості яких відповідають різній топологічній розмірності (самі елементи є фракталоподібними та характеризуються дрібною розмірністю). Таким чином, кожен елемент структури можна представити як суперпозицію лінійних, об'ємних та поверхневих компонентів. Так само є можливість параметризувати і ділянки препарату, що спостерігається у фіксованих межах (рис.1). Тут вказані структурні елементи з переважаючими вкладками одно-, дво- та тривимірних геометричних характеристик. Оскільки характер взаємодії відповідних структур один з одним та навколишнім матеріалом досить складний, в загальному випадку їхня взаємодія є нелінійною. Цікавим, на наш погляд, є запровадження аналога вільної енергії для структурної взаємодії – структурного потенціалу.

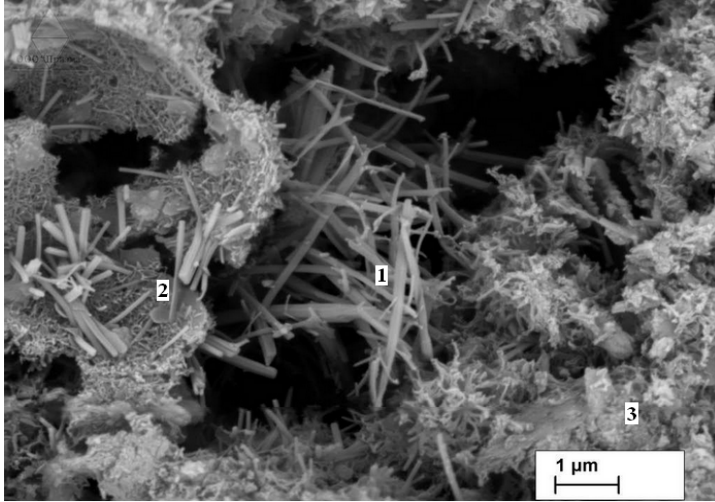


Рис.1. Структурні елементи з переважаючими вкладами одно-(1), двох-(2) та тривимірних(3) геометричних характеристик

Структурний потенціал $\Phi(\eta_0, \eta_1, \eta_2, \eta_3, U)$ залежить від параметрів U , що управляють, і є функцією або функціоналом змінних, що характеризують структуру на мезорівні. В якості найбільш точної параметризації було обрано геометричну - розглядалась об'ємна частина вільних (наприклад, розчинених) елементів матеріалу η_0 , одновимірних η_1 (ідеалізованих фібрилярних, волоконподібних структур), двовимірних η_2 (внутрішні поверхні розділу різної природи), тривимірних η_3 для аналізованого масштабного рівня структур. Врахування обмежень $\sum_{i=0}^3 \eta_i = 1$ дозволило виключити змінну η_0 . У результаті, переходячи до трьох змінних, отримали (1):

$$\begin{aligned}
 \Phi(\eta_1, \eta_2, \eta_3) = & \Phi_0 + \sum_{1 \leq i \leq 3} b_i \eta_i + \sum_{1 \leq i < j \leq 3} b_{ij} \eta_i \eta_j + \\
 & + \sum_{1 \leq i < j < k \leq 3} b_{ijk} \eta_i \eta_j \eta_k + \sum_{1 \leq i < j < k < l \leq 3} b_{ijkl} \eta_i \eta_j \eta_k \eta_l + \dots
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Потенціал $\Phi(\eta_0, \eta_1, \eta_2, \eta_3, U)$ розглянуто як крупнозернистий, усереднений по фізично малому об'єму, у якому кожен елемент структури здатний взаємодіяти з кожним іншим. Матеріал представляється як такий, що складається із відносно незалежних мезоструктурних осередків (таке обмеження допускає ослаблення на наступних стадіях розгляду).

Параметри U цього потенціалу змінюються через впливи процесів на менших чи більших за масштаб структурних рівнях. Зокрема, у ньому можуть спостерігатися катастрофічні явища – поява чи зникнення нових максимумів чи мінімумів. Ці зміни можна розглядати як розвиток «морфогенетичного ландшафту» матеріалу (рис. 2).

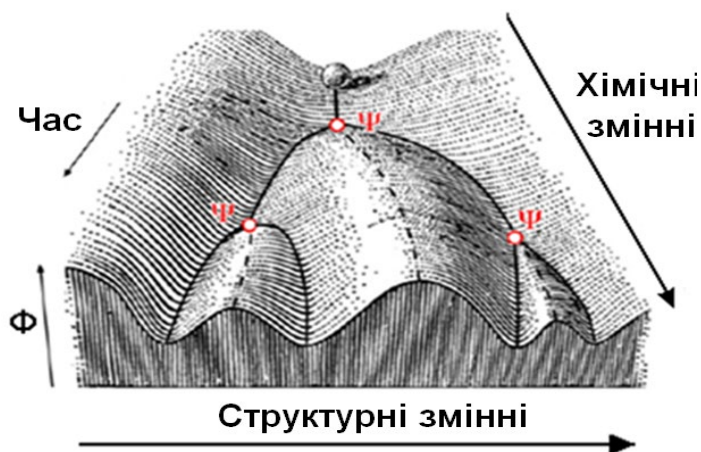


Рис.2. Схема формування структурного «морфогенетичного ландшафту» матеріалу

Одночасно з повільними змінами параметрів потенціалу в системі, що вивчається, відбувається флуктуаційно-релаксаційний процес, що описується (градієнтним) рівнянням Ланжевена (2):

$$\dot{\eta}_i = -\frac{\partial \Phi(\eta_1, \eta_2, \eta_3)}{\partial \eta_i} + F_i. \quad (2)$$

Мінімуми потенціалу $\Phi(\eta_1, \eta_2, \eta_3)$ відповідають аттракторам і, одночасно, найімовірнішим поєднанням геометричних характеристик структур. Якщо перепади значень потенціалу невеликі, реалізується широкий асортимент структур, пов'язаний з макроскопічними

властивостями зразків чи елементів конструкції, виникає феномен поліструктурності. Навпаки, глибокі мінімуми потенціалу пов'язані з кількома наборами мезоскопічних структурних характеристик, що реалізуються. Можливий і проміжний варіант, при якому серед багатьох реалізованих структур з'являється кілька «заборонених», які реалізуються з найменшою ймовірністю, що відповідає високому максимуму структурних потенціалів.

Оскільки коефіцієнти та загальний вигляд потенціалу невідомі, їх можна знайти на основі експериментальних даних, наприклад, методом обробки зображень шліфів або сколів матеріалів. На мікроскопічному зображенні здійснюють сіткове розбиття A на обсяги, які приймаються мінімальним для структурної взаємодії. Таким чином, виділяються квадратні осередки стороною δ , величина якої вибирається на основі попередніх даних для різних класів матеріалів. Значення δ обирається таким чином, що будь-який структурний елемент відповідних осередків може взаємодіяти з будь-яким іншим. Разом із сіткою A розміром осередку δ будується інша сітка B з меншими осередками, наприклад розміром $\delta/3$. Потім для кожного осередку розбиття A обчислюється частина осередків сітки B , що містять 1, 2 чи 3-вимірні структури.

На основі цих даних можна здійснити аналіз за двома напрямками. Перший заснований на відновленні функції розподілу та відповідного потенціалу. Інший напрямок заснований на застосуванні методу найменших квадратів та добір значень коефіцієнтів потенціалу у поліноміальній формі.

Таким чином, на основі сформульованого підходу можна надати фізичну інтерпретацію процесам структуроутворення. Нові елементи структур та нові поєднання вже існуючих виникають завдяки двом процесам:

1. Флуктуаційний процес. Виникає зокрема під впливом попередніх структурних рівнів (мікроструктури). В результаті поряд з «оптимальними» структурами, що відповідають мінімуму структурного потенціалу, утворюється широкий набір близьких до них.

2. Виникнення нових мінімумів потенціалів у результаті зміни його параметрів, обумовлених також структурними рівнями більших чи менших просторових масштабів та процесів у них (наприклад, гідратацією моно- або полімінеральних в'язучих). Вони також визначаються зовнішніми впливами, наприклад градієнтами деформацій.

БАГАТОВАРІАНТНІСТЬ БАГАТООСЕРЕДКОВОГО СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ

Суханова С. В., к.т.н., Вировой В. М., д.т.н., проф.,
Суханов В. Г., д.т.н., проф., Елькін О. В., к.т.н., Кшнякін В. С., асп.
(Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна)

Невід'ємною ознакою всієї гами природних та штучних матеріалів є їх багаторівнева будова з характерними для кожного рівня особливостями структури. Кожний рівень утворюється шляхом реалізації певних механізмів, притаманних саме цьому рівню структурних неоднорідностей. Інтегрована сукупність індивідуальних структур утворює загальну структуру матеріалів, яка визначає рівень їх властивостей. Такий висновок справедливий в випадку незмінності параметрів індивідуальної та загальної структури в часі. Накопичений досвід дослідження матеріалів дає підстави вважати, що в умовах перманентної дії зовнішніх та внутрішніх факторів відбувається незупинна зміна параметрів активних елементів, до яких відносяться несутцільності в вигляді пор, капілярів, тріщин, поверхонь розділу та залишкові деформації. Активні елементи з'являються в структурі в процесах структуроутворення і, тим самим, провокують подальші процеси трансформації структур по принципу «від досягнутого». Така динаміка розвитку структури в часі ставить задачі вивчення основних механізмів утворення активних елементів та умов їх розвитку з метою направленою управління загальними процесами структуроутворення для забезпечення певного рівня властивостей будівельних композитів.

Об'єктами аналізу прийняті будівельні композиційні матеріали та вироби з поліструктурною будовою, які розглядаються як відкриті складні системи, що самоорганізуються. Для таких об'єктів можна виділити вертикальну та горизонтальну складові структуроутворення.

Вертикальна складова враховує особливості кожного рівня структурних неоднорідностей, визначає домінуючі механізми організації структури на кожному рівні та враховує взаємозв'язок та взаємовплив структурних рівнів між собою. В загальному випадку можна виділити рівень структури, для якого характерною ознакою є міжчасткові взаємодії, що призводить до спонтанного утворення дискретних структурних блоків (агрегатів, кластерів, міцел, доменів і т. п.). Утворення дискретних структур провокує самовільне виникнення нових елементів – поверхонь розділу. Таким чином, реалізується багатоосередкове структуроутворення. Своя специфіка багатоосередкового структуроутворення існує на рівні взаємодії

матричного матеріала з заповнювачами. Зміна механізмів не змінює результат процесу – появу поверхонь розділу на рівні неоднорідностей типу «матриця – заповнювачі». Зовсім інший механізм впливу геометричних характеристик виробу на процеси структуроутворення на всіх рівнях структурних неоднорідностей поліструктурних матеріалів. Виникаючі градієнти власних деформацій спонукають структурній перебудові кожного рівня та ведуть до розвитку залишкових деформацій. Таким чином, вертикальна складова закладає основи для реалізації багатоваріантних механізмів спонтанних процесів організації, що веде до збільшення різноманіття структури матеріалів та виробів.

Горизонтальна складова включає в себе базові механізми, характерні для певного рівня структурної неоднорідності. Наприклад, на рівні міжчасткових взаємодій реалізуються механізми неврайонованих міжчасткових взаємодій зерен вихідного в'язучого та наповнювачів, термофлуктуаційних явищ при утворенні зародків іонів нових фаз, дифузійних процесів масопереносу в зону міжчасткових контактів та інші. Подібна багатоваріантність механізмів на одному горизонтальному рівні збільшує різноманітність структури, особливо з урахуванням новоутворень в вигляді кристалів та аморфних складових. На рівні взаємодії матриці з поверхнею заповнювачів самовільно утворюються неповторні за своїми якісними та кількісними складами структурні чарунки бетону. Їх несхожість вносить свою частину в збільшення структурного різноманіття, яка ще збільшується під дією градієнтів власних деформацій на рівні виробу. Можна стверджувати, що на кожному горизонтальному рівні структурних неоднорідностей ситуації, повторюючись, не повторюються.

Загальним слід вважати для вертикальних та горизонтальних складових прояв ефектів і закономірностей багатоосередкового структуроутворення, при реалізації якого утворюються нові для системи елементи. Поява нових елементів веде до прояву нових властивостей системи – система стає частково склеромною, що провокує виникнення асиметрії розвитку та дискретно-революційні перебудови структури по принципу «від досягнутого». Крім того, аналіз показує, що геометричні характеристики виробу (конструкції) приймають активну участь в організації структури матеріалу – конструкція «під себе» структурно організує матеріал, що бажано враховувати при проектуванні вихідних складів.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В'ЯЖУЧИХ У ПРОЦЕСІ ТВЕРДНЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСОЧЕННЯ ГІПСОБЕТОНІВ У РОЗПЛАВІ СІРКИ

Тарасевич В. І., к.т.н., доц., Гасан Ю. Г., к.т.н., проф.,

Григорчук О. М., к.п.н., доц.

*(Київський національний університет будівництва і архітектури,
Україна)*

Одним зі способів підвищення водостійкості й покращення інших будівельно-технічних властивостей капілярно-пористих матеріалів, зокрема й на основі гіпсу, є їх просочення речовинами, здатними тверднути в поровому просторі цих матеріалів, що сприяє ущільненню структури й перешкоджає проникненню в них вологи.

Оптимальною просочувальною речовиною для модифікації гіпсобетонів є сірка, оскільки її розплав має ефективні просочувальні властивості, сильну адгезію до різних мінеральних наповнювачів і високу хімічну стійкість у різних агресивних середовищах. Технологія просочення гіпсобетонних виробів включає наступні операції: виготовлення гіпсобетонних виробів за будь-якою традиційною технологією; сушка і нагрівання виробів до температури розплаву сірки (140...150 °С); просочення виробів розплавом сірки; охолодження виробів до температури навколишнього середовища. Особливості капілярно-пористої структури гіпсобетонів та їх поведінка при підвищених температурах вимагають розробки науково-обґрунтованих технологічних режимів сушіння та просочення розплавом сірки.

При розробці технології просочення гіпсобетонів розплавом сірки були досліджені питання, які пов'язані з фізико-хімічними процесами, що протікають при взаємодії гіпсозольної матриці та сірки. Особливу увагу було приділено дослідженню процесів структуроутворення в гіпсобетонах при підготовці зразків перед просоченням для отримання гіпсозольної матриці з достатньою механічною міцністю та оптимальними масопереносними характеристиками.

Мета даної роботи полягає у дослідженні впливу різних типів кювет на вимірювання динамічного модуля пружності в'язучих у процесі твердіння для визначення оптимальних моментів механічного впливу на гіпсобетонні зразки, що дозволить оптимізувати технологію їх просочення розплавом сірки.

Часова залежність модуля пружності твердіючого в'язучого є його важливою фізико-хімічною характеристикою, оскільки вона

використовується для об'єктивного виділення етапів структуроутворення, моделювання процесів, що протікають на кожному з етапів, а також визначення оптимальних моментів механічної дії на бетон.

Таку залежність найчастіше оцінюють акустичними методами, проте метод акустичного резонансу згинальних коливань, розроблений стосовно систем зі стабільними в часі параметрами, у разі твердіючих в'язучих матеріалів потребує корекції щодо методики вимірювання та трактування отриманих результатів.

На підставі проведених досліджень встановлено, що за наявності усадки або значного розширення в'язучого, дослідження структуроутворення резонансним методом має проводитися в пластичних кюветах. Незалежно від усадки використання кювети потребує обов'язкового врахування її пружних властивостей. Об'єктивне виділення етапів структуроутворення доцільно проводити на основі кінетики не динамічного модуля пружності, а швидкості його зміни. Часова залежність логарифмічного декременту згасання також є важливою характеристикою структури зразка.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють оптимізувати технологію просочення гіпсобетонів у розплаві сірки й отримувати сіркогіпсові композити з необхідними експлуатаційними характеристиками та виготовляти з них елементи архітектурного декору, стінові огорожувальні та облицювальні вироби підвищеної естетичності, довговічності та надійності.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Ткачук Денис, докторант, *ORCID: 0000-0002-5045-8410*
Русу Ион, д. хаб. техн. наук, проф., *ORCID: 0000-0002-7507-638X*
(Технічний Університет Молдови)

В умовах інтенсивності руху і транспортних навантажень, що збільшуються, необхідні нові матеріали з покращеними технологічними та експлуатаційними властивостями для ремонту та будівництва автомобільних доріг.

Для запобігання передчасним руйнуванням дорожньої конструкції особливу увагу необхідно приділяти підвищенню несучої здатності системи «основа – ґрунт» та використанню нових інноваційних підходів до покращення якостей зведення дорожніх об'єктів.

Відомі різні способи підвищення несучої здатності системи «основа – ґрунт»: вибір оптимального складу бетону та раціонального співвідношення між заповнювачами бетону; вдосконалення процесу устabilнення шарів основи та ґрунту земляного полотна, використання стабілізуючих добавок, застосування повільнотвердіючих в'язучих та інші. Вибір найбільш ефективного способу підвищення несучої здатності шарів основи дорожньої конструкції обумовлений насамперед кліматичними умовами експлуатації автомобільних доріг.

Правильний технологічний та кількісний вибір якісного дорожнього одягу та вибір в'язучого та заповнювачів бетону для його основи, а також моніторинг несучої здатності системи «основа – ґрунт» у процесі будівництва дозволить отримати дорожні конструкції з підвищеною стійкістю до впливу транспортних навантажень та погоднo-кліматичних факторів у широкому інтервалі температур.

Збільшення терміну служби дорожніх конструкцій автомобільних доріг, а також підвищення стійкості земляного полотна та несучих шарів основи є важливим та актуальним завданням, вирішення якого дозволить підвищити комфорт та безпеку дорожнього руху.

Були виконані випробування різних заповнювачів для основи дорожнього одягу – сумішей дисперсних, укріплених дорожнім гідравлічним в'язучим: гранульований асфальт фракції 0-31,5 мм, насипна щільність, $\rho = 1,42$ т/м³; вапняковий заповнювач фракції 0-31,5 мм, насипна щільність $b = 1,27$ т/м³, стійкість до фрагментації (Los-Angeles) LA = 29,5 %; вапняковий заповнювач фракції 16-31,5 мм, насипна щільність $\rho_b = 1,22$ т/м³.

Суміш цих заповнювачів (гранульований асфальт фракції 0-31,5 мм, вапняковий заповнювач фракції 0-31,5 мм і вапняковий

Таблиця 2

Результати випробувань бетону

№	Показники	Од. вим.	Метод визначення	Результати випробувань
1	Щільність у вологому стані	Mg/m ³	SM EN 13286-2:2022	2,22
2	Вміст води	%	SM EN 13286-2:2022	7,4
3	Міцність при стисканні	MPa	SM EN 13286-41:2022	7,3
4	Міцність після витримання у воді	≥ 0.8	SM EN 14227-5:2015	0,72

Висновки: Суміші дисперсні, укріплені гідравлічним в'язучим для доріг C_{5/6} згідно з гранулометричною кривою і міцністними показниками відповідають вимогам EN 14227-5:2015. Суміші дисперсні, укріплені дорожнім гідравлічним в'язучим, та можуть бути рекомендованими для основи або додаткових шарів дорожнього покриття.

ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНІВ ІЗ ВИСОКОРУХОМИХ СУМІШЕЙ З ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ

Толмачов С. М., *д.т.н., проф.*, Захарченко Є. О., Сажко П. М., *асп.*,
Покуса Ю. П., *маг.*

*(Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
Україна)*

В останні кілька десятиліть в світі поширюється використання високорухомих і литих сумішей, які застосовують для промислового і цивільного житлового будівництва. Звичайно, ці суміші призначені для отримання високоміцних бетонів, які є необхідним компонентом багатопверхових будівель, або спеціальних споруд, до яких висувають високі вимоги. Склад таких сумішей є досить складним, і налічує від 8 до 12 компонентів.

Отримання високоміцних бетонів, класів не нижче В35 із високорухомих бетонних сумішей марки за легкоукладальністю S4, на думку деяких авторів, можна забезпечити за рахунок застосування різних хімічних добавок: пластифікаторів, прискорювачів твердіння, стабілізаторів. Однак, використання традиційних суперпластифікаторів на основі меламін- або нафталінформальдегідів, а також, модифікованих лігносульфонатів у разі їх передозування, або зниження температури навколишнього середовища нижче +20°C, дії інших факторів, може призводити до уповільнення твердіння бетонів у початковий період. Особливо це виражено при використанні суперпластифікаторів на основі модифікованих (очищених від цукрів) лігносульфонатів.

Одним із варіантів прискорення набору міцності при високій рухомості бетонних сумішей і підвищених витратах суперпластифікатора є застосування тонкомелених мікронаповнювачів, зокрема мікрокремнезему, або метакаоліну в необхідній кількості.

У цьому випадку до гідратаційного твердіння цементу ми додаємо можливість проходження пуцоланової реакції, яку забезпечує мікронаповнювач. Поєднання комплексу «мінеральна добавка і суперпластифікатор» отримало назву орґано-мінерального комплексу (ОМК). Використання такого комплексу дає можливість не тільки нівелювати можливий негативний вплив добавок, а й отримувати високорухомі суміші для бетонів спеціального призначення, зокрема дорожніх та аеродромних. Однак, на нашу думку, для цього в ОМК необхідно застосовувати сучасні полікарбоксилатні

суперпластифікатори (ПКС) замість меламінформальдегідних або лігносульфонатних.

Метою цієї роботи є дослідження впливу ОМК, що містять ПКС, на властивості дорожніх бетонів з високорухомих сумішей.

У дослідженнях застосовували хімічні добавки виробництва фірми MC-Bauchemie (Німеччина) : Centrament N9 – добавка на основі модифікованих лігносульфонатів, Fk 59 - сучасний полікарбоксилатний суперпластифікатор. Повітровтягувальна добавка Air 202 сприяє утворенню в структурі бетону рівномірно розподілених пор і підвищенню морозостійкості.

В'яжуче – ПЦ I-500P-N (СЕМ I 52,5N) виробництва філії «ЮГцемент» ПрАТ «Дікергофф Цемент Україна». Пісок кварцовий Новопавлівського кар'єру Полтавської області та щебінь гранітний Рижівського кар'єру Полтавської області фракцій 5-10 мм та 10-20 мм.

До складу бетонних сумішей додавали мінеральну добавку «Універсал ВМ» виробництва Україна.

Склади бетонів : 1 – без добавок; 2 – Centrament N9 (0,5%), Air 202 (0,1%), «Універсал ВМ» (4%); 3 - Centrament N9 (0,5%), Air 202 (0,075%), «Універсал ВМ» (4%); 4 - Fk 59 (0,6%), Air 202 (0,075%), «Універсал ВМ» (4%).

Витрата цементу: у складі 1 – 430кг/м³, у складах 2-4 – 370 кг/м³. ОК сумішей : склад 1 – 14см, склад 2 – 14см, склад 3 – 16 см, склад 4 – 17см. В/Ц у складах : 1- 0,52; 2 – 0,4; 3 – 0,4; 4 – 0,37.

У складі бетону з витрату добавки Air 202 було зменшено, оскільки вміст залученого повітря у складі 2 було завищено. У контрольному складі кількість додатково залученого повітря була на рівні 2%, у складі 2 – 5,8%, у складі 3 – 4,2%, а у складі 4 – 4,6%.

Дослідження показали, що заміна добавки Centrament N9 на полікарбоксилат Fk 59 призводить до зниження В/Ц, підвищення рухомості бетонної суміші і забезпечує необхідний об'єм втягнутого повітря на рівні 4...6 % (згідно рекомендацій ДСТУ 8858:2019 «Суміші цементобетонні дорожні та цементобетон дорожній. Технічні умови»). При цьому витрата цементу знижується на 14%, а рухомість суміші зростає.

Цікаво, що середня густина високорухомих бетонних сумішей значно змінюється в залежності від наявності добавок (рис.1). У складі без добавки, незважаючи на практично відсутність залученого повітря, середня густина нижче 2300 кг/м³ і з такої суміші не можна виготовляти дорожній бетон. У сумішах з ОМК, незважаючи на підвищену кількість повітря, середня густина знаходиться на рівні 2380..2430 кг/м³. Ймовірно це пов'язано з тим, що повітря в них

дисперговане у вигляді бульбашок розміром $10^{-6} \dots 10^{-5}$ м, на відміну від контрольного складу, в якому повітряні бульбашки дуже великі і скоріше є дефектами структури.

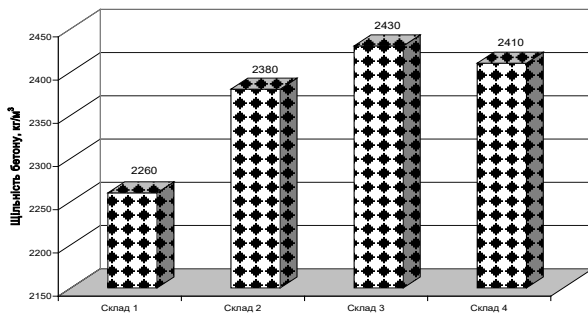


Рис.1 Середня густина бетонних сумішей

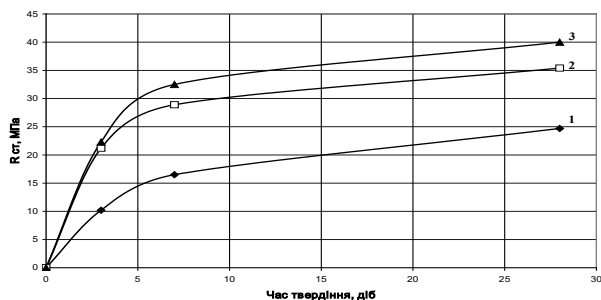


Рис.2 Кінетика набору міцності бетонів при стиску
1- контрольний склад, 2 – склад 3, 3 – склад 4

Дослідження зростання міцності бетонів із високорухомих сумішей із добавками показали, що введення мікронаповнювача істотно впливає на швидкість набору міцності (рис.2). Цілком ймовірно, що введення мікронаповнювача до складу суміші призводить до ущільнення мікро- та мезоструктури бетонів, підвищує однорідність і стійкість бетону до сегрегації при віброущільненні. Це відбувається за рахунок того, що до складу введено велику кількість мікрочастинок з високою поверхневою енергією, яка проявляється у вигляді виникнення та подальшого існування множини електростатичних контактів. Можливо, у цьому проявляється ще один механізм дії мікронаповнювачів (крім ущільнюючого та пуцоланічного). Це сприяє швидкому зростанню міцності бетонів на першому етапі твердіння.

Тоді ці механізми не залежать від ефективності хімічної добавки, і ефект дії суперпластифікатора може нівелюватися.

Подальші дослідження показали, що створення структури високої густини веде до різкого зниження водопоглинання. Результати показують, що водопоглинання бетонів без добавки становить 3,7...3,8%, і з ОМК, незалежно від типу добавки - 1,0...1,2 %. Це опосередковано підтверджує висловлене вище.

Найбільш важливими властивостями дорожніх і аеродромних бетонів є їх здатність ефективно чинити опір дії зовнішніх агресивних середовищ. До них відносяться циклічне заморожування-відтавання в стані насичення водним сольовим розчином, а також механічне зношування (стирання бетонів) при дії автотранспорту.

Таблиця 1 – Морозостійкість бетонів

№ складу	Коефіцієнт морозостійкості після кількості циклів за прискореною методикою		
	10	20	37
Склад 1	0,90	0,78	-
Склад 2	1,05	1,00	0,97
Склад 3	1,0	0,98	0,95
Склад 4	1,04	1,08	1,01

*10 циклів випробування відповідають 150 циклам за звичайною методикою, 20 циклів - 200 циклам звичайної, а 37 циклів - 300 циклам звичайної.

Дослідження показали, що введення у високорухливі суміші ОМК сприяє значному збільшенню морозостійкості бетонів. Практика будівництва об'єктів показала, що дорожні та аеродромні бетони, у складі яких знаходиться полікарбоксилатний суперпластифікатор та повітровтягувальна добавка гарантовано мають морозостійкість на рівні марки F200, тобто, витримують 200 циклів заморожування-відтавання в насиченому сольовим розчином стані. Однак не всі ці бетони можуть витримати подальші випробування. Бетони з ОМК, у складі якого є полікарбоксилат, мають марку морозостійкості вище F300. Що стосується зносостійкості бетонів з ОМК з високорухомих сумішей, то результати випробувань свідчать про зниження їх стирання в 1,6 ... 2,0 рази в порівнянні з бетонами без добавок і на 25% порівняно з бетонами в ОМК яких суперпластифікатор іншого типу.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В СИСТЕМІ НАПОВНЮВАЧ-ПОЛІМЕР

Трикоз Л. В., *д.т.н., проф.,* **Зінченко О. С.,** *асп.,* **Камчатна С. М.,**
к.т.н., доц.

*(Український державний університет залізничного транспорту,
Україна)*

Пустовойтова О. М., *к.т.н., доц.*

*(Харківський національний університет міського господарства
ім. О. М. Бекетова, Україна)*

Забезпечення довговічності ремонтно-відновлювальних матеріалів для бетонних та залізобетонних конструкцій є важливим завданням, особливо для споруд, що експлуатуються в умовах впливу агресивних середовищ. Полімерні речовини, модифіковані різного виду наповнювачами, широко використовуються для захисту різноманітних конструкцій. Багато дослідників пропонують додавання дрібних частинок для зниження усадкових деформацій полімеру та отримання більш щільної структури. Серед них зола-винесення, вапняковий заповнювач, заповнювач з пісковика, мікрокремнезем та інші. Для забезпечення необхідної адгезійної та когезійної міцності необхідно з'ясувати процеси структуроутворення на границі полімер-наповнювач. У роботі досліджується ремонтний склад, у якому зв'язуючим є поліметилметакрилат, а наповнювачем – дрібномелений пісок.

Акрилові в'язучі, як і всі полімерні матеріали, що містять дрібнодисперсні наповнювачі і домішки, є гетерогенними системами з сильно розвиненою міжфазною поверхнею і складною структурою. Заповнювачі та добавки в таких сумішах поділяють на активні та неактивні. Активні здатні впливати на зміну субмолекулярних утворень, часу релаксації, термодинамічних параметрів. Будучи структурними центрами, активні наповнювачі мають орієнтуючу дію на полімер і утворюють впорядковані тонкі плівки. Ці поверхневі плівки мають кращі механічні властивості порівняно з полімером в об'ємі. Важливо підібрати оптимальну кількість заповнювача, при відхиленні від якої ефект ущільнення не досягається. При додаванні невеликої кількості активного заповнювача і домішок (5-10 %) міжмолекулярна глобулярна структура порушується внаслідок утворення поверхневих шарів. Система виходить із стану рівноваги та збільшує власну вільну енергію, тоді як щільність упаковки зменшується. Коли наповнювача занадто багато, з частинок наповнювача, які з'єднуються між собою через тонкі полімерні

прошарки, утворюється занадто пориста структура. Міцність зростає разом зі значенням активної поверхні до певного максимуму, який відповідає гранично орієнтованому шару полімолекулярного зв'язуючого.

Активні поверхневі центри обумовлюють властивості поверхні як неорганічних, так і органічних дисперсних матеріалів. Молекули полімеру адсорбуються на поверхні кремнеземного наповнювача і утворюють шар з упорядкованою макромолекулярною структурою. Шар і його зчеплення з наповнювачем міцніше полімеру в об'ємі. Орієнтуючий вплив активних центрів поширюється до 200 нм від твердої поверхні і визначає досить великий радіус дії, який зменшується з віддаленням від поверхні. Дальнодійність активних центрів значною мірою впливає на процеси полімеризації та структуроутворення полімерної акрилової композиції. Гідроксильні групи ОН є активними центрами на поверхні піщаного наповнювача. З іншого боку, молекули поліметилметакрилату мають функціональні групи С=О. Зв'язок між полімером і наповнювачем забезпечується диполь-дипольною взаємодією між гідроксильними групами і функціональними групами, а також водневими зв'язками.

Дана схема дає підґрунтя для теоретичного підтвердження міцності наповненої акрилової композиції, що складається з поліметилметакрилату і кварцового піску. Ці два матеріали мають електричні властивості поверхні завдяки поверхневим зарядам (активним центрам) і дипольним функціональним групам. Дослідження такого роду взаємодії виконано методом інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії.

Порівняння ІЧ-спектрів ненаповненого та наповненого складу показало, що положення смуг кварцу залишалися незмінним. У той самий час деякі характерні смуги полімерів істотно змістилися порівняно з ненаповненими композиціями, і відбулося:

- розділення смуги 1728 см^{-1} на два піки;
- розширення смуги 1152 см^{-1} (валентні коливання С–О–С);
- значне розширення групи смуг $1220\text{--}1242\text{ см}^{-1}$ (валентні коливання С = О);
- розширення смуги $1100\text{--}1000\text{ см}^{-1}$ і зміщення до 1150 см^{-1} , що свідчить про взаємодію активних центрів на поверхні наповнювача з дипольними функціональними групами полімерів.

Результати дослідження ІЧ-спектрів свідчать про зміну інтенсивності міжмолекулярного притягання в полімері. Це дозволяє підтвердити теоретичну оцінку адгезійної взаємодії, що визначає характеристики міцності наповненого акрилового компаунду.

Структура починає формуватися за рахунок електричного притягання негативно заряджених функціональних груп і позитивно заряджених активних центрів. У процесі полімеризації молекули полімеру згортаються в глобули та утворюють надмолекулярну структуру наповненої композиції. У міру зростання полімерної сітки поровий простір між зернами кварцу заповнюється глобулами. Формується мікроструктура наповненої композиції, що характеризується великою щільністю та міцністю. Отже, досліджувана композиція може бути використана для ремонту і відновлення конструкцій. Це важливо для довговічності споруд, оскільки продовжить термін їх експлуатації, а також зменшить витрати на експлуатацію та ремонт.

USE OF TOPOLOGICAL MODELS IN THE STUDY OF RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF POLYMERS UNDER DYNAMIC CONDITIONS

Trofimova L. E., *PhD, Associate Prof.*

(Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine)

Some features of the rheological behavior and morphology of systems which contain liquid crystalline polymers are considered from the standpoint of the theory of catastrophes [1]. According to the data provided by Kulichikhin with co-workers, the presence of the LC component causes characteristic *N*-kinks in the flow curves of polymer systems [2]. Thus, a significant change in the configuration of rheological curves was recorded at 250° C for mixtures of polysulfone (PSF) and LC-copolyester (SPES) in the concentration range of the latter 19–68 vol. %. A clearly distinguishable *N*-shaped anomaly of the flow process is characteristic of the composition, which includes 42 vol. % SPES, after mixing in a rotary-plunger mixer for 30 seconds. An increase in the mixing time τ to 60 seconds leads to the disappearance of the maximum shear stress on the graph and the dependence acquires a monotonic form typical for viscoplastic systems. At the beginning of the deformation process, both mixtures have a chaotic morphology of coexisting phases, but with smaller morphological elements in the second case. At the same time, prolonged mechanical action practically does not change the initial morphology in all sections of the monotonic flow curve. In the first case, the appearance of a characteristic maximum indicates structural transformations in a mixture of melts from a coarser initial morphology to the appearance of LC arcs, which at the final stage of deformation transform into perfect concentric rings. The formation of the descending branch of the rheological curve (the so-called "stall effect") is associated with the peculiarities of the evolution of morphology in the shear flow caused by the presence of a low-viscosity LC melt.

Thus, as shown in [2], the final morphology depends on the initial system, predetermined, in turn, by the mixing mode with a large difference in the viscosities of the components. Intense mixing enhances the interphase interaction between the high-viscosity PSF and the low-viscosity LC polymer. As a result, the morphology of the coexisting phases is strengthened and the shear transition to a drop-matrix emulsion is suppressed, followed by the extension of LC drops into anisotropic structural elements. In this situation, the above arguments can be supplemented by the assumption of an increase in the degree of non-equilibrium of the system, which results in the formation of a finer initial

morphology. In addition, the qualitatively obvious similarity of the experimental curves with the sections of the “fold” model clearly illustrates the change in the nature of the relationship between rheological properties and flow morphology with decreasing mixing time. Consequently, the complication of the form of dependence, starting from a certain critical shear rate, fits into the standardized scheme of the development of processes in dynamic nonequilibrium conditions and is natural under similar circumstances.

It is also necessary to note a qualitative feature of the “tip” type, which is present in the characteristic concentration dependences of the viscosity of solutions of four samples of poly-*n*-benzamide (PBA) of different molecular weights, obtained and investigated by Malkin, Papkov and co-workers [3]. The experimental graphs clearly show the main feature of these dependences - the existence of a pronounced maximum of viscosity η in the range of *C* concentrations corresponding to the transition of the solution to the LC state. The recorded maximum viscosity corresponds to the inversion of the isotropic and anisotropic phases (the moment when the LC phase becomes a matrix). Typically, the critical transition concentration decreases with increasing molecular weight of the polymer.

Noteworthy is the fact that the generalized concentration dependence of the viscosity of the PBA solution is similar in shape to the projection of the “ruffle” catastrophe on the plane of the control parameters η and *C*. The fold lines correspond exactly to those combinations of the indicated parameters that lead to abrupt changes in the state of the system.

Thus, the qualitative patterns of behavior ("signs of a catastrophe") of the systems under study, experimentally discovered in [2, 3], make it possible [1] to simulate the general picture of the processes taking place.

1. Trofimova L. Modeling and optimization of technology and physics-mechanical properties of composite materials. Key Engineering Materials. 2020. Vol. 864. P. 59–65.
2. Куличихин В.Г., Плотникова Е.П., Терёшин А.К., Субботин А.В. и др. Реологические свойства и межфазные эффекты в гомофазных анизотропных полимерах. Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2000. Т. 42. № 12. С. 2235 – 2264.
3. Куличихин В.Г., Малкин А.Я., Папков С.П., Королькова О.Н. и др. Вискозиметрические критерии перехода растворов поли-*n*-бензамида в жидкокристаллическое состояние. Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1974. Т. 16. № 1. С. 169 – 174.

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕРІЗІВ ПІДСИЛЕНИХ КОМПОЗИТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Фірсов П. М., к.т.н., доц., Каафарані Башар Алі, асп.

*(Харківський національний університет міського господарства імені
О. М. Бекетова, Україна)*

Композитні матеріали (або FRP матеріали) використовуються в різних сферах будівельної галузі України вже багато років. Наприклад, системи композитних матеріалів (СКМ) для зовнішнього армування призначені для ремонту і підсилення несучих конструкцій з метою усунення наслідків руйнування бетону і корозії арматури в результаті тривалого впливу природних факторів і агресивних середовищ в процесі експлуатації будівель і споруд.

На стадії будівництва і експлуатації підсилення СКМ дозволяє вирішити такі завдання: усунути помилки проєктування або виконання робіт, збільшити несучу здатність конструкцій при збільшенні розрахункових навантажень, а також усунути наслідки пошкодження несучих конструкцій, які виникли вже в ході експлуатації. Технологія передбачає наклеювання високоміцних матеріалів на поверхню конструкції за допомогою епоксидних або акрилових компаундів. Переваги застосування системи зовнішнього армування очевидні. Це, перш за все, скорочення трудових витрат (не потрібно ніякої додаткової громіздкої техніки, роботи можна проводити без зупинки експлуатації об'єкту). Проте, недосконалість вітчизняних будівельних норм щодо підсилення конструкцій системами композитних матеріалів вимагає врахування вимог зарубіжних нормативів (ACI, CNR тощо).

Аналіз балки прямокутного перерізу, із зовнішнім армуванням композитними матеріалами, ґрунтується на загальних принципах розрахунку залізобетонних конструкцій [1, 2]. Проте при включенні в роботу композитного матеріалу необхідне врахування наступних можливих режимів відмови підсиленого перерізу:

1. Розрив або відшарування композитного матеріалу від бетонної основи, з припущенням, що сталь вже деформувалась.
2. Повне руйнування бетону після деформування сталі.
3. У випадку, якщо при підсиленні застосована надмірна кількість композитного матеріалу, переріз може стати переармованим та бетон може зруйнуватися до того моменту коли сталь деформується.

Третій випадок на практиці фіксується вкрай рідко, тому в подальшому аналізі увага буде зосереджена саме на перших двох можливих режимах відмови.

На рис. 1 приведений розподіл напружень та деформацій в залізобетонному перерізі, із зовнішнім армуванням композитним матеріалом, при його граничній міцності на згин.

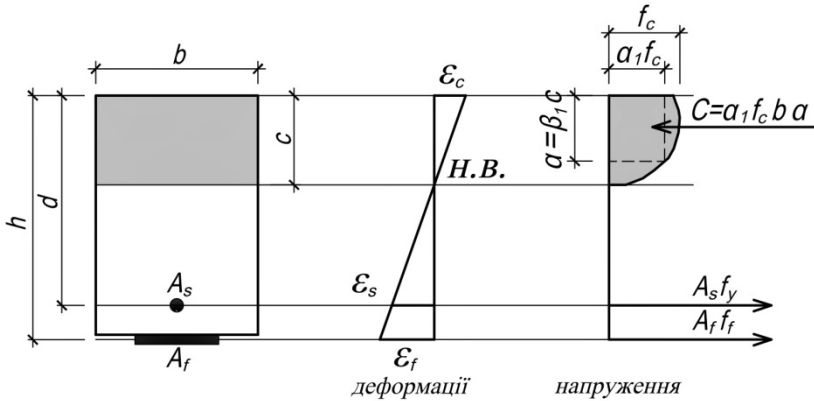


Рис. 1. Зусилля в залізобетонному прямокутному перерізі з підсиленням композитним матеріалом

Передбачається лінійний розподіл деформацій. Розподіл напружень показує, що зусилля розтягу сприймаються не тільки сталевую арматурою, а й композитним матеріалом. Над нейтральної віссю (Н.В.) розподіл напружень стиску в бетоні приймає нерівномірну форму. Граничне значення стиску волокна в бетоні знаходиться при граничній деформації $\epsilon_c = 0,003$, згідно рекомендацій АСІ 318-19 [3].

В перших двох режимах відмови повне руйнування перерізу відбувається якщо композитний матеріал (розрив або відшарування) або бетон (руйнування) досягають величини критичної деформації. Припускається, що сталева арматура вже деформувалась до того часу коли була досягнута одна з цих критичних деформацій. Проте, для визначення повного розподілу деформацій і несучої здатності перерізу, необхідно знайти нейтральну вісь. Нейтральна вісь знаходиться шляхом ітерації при забезпеченні умов рівноваги і сумісності матеріалів в перерізі. Наступні кроки характеризують весь ітераційний процес.

1. Визначається гранична деформація в композитному матеріалі $\epsilon_{f,lim}$. Ця величина буде мінімальною для вірогідної деформації відшарування та граничної деформації композитного матеріалу.

2. Задається попереднє значення висоти нейтральної вісі.

3. Відштовхуючись від попередньо заданої висоти нейтральної вісі, необхідно перевірити бетон та композитний матеріал на можливі пошкодження. Ефективним способом для цього є розрахунок деформацій на рівні композитного матеріалу, коли граничний стиск бетону знаходиться на межі граничних деформацій $\varepsilon_c = 0,003$ [3]:

$$\varepsilon_{f,crush} = \varepsilon_c \left(\frac{h-c}{c} \right) - \varepsilon_{initial}, \quad (1)$$

де h – загальна висота перерізу; c – розрахункова висота нейтральної вісі; $\varepsilon_{initial}$ – початкове напруження в нижній частині балки при підсиленні композитним матеріалом.

Якщо значення ε_s менше ніж попередньо розрахована межа деформацій композитного матеріалу (через відшарування або розрив), то розрахунок контролюється руйнуванням бетону.

4. Розраховуються деформації в сталевій арматурі:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_f + \varepsilon_{initial}) \times \left(\frac{d-c}{h-c} \right), \quad (2)$$

де d – висота від поверхні стиску до сталеві арматури; ε_f – мінімальне значення деформації композитного матеріалу.

5. Розраховуються напруження в сталевій арматурі f_s та напруження в композитному матеріалі f_f з урахуванням деформацій та модулів пружності обох матеріалів (E_s та E_f відповідно):

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y; \quad (3)$$

$$f_f = E_f \varepsilon_f. \quad (4)$$

У випадку, якщо напруження в сталі перевищують її межу плинності f_y , то необхідно обмежити поточні напруження до f_y .

6. Встановлення коефіцієнтів напружень для бетону із розрахунком деформацій в зоні граничного стиску бетону:

$$\varepsilon_{ct} = c \left(\frac{\varepsilon_{initial} - \varepsilon_f}{h-c} \right). \quad (5)$$

Далі, ці значення використовуються для розрахунку коефіцієнтів напружень α_1 та β_1 через рівняння:

$$\beta_1 = \frac{4 - \frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_c}}{6 - 2 \times \frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_c}}; \quad (6)$$

$$a_1 = \frac{1}{\beta_1} \left[\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_c} - \frac{1}{3} \left(\frac{\varepsilon_{ct}}{\varepsilon_c} \right)^2 \right]; \quad (7)$$

$$\varepsilon_c = \frac{f_c}{E_c} \times \frac{n}{n-1}; \quad (8)$$

$$n = 0,8 + \frac{f_c}{17} \text{ (МПа)}. \quad (9)$$

де f_c – міцність бетону на стиск; E_c – модуль пружності бетону.

7. Для визначення нейтральної вісі використовується рівняння рівноваги:

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_f}{a_1 \beta_1 f_c b} \quad (10)$$

де A_s – площа поперечного перерізу сталевий арматури; A_f – площа поперечного перерізу композитного матеріалу підсилення; b – ширина балки (перерізу бетону).

8. Шляхом ітерації необхідно довести значення нейтральної вісі до величини, коли пробне значення та значення розраховане за формулою (10) будуть дорівнювати одне одному (хоча б приблизно).

9. Після того, як нейтральна вісь остаточно визначена, необхідно визначити розрахунковий момент в перерізі:

$$M = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A_f f_f \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right). \quad (11)$$

Після розрахунку несучої здатності перерізу, значення, які характеризують обсяг композитного матеріалу, мають бути скореговані, доки несуча здатність перерізу не відповідатиме фактичним навантаженням. Варто зауважити, що на бетонну конструкцію може бути нанесено доволі багато шарів композитного матеріалу, проте, якщо препрег не виготовлений з тонкої тканини, цілком вірогідна поява надмірних напружень відшарування, тому малоймовірно, що життєздатні системи підсилення буде створено з більше ніж трьох шарів композиту.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 71 с.

2. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings. – Brussels: European Committee for Standardization, 2004. – 225 p.

3. ACI 318-19. Building code requirements for structural concrete. – Farmington Hills: American Concrete Institute, 2019. – 628 p.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВИМИВАННЯ АНТИПІРЕНІВ З ПОКРИТТЯ ДЕРЕВИНИ

Цапко Ю. В., д.т.н., проф.

*(Національний університет біоресурсів і природокористування,
Україна)*

Бондаренко О. П., к.т.н., доц.

*(Київський національний університет будівництва і архітектури,
Україна)*

Цапко О. Ю., к.т.н., доц., с.н.с.

*(Київський національний університет будівництва і архітектури,
Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс",
Україна)*

Горбачова О. Ю., к.т.н., доц.,

*(Національний університет біоресурсів і природокористування,
України)*

Мазурчук С. М., к.т.н., доц.

*(Національний університет біоресурсів і природокористування,
України)*

Моцна Д. О., студ.

*(Київський національний університет будівництва і
архітектури, Україна)*

Одним з основних матеріалів для виготовлення будівельних конструкцій є деревина, яка за групою горючості відносять до горючих матеріалів, а тому постає необхідність вогнезахисного оброблення ефективними засобами. Експлуатаційна надійність і ефективність вогнезахисту деревини та деревинних матеріалів залежить від якості та реакційної здатності вогнезахисного засобу, а також від класу умов експлуатації об'єкта, де застосовуються ці матеріали [1].

На практиці має бути виправданим те, що вогнезахисне покриття, яке забезпечує певну нормовану ефективність, може використовуватися лише з урахуванням характеру зміни його вогнезахисних властивостей в процесі експлуатації [2]. З часом вогнезахисна ефективність може зменшуватися, тому що відбуваються процеси вимивання антипірену, а гальмування процесу вимивання антипіренів у вогнезахисному матеріалі є актуальним застосування полімерного покриття, що утворює на поверхні полімерну оболонку.

Дослідження протидії вимиванню захисного засобу з деревини, обробленою вогнезахисною композицією, проводили на зразках прямошарової деревини розміром 150×60×30 мм (рис. 1).

Зразки обробляли покрівельним просочувальним розчином «Skela-і» (суміш карбаміду 28...30% і фосфорних кислот 23...24% та крохмалю 20%) у кількості 270,2 г/м². Для підвищення стійкості проти дії води зразки покривали полімерними сумішами на основі поліуретанових органічних покриттів виробництва України у кількості 100 г/м².

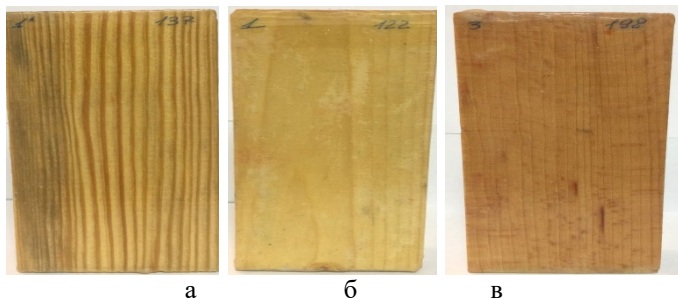


Рис. 1. Модельні зразки деревини для випробувань: а – сосна; б – смерека; в – бук

Для одержання значень масопереносу антипірену з деревини розроблено і виготовлено спеціальне обладнання (рис. 2).

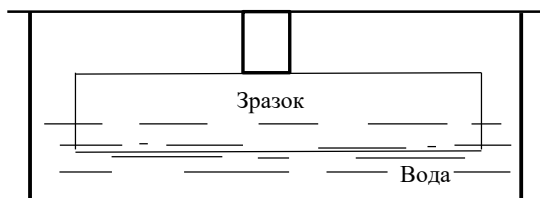


Рис. 2. Пристрій для випробувань на вимивання вогнезахисних засобів

Зразки оброблені вогнезахисною композицією та нанесеним захисним шаром з обробленими парафіном торцями (товщиною 2 мм), поміщали й закріплювали в кюветі з дистильованою водою об'ємом 100 см³ (рис. 2) Через певний проміжок часу, перемішавши розчин скляною паличкою, за допомогою піпетки відбирали 5 см³ води та визначали в ній концентрацію антипірену.

У разі застосування полімерного покриття вміст антипірену на поверхні полімерної оболонки було прийнято рівним 1% від його початкового вмісту в деревині при $F=0,0001$ і $N=0,0001$, результати розрахунку наведені в табл. 1.

На рис. 3 показано залежності значення концентрації антипірену в об'ємі зразка зі зміною товщини полімерної оболонки.

Таблиця 1 – Розподіл концентрації антипірену в шарах вогнезахисного покриття при застосуванні полімерної оболонки

Перетин зразка	Ітерації									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
На поверхні зразка	0,08	0,1	0,11	0,09	0,06	0,036	0,011	0,0	0,0	0,00
На межі поділу полімерної оболонки і покриття	0,115	0,117	0,131	0,148	0,163	0,175	0,185	0,193	0,201	0,209
На глибині $\frac{1}{4}$ товщини	0,991	0,950	0,899	0,856	0,822	0,795	0,775	0,762	0,754	0,749
На глибині $\frac{1}{2}$ товщини	1,000	0,999	0,998	0,995	0,989	0,983	0,976	0,971	0,966	0,960

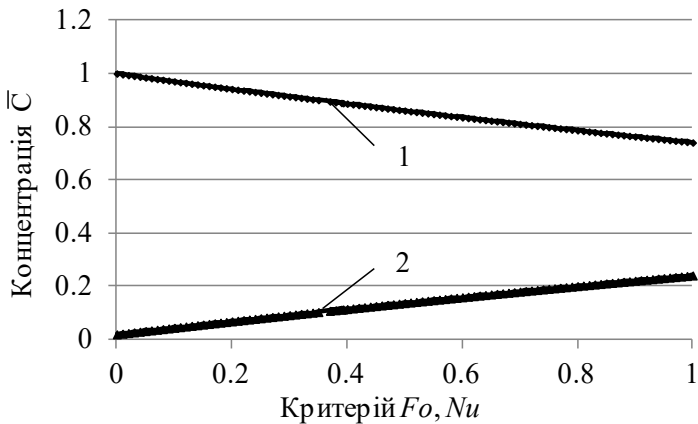


Рис. 3. Зміна концентрації захисної речовини \bar{C} в деревині залежно від Fo (1) та Nu (2)

Як видно з рис. 3, можемо спрогнозувати, що полімерна оболонка, за розрахованих параметрів табл. 1, не зруйнувалася.

Таким чином, отримано можливість визначати параметри процесу вимивання антипіренів з деревини через полімерну оболонку в оточуюче водне середовище. При цьому процес вимивання антипіренів з деревини залежить від фізико-хімічних властивостей композиції, її первісного розподілу в обробленій деревині, а також від умов навколишнього середовища.

Література:

- [1] Khalili P., Tshai K.Y., Hui D., Kong I. Synergistic of ammonium polyphosphate and alumina trihydrate as fire retardants for natural fiber reinforced epoxy. *Composites Part B: Engineering*. 114 (2017) 101-110.
- [2] Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Establishment of heat-exchange process regularities at inflammation of reed samples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1 10 97 (2019) 36-42.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ПОВЕРХНЕВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НА ТЕРМІЧНОМОДИФІКОВАНІЙ ДЕРЕВИНІ

Цапко Ю. В., д.т.н., проф.

*(Національний університет біоресурсів і природокористування
України)*

Бондаренко О. П., к.т.н., доц.

*(Київський національний університет будівництва і архітектури,
Україна)*

Цапко О. Ю., к.т.н., доц., с.н.с.

*(Київський національний університет будівництва і архітектури,
Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс",
Україна)*

Горбачова О. Ю., к.т.н., доц.

*(Національний університет біоресурсів і природокористування
України)*

Мазурчук С. М., к.т.н., доц.

*(Національний університет біоресурсів і природокористування
України)*

Похилій С. І., студ.

*(Київський національний університет будівництва і
архітектури, Україна)*

В будівництві все більш інтенсивно ведеться пошук нових високоефективних способів захисту деревини від руйнування. Оскільки захист деревини сьогодні повинен не тільки підвищувати її експлуатаційні параметри, а й вирішувати екологічну безпеку.

Одним з методів підвищення рівня експлуатації є термічне модифікування деревини, яке широко застосовується в деревообробній промисловості, оскільки підвищує стійкість матеріалу до чинників зовнішнього середовища. А саме, зменшення адсорбції води за рахунок зменшення доступних вільних гідроксильних груп вуглеводів. В результаті зменшення гігроскопічності деревини сприяє стабільності розмірів обробленого матеріалу, оскільки набрякання та всихання в основному пов'язані з явищами поглинання та десорбції води [1]. Однак, при модифікуванні деревини (зокрема тривалості та температури впливу) не завжди досягається необхідна стійкість до проникнення в деревину тих чи інших чинників, а застосування такої деревини в агресивному середовищі призводить до її швидкого руйнування [2].

Опорядження деревини спеціальними речовинами змінює як зовнішній вигляд, так і хімічні властивості деревини. У деяких випадках термічна обробка може збільшити цінність матеріалу, імітуючи поверхню тропічних порід, які цінуються в багатьох країнах, а додаткове оброблення розширює сферу застосування та підвищує довговічність виробів з термічно модифікованої деревини [3].

Для встановлення енергетичних характеристик матеріалів використовували зразки дубового шпону, як необроблений, так і термічномодифікований. Також було застосовано захисне покриття, що утворює на поверхні безбарвну плівку та здатне створити захисний шар, а саме, суміш масловоску, лазурі. Окрім того, застосовували клей для деревини, зокрема ПВА.

Для проведення випробувань з визначення крайового кута змочування використовували зразки шпону розмірами 50×50 мм, товщиною 0,7 мм, предметний столик, горизонтальний мікроскоп, піпетка (рис. 1).



Рис. 1. Визначення крайового кута змочування покриття

Визначення поверхневого натягу проводили за методом Дю Нуї (рис. 2).



Рис. 2. Визначення поверхневого натягу покриття

Визначення поверхневого натягу проводили наступним чином: у кювету поміщали досліджувану рідину та встановлювали на торсійних вагах [4]. У рідину поміщали металеве кільце і після його занурення поступово витягували, контролюючи значення шкали на вагах. Поверхневий натяг інтумесцентного покриття обчислюють за формулою:

$$\sigma = M \cdot F,$$

де M – показання шкали тензіометра;

F – коефіцієнт, який вираховується за формулою:

$$F = 0,7250 + \sqrt{\frac{0,03678 \cdot M}{R_2^2}} + P,$$

де P – константа, яка обчислюється за формулою:

$$P = 0,04534 - \frac{1,679 \cdot R_1}{R_2},$$

де R_1 – радіус дроту кільця, мм;

R_2 – радіус кільця, мм.

Для антисептика-гідрофобізатора за допомогою контактного кута і метода Фоукса розраховані полярні і дисперсні складові. Для визначення вільної енергії поверхні гідрофобізаторів було виміряно крайовий кут змочування тефлонової пластини (рис. 3) та розраховано складові ВЕП (табл. 1).



Рис. 3. Вид каплі покриття на фторопласті

Як видно з табл. 1, встановлено, що полярність масловоску вище, ніж у лазурі тому можна зробити висновок, що лазурь буде краще взаємодіяти з деревом, що містить більш високу концентрацію активного компонента, і навпаки, масловіск буде краще наноситися на дерево з мінімальною кількістю просочення.

В результаті проведених досліджень проаналізовано взаємопоєднання покриття з несучою матрицею матеріалу (термічномодифікованої деревини) за параметрами структури і

функціональності та встановлено, що послідовне змочування деревини покриттями знижує вільну поверхневу енергію в 2,5 рази, а полярність у 2 рази, що пов'язано з взаємодією сполук покриття зі ОН групами целюлози та лігніну. Поверхнєве покриття гідрофобізатором отриманих композитів призводить до вирівнювання полярностей гідрофобних сполучних і гідрофільного компонента деревини, що сприяє посиленню молекулярної взаємодії між контактуючими фазами.

Таблиця 1 – Крайовий кут змочування та складова вільної енергії покриття

Характеристики вільної енергії поверхні	Масловіск	Лазурь	Клей
Поверхневий натяг, мН/м	33,6	29,3	44,8
Крайовий кут змочування тефлона, θ , °	29,0	24,4	52,0
Полярна складова, мДж/м ²	6,6	3,7	12,2
Дисперсна складова, мДж/м ²	47,8	38,9	55,4
Загальна енергія, мДж/м ²	54,4	42,6	67,6
Порлярність розчину, %	12,1	8,7	18,0

Таким чином, збільшення активного компонента у модифікаторі призводить до зниження ВЕП і полярності поверхні деревини. У результаті комплексного підходу до вивчення змочуваності, полярності, міжфазного натягу можна підібрати стабільні покриття для деревини.

Література

[1] Candelier K., Thevenon M.-F., Petrissans A., Dumarcay S., Gerardin P., Petrissans M. Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review. *Annals of Forest Science*. 73 (2016) 571-58.

[2] Chen Y., Fan Y., Gao J., Stark N.M. The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood flour. *Bioresources*. 7 (2012) 1157-1170.

[3] Tsapko Yu., Horbachova O., Tsapko A., Mazurchuk S., Zavalov D., Buislykh N. Establishing regularities in the propagation of phase transformation front during timber thermal modification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1 10 109 (2021) 30-36. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.2253104.

[4] Traciak J., Fal J., Żyła G. 3D printed measuring device for the determination the surface tension of nanofluids. *Applied Surface Science*. 561 149878 (2021).

БЕТОНИ В УМОВАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Шевченко В. В. *наук. співроб.*, **Вировой В. М.** *д.т.н., проф.*,
Заволока М. В., *к.т.н., проф.*, **Сушицький Е. Б.** *наук. співроб.*
(*Одеська державна академія будівництва та архітектури,*
Україна)

Сучасні концепції будівництва базуються на реалізації завдань підвищення якості будівельних об'єктів із забезпеченням «життєвого циклу» будівельних конструкцій. У поняття «життєвий цикл» входять оцінки їх споживчої вартості з урахуванням фізико-механічних характеристик, довговічності і планованого терміну експлуатації.

Бетон являє собою вид будівельного матеріалу штучного походження, який отримують шляхом змішування в певних пропорціях різних компонентів. Історія бетону налічує багато років, міцність, надійність та довговічність якого, роблять його незамінним матеріалом для різного виду робіт і сьогодні.

Проаналізований розвиток будівельного ринку України та світу в цілому, показує, що виробництво цементу, а отже і бетону як універсального будівельного матеріалу, щорічно зростає. Яскравим прикладом цього в європейських країнах є, щорічне виробництво бетону, яке становить 580 млн.м³.

Для забезпечення необхідної якості вихідних складових бетонів, досягнення заданих фізико-механічних властивостей та дотримання їх технологічних умов виробництва при сучасних методах проектування складів є досить тривіальним завданням. В перелік завдань, відносять довговічність бетону та залізобетонних конструкцій - здатність матеріалу конструкцій протистояти зовнішнім планованим і випадковим навантаженням. Саме, в довговічність входять всі регламентні роботи з визначенням потреби експертних оцінок стану окремих конструкцій і всього будівельного об'єкту, визначенням часу проведення відновлювальних робіт по спеціально розробляються технологіям, використанням нових матеріалів і технологій, врахування можливих змін умов експлуатації тощо.

Вирішення задач по збільшенню довговічності окремих будівельних конструкцій і всього будівельного об'єкту необхідно вирішувати комплексно колективами проектувальників, будівельників і експлуатаційників. Усередині такого глобального завдання стоїть розкриття причин і механізмів зниження стійкості матеріалу конструкцій в період їх експлуатації. Це завдання, являлося

актуальним протягом усього історичного періоду зведення штучних будівель і споруд, та залишається актуальною і в наш час.

Різноманітність причин, що викликають зниження довговічності, не дозволяє виділити загальний критерій зовнішніх впливів, які викликають незворотні внутрішні структурні зміни. До важливих властивостей бетону, відносять його здатність адаптуватися до умов експлуатації. Особлива увага звертається на чергування циклів нагрівання-охолодження і зволоження-висушування, які можуть привести до передчасного зниження безпеки функціонування бетонних конструкцій. Матеріал конструкцій реагує на всю сукупність зовнішніх кліматичних впливів шляхом багаторазового зміни об'єму, що викликає зміни структури і, в підсумку, можливого зниження властивостей рівня нормованих значень. Повторювані зовнішні впливи, пов'язані зі зміною температури і вологості відносять до малоциклових впливів, що ведуть до втоми матеріалу.

Аналіз кліматичних умов експлуатації будівельних виробів та конструкцій показав, що вони знаходяться під дією постійних змін температури та вологості. Зміна вологісного стану пов'язана, як показав огляд літератури, із циклічною дією туманів, дощів, випадання роси і т.п. В роботах П.А. Ребіндера, О.В. Ликова, К.Г. Красильникова, К. Магієра, В.Нільсона та багато інших, розглянуті механізми виникнення та розвитку деформацій, пов'язаних із зміною вологості матеріалів. При цьому матеріали розглядаються як капілярно-пористі тіла. Згідно концепцій багатоосердкового структуроутворення в будівельних композиційних матеріалах спонтанно виникають структуроутворюючі центри на різних рівнях неоднорідностей. Це призводить до нерівномірного розподілення матеріальних часток, що в свою чергу, спонукає виникненню нових по відношенню до системи елементів структури-поверхонь розділу. Поверхні розділу ділять умовно безперервний матеріал на окремі структурні блоки (агрегати, кластери). Продовжуючі процеси структуроутворення ведуть до виродження частини поверхонь розділу в пори, капіляри та тріщини. Таким чином в матеріалі виникають елементи, які не входять до вихідних компонентів, але які впливають на подальші процеси структурних змін в умовах експлуатації, особливо в умовах безперервної зміни вологості. В перелічених роботах розглядаються питання, пов'язані із виникненням капілярного тиску при заповненні окремого капіляра водою. Отримані залежності інтерполюються на весь матеріал, який розглядається суцільним та неперервним. В результаті такої інтерполяції втрачається багато інформації про вплив зміни вологості на процеси, які відбуваються в матеріалах з певною

організацією структури. Для розширення уявлень про розвиток вологісних деформацій в структурно неоднорідних матеріалах була сформульована мета досліджень – розглянути та проаналізувати основні механізми розвитку вологісних деформацій в матеріалах з багатоосерковою організацією структури.

Аналіз процесів, що протікають у тріщинах при зволоженні матеріалу конструкцій, показав, що в результаті градієнтів капілярного тиску, що виникають, з урахуванням взаємодії поруч розташованих тріщин і їх форми відбувається зміна геометричних характеристик ТТ.

У загальному випадку розвиток тріщин при зволоженні та висушуванні матеріалу можна уявити як дискретно-безперервний процес. Дискретність процесу може бути пов'язана з циклічності типу «зволоження – висушування». Відбувається розвиток тріщини до певної довжини при зволоженні матеріалу. Зростання тріщини може призупинитись при повному насиченні обсягу тріщини водою. Тріщина перетворюється на метастабільний стан, який зберігається на весь період зволоження матеріалу. При висушуванні матеріалу з обсягу тріщини видаляється частина води, що призводить до прояву капілярних ефектів. На це одразу реагує тріщина та починає змінювати свої геометричні параметри.

Градієнти деформацій зі збільшенням обсягу матеріалу при зволоженні ведуть до появи деформацій зсуву як поверхневих, і внутрішніх ділянок матеріалу. До небезпечних ділянок слід віднести ділянки поверхні (кордону розділу) у яких змінюється або напрямок дії, або відносна величина деформацій. Виникаючі градієнти деформацій ведуть до розвитку деформацій зсуву, що може бути причиною зародження та розвитку тріщин експлуатації як при зволоженні, так і при висушуванні будівельних конструкцій.

Таким чином, як показав проведений аналіз, при перемінному зволоженні та висушуванні, змінюються параметри індивідуальних тріщин, відбувається взаємодія між тріщинами, що призводить до появи та розвитку деформацій зсуву. При цьому кінетика та величина виникаючих деформацій в значній мірі залежать вихідних генетичних характеристик технологічних тріщин. Взаємодія виникаючих деформацій на рівні індивідуальних тріщин та їх груп веде до розвитку об'ємних деформацій в зразках (виробах). Розподіл вологісних деформацій в зразках залежить від кінетики водопоглинання та від геометричних характеристик зразків. Виникаючі при цьому градієнти деформацій можуть бути причиною порушення цілісності матеріалу, що призводить до збільшення кількості експлуатаційних тріщин.

ВПЛИВ ВОДОВМІСТУ ЗАПОВНЮВАЧА НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ

Шевченко В. В., асп., Вировой В. М., д.т.н., проф.
(Одеська державна академія будівництва та архітектури,
Україна)

При призначенні технологічних прийомів приготування керамзитобетонної суміші важливе значення має водовміст та зміна його у часі. Водовміст визначає рухливість бетонної суміші, її легкоукладальність, та залежить від значення В/Ц. Керамзитовий гравій, що застосовується, характеризується відносно великою величиною поглинання вологи з розчинної складової. Слід врахувати, що цей процес за швидкістю різноманітний і залежить як від співвідношення капілярних та сорбційних властивостей керамзиту та суміші, так і від рухливості самої суміші, її вмісту води, істинного водоцементного відношення і т.д.

Проблема впливу однорідності керамзитобетону на властивості бетону розкрита поки що недостатньо. Про ступінь важливості обліку неоднорідності властивостей щодо окремих зерен пористого заповнювача немає єдиної думки. Відомо, що вода замішання витрачається на водопоглинання керамзиту та цементного тіста, змочування піску, випаровування в навколишню середовище. При цьому враховується, що близько 50% цементу не вступає в реакцію і залишається не прогідратованим. Розрахунки показують, що керамзитобетон містить вільної води приблизно в 4 рази більше за необхідний. А якщо врахувати, що волога в керамзитобетоні розподіляється між розчинною фазою і керамзитом (в основному в керамзиті від 35% до 70%), то стане очевидно, що занадто велика кількість її знаходиться в керамзитовому гравії. За цих умов через різноманітні за розмірами капіляри в гранулі керамзиту виникають різні по величині капілярні сили. В зв'язку з цим такі явища, як міграція вологи в системі «керамзит - розчинна фаза» та збільшення об'єму гранули керамзиту в період його водонасичення, будуть зменшуватися, що сприятливо впливає на формування структури керамзитобетону.

Дослідження, проведені П.А. Ребіндером, Г.В. Вульфом, М.І. Хігеровичем та В.С. Байером, Л.В. Жуковим, А.В. Волженським, та інших показали, що процеси, які проходять в бетоні при наявності поверхнево-активних речовин призводять до адсорбційного модифікування продуктів гідратації цементів, в результаті чого

новоутворення набувають кристалічні форми, відмінні від нормальних. В той же час ця добавка не змінює кристало хімічної природи новоутворень[3]. М.З. Симонов досліджував умови твердіння цементного каменю на пористих заповнювачах. Їм показано, що явище самовакуумування суміші пористим заповнювачем сприяє кращому формуванню структури контактної шару між цементним каменем та пористим заповнювачем, а також виключає седиментаційні явища, що мають місце в бетонах на щільних заповнювачах[4].

Процеси гідrataції при структуроутворенні цементно-водних композицій супроводжуються спонтанним переформуванням міжфазної поверхні розділу зі стану «тверде – газоподібне» в стан «тверде – рідке», що веде до зміни інтегрального енергетичного стану системи. При адсорбції асиметричних молекул води на твердій поверхні часток дисперсної фази виділяється частина енергії. Кількість цієї енергії має бути прямо пропорційною площі поверхні розділу та поверхневому натягу на границі розділу фаз (куту змочування). Це відбувається на фоні виникнення температурних градієнтів між поверхнею і об'ємом часток та між поверхнею часток і оточуючим дисперсійним середовищем. Внаслідок цього, температура поверхні часток, об'єму часток та дисперсійного середовища буде різною, $T_1 \neq T_2 \neq T_n$. В об'ємі системи виникають температурні градієнти, які сприяють розвитку внутрішнього масопереносу, прояву дифузійних процесів, активації поверхневих явищ й т.п. Таким чином, в системі, що включає мономінеральні частки дисперсної фази, спонтанно утворюються окремі джерела збудження або локальні невірніважені стани, які визначають подальші структурні зміни[2].

За рахунок вологих деформацій керамзитового гравію у свіжоприготовленому та зрілому керамзитобетоні спостерігається поява радіальних та тангенційних тріщин у зоні контакту в системі «керамзит – розчинна фаза». У зв'язку з цим структура контактної зони порушується, і це порушення прямо пропорційне величині набухання пористого заповнювача. Так, наприклад, у цементно-піщаному розчині величина усадки досягає 0,4-0,6 мм/м, а керамзитового гравію - 0,8-3 мм/м, тобто в 2-5 разів більше.

Найважливішим наслідком адсорбційного модифікування структури цементного каменю та заповнювача слід вважати зменшення перерізу пір. Чим менше пори, тим більше значення набуває орієнтація тонких шарів води і проявляється суттєві відхилення від властивостей рідини по масі. Щільність адсорбційного шару знаходиться в межах 1,2-2 г/см, температура замерзання нижче 195К, міцність при зсуві характеризується величиною порядку 10^4 Па.

У таких шарах відсутня плинність, завдяки чому практично звужується ефективний переріз пір, що сповільнює пересування вологи[1].

Для виявлення процесу водопоглинання згідно ДСТУ Б В.2.7-264:2011[1] і насичення в умовах вакууму водними розчинами, що містять пластифікуючу добавку СНП з питомою щільністю розчину $1,1 \text{ г/см}^3$, що прискорює добавку (рідке скло) з питомою щільністю розчину $1,15 \text{ г/см}^3$, було проведено комплекс випробувань на керамзиті з різною середньою густиною. Результати випробувань наведено на рис.1. З урахуванням фізико-механічних показників керамзиту, гідрофобізацію пористого заповнювача проводили безпосередньо при приготуванні бетонної суміші за рахунок зміни послідовності завантаження компонентів суміші в змішувачі при перемішуванні.

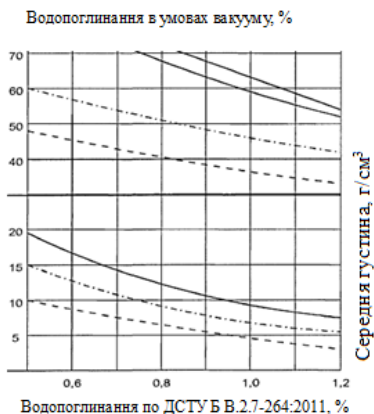


Рис.1. Залежність об'ємного водонасичення в умовах вакууму і об'ємного водопоглинання по ДСТУ Б В.2.7-264:2011 водних розчинів від середньої щільності.

Таким чином, попереднє насичення гранул керамзиту водними розчинами дозволяє зменшити:

- величину водонасичення (водопоглинання);
- капілярні сили;
- вологість деформації керамзиту;
- міграцію вологи в системі «керамзит - розчинна фаза»;
- підвищити міцність контактної зони.

Отримані результати показали, що насичення керамзитового гравію в умовах вакууму водними розчинами СНП і рідким склом зменшилися відповідно на 20-27% і 35-65% порівняно з насиченням їх водою. Відповідно, також знижується його поглинання при атмосферному тиску на 18-25% та 47-55%. Це свідчить про те, що водні розчини за рахунок орієнтованих шарів міцно пов'язаної води на твердій поверхні модифікують структуру пір керамзиту, тобто зменшують зріз пір, що знаходяться в ньому, що веде до утворення напівзамкнених пір.

Таким чином, скорочення тривалості періодів формування та зміцнення структури керамзитобетону за рахунок збільшення швидкості гідратації цементу та активності керамзиту дозволяє зменшити деструктивні явища в цементному камені та контактній зоні в системі «заповнювач - розчинна фаза» внаслідок зменшення значних вологісних деформацій керамзиту і міграції води. Враховуючи діалектику явищ, слід зазначити, що питання про попереднє водонасичення пористого заповнювача може бути раціонально вирішено в разі, якщо враховуватимуться фактори якісних змін як самого пористого заповнювача, так і зони його контакту з розчинною фазою. Підвищення якості керамзитобетонів залишається актуальним завданням, що на наш погляд, може бути досягнуто шляхом направленою структуроутворення та якісної підготовки заповнювачів.

1. ДСТУ Б В.2.7-264:2011 Заповнювачі пористі неорганічні для будівельних робіт. Методи випробувань.

2. Структуроутворення та руйнування будівельних композитів : навч. посіб. / В. М. Вировой, О. О. Коробко, В. Г. Суханов, Н. В. Казмірчук, С. С. Макарова. – Одеса : ОДАБА, 2020. – 172 с.

3. Ребіндер П.А. Про розвитку фізико-хімічної механіці / П.А. Ребіндер // В кі.: Теоретична та інструментальна реологія: Праці конференції по фізико-хімічної механіки дисперсних матеріалів, т.1.- Мінськ, 1970.- З. 3-7.

4. Симонов М.З. Про початковий модуль пружності бетону на природних вулканічних пористих заповнювачах. – М., 1966. – С.98-103.

5. Петров В.П. Підвищення однорідності керамзитового гравію / В.П. Петров, В.Я. Ратнівський// Будівельні матеріали, №8.- М., 1973. - С.26- 28.

ЗМІСТ

Назва	Стор
Амеліна Н. О., Майстренко А. А., Бердник О. Ю., Петрикова Є. М.	4
Ресурсозберігаюче виробництво газобетону на обладнанні «WEHRHAHN»	
Арсирій В. А., Арсирій А. Н., Антощук С. Г., Кондратьєв С. Б.	8
Структурутворення – перехід від невизначеності хаосу до дискретності та періодичності	
Баджо М., Левицький Ю.	11
Передова технологія американської компанії «ALCHEMCO» для гідроізоляції, ремонту та захисту бетонних й залізобетонних конструкцій	
Vashpanov Yu. A., Kudelya A. M., Son J. Y.	15
Radio wave sounding of massive concrete structures	
Vinnichenko V. I., Vinnychenko O. V.	19
Structure formation and saving of energy resources in physical and chemical processes of heating dolomite waste	
Вировой В. М., Коробко О. А., Суханов В. Г., Заволока М. В.	23
Структурутворення: визначення та властивості	
Гара Ан. О., Гара О. А.	26
Вплив модифікаторів на адгезійні властивості і тепловідлення епоксидних полімерних розчинів	
Гнип О. П., Мішин В. М., Стрельцов К. О.	30
Оцінка фактичного стану будівель-пам'яток в місті Одеса	
Дерев'яно В. М., Кондратьєва Н. В., Гришко Г. М., Савін Ю. Л.	35
Процес гідратації наномодифікованого напівводного сульфата кальцію	
Дерев'яно В. М., Кондратьєва Н. В., Гришко Г. М.	43
Дослідження процесів гідратації в системі $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$	
Довгань О. Д., Вировой В. М., Довгань П. М.	46
Пошкодженість декоративного бетону	
Zhuravel Vitalii, Rucińska Teresa, Borziak Olga	49
Chloride binding in portland cement systems with carbonate additives	
Заволока М. В., Пліт А. Д., Сушицький Е. Б., Шевченко В. В.	52
Сучасні рішення теплозахисту зовнішніх стін у монолітному домобудуванні	

Загинайло І. В., Писаренко О. М.	57
Динамічне формування теплопровідних структур в композитних матеріалах	
Зенченко Д. А., Вировой В. М.	60
Багатоосередкове структуроутворення мікроструктури будівельних композитів	
Зозулинець В. В., Ковальчук О. Ю.	62
Дослідження процесів структуроутворення кислотостійких цементів на основі гібридних лужних цементів	
Iakov Iskhakov, Pya Frolov and Yuri Ribakov	65
Normal strength concrete transverse deformations at high loading rate for analyzing high-strength concrete nonlinear behavior	
Кадієвська І. А.	66
Ідеологія як провідний чинник будівництва суспільної системи	
Керш В. Я., Замула М. А., Колесников А. В., Хлицов М. В.	69
Вимірювання ударного шуму в задачах створення звукоізолюючих основ під підлоги	
Коврова В. О., Волкова В. Є.	73
Моделювання багатоповерхової будівлі з дисперсійним армуванням залізобетону несучих конструкцій	
Колесников А. В., Семенова С. В., Вировой В. М.	77
Властивості як функція структури будівельних композитів	
Кривенко П. В., Гелевера О. Г., Руденко І. І., Константиновський О. П.	81
Управління термінами тужавлення цементів, активованих розчинним склом	
Кривенко П. В., Руденко І. І., Константиновський О. П., Кириченко В. М.	84
Вплив аніону солей лужних металів на активність портландцементів	
Кривяков С. О., Мішутін А. В., Полторапавлов А. О., Заволока М. В.	88
Міцність бетонів і фібробетонів жорстких дорожніх покриттів в проектному і ранньому віці	
Daniel Lepadatu, Loredana Judele, Proaspat Eduard et Gabriel Sandulache	92
Optimisation des caractéristiques mécaniques du béton polymérique avec du cendre volante utilisant les plans d'expériences numériques	
Мартинов В. І., Макарова С. С., Тайчан Д. С., Гавришук А. В.	97
Передумови синтезу нових композиційних матеріалів	
Мішутін А. В., Іськов В. О.	101

Цементобет цементобетонні плити для дорожнього покриття Мурашко О. В., Волощук В. В.	104
Сейсмостійкість будівель зі стінами з кам'яного мурування з урахуванням конфігурації та розташування отворів Пиріг Я. І.	106
Порівняльна оцінка ефективності адгезійних добавок, що використовуються в дорожній галузі України Пірогов Д. О., Барабаш І. В.	109
Вплив режиму активації на властивості цементу, цементного тіста та каменю на його основі Pysarenko A. N., Zaginaylo I. V.	111
Comparative functional analysis for particulate composites thermal conductivity Pysarenko A. N.	116
Wavelet transform for polymer composites Псурцева Н. О., Лугченко О. І.	120
Забезпечення міцності та гідроізоляції збірного залізобетонного резервуару Рогозіна Н. В.	123
Досвід експлуатації декоративних шлаколужних бетонів і розчинів Саницький М. А., Вахула О. М., Трефлер Р. Ю.	128
Вплив активних мінеральних добавок на властивості надвисокоміцного бетону Семенова С. В., Колесников А. В., Маковецька О. О., Левицький Д. В.	130
Метод потенціалів в теорії структуроутворення Суханова С. В., Вировой В. М., Суханов В. Г., Елькін О. В., Кшнякін В. С.	134
Багатоваріантність багатоосередкового структуроутворення Тарасевич В. І., Гасан Ю. Г., Григорчук О. М.	136
Дослідження структуроутворення в'язучих у процесі тверднення в технології просочення гіпсобетонів у розплаві сірки Ткачук Денис, Русу Ион	138
Підвищення якості дорожніх конструкцій Толмачов С. М., Захарченко Є. О., Сажко П. М., Покуса Ю. П.	141
Властивості бетонів із високорухомих сумішей з органомінеральними добавками Трикоз Л. В., Зінченко О. С., Камчатна С. М., Пустовойтова О. М.	145
Дослідження структуроутворення в системі наповнювач-полімер Trofimova L. E.	148

Use of topological models in the study of rheological behavior of polymers under dynamic conditions	
Фірсов П. М., Каафарані Башар Алі	150
Аналіз надійності залізобетонних перерізів підсилених композитними матеріалами	
Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., Цапко О. Ю., Горбачова О. Ю., Мазурчук С. М., Моцна Д. О.	154
Дослідження закономірностей вимивання антипіренів з покриття деревини	
Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., Цапко О. Ю., Горбачова О. Ю., Мазурчук С. М., Похилий С. І.	158
Дослідження закономірностей зміни поверхневих властивостей на термічномодифікованій деревині	
Шевченко В. В., Вировой В. М., Заволока М. В., Сушицький Е. Б.	162
Бетони в умовах навколишнього середовища	
Шевченко В. В., Вировой В. М.	165
Вплив водовмісту заповнювача на структуроутворення керамзитобетону	

ОСВІТНЯ ПЛАТФОРМА КОМПАНІЇ «БУДОВА»



BUDOVA
ACADEMY



БУДІВЕЛЬНА КОМПАНІЯ

БУДОВА 

**Всегда приятно
возвращаться домой**

budova.ua

КАМ

BLOCK



**Лидер в Украине среди
подпорных конструкций!**

TM «KambBlock» – это комбинированные подпорные системы для гравитационных и армированных конструкций, ограждений и декоративного оформления ландшафтных проектов. Бетонные подпорные блоки изготавливаются по европейской технологии на эксклюзивных формах. Высокие технические характеристики и экологическая чистота продукции достигаются благодаря новейшему оборудованию и детальной проработке решений на стадии разработки технической документации.

СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ:



укрепление
прибрежных зоны



железнодорожное
строительство



дорожное
строительство



ландшафтно-архитектурные
решения для частного
и городского сектора



строительство
гидротехнических
сооружений, мостов
и эстакад



промышленное
строительство,
порты и терминалы

0 800 330 917
Всего звонков – бесплатно!

sales@kamblo.ua

kamblock.ua



Промыленно-строительная группа «Камбио-Инвест» объединяет ряд крупных предприятий в различных сегментах строительной отрасли, выполняющих полный спектр работ:


- Производство современных строительных материалов.
- Добыча полезных ископаемых.
- Проектирование и укладка промышленного дорожного покрытия.
- Электротехнического оборудования для ЖКХ и промышленных объектов.
- Выполнении строительно-ремонтных работ.
- Продажа строительного оборудования и спецтехники.
- Запуск новых IT проектов.

0 800 330 917
Все звонки бесплатны

sales@kambio.ua

kambio.ua

kambio-invest.ua



ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКЕ ВІДДІЛЕННЯ
НАУЧНО-ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР

TM

ЕКОСТРОЙ

ПРЕДПРОЄКТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ;
РОЗРОБКА НАУКОВО-ПРОЄКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА ОБ'ЄКТИ
КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ;
ОБСТЕЖЕННЯ, ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПАСПОРТУВАННЯ
БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД;
АРХІТЕКТУРНЕ ТА ІНЖЕНЕРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ, ДИЗАЙН;
БУДІВНИЦТВО, РЕСТАВРАЦІЯ, РЕКОНСТРУКЦІЯ;
КАПІТЕЛЬНИЙ РЕМОНТ;
ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ;
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ СУПРОВІД ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА,
РЕКОНСТРУКЦІЇ, РЕСТАВРАЦІЇ;
ВАРТІСНА ОЦІНКА НЕРУХОМОСТІ, ТРАНСПОРТУ,
БІЗНЕСУ (ПАРТНЕРИ);
ІНЖЕНЕРНІ ПОШУКИ (ПАРТНЕРИ).

Україна, 65023, м. Одеса, вул. Коблевська, 41
тел./факс: (0482) 34-15-11, 35-82-15, 37-86-73
E-mail: ecostroy_odessa@ukr.net



КИЇВ • ГЕРМЕТИКИ • ПРОДУКЦІЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ХІМІЇ

ТОВ "МАПЕІ УКРАЇНА"
м.Київ, вул. Е.Сверстюка, 13
т. (044) 221-15-01

■ Суперпластифікатори для підводного і надводного бетонування

■ Матеріали для ремонту, відновлення та структурного посилення бетонних конструкцій

■ Гідроізоляція та захист конструкцій

■ Системи для підземного будівництва та відновлення

ТОВ «МЦ Баухемі»

Компанія MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG - один з провідних міжнародних виробників будівельної хімії та технологій. Група компаній має головний офіс у Боттропі; налічує близько 2500 співробітників. Вони працюють в більш ніж 40 країнах світу. Компанія заснована понад 50 років тому і пропонує інноваційні рішення для виробництва бетону та захисту різноманітних конструкцій.

Для ефективнішого вирішення Ваших індивідуальних потреб, ми розділили наші продукти за цільовим групами відповідно до сфер спеціалізації. Таким чином, щоб Вам було легше знайти продукти для своїх індивідуальних рішень.

МС для галузі бетону (Concrete Industry)

Виробники товарного бетону, збірного залізобетону та бетонних виробів виграють за рахунок високої якості наших домішок до бетону та розчину, засобів догляду за бетоном та розділювальних змазок, а також косметики для бетону.

МС для інфраструктури та промисловості (Infrastructure and Industry) та для будівель (Buildings)

Проектанти, архітектори, будівельники, проектанти, інвестори та підрядники довіряють як нашим технічно-досконалим системам захисту і ремонту інженерних споруд та промисловості, нашому унікальному сервісу та можуть знайти в МС найкращі рішення для будівель архітектури - від планування й тендеру до реалізації.

МС для споживачів

До групи компанії МС також входить бренд **Botament**, який пропонує якісні матеріали для конкретних потреб професійних підрядників та кінцевих споживачів. Назва Botament понад 20 років означає системи продуктів та спеціальних матеріалів професійної якості, які можна купити як у нас так і у мережі продажу плитки та будівельних матеріалів. Додаткову інформацію можна знайти за адресою www.botament.ua

Лабораторія бетону MC-Bauchemie

З метою технічної підтримки клієнтів компанією МЦ Баухемі у м. Березань було створено сучасну атестовану лабораторію бетону. Тепер ми маємо можливість спільно з нашими клієнтами створювати та удосконалювати рецептури бетону, досліджуючи та перевіряючи властивості сировини (в'язучих та заповнювачів), властивості бетонної суміші (пластичність бетонної суміші та кількість втягнутого повітря) та бетону (міцність бетону на стиск, його водонепроникність, морозостійкість а також тепловідлення в напівіадиабатичних умовах).

Передача знань молодим та енергійним майбутнім фахівцям будівельної галузі знаходиться на постійному радарі будь-якої діяльності MC-Bauchemie. І мова не йде про рекламу матеріалів, а про систематичне ознайомлення відкритих до нових знань спеціалістів із новітніми підходами у вирішенні складних будівельних завдань, які розроблені в Західній Європі.

Однією з форм такої передачі знань є запрошення нашою компанією студентів останніх курсів будівельних інститутів до проходження практики в сучасній лабораторії бетону (м. Березань).

Ми запрошуємо талановитих студентів-будівельників здобути нові знання під час проходження практики у нашій компанії.

Якщо Ви бажаєте долучитися до стабільної та інноваційної компанії, перейняти цінний практичний довід роботи в будівельній сфері у передових українських та міжнародних експертів і Ви готові до змін – Ви маєте можливість стати частиною нашої команди!

Чекаємо ваші резюме за електронною адресою: info@mc-bauchemie.ua



BE SURE. BUILD SURE.

З Б І Р Н И К
тез доповідей міжнародної конференції

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ, МІЦНІСТЬ ТА РУЙНУВАННЯ
КОМПОЗИЦІЙНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І
КОНСТРУКЦІЙ

27-28 квітня 2023 р.

(українською, англійською та французькою мовами)

Підписано до друку _____ 2023 р.
Формат 60x84/16 Папір офсетний Гарнітура Times
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 9,42.
Наклад 70 прим. Зам. №18-34

Видавець і виготовлювач:
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.
тел.: (048) 729-85-34, e-mail: rio@ogasa.org.ua

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА