

УДК 666: 519.8

**ВПЛИВ МАКРОСТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ФОРМУВАННЯ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ В ВИРОБАХ**

**ВЛИЯНИЕ МАКРОСТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА  
ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА В ИЗДЕЛИЯХ**

**THE INFLUENCE OF MACROSTRUCTURAL PARAMETERS ON  
FORMATION CONCRETE PROPERTIES IN PRODUCTS**

**Уразманова Н.Ф., аспірант, Тофаніло В.Ю., інженер, Закорчемний Ю.О., к.т.н., доц., Нагорнюк Н.П., асистент (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)**

**Уразманова Н.Ф., аспирант, Тофанило В.Ю., инженер, Закорчемный Ю.О., к.т.н., доц., Нагорнюк Н.П., ассистент (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)**

**Urazmanova N.F. postgraduate student, Tofanilo V.U., engineer, Zakorchemny U.O., candidate of technical sciences, docent, Nagornuk N.P., assistant (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture, Odessa)**

**Макроструктура бетону представлена як складноорганізована співдружність структурних чарунк, різноманіття яких визначає індивідуальність структури та прояву властивостей матеріалу по об'єму конструкції.**

**Макроструктура бетона представлена как сложноорганизованное содружество структурных ячеек, разнообразие которых определяет индивидуальность структуры и проявления свойств материала по объему конструкции.**

**The macrostructure of concrete is presented as the complex organized unity of structural cells which variety determines identity of structura and manifestation of material properties by construction volume.**

**Ключові слова:**

**Бетон, макроструктура, структурні чарунки, система, взаємовплив, багатоваріантність.**

**Бетон, макроструктура, структурные ячейки, система, взаимовлияние, многовариантность.**

**Concrete, macrostructure, structural cells, system, interference, variety.**

### **Вступ.**

Безпека функціонування конструкцій різного виду та призначення протягом нормованого терміну служби значною мірою визначається структурним оформленням матеріалу, з якого вони виготовлені [1]. При такому підході будівельну конструкцію доцільно розглядати як певну цілісність (систему), у якій матеріал реалізує себе в якості однієї зі складових частин (підсистем) [1, 2]. У свою чергу, матеріал будь-якої конструкції виступає в якості її складової частини та може розглядатися як дискретне середовище. Це дозволяє аналізувати матеріал у виді системи відносно власних складових (підсистем), які шляхом взаємообумовлених взаємодій визначають його поведінку як цілісності. Виникає можливість оцінки властивостей матеріалів з урахуванням їх структурного потенціалу і неминучих відмінностей поведінкових реакцій по об'єму конструкцій.

В якості об'єкта аналізу був прийнятий бетон як типовий представник матеріалів поліструктурної будови [1, 3], в якому структурні неоднорідності можуть бути виділені на рівні частинок в'язучого (мікроструктура) і на рівні матричного матеріалу та заповнювачів (макроструктура). Макроструктуру бетону можна представити у виді грубогетерогенної системи, в якості характерних структурних елементів якої виділяють своєріднопорядковані чарунки, утворені групами заповнювачів у матричному матеріалі. Структурні чарунки різняться типом укладки та орієнтування заповнювачів, а також розмірами, які залежать від відстаней між заповнювачами, і співвідношенням адгезійно-когезійних сил зв'язку на поверхнях розділу між матрицею й заповнювачами. У всіх чарунках повинен забезпечуватись індивідуальний прояв властивостей матричного матеріалу. Виходячи з цього, була поставлена задача - проаналізувати вплив локальної різноманітності макроструктури на формування властивостей матеріалу на моделях структурних чарунок.

### **Вплив макроструктурних параметрів на формування властивостей бетону.**

Кожний виділений рівень структури бетону можна представити певним набором характерних елементів. Виділення структурних рівнів в інтегральній структурі бетону визначається відмінністю його вихідних складових по розмірних параметрах, що робить можливим реалізацію одночасно відразу декількох механізмів структуроутворення в тому самому матеріалі. Всі підсистеми в бетоні перебувають в ієрархічно-сітьовій супідрядності, при якому одні рівні є складовою частиною інших рівнів. Загальна погодженість співіснування визначає здатність підсистем бетону ініціювати побудову структури один одного. Такий порядок структурної організації припускає намагання самого бетону і його рівнів до створення багаторівневих структур шляхом утворення «систем усередині інших систем». При цьому кожна підсистема буде являти собою інтегроване ціле, залишаючись при цьому

частиною підсистеми більш високого рівня складності. При такому виді взаємовідносин між складовими частинами бетону здійснюється сільовий режим їх взаємодій, при якому структура матеріалу підтримується в постійній динаміці за рахунок непрямой взаємної активації окремих рівнів неоднорідностей. Це дозволяє припустити, що геометричні особливості неоднорідності типу «заповнювачі - матричний матеріал» (макроструктура) будуть визначати формування властивостей бетону в локальних об'ємах виробу через умови структурної організації матеріалу на рівні частинок в'язучого (матрична складова).

Відмінною ознакою геометричного оформлення макrorівня як взаємозалежної сукупності різноманітних структурних чарунків є їх багатоваріантність. Це підтверджується аналізом кернів (рис.1), взятих з конструкцій різного призначення, який показав, що при тому самому складі в бетоні присутні чарунки з різноманітними геометричними характеристиками.

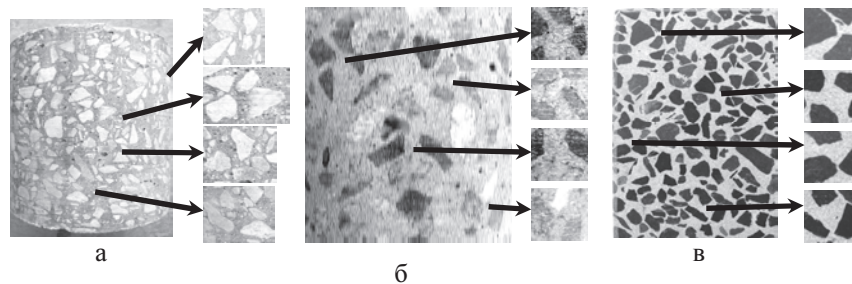


Рис.1. Різноманітність геометричних параметрів структурних чарунків у зразках-кернях реальних конструкцій:  
а – опорна стіна гідропоруди; б – залізобетонна; в – тротуарна плитка.

Структурні чарунки в якості елементів включені в оформлення макроструктури, яка, будучи системою для своїх складових частин, зв'язує їх в інтегроване ціле. Це означає, що структуроутворення макrorівня відбувається одночасно у всіх чарунках, але кінетика реалізації процесів індивідуальна для кожної окремої чарунки. Тому для рішення поставленої задачі була прийнята модель макроструктури, що представляє собою взаємозалежну сукупність різних за геометричними, просторовими і фізичними параметрами структурних чарунків.

Для визначення властивостей матеріалу в індивідуальних чарунках і у виробі були виготовлені моделі зразків на основі цементу з імітаторами заповнювачів у вигляді циліндрів і призм, розташування яких забезпечувало одержання чарунків кубічної і гексагональної форми при різному орієнтуванні заповнювачів. Зміна стану поверхні моделей заповнювачів здійснювали шляхом їх обробки речовиною з підвищеною адгезією до цементу.

Аналіз отриманих результатів показав, що в умовах експериментів об'ємні деформації матричного матеріалу при різних способах укладки та орієнтування заповнювачів змінювалися до 27%, а при модифікації їх поверхні - до 44% (рис.2). Зміна строків тужавлення твердіючої матриці склала в середньому 1,5-2 години в залежності від форми і властивостей чарунок. Це пов'язане, на думку [1, 3], з формуванням полів технологічних деформацій, вид яких визначається геометрією структурних форм на рівні макроструктури бетону.

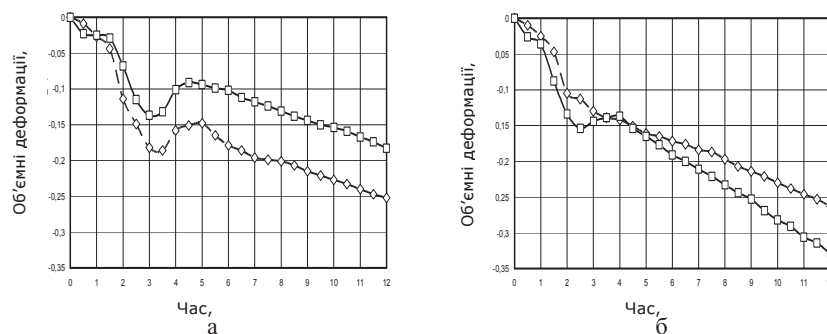


Рис.2. Вплив типу укладки та стану поверхні заповнювачів на початкові об'ємні деформації матричного матеріалу в структурних чарунках:

- – кубічна укладка заповнювачів;
- √ – гексагональна укладка заповнювачів;
- а – зразки без обробки; б – зразки з обробкою ПАР.

Виникнення деформацій у чарунках обумовлене протіканням процесів і явищ гідратації в'язучого, які провокують локальні зміни щільності в матричному матеріалі. Об'ємні деформації сприймаються границями розділу макроструктури з наступною їх формозміною, перерозподілом і передачею деформацій на рівень конструкції. Це викликає нову формозміну границь розділу макроструктури, що відображається на фізико-механічних і, як наслідок, фізико-хімічних процесах організації структури бетону на рівні часток в'язучого з формуванням зворотної хвилі деформацій. Таким чином, здійснюється взаємна ініціація деформаційних хвиль об'ємних деформацій між рівнями неоднорідностей, що дозволяє їм визначати структурну організацію один одного залежно від своїх параметрів. Існування градієнтів деформацій підтверджується встановленим фактом, що періоди формування структури матричного матеріалу в різних зонах однієї і тієї ж чарунки можуть відрізнятися до 45 хвилин. Крім того, у кожній структурній чарунці відбувається організація власної сукупності кластерних структур, а прояв градієнтів деформацій різного виду на границях розділу між ними провокує зародження та розвиток нових елементів структури - технологічних тріщин і

внутрішніх поверхонь розділу [1, 3]. Нові структурні елементи мікроструктури автоматично входять у структуру макрорівня. Розподіл градієнтів деформацій в об'ємі твердіючої матриці та на границях розділу між нею і заповнювачами визначається параметрами структурних чарунок, що повинно забезпечити індивідуальне формування пошкодженості матричного матеріалу. Це було підтверджено дослідями з визначення пошкодженості моделей чарунок. Для кількісної оцінки використовувався коефіцієнт пошкодженості  $K_p$ , що визначається як відношення сумарної довжини технологічних тріщин і внутрішніх поверхонь розділу на фіксованій площі поверхні [4]. Аналіз результатів показав, що при гексагональній укладці заповнювачів коефіцієнт пошкодженості матеріалу в чарунках може змінюватися до 2,5 раз, при кубічній укладці - до 2 раз, а при різному стані їх поверхні - до 40% (рис.3).

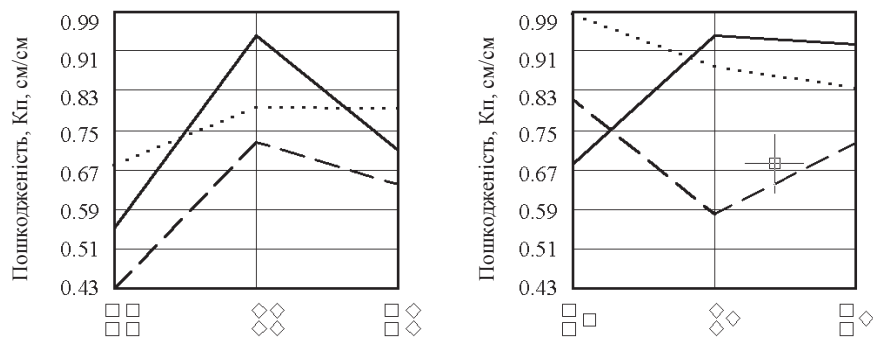


Рис.3. Зміна кількісних значень коефіцієнта технологічної пошкодженості,  $K_p$ , в залежності від параметрів структурних чарунок:  
 — зразки без обробки; --- зразки з обробкою ПАР;  
 ..... зразки з вибірковою обробкою ПАР.

Опосередковано оцінити порушення властивостей моделей бетонних зразків можна також шляхом визначення їх водопоглинання. Досліди дозволили з'ясувати, що при кубічній укладці заповнювачів зміна їх орієнтації та стану поверхні сприяє зменшенню водопоглинання зразків до 45%, при гексагональній укладці - до 30%. Залежно від типу укладки заповнювачів значення водопоглинання можуть змінюватися до 40%.

Сумарна кількість тріщин і внутрішніх поверхонь розділу визначають гетерогенність матричного матеріалу та його здатність протистояти дії зовнішніх навантажень. Навіть при індивідуальності властивостей кожної структурної чарунки, у бетоні вони проявляють себе як певна цілісність. Це обумовлене тим, що матеріал, оформлений у виріб, являє собою взаємопов'язану та взаємозалежну сукупність окремих макроструктур-чарунок із різними параметрами та локальним проявом властивостей.

Дослідження показали, що для кожного прийнятого типу укладки заповнювачів і стану їх поверхні є характерним свій вид тріщин руйнування в моделях структурних чарунок при визначенні їх міцності при стиску. Розвиток тріщин руйнування проходив по технологічних тріщинах і внутрішніх поверхнях розділу, повторюючи досить складну траєкторію їх руху. При цьому зміна міцнісних властивостей зразків з різними параметрами структурних чарунок склала в середньому 30%. Залежно від орієнтування заповнювачів значення міцності змінювалися до 2 раз, залежно від виду їх укладки - до 45%; при зміні стану поверхні - до 27%. Асиметричне розташування заповнювачів у структурних чарунках забезпечило підвищення міцності зразків при стиску до 40%, у порівнянні зі зразками, у яких заповнювачі розташовувалися упорядковано (рис.4).

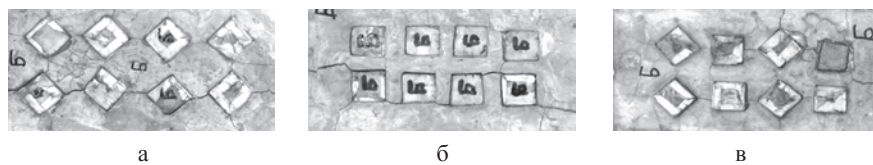


Рис.4. Вплив параметрів макроструктури на міцність та руйнування моделей бетонних зразків:  
а –  $f_{ck}=8,6$  МПа; б –  $f_{ck}=9,4$  МПа; в –  $f_{ck}=13,7$  МПа.

**Висновки.** Проведені дослідження показали, що властивості бетону формуються в результаті співдружності різних за структурним оформленням та властивостями структурних чарунок. Це обумовлене багатоваріантністю макроструктури бетону, яку можна представити у виді сукупності неповторних структурних форм, утворених заповнювачами в матричному матеріалі. Параметри кожної чарунки визначають умови протікання процесів структуроутворення і реалізації властивостей матричного матеріалу, що було підтверджено відмінністю значень об'ємних деформацій (до 40%) і строків тужавлення (до 2,5 годин) твердіючих систем у моделях структурних чарунок, а також зміною технологічної пошкодженості, водопоглинання і міцності при стиску моделей, у середньому до 2 раз. Таким чином, при призначенні складів необхідно враховувати різноманітність структури бетонів для підвищення безпеки служби будівельних конструкцій.

1. Суханов В.Г. Структура материала в структуре конструкции / В.Г. Суханов, В.Н. Выровой, О.А. Коробко. – Одесса: «ПОЛИГРАФ», 2016. – 244 с. 2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили. – М.: «Синтег», 2000. – 519 с. 3. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой В.Н., В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с. 4. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. / В.Н. Выровой В.Н., В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: «ТЭС», 2010. – 169 с.