

**ДИСПЕРСНО-АРМОВАННИЙ ЛИТИЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН НА МЕХАНОАКТИВОВАНОМУ ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ**

<sup>1</sup>**Барабаш І.В.**, д.т.н., професор,  
dekansti@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0241-4728

<sup>1</sup>*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

<sup>2</sup>**Щербина О.С.**, к.т.н.,  
olegito4ka@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8180-4665

<sup>2</sup>*ТОВ «Баутех-Україна»*  
вул. Хімічна 4/1, м. Одеса, 65000, Україна

**Анотація.** В роботі розглядаються властивості дисперсно-армованого литого керамзитобетону на механоактивованому шлакопортландцементі з добавкою полікарбонатного суперпластифікатора Супер-ПК. Експериментальними дослідженнями встановлено можливість отримання легких бетонів на основі високорухомих легкообетонних сумішей з діаметром розпливу конуса не менше 50 см.

Експериментально підтверджено, що гідрофобізація керамзитового гравію сприяє збільшенню розпливу конуса бетонної суміші, а також збільшує життєздатність бетонної суміші. Показано доцільність механоактивації шлакопортландцементу в присутності Супер-ПК для отримання легких бетонів з підвищеними характеристиками по морозостійкості, стиранню та ударній міцності.

Наведено результати досліджень, які свідчать про те, що введення базальтової фібри в шлакопортландцемент разом з механоактивацією в'язучого дозволяє знизити стирання бетону з 0,44 до 0,13 г/см<sup>2</sup>, а також підвищити ударну міцність бетону майже в 2 рази (в порівнянні з контролем). Запропонований комплекс рецептурно-технологічних впливів дозволяє забезпечити морозостійкість бетону не нижче 350 циклів поперемінного заморожування та відтавання.

Встановлено, що механоактивація в'язучого викликає підвищення міцності бетону в 3-х денному віці з 11,3 до 16,2 МПа, тобто більше ніж на 40% в порівнянні з контролем. Введення базальтової фібри в кількості 1% від маси в'язучого забезпечує зростання міцності бетону на 10-15%. Спільний вплив на шлакопортландцемент механоактивації, добавки полікарбонатного Супер-ПК і базальтової фібри викликає підвищення міцності бетону в 28-ми денному віці (в порівнянні з контролем) з 11,3 до 29,5 МПа, тобто більше ніж в 2,5 рази.

В цілому, сумісне використання перерахованих рецептурно-технологічних факторів забезпечує підвищення основних фізико-механічних характеристик легкого бетону.

**Ключові слова:** керамзитобетон, механоактивація, базальтова фібра, полікарбонатний суперпластифікатор, стирання, морозостійкість, ударна міцність.

**Вступ.** Одним з основних напрямків впровадження прогресивних методів будівництва є застосування литевої технології, яка дозволяє різко знизити трудомісткість та енергоємність процесу ущільнення бетонної суміші, підвищити рівень механізації робіт, значно покращити умови праці за рахунок зниження шумових та вібраційних впливів. Особливо актуальною проблемою при цьому є отримання легких бетонів з високими показниками міцності та довговічності. Більш того, високі темпи будівництва об'єктів вимагають інтенсивного набору міцності бетону [1]. Більш інтенсивний набір міцності бетону може бути здійснений шляхом цілеспрямованої зміни структури цементної матриці як за рахунок активації зерен цементу в умовах інтенсивних гідродинамічних впливів на них, так і за рахунок модифікації ПАР. Можливість прискорення процесів структуроутворення набуває особливого значення

для монолітних бетонів, що твердіють в умовах майданчика.

Управління структуроутворенням цементного каменю в бетоні та отримання матеріалів заданої якості ґрунтується на оптимізації технологічних процесів їх виготовлення. Це, в свою чергу, передбачає встановлення залежностей, що визначають вплив на міцність легкого бетону рецептурних і технологічних чинників [2, 3].

Останнім часом робляться спроби застосування дисперсного армування цементної матриці за допомогою базальтових волокон [4]. Базальтові волокна істотно знижують ризик деформації цементного тісту (2-6 годин після укладання), зменшують небезпеку утворення усадочних тріщин на ранній стадії твердіння до 90% [5-7].

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Легкі бетони є універсальним матеріалом для огорожувальних і несучих конструкцій, влаштування підлог житлових і промислових будівель, підстилаючого шару автомобільних доріг і аеродромів. Маючи відносно низьку середню щільністю легкі бетони мають цілу низку переваг перед важкими бетонами: зниження витрат на перевезення бетонної суміші, поліпшені теплотехнічні та звукоізоляційні характеристики бетону та ін. Застосування таких бетонів дозволяє знизити масу конструктивних елементів будівель до 30%, що забезпечує підвищення низки техніко-економічних показників виробництва. В якості пористого заповнювача для легкого бетону в основному застосовується керамзитовий гравій, що має порівняно низьку насипну щільність 400...800 кг/м<sup>3</sup> [8].

У роботі наводяться результати досліджень бетонів на цементній матриці, армованої базальтовими волокнами [9, 10]. Введення базальтового волокна дозволяє виготовляти конструкції складної конфігурації, підвищує зносостійкість бетону, зменшує загальну вагу конструкцій [11, 12].

У запропонованій роботі вирішення питання підвищення фізико-механічних властивостей литого керамзитобетону досягається введенням базальтової фібри в шлакопортландцемент. Забезпечення розпливу конуса бетонної суміші в діапазоні 45-50 см дозволяє різко знизити трудомісткість та енергоємність процесу укладання бетонної суміші, підвищити рівень механізації робіт, а також значно покращити умови праці за рахунок зниження шумових та вібраційних впливів [13, 14].

**Метою роботи** є отримання дисперсно-армованого литого керамзитобетону на механоактивованому шлакопортландцементі з добавкою полікарбоксилатного суперпластифікатора з поліпшеними механічними характеристиками, а саме: міцність на стиск, стиранисть та ударна стійкість.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі завдання:

- дослідити вплив гідрофобізації керамзитового гравію на рухливість та життєздатність керамзитобетонної суміші;
- дослідити вплив базальтової фібри на фізико-механічні властивості керамзитової фібробетону на механоактивованому портландцементі з додаванням доменного шлаку.

**Матеріали та методи дослідження.** Основним об'єктом досліджень було обрано литі керамзитобетонні суміші, для приготування яких в якості в'язучого використовувався шлакопортландцемент. Експериментально встановлено, що добавка доменного шлаку в кількості 45% забезпечує найбільше значення коефіцієнта використання в'язучого, тому в подальших дослідженнях використовувався портландцемент з добавкою 45% меленого доменного шлаку (ДСТУ Б.В. 2.7 – 46:2010 ШПЦ III-A ) [15].

Досліджувався вплив механоактивації в'язучого в присутності суперпластифікатора Супер-ПК і концентрації базальтової фібри в ньому на механічні характеристики керамзитобетону, що твердіє в нормальних умовах. Базальтова фібра представляє собою волокна довжиною 12 мм, діаметром 20 мкм. Для зниження водопоглинання базальтова фібра попередньо оброблялася кремнійорганічним гідрофобізатором ГКЖ-11. Витрата базальтового волокна варіювалася у кількості від 0% до 1% маси в'язучого.

Дослідження проводилися за стандартним 3-х факторним планом, що містить 15 експериментальних точок. Незалежними рецептурно-технологічними факторами було прийнято:

$X_1$  – 450 ± 100 кг/м<sup>3</sup> – кількість в'язучого;

$X_2 - 1 \pm 0,5\%$  – кількість суперпластифікатора Супер-ПК;

$X_3 - 0,5 \pm 0,5\%$  – кількість базальтової фібри.

Як заповнювач застосовувалися кварцовий пісок з  $M_{кр} = 2.2$  і керамзитовий гравій, попередньо оброблений гідрофобізатором ГКЖ-11. Витрата кварцового піску коливалася в діапазоні від 727 до 812  $кг/м^3$ , керамзитового гравію – від 630 до 715  $л/м^3$ . Підвищена витрата кварцового піску (у порівнянні з традиційним складом бетону його витрата збільшена на 10-20%) пов'язана з необхідністю отримання високорухливої бетонної суміші.

Приготування бетонної суміші здійснювалося як за роздільною (з застосуванням механоактивації в'язучого в трибоактиваторі), так і за традиційною технологіями. При приготуванні бетонних сумішей за роздільною технологією, суспензія в'язучого, попередньо отримана спільним змішуванням послідовно добавлених в швидкісний трибозмішувач води, суперпластифікатора Супер-ПК, шлакопортландцементу і базальтової фібри, змішувалася з піском і керамзитовим гравієм в традиційному бетонозмішувачі примусової дії. Традиційна технологія передбачала приготування бетонних сумішей аналогічних складів у тихохідному бетонозмішувачі примусової дії без попередньої активації в'язучого.

Рухливість бетонної суміші визначалася розпливом конуса Абрамса. Для цього перевернутий конус заповнювався свіжоприготовленою бетонною сумішшю без ущільнення. Не пізніше 90 секунд після заповнення конус піднімався вертикально вгору. Рухливість бетонної суміші в кожному рядку плану експерименту (як за роздільною так і за традиційною технологією) приймалася рівною 50 см. Задана рухливість суміші досягалася коригуванням кількості води замішування в кожному рядку плану. Експериментально встановлено, що така рухливість легкобетонної суміші не вимагає вібрації при її укладанні. Досить невеликих механічних зусиль для забезпечення горизонтальної поверхні бетонної суміші.

**Результати досліджень.** Представляв інтерес з'ясувати однорідність розподілу керамзитобетонної суміші по висоті виробу. Для цієї мети використовувався пустотілий циліндр висотою 100 см в який укладалася свіжоприготовлена бетонна суміш. Після закінчення 3-х днів твердіння бетонний циліндр розрізався на 5 частин однакової висоти, рис. 1.

Проведені дослідження свідчать про високу однорідність керамзитобетону по висоті циліндра (рис. 2). Так, для керамзитобетону на механоактивованому в'язучому різниця в середній густині нижнього та верхнього зразків не перевищує 2,5-3%. Дещо вище різниця в середній густині між нижнім і верхнім зразками (4,5-5%) спостерігається для керамзитобетону на в'язучому, яке не піддавалося механоактивації. На нашу думку, це пов'язано як з особливістю складу бетонної суміші, так і з відсутністю вібрації при її укладанні. Відомо, що віброущільнення [8] сприяє спливанню зерен керамзитового гравію як найлегшого компонента бетонної суміші.

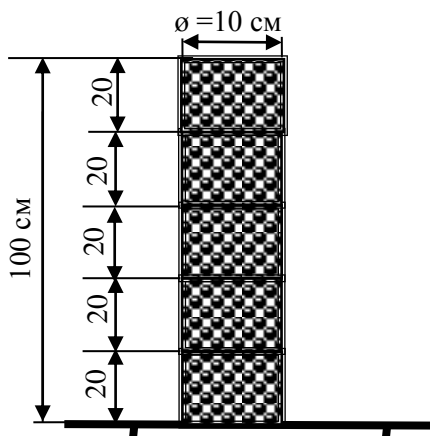


Рис. 1. Бетонна суміш у вертикальному пустотілому циліндрі

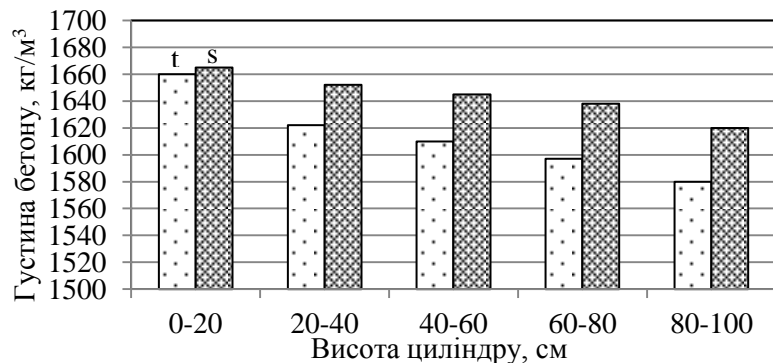


Рис. 2. Зміна середньої густини литого керамзитобетону по висоті циліндра:

t – традиційна технологія; s – роздільна технологія

Бетон у віці 28-ми днів нормального твердіння піддавався випробуванням на стиск, стирання, ударну міцність і морозостійкість. Вплив рецептурних факторів на міцність керамзитобетону у віці 3-х, 7-и та 28-и днів (індекс 3, 7 і 28 відповідно) для приготовленого за роздільною (індекс «s») та традиційною (індекс «t») технологіями описують наведені нижче експериментально-статистичні моделі:

$$f_{ck.cube3}^s = 14,4 + 3,6x_1 - 0,7x_1^2 + 0,1x_1x_2 + 0,9x_2 - 0,3x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,8x_3 - 0,4x_3^2 \quad (1)$$

$$f_{ck.cube3}^t = 10,1 + 2,5x_1 - 0,4x_1^2 + 0,1x_1x_2 + 0,7x_2 - 0,2x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,6x_3 - 0,3x_3^2 \quad (2)$$

$$f_{ck.cube7}^s = 22,5 + 5,4x_1 - 0,5x_1^2 + 1,4x_2 - 0,8x_2^2 + 0,3x_2x_3 + 1,3x_3 - 0,9x_3^2 \quad (3)$$

$$f_{ck.cube7}^t = 18,7 + 4,7x_1 - 0,9x_1^2 + 1,3x_2 - 0,2x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 0,9x_3 - 0,8x_3^2 \quad (4)$$

$$f_{ck.cube28}^s = 22,7 + 5,9x_1 - 0,1x_1^2 + 0,1x_1x_2 - 0,1x_1x_3 + 1,5x_2 - 0,5x_2^2 + 0,1x_2x_3 + 1,1x_3 \quad (5)$$

$$f_{ck.cube28}^t = 20,8 + 5,7x_1 - 0,7x_1^2 + 0,1x_1x_2 - 0,3x_1x_3 + 5,7x_2 - 0,3x_2^2 + 1,0x_3 \quad (6)$$

Аналіз моделей показує, що міцність бетонів приготовлених за роздільною технологією вище міцності бетонів, приготовлених за традиційною технологією (за весь досліджуваний період твердіння) на 10-30%.

Експериментально встановлено, що міцність бетонів, суміші яких готувалися за роздільною технологією, на 3 день твердіння в 1,5 рази вище, ніж у контрольних зразків (в'язуче механоактивації не піддавалося). У подальшому швидкість набору міцності керамзитобетону на механоактивованому в'язучому сповільнюється і до 28-ми денного віку приріст міцності в порівнянні з контролем не перевищує 10-15% (рис. 3).

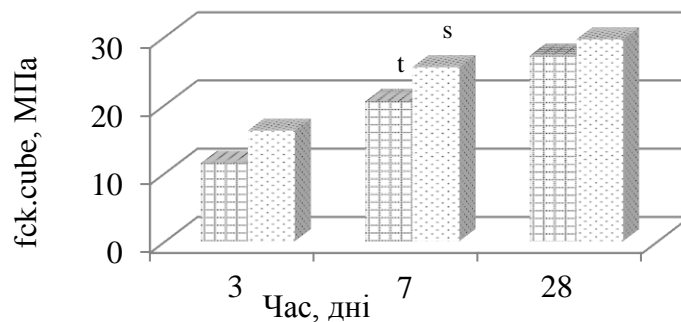


Рис. 3. Вплив терміну твердіння на кінетику набору міцності керамзитобетону складу: шлакопортландцемент – 550 кг/м<sup>3</sup>; пісок – 727 кг/м<sup>3</sup>; кер. гравій<sub>5-10</sub> – 385 л/м<sup>3</sup>; кер. гравій<sub>10-20</sub> – 245 л/м<sup>3</sup>; В/Ц<sub>PT</sub> = 0,42; В/Ц<sub>TT</sub> = 0,43; СПК – 1,5%; фібра – 1%  
t – традиційна технологія; s – роздільна технологія

Графічна інтерпретація моделі (5), що описує вплив рецептурних факторів на міцність бетонів, що твердіють у нормальних умовах на механоактивованому в'язучому, представлена на рис. 4.

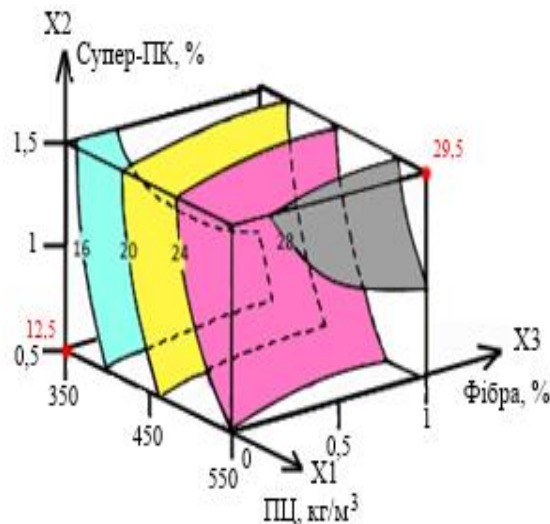


Рис. 4. Вплив рецептурних факторів на міцність бетону (МПа), виготовленого за роздільною технологією

Аналіз графічних залежностей свідчить про значний вплив витрати в'язучого на міцність бетону. Зі збільшенням вмісту в'язучого від 350 до 550  $\text{кг/м}^3$  міцність бетону підвищується з 17,8 до 29,5 МПа, тобто більш ніж в 1,5 рази.

Слід відмітити вплив на міцність бетону кількості суперпластифікатору Супер-ПК. Так, збільшення його концентрації від 0,5 до 1,5% призводить до збільшення міцності з 24,2 до 27,5 МПа, тобто майже на 13%.

Спільний вплив на шлакопортландцемент механоактивації, Супер-ПК і базальтової фібри призводить до підвищення міцності в 28-ми добовому віці бетону в порівнянні з контролем (бетон на немеханоактивованому портландцементі, Супер-ПК і базальтова фібра відсутні) з 11,3 до 29,5 МПа, тобто більш ніж в 2,5 рази.

Важливою властивістю бетонів є їх спротив стиранню.

ЕС-моделі, що відображають вплив рецептурних факторів складу керамзитобетону у віці 28-ми днів, виготовленого за роздільною (індекс «s») та традиційною (індекс «t») технологіями, на рівень його стирання, мають вигляд:

$$G_{1,s} (\text{г/см}^2) = 0.243 - 0.033x_1 + 0.002x_1^2 + 0.008x_1x_3 - 0.010x_2 - 0.003x_2^2 - 0.107x_3 + 0.032x_3^2 \quad (7)$$

$$G_{1,t} (\text{г/см}^2) = 0.274 - 0.033x_1 + 0.008x_1x_3 - 0.01x_2 - 0.006x_2^2 - 0.108x_3 + 0.034x_3^2 \quad (8)$$

Максимальною стиранністю  $G_{1,t, \min} = 0,46$  ( $\text{г/см}^2$ ),  $G_{1, \min} = 0,43$  ( $\text{г/см}^2$ ) згідно з даними ЕС-моделей (7) та (8) характеризуються склади в точці з координатами  $x_1 = x_2 = x_3 = -1$ , тобто при мінімальній кількості суперпластифікатору, портландцементу і без фібри. Мінімальною стиранністю відповідно  $G_{1,t, \max} = 0,16$   $\text{г/см}^2$  і  $G_{1,s, \max} = 0,13$   $\text{г/см}^2$  характеризуються склади у точці з координатами  $x_1 = x_2 = x_3 = 1$ , тобто при максимальній кількості суперпластифікатора Супер-ПК, шлакопортландцементу та базальтової фібри.

На рис. 5 показані побудовані за ЕС-моделями (7) і (8) суміщені діаграми, що відображають вплив кількості базальтової фібри на стирання керамзитобетону в діапазоні витрати в'язучого 350-550  $\text{кг/м}^3$ .

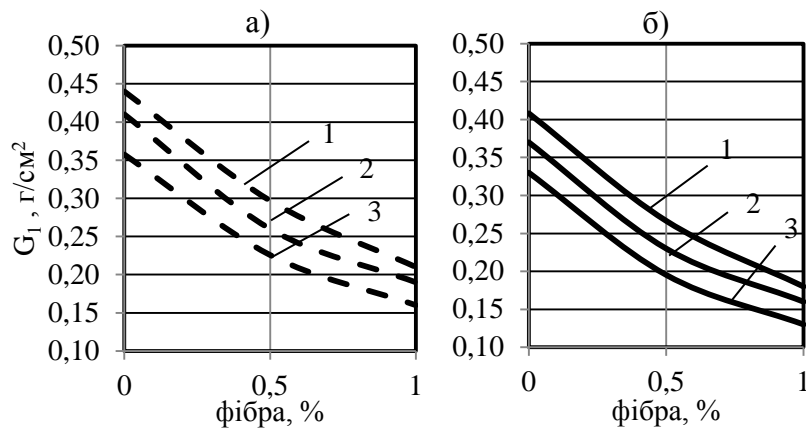


Рис. 5. Вплив вмісту базальтової фібри у в'язучому на стирання керамзитобетону:  
 1, 2, 3 – витрата в'язучого на 1 м<sup>3</sup> бетону 350, 450 та 550 кг/м<sup>3</sup> відповідно.  
 а – контроль (механоактивація в'язучого відсутня); б – бетон на механоактивованому в'язучому

Аналіз експериментальних даних свідчить про те, що збільшення кількості базальтової фібри, що вводиться в бетон, призводить до зниження величини стирання з 0,44 г/см<sup>2</sup> (фібра відсутня) до 0,16 г/см<sup>2</sup> (кількість фібри 1%), тобто більш ніж у 2,5 рази. Зниження стирання, на наш погляд, пояснюється армуючими властивостями волокон, що утримують окремі блоки тендітної цементно-піщаної матриці при механічних впливах на них. Аналогічний вплив базальтової фібри на стирання бетону зазначено у роботах [12-14].

Слід зазначити, що вплив дозування фібри на рівень  $G_1$  має нелінійний характер: при введенні 0,5% волокна від маси в'язучого стирання знижується на 30..36%, тоді як введення її в кількості від 0,5 до 1%, наводить зниження  $G_1$  з 0,25 г/см<sup>2</sup> до 0,19 г/см<sup>2</sup>, тобто лише на 24%.

Встановлено, що в рамках проведеного експерименту ефективність застосування фібри в незначній мірі залежить від кількості добавки – пластифікатора (рис. 6).

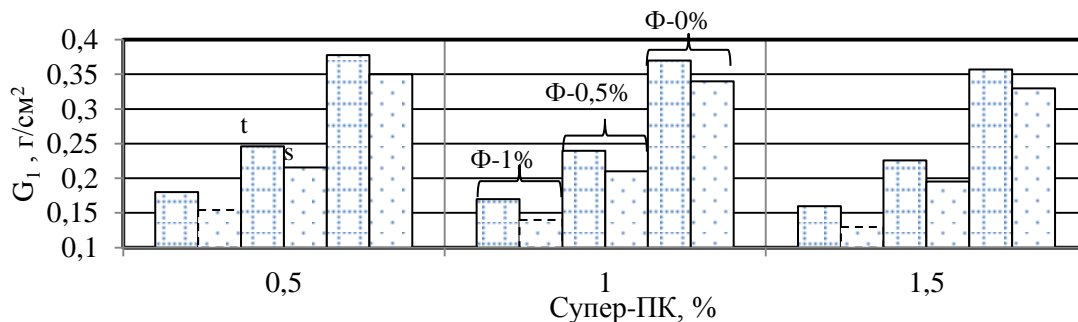


Рис. 6. Вплив кількості суперпластифікатора Супер-ПК на стирання керамзитобетону:  
 t – традиційна технологія; s – роздільна технологія

Як видно з діаграми (рис. 6), при підвищенні кількості добавки Супер-ПК з 0.5 до 1.5% від маси в'язучого, стирання бетону знижується на 0.02-0.03 г/см<sup>2</sup>, що пояснюється загальним зміцненням структури за рахунок зниження В/Ц суміші рівної рухливості. При цьому в міру збільшення кількості базальтової фібри ефективність підвищення дозування добавки зростає.

Керамзитобетон на механоактивованому в'язучому характеризується підвищеною зносостійкістю (порівняно з традиційною технологією приготування бетонної суміші), що можна пояснити зниженням його водопотреби. В цілому, за рахунок підвищення кількості добавки суперпластифікатора полікарбоксилатного типу в механоактивований шлакопортландцемент, витрати в'язучого та введення базальтової фібри, зносостійкість керамзитобетону може бути підвищена більш ніж у 3 рази.

Морозостійкість є дуже важливим показником якості легких бетонів. ЕС-моделі, що відображають вплив факторів складу, що варіюються, на морозостійкість керамзитобетону (відповідно активованого і контрольного) наведені нижче:

$$F_{t(\text{цикли})} = 291,1 + 55,0x_1 - 13,9x_1^2 + 25,0x_2 - 13,8x_2^2 - 13,8x_3 \quad (9)$$

$$F_{s(\text{цикли})} = 336,7 + 40,0x_1 - 33,3x_1^2 - 12,5x_1x_2 + 15,0x_2 - 8,3x_2^2 + 25,0x_3 - 8,3x_3^2 \quad (10)$$

Необхідно відзначити, що оскільки методика випробувань і відповідно нормативи передбачають тільки дискретні марки по морозостійкості матеріалу з кроком у 25 циклів, точність оцінки впливу факторів складу що варіюються на величину  $F$  значною мірою обумовлена такою дискретністю. Іншими словами, неможлива плавна зміна оціненої в експерименті морозостійкості бетону при варіюванні його складу.

Це необхідно враховувати при аналізі як самого показника  $F$ , так і ЕС-моделей, побудованих за результатами визначення даного показника для окремих бетонів, виготовлених у процесі виконання експерименту. Графічна інтерпретація моделей (9) і (10), що описують вплив рецептурних факторів на морозостійкість керамзитобетону виготовленого за роздільною та традиційною технологіями, наведені на рис. 7.

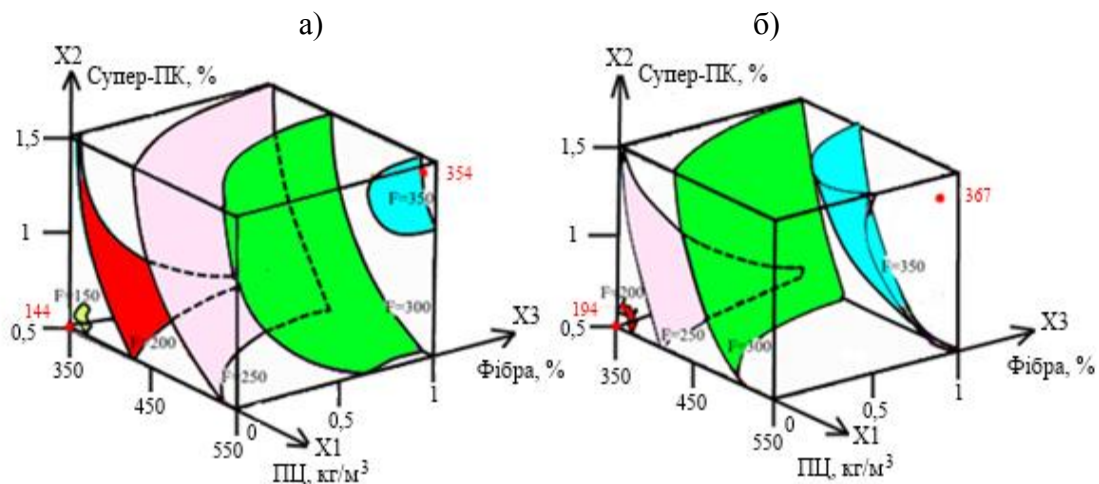


Рис. 7. Вплив рецептурних факторів складу на морозостійкість керамзитобетону, виготовленого за роздільною та традиційною технологіями:

а – контроль (механоактивація в'язучого відсутня); б – бетон на механоактивованому в'язучому

Аналіз графічних залежностей свідчить про те, що фактори складу, що варіюються, надають подібний вплив на морозостійкість бетонів виготовлених як за роздільною, так і традиційною технологіями.

Слід зазначити, що найбільше впливає на морозостійкість керамзитобетону витрата в'язучого. Так, збільшення вмісту в'язучого з 350 до 450 кг/м³ призводить до підвищення морозостійкості керамзитобетону на 75 циклів (незалежно від умов виготовлення бетонної суміші). Подальше збільшення витрати в'язучого до 550 кг/м³ підвищує рівень  $F$  приблизно на 25-50 циклів. У меншій мірі на морозостійкість бетону впливає вміст базальтової фібри. Введення в керамзитобетон 1% базальтової фібри викликає збільшення морозостійкості в середньому на 50-75 циклів (порівняно з бетоном без добавок).

Введення суперпластифікатора Супер-ПК викликає нелінійну зміну морозостійкості досліджених керамзитобетонів. При збільшенні кількості добавки з 0,5 до 1% рівень  $F$  підвищується приблизно на 50 циклів незалежно від витрати в'язучого. Подальше збільшення дозування Супер-ПК до 1,5% призводить до збільшення морозостійкості на 25 циклів. Такий

вплив суперпластифікатора можна пояснити тим, що за умови збереження рівної рухливості суміші добавка знижує кількість води замішування і відповідно пористість. Зниження загальної пористості, з одного боку, викликає підвищення міцності композиту, що сприяє підвищенню морозостійкості, з іншого боку при значному збільшенні концентрації суперпластифікатора значною мірою знижується і кількість закритих пір, що виконують роль компенсаторів об'єму при замерзанні води. Хоча в цілому проведені дослідження говорять про незначний вплив кількості добавки Супер-ПК на морозостійкість.

За рахунок введення суперпластифікатора Супер-ПК в ШПЦ, механоактивації в'язучого, використання базальтової фібри, морозостійкість керамзитобетону може бути підвищена більш ніж в 2 рази.

Представляє інтерес з'ясувати вплив рецептурних факторів на ударну міцність керамзитобетону. Експериментально встановлені в процесі випробувань на лабораторному копрі значення ударостійкості (Дж/см<sup>2</sup>) для п'ятнадцяти досліджених складів керамзитобетонів. Вплив факторів складу, що варіюються, на ударостійкість керамзитобетонів описують наведені нижче відповідні ЕС-моделі:

$$a_t = 51,6 + 4,9x_1 - 1,1x_1^2 - 0,2x_1x_2 + 2,5x_2 - 0,6x_2^2 + 13,9x_3 - 3x_3^2 \quad (11)$$

$$a_s = 58,6 + 5,1x_1 - 1,2x_1^2 - 0,3x_1x_2 + 2,4x_2 - 1,1x_2^2 + 14,1x_3 - 3,1x_3^2 \quad (12)$$

Аналіз моделей (11) і (12) показав, що найбільший вплив на ударостійкість керамзитобетону надає концентрація базальтової фібри. Так, введення фібри в кількості 0,5% від маси в'язучого призводить до підвищення ударостійкості бетонів на 17-20 Дж/см<sup>2</sup> (рис. 8), залежно від витрати в'язучого та вмісту Супер-ПК. Подальше збільшення вмісту базальтового волокна до 1% підвищує показник ударостійкості на 10-12 Дж/см<sup>2</sup>.

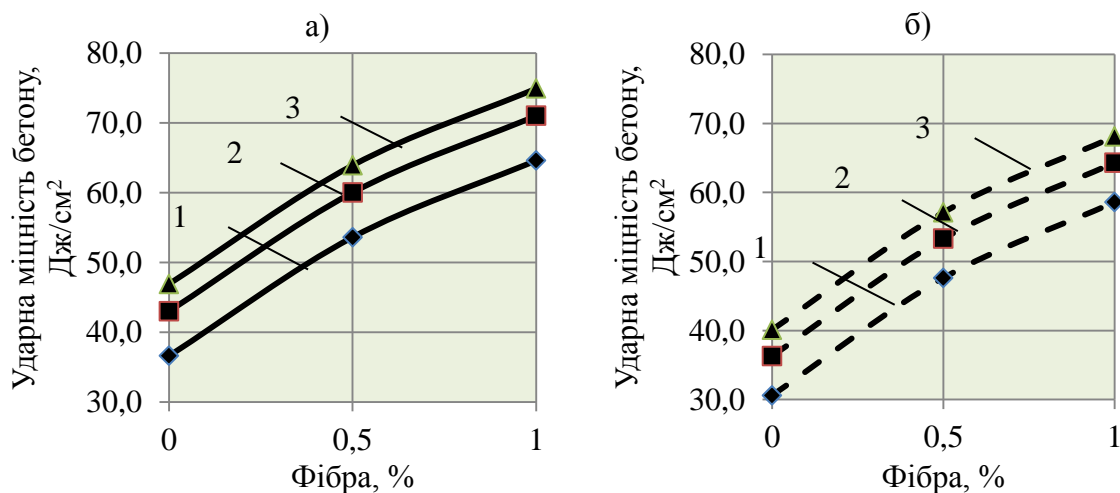


Рис. 8. Вплив вмісту базальтової фібри у в'язучому на ударостійкість керамзитобетону:

1, 2, 3 – витрата в'язучого на 1 м<sup>3</sup> бетону 350, 450 та 550 кг/м<sup>3</sup> відповідно.

а – контроль (механоактивація в'язучого відсутня); б – бетон на механоактивованому в'язучому

Істотному впливу на ударну міцність керамзитобетону сприяє підвищення витрати в'язучого. Зі збільшенням вмісту в'язучого від 350 до 550 кг/м<sup>3</sup> ударна міцність бетону підвищується з 58,6 до 68,1 Дж/см<sup>2</sup> (при максимальному вмісті базальтового волокна), тобто майже на 15%.

Графічна інтерпретація моделей (11, 12), що описують вплив рецептурних факторів на ударну міцність бетонів виготовлених за роздільною та традиційною технологіями представлена на рис. 9.



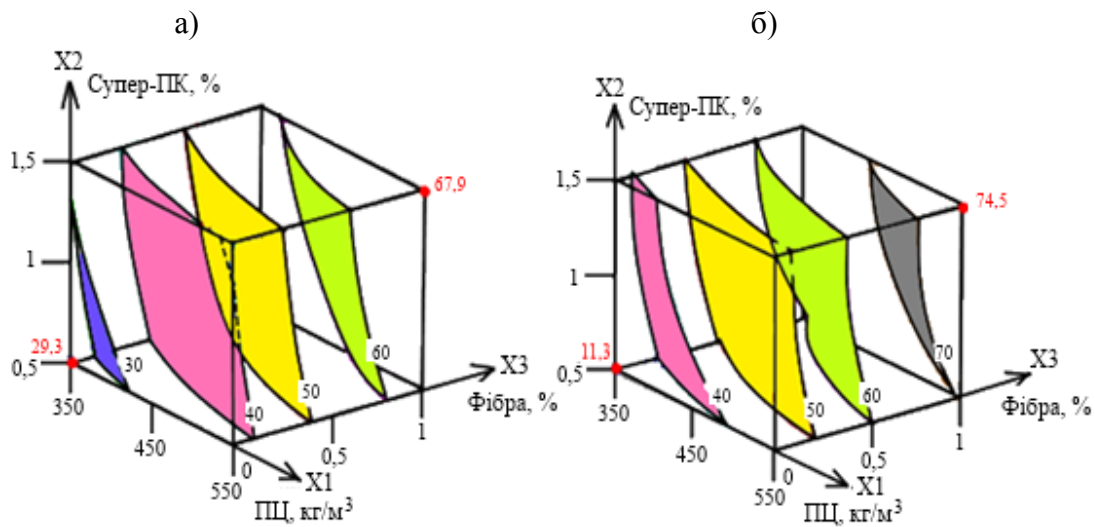


Рис. 9. Вплив рецептурних факторів на ударну міцність бетонів (Дж/см<sup>2</sup>), виготовлених за роздільною та традиційною технологіями:

а – контроль (механоактивація в'язучого відсутня); б – бетон на механоактивованому в'язучому

Незначний вплив на приріст ударної міцності надає кількість Супер-ПК. Так, при введенні суперпластифікатора від 0,5 до 1,5% (баз фібра – 1%, витрата в'язучого 550 кг/м<sup>3</sup>) значення показника ударної міцності збільшується з 63,5 до 68,1 Дж/см<sup>2</sup>, тобто на 8%.

Механоактивація в'язучого збільшує ударну міцність бетону у всьому діапазоні вмісту базальтової фібри в шлакопортландцементі. Застосування механоактивації в'язучого призводить до підвищення ударної міцності бетону в середньому на 10-14%.

#### Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. Введення базальтової фібри спільно з механоактивацією в'язучого дозволяє підвищити показник зносостійкості бетону більше ніж у 3 рази.

2. Керамзитобетон на механоактивованому шлакопортландцементі з додаванням базальтової фібри та суперпластифікатора Супер-ПК характеризується морозостійкістю не нижче F200. Наявність базальтової фібри у суміші підвищує ударну міцність бетону з 47 до 75 Дж/см<sup>2</sup>.

3. Встановлено, що механоактивація в'язучого призводить до підвищення міцності бетону в 3-х денному віці з 11,4 до 16,2 МПа, тобто більш ніж на 40% порівняно з контролем. Введення базальтової фібри в кількості 1% від маси механоактивованого в'язучого забезпечує подальше зростання міцності бетону на 10-15%.

У подальших дослідженнях передбачено вдосконалення технології приготування литих бетонних сумішей з покращеними фізико-механічними характеристиками.

#### Література

1. Дервянко В.Н. Саламаха Л.В. Дисперсно-армированные растворы для устройства стяжек полов. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2009. С. 14-19.
2. Барабаш И.В. Моделирование механизмов структурообразования механоактивированных грубодисперсных систем. *Материалы к 39-му международному симпозиуму по моделированию и оптимизации композитов МОК-39*. Одесса. 2000. С. 75.
3. Пухаренко Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов: автореф. дисс. док. техн. наук. Санкт-Петербург, 2004. 46 с.
4. Ксеншкевич Л.Н., Барабаш И.В., Даниленко А.В. Влияние базальтовой фибры на прочность цементного камня. *Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. Рівне. 2015. С. 163-167.
5. Толмачев С.Н. Сравнительная оценка истираемости монолитного бетона и его компонентов. *Строительные материалы*. 2012. С. 11-13.

6. Dorf V. A. Влияние содержания и характеристик фибры на коэффициент истираемости сталефибробетона с цементно-песчаной матрицей. *Технологии бетонов*. 2014. С. 27-29.
7. Gołaszewski J. Wpływ zawartości popiołu lotnego wapiennego oraz zbrojenia rozproszonego na wybrane charakterystyki fibrobetonów samozagęszczalnych civil and environmental engineering. *Budownictwo i inżynieria środowiska*, 2011. P. 281-287.
8. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях. Стройиздат, Москва, 1976. 236 с.
9. Барабаш И.В., Итомлина-Напорчук А.В., Щербина О.С., Бурлаков Е.С., Колесник И.Г. Влияние волокнистого наполнителя на прочность цементного камня. *Вісник ОДАБА*. 2013. Вип. №50. С. 21-25.
10. Армированные волокнами вяжущие композиционные материалы: вклад полиамидных волокон. URL: [http:// www.trotuar.ru/forms/dobavki/fibra2.shtml](http://www.trotuar.ru/forms/dobavki/fibra2.shtml).
11. Lypez-Buendna A.M., Romero-Sánchez M.D., Climent V., Guillem C. Surface treated polypropylene (PP) fibres for reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*. 2013. P. 29–35.
12. Ghanbari A., Karihaloo B.L. Prediction of the plastic viscosity of self-compacting steel fibre reinforced concrete. *Cement Concrete Research*. 2009. P. 1209–1216.
13. Choi Yun Wang, Kim Yong Jic, Shin Hwa Cheol, Moon Han Young An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high – strength lightweight self – compacting concrete. *Cement And Concrete Research*. 2006. P. 1595 – 1602.
14. Щербина О.С., Барабаш И.В., Кровяков С.А., Барабаш Т.И. Снижение энергоемкости производства самоуплотняющихся легкобетонных. *Енергоефективні технології в будівництві та міському господарстві: м-ли V міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса. ОДАБА. 2014. С. 186-190.
15. Щербина О.С. Прочность цементного камня на механоактивированном шлакоосержащем вяжущем. *Первый независимый научный вестник*. 2016. Вып. №12-13. С. 44-47.

### References

- [1] V.N. Derevianko, L.V. Salamakha, "Dispersno-armirovannye rastvory dlya ustrojstva stvazhek polov", *Stroitel'stvo, materi-alovedenie, mashinostroenie*, 2009, pp. 14-19.
- [2] I.V. Barabash, "Modelirovanie mekhanizmov strukturoobrazovaniya mekhanoaktivirovannyh grubodispersnyh system", *Materialy k 39-mu mezhdunarodnomu simpoziumu po modelirovaniyu i optimizacii kompozitov MOK-39*, Odessa, 2000, pp. 75.
- [3] Y.V. Puharenko, "Nauchnye i prakticheskie osnovy formirovaniya struktury i svojstv fibrobetonov", avtoref. diss. dok. tekhn. nauk. Sankt-Peterburg, 2004.
- [4] L.N. Ksenschkevich, I.V. Barabash, A.V. Danilenko, "Vliyanie bazal'tovoj fibry na prochnost' cementnogo kamnya", *Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudi*, pp. 163-167, 2015.
- [5] S.N. Tolmachev, "Sravnitel'naya ocenka istiraemosti monolitnogo betona i ego komponentov", *Stroitel'nye materialy*, 2012, pp. 11-13.
- [6] V.A. Dorf, "Vliyanie soderzhaniya i harakteristik fibry na koefficient istirae-mosti stale-fibrobetona s cementno-peschanoj matricej", *Tekhnologii betonov*, 2014, pp. 27-29.
- [7] J. Gołaszewski, "Wpływ zawartości popiołu lotnego wapiennego oraz zbrojenia rozproszonego na wybrane charakterystyki fibrobetonów samozagęszczalnych civil and environmental engineering", *Budownictwo i inżynieria środowiska*, 2011, pp. 281-287.
- [8] G.A. Buzhevich, *Legkie betony na poristyh zapolnitelyah*. Stroizdat, Moskva, 1976.
- [9] I.V. Barabash, A.V. Itomlina-Naporchuk, O.S. Shcherbina, E.S. Burlakov, I.G. Kolesnik, "Vliyanie voloknistogo napolnitelya na prochnost' cementnogo kamnya", *Visnik ODABA*, vol. 50, pp. 21-25, 2013.
- [10] Armirovannye voloknami vyazhushchie kompozicionnye materialy: vklad poliamidnyh volokon. [Online]. Available: [http:// www.trotuar.ru/forms/dobavki/fibra2.shtml](http://www.trotuar.ru/forms/dobavki/fibra2.shtml).
- [11] A.M. Lypez-Buendna, M.D. Romero-Sánchez, V. Climent, C. Guillem, "Surface treated polypropylene (PP) fibres for reinforced concrete", *Cement and Concrete Research*,

- 2013, pp. 29-35.
- [12] A. Ghanbari, B.L. Karihaloo, "Prediction of the plastic viscosity of self-compacting steel fibre reinforced concrete", *Cement Concrete Research*, 2009, pp. 1209-1216.
- [13] Choi Yun Wang, Kim Yong Jic, Shin Hwa Cheol, Moon Han Young, "An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high – strength lightweight self – compacting concrete", *Cement And Concrete Research*, 2006, pp.1595-1602.
- [14] O.S. Shcherbina, I.V. Barabash, S.A. Krovyakov, T.I. Barabash, "Snizhenie energoemkosti proiz-vodstva samouplotnyayushchihsya legkobetonnyh. Energoefektivni tekhnologii v budivnictvi ta mis'komu gospodarstvi", *M-li V mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii*. Odesa, 2014, pp. 186-190.
- [15] O.S. Shcherbina, "Prochnost' cementnogo kamnya na mekhanoaktivirovannom shlakosoderzhashchem vyazhushchem", *Pervyj nezavisimyj nauchnyj vestnik*, vol. 12-13, pp. 44-47, 2016.

### THE INFLUENCE OF BASALT FIBER ON THE PROPERTIES OF CLAYDATE-CONCRETE

<sup>1</sup>**Barabash I.V.**, Doctor of Engineering, Professor,  
dekansti@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0241-4728

<sup>1</sup>*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
4, Didrikhson str., Odessa, 65029, Ukraine

<sup>2</sup>**Shcherbyna O.S.**, PhD.,  
olegito4ka@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8180-4665

<sup>2</sup>*"Bautech-Ukraine" LLC*  
4/1, Himichna str., Odessa, 65000, Ukraine

**Abstract.** The paper examines the properties of dispersed-reinforced cast expanded clay concrete on mechanically activated slag Portland cement with the addition of Super-PC polycarboxylate superplasticizer. Experimental studies have established the possibility of obtaining lightweight concrete based on high-mobility lightweight concrete mixtures with a diameter of a cone of at least 50 cm.

It has been experimentally confirmed that the hydrophobization of expanded clay gravel helps to increase the spreading of the cone of the concrete mixture, and also increases the viability of the concrete mixture. The expediency of mechanical activation of slag Portland cement in the presence of Super-PC to obtain light concrete with increased characteristics in terms of frost resistance, abrasion and impact strength is shown.

The results of research are presented, which indicate that the introduction of basalt fiber into slag Portland cement together with the mechanical activation of the binder allows to reduce the abrasion of concrete from 0.44 to 0.13 g/cm<sup>2</sup>, as well as to increase the impact strength of concrete by almost 2 times (compared to with control). The proposed complex of recipe-technological influences allows to ensure frost resistance of concrete not less than 350 cycles of alternating freezing and thawing.

It was established that the mechanical activation of the binder causes an increase in the strength of concrete at the age of 3 days from 11.3 to 16.2 MPa, that is, by more than 40% compared to the control. The introduction of basalt fiber in the amount of 1% of the mass of the binder ensures an increase in the strength of concrete by 10-15%. The joint effect on slag Portland cement of mechanical activation, additives of poly-carboxylate Super-PC and basalt fiber causes an increase in the strength of concrete at the age of 28 days (compared to the control) from 11.3 to 29.5 MPa, i.e. more than 2.5 times.

In general, the combined use of the listed recipe-technological factors ensures an increase in the main physical and mechanical characteristics of lightweight concrete.

**Keywords:** expanded clay concrete, mechanical activation, basalt fiber, polycarboxylate superplasticizer, abrasion, frost resistance, impact strength.

Стаття надійшла до редакції 14.08.2022