

Міністерство освіти і науки України  
Рівненський державний технічний університет  
Академія будівництва України  
Північно-Західне територіальне відділення

**РЕСУРСОЕКОНОМНІ МАТЕРІАЛИ,  
КОНСТРУКЦІЇ, БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ**

Збірник наукових праць  
Випуск 7

*Видавництво Рівненського державного технічного університету*  
Рівне 2001

Коробко О.О., інж., Виноградський В.М., к.т.н., доцент, Макарова С.С., к.т.н., доцент (Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса)

## ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ВИХІДНИМ СКЛАДОМ, ПОЧАТКОВИМИ ОБ'ЄМНИМИ ДЕФОРМАЦІЯМИ ТА ТРИЩИННОСТІЙКІСТЮ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ

В даній роботі показана можливість підвищення в'язкості руйнування та міцнісних характеристик цементного каменю за рахунок керування його об'ємними деформаціями. Управляти початковими  $\Delta V$  та остаточною властивостями цементних композицій можна шляхом зміни їх вихідного складу.

Актуальною задачею в сучасному будівництві є вдосконалення експлуатаційної надійності композиційних матеріалів на основі портландцементу, призначених для ремонтних, захисних та відбудовчих робіт. Подібні цементні композиції повинні відзначатися високими показниками тріщиностійкості та міцності на стиск і розтяг при вигині.

Міцнісні властивості та в'язкість руйнування будівельних конструкцій значною мірою залежать від технологічних пошкоджень останніх [1]. Одною з причин зародження та розвитку тріщин, виникаючих в композитах в початковий період організації їх структури, можуть бути локальні та інтегральні об'ємні деформації в'язучої складової частини цих матеріалів.

Під час твердіння цементна композиція, перетворюючись з пластичної суміші підвищеної в'язкості у міцний камінь, зазнає глибоких змін як у своєму хімічному складі, так і у первісному фізичному стані. Ці якісні метаморфози супроводжуються безперервними деформаціями питомих об'ємів індивідуальних структурних елементів тужавіючої системи різного масштабного рівня (дисперсних часток, кластерів, фаз) та зміною її загального об'єму.

Об'ємні деформації цементної композиції спричиняються фізико-хімічними та фізико-механічними процесами структуроутворення в'язучих систем [2, 3]. Тому можна вважати, що власні  $\Delta V$  є своєрідним відображенням явищ внутрішньої організації твердіючих мінеральних композицій. Зумовлюється можливість аналізу структурних перетворень тужавіючих матеріалів за кількісними показниками їх об'ємних змінень. При цьому слід враховувати, що для складних по своїй будові цементних композицій характерне порушення правила адитивності між локальними та інтегральними об'ємними деформаціями. Це пояснюється тим, що об'ємні зміни окремих часток, дискретних блоків чи фаз багатокомпонентних систем виявляються

сугубо індивідуально, локалізуючись на міжчасткових, міжкластерних та міжфазних поверхнях розподілу, лише з частковим виходом на зовнішній об'єм твердіючого матеріалу. У зв'язку з цим об'ємні деформації цементної композиції доцільно оцінювати через показники її інтегральних  $\Delta V$ , які можна представити як характеристику загального об'ємного деформування тужавіючої системи, здатною певним чином сприймати зміни процесів структуроутворення мінеральної композиції при зміні умов твердіння в'язучого.

Особливості формування структури композиційних матеріалів значною мірою визначають їх остаточну будову та кінцеві експлуатаційні властивості [4]. У свою чергу, явища внутрішньої самоорганізації твердіючих композицій багато в чому залежать від якісних характеристик та відсоткового вмісту первинних компонентів в'язучої системи. Зміна вихідного складу мінеральних систем призводить до зміни процесів їх структуроутворення, що повинно відобразитися на кількісних значеннях інтегральних об'ємних деформацій тужавіючого матеріалу та показниках якості готового продукту. Виникає інтерес виявлення залежностей між первісним складом цементних композицій, їх початковими об'ємними змінами та основними властивостями (тріщинистістю і міцністю).

При проведенні експериментальних робіт використовували портландцемент, тонкомолотий природний гіпсовий камінь, кварцовий наповнювач. На основі цих матеріалів шляхом змішування в сухому стані утворювали цементні композиції, які відрізнялися за кількістю двоводного гіпсу (1%, 3%, 5%), відсотковим вмістом наповнювача (10%, 30%) та питомою поверхнею останнього (200 м<sup>2</sup>/кг, 400 м<sup>2</sup>/кг, 600 м<sup>2</sup>/кг), відповідно. Кількісні значення інтегральних об'ємних деформацій цементних композицій встановлювали за методикою, яка дозволяє оцінити  $\Delta V$  твердіючих систем через величину зміни геометричного об'єму зразків, оформлених у вигляді циліндричних кілець, за допомогою спеціальних датчиків [5]. Фізико-механічні характеристики та в'язкість руйнування затверділих матеріалів визначали у відповідності з загально діючими стандартами.

Експериментальні дані показують, що об'ємні деформації цементних композицій визначаються вихідним складом тужавіючих систем. Зміна первинних якісного та відсоткового вмістів складових компонентів у в'язучому за рахунок введення двоводного гіпсу і кварцового наповнювача різної кількості та дисперсності викликає зміни показників інтегральних  $\Delta V$  твердіючого матеріалу.

Наявність у складі цементної композиції часток  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  незалежно від їх кількості спричинює зниження об'ємних деформацій мінеральної системи (рис. 1). При цьому збільшення відсоткового вмісту двоводного гіпсу у складі в'язучого сприяє більшому зменшенню  $\Delta V$  тужавіючого матеріалу. Введення 1%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  призводить до зниження об'ємних змін цементної композиції на 32%, використання 3% та 5% двоводного гіпсу - на 38% та 43%, відповідно.

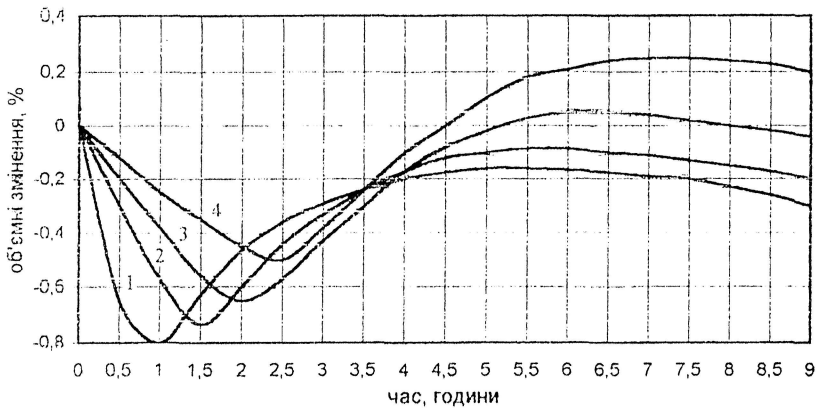


Рис. 1. Вплив кількості двоводного гіпсу на об'ємні зміни цементної композиції: 1- портландцемент; 2 - з 1% гіпсу; 3 - з 3% гіпсу; 4 - з 5% гіпсу.

Міра впливу кварцового наповнювача на об'ємні деформації мінеральних систем залежать від його кількості та питомої поверхні (рис.2). При 10%-ому наповненні цементної композиції спостерігається зменшення її  $\Delta V$  в середньому на 32%. Збільшення кількісного вмісту наповнювача до 30% зумовлює зниження об'ємних змін твердіючого матеріалу в середньому на 36%. Застосування кварцового наповнювача з дисперсністю часток  $200 \text{ м}^2/\text{кг}$ ,  $400 \text{ м}^2/\text{кг}$  та  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$  призводить до зменшення  $\Delta V$  ненаповненої цементної композиції в середньому на 20%, 37% та 45%, відповідно.

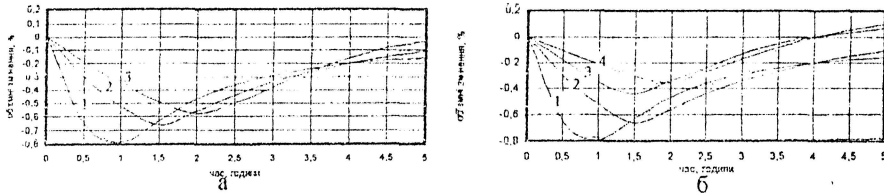


Рис. 2. Вплив кількості (а) та питомої поверхні (б) кварцового наповнювача на об'ємні зміни цементної композиції:

- |   |   |
|---|---|
| а)  | б)  |
| 1 - портландцемент;   | 1 - портландцемент;   |
| 2 - з 10% наповнювача ( $S_{\text{пнп}}=200 \text{ м}^2/\text{кг}$ ); | 2 - $S_{\text{пнп}}=200 \text{ м}^2/\text{кг}$ (10% наповнювача); |
| 3 - з 30% наповнювача ( $S_{\text{пнп}}=200 \text{ м}^2/\text{кг}$ ); | 3 - $S_{\text{пнп}}=400 \text{ м}^2/\text{кг}$ (10% наповнювача); |
|   | 4 - $S_{\text{пнп}}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$ (10% наповнювача). |

Таким чином, результати досліджень дозволили встановити, що зміна вихідного складу в'язучих систем впливає на їх початкові об'ємні дефор-

мації. Експериментально доведена можливість керування  $\Delta V$  мінеральних композицій через зміни умов структуроутворення твердіючого матеріалу.

Особливості внутрішньої самоорганізації цементної композиції, зумовлені певною мірою первісним вмістом складових компонентів в'язучого, визначають такі кінцеві експлуатаційні характеристики твердіючої системи, як тріщиностійкість та міцність на стиск і розтяг при вигині. Були поставлені задачі вивчення впливу якісних та кількісних параметрів кварцового наповнювача на в'язкість руйнування та міцносні властивості цементної композиції, а також встановлення кореляційної залежності між основними показниками якості наповненого цементного каменю та значеннями його початкових об'ємних змін.

Дослідження проводилися по спеціальному плану "суміш-технологія-властивості", кожна з 15 експериментальних точок якого відповідає певному відсотковому вмісту двоводного гіпсу та наповнювача різної дисперсності у складі в'язучого [6]. В якості змінних були прийняті: питома поверхня кварцового наповнювача ( $S_{\text{шт}}=400\pm 200\text{ м}^2/\text{кг}$ ) та масова кількість наповнювача ( $X_1=20\pm 10\%$ ) і гіпсу ( $X_2=3\pm 2\%$ ). Графічна інтерпретація одержаних експериментальних даних відображена у вигляді діаграм "трикутники на квадраті".

Аналіз результатів досліджень показав, що міцносні властивості та тріщиностійкість цементної композиції змінюються при введенні в її склад кварцового наповнювача (рис. 3 та рис.4, відповідно).

Використання наповнювача в кількості 30% при низькому вмісті двоводного гіпсу у в'язучому викликає зниження показників міцності при стиску  $R$  цементного каменю (рис.3а). Зменшення міри наповнення твердіючої системи до 20% та збільшення в ній кількості  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  до 5% дозволяє зберегти значення  $R$  бездодаткової цементної композиції. Отримати матеріал, міцність на стиск яких дорівнює відповідним фізико-механічним властивостям ненаповненого цементного каменю, можна також при введенні 1% двоводного гіпсу та 10% наповнювача або 5%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  та 30% наповнювача змішаного зернового складу з дисперсністю часток  $400\text{ м}^2/\text{кг}$  та  $600\text{ м}^2/\text{кг}$ . Застосування 10% кварцового наповнювача при 5% двоводного гіпсу призводить до збільшення показників  $R$  цементної композиції. При таких кількісних параметрах наповнення можна підвищити міцність на стиск затверділої в'язучої системи на 10-12% залежно від питомої поверхні часток наповнювача. Зміна дисперсності наповнювача впливає на міцність на стиск цементного каменю менше, ніж зміна його кількісного вмісту у складі в'язучого. Так, регулюючи кількість наповнювача в твердіючій композиції від 10% до 30%, можна змінювати значення  $R$  кінцевого матеріалу на 23%. Зміна розмірів часток наповнювача з  $200\text{ м}^2/\text{кг}$  до  $600\text{ м}^2/\text{кг}$  зумовлює зміни показників міцності на стиск цементного каменю в середньому лише на 5%.

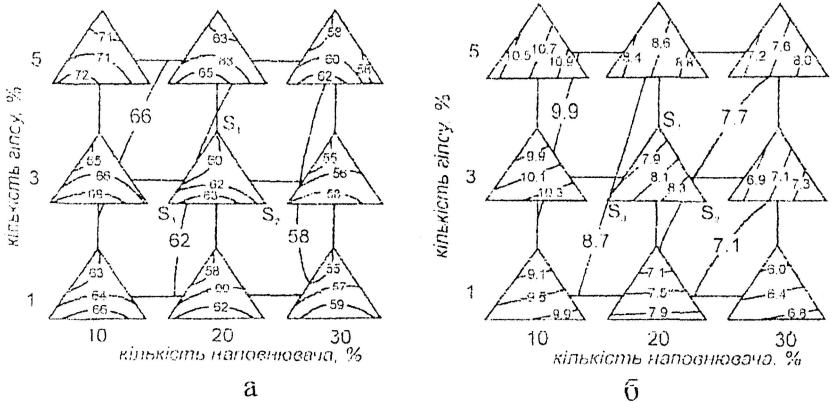


Рис. 3. Вплив кількості та питомої поверхні кварцового наповнювача на міцність па стиск (а) та на міцність при вигині (б) цементної композиції.

$$S_1 = 200 \text{ м}^2/\text{кг}; S_2 = 400 \text{ м}^2/\text{кг}; S_3 = 600 \text{ м}^2/\text{кг}$$

Аналогічні результати були отримані під час визначення впливу відсоткового вмісту та питомої поверхні кварцового наповнювача на значення міцності цементних композитів при вигині (рис.3б). Максимальне збільшення величини  $R_b$  ненаповненої системи спостерігається при 10%-ому наповненні в'язучого та підвищеній кількості двоводного гіпсу (5%). Зерновий склад наповнювача повинен складатися із часток з питомою поверхнею  $200 \text{ м}^2/\text{кг}$  та  $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ . В цих умовах міцність цементних композицій на розтяг при вигині збільшується на 18%.

Оцінка тріщиностійкості затверділих мінеральних систем проводилася через коефіцієнти інтенсивності напружень [7]. Ініціювання тріщини здійснювали двома засобами: шляхом закладення металеві пластины у зразок при його формуванні ( $K_{Ic}^3$ ) та шляхом розпилу вже готового зразка ( $K_{Ic}^p$ ). Одержані експериментальні дані свідчать, що використання 30% наповнювача та 1% двоводного гіпсу призводить до зниження тріщиностійкості цементного каменю (рис.4). Збільшення вмісту  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  або зменшення кількості кварцового наповнювача у складі в'язучого дозволяє отримувати матеріали, показники в'язкості руйнування яких дорівнюють значенням  $K_{Ic}$  ненаповненої системи або перевищують їх. Максимально збільшити тріщиностійкість цементного каменю (до 37%) можна шляхом введення у в'язучу систему 5% двоводного гіпсу та 10% наповнювача змішаного зернового складу з розмірами часток  $200 \text{ м}^2/\text{кг}$  та  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Порівняльний аналіз діаграм (рис.3-4) дозволив визначити оптимальні за кількісним вмістом та питомою поверхнею кварцового наповнювача складни

цементних композицій для одержання матеріалів з потрібними або підвищеними тріщиностійкістю та міцносними характеристиками.

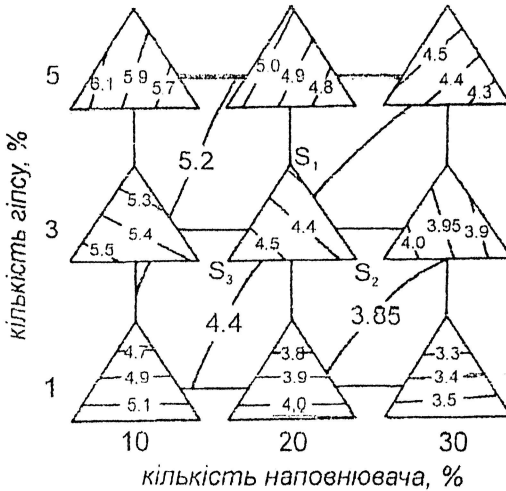


Рис. 4. Вплив кількості та питомої поверхні кварцового наповнювача на тріщиностійкість цементної композиції.

$$S_1 = 200 \text{ м}^2/\text{кг}; S_2 = 400 \text{ м}^2/\text{кг}; S_3 = 600 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

Використання наповнювача з дисперсністю часток  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$  у кількості 10% дозволяє збільшити в'язкість руйнування цементного каменю на 37%, міцність на стиск – на 10.5%, міцність на розтяг при вигині – на 15%. При цьому вміст двоводного гіпсу в цементі повинен дорівнювати 5%.

Збільшення міри наповнення в'язучого до 30% при змішаному зерновому складі наповнювача, який містить 75% часток з розмірами  $200 \text{ м}^2/\text{кг}$  і 25% часток з питомою поверхнею  $400 \text{ м}^2/\text{кг}$ , та 5%-ої кількості  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  забезпечує отримання цементного каменю, фізико-механічні властивості та тріщиностійкість яких відповідають показникам якості ненаповненого матеріалу. Створюється можливість значної економії порландцементу, що сприяє зменшенню матеріалоємності будівельних конструкцій.

На основі результатів досліджень по визначенню якісних та кількісних параметрів кварцового наповнювача на об'ємні зміни та міцносні характеристики і в'язкість руйнування цементних композицій була розрахована кореляційна залежність між значеннями початкових  $\Delta V$  твердіючих систем та їх кінцевими властивостями. Отримані дані показують, що мінеральні системи, які характеризуються низькими значеннями інтегральних об'ємних деформацій у перші години їх структуроутворення, відзначаються більш високою

міцністю при стиску та вигині, а також підвищеною тріщинотійкістю. Це підтверджують значення коефіцієнтів кореляції. Для показників  $R$  кореляційна залежність склала 76%, для  $R_{bt}$  – 77%. для в'язкості руйнування – 33%.

Таким чином, проведені дослідження дозволили визначити вплив вихідного складу цементних композицій на їх об'ємні зміни та остаточні показники якості. Регулювання початковими  $\Delta V$  твердіючих систем як посередньою характеристикою структуроутворення останніх можна здійснювати шляхом зміни якісних параметрів та відсоткового вмісту складових компонентів у в'язучому. Зміна первинного складу цементної композиції спричинює зміну процесів організації її структури, що певною мірою відображується на значеннях інтегральних об'ємних деформацій тугоплавного матеріалу та, як наслідок, позначається на кінцевих властивостях готового продукту. Введення кварцового наповнювача оптимальних кількості та інтомої поверхні дозволяє отримувати матеріали на основі портландцементу з заданими або підвищеними показниками тріщинотійкості та міцності при стиску і вигині. Регулюючи кількісний вміст та дисперсність наповнювача у складі в'язучого можна керувати об'ємними змінами цементних композицій з метою збільшення їх експлуатаційної надійності.

1. Дорофеев В.С., Выровой В.П. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: "Город мастеров", 1998. – 168с.
2. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. – М.: Стройиздат, 1986. – 464с.
3. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К.: Будівельник, 1991. – 144с.
4. Дорофеев В.С., Выровой В.Н., Соломатов В.И. Пути снижения материалоемкости строительных материалов и конструкций. – К.: УМК ВО, 1989. – 79с.
5. Коробко О.А. Влияние состава на начальные объемные деформации твердеющего цемента // Вісник ОДАБА. – Одеса: ВМК "Місто майстрів", 2000. – Вип.№1. – С.100-103.
6. Методические указания по моделированию систем "смеси, технология - свойства" с использованием ЭВМ в курсовом и дипломном проектировании по кафедре ПАТСМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, В.В. Абакумов, А.Б. Абдыкалыков. – Одесса: ОИСИ, 1985. – 64с.
7. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. – М.: Высшая школа, 1991. – 288с.