

## ВПЛИВ ДИСПЕРСНОГО АРМУВАННЯ І ЗЕРЕН ПОНИЖЕНОЇ ПРУЖНОСТІ НА ВЛАСТИВОСТІ ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ

Кровяков С.О., Даниленко А.В. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

**Досліджено і порівняно вплив зерен пониженої пружності різних фракції і дисперсного армування на властивості дрібнозернистого бетону. Показано, що введення зерен керамзиту розміром 0.315-0.63 мм дозволяє підвищити тріщиностійкість, ударостійкість і морозостійкість бетону.**

Серед багатьох відомих у сучасному матеріалознавстві методів підвищення специфічних властивостей бетону, зокрема ударостійкості, тріщиностійкості і морозостійкості, в останні роки найчастіше застосовується дисперсне армування фіброю [1]. Менш поширеним, проте як показують результати багатьох досліджень [2-5], теж дуже ефективним методом є введення зерен пониженої пружності (часток - демпферів). З метою порівняння ефективності застосування зерен пониженої пружності і дисперсного армування, а також перевірки можливості сумісного застосування цих двох методів, були проведені описані нижче дослідження.

За рахунок розсіву було створено пісок зі штучним співвідношенням фракцій за масою (при використанні лише кварцових зерен): 1,25..2,5 мм – 20%, 0,63..1,25 мм – 30%, 0,315..0,63 мм – 20%, 0,16..0,63 мм – 30%. Експеримент проводився за 15-ти точковими D-оптимальним планом [6]. Співвідношення цемент/пісок у дрібнозернистому бетоні за масою було прийнято як 1:3 при застосуванні чистого кварцового піску. Варіювалися наступні три фактори складу:

$X_1$  – доля керамзитових зерен в піску фракції 0.315-0.63 мм, від 0 до 70% за об'ємом.

$X_2$  – доля керамзитових зерен в піску фракції 0.16-0.315 мм, від 0 до 70% за об'ємом.

$X_3$  – кількість поліпропіленової фібри Ваусон з діаметром 19 мкм і довжиною 12 мм, від 0 до 1.2 кг/м<sup>3</sup>.

У всі склади вводився суперпластифікатор С-3 у кількості 0.8% від маси цементу, використовувався портландцемент марки 400 Одеського цементного заводу і керамзитовий пісок Одеського керамзитового заводу з насипною масою 800 кг/м<sup>3</sup>.

За рахунок підбору кількості води всі суміші мали рівну рухливість - від 6 до 8 см по penetрації стандартного конусу. Тобто їх водопотреба залежала від складу і по результатам визначення В/Ц у 15 експериментальних точках була побудована експериментально-статистична (ЕС) модель [6] впливу факторів складу на даний показник (похибка експерименту  $s_E = 0.010$ ):

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = & 0.434 + 0.011x_1 + 0.006x_1x_3 \\ & - 0.025x_2 + 0.019x_2^2 - 0.005x_2x_3 \\ & - 0.019x_3 \end{aligned} \quad (1)$$

По даній ЕС-моделі була побудована діаграма у вигляді кубу, яка показана на рис.1.

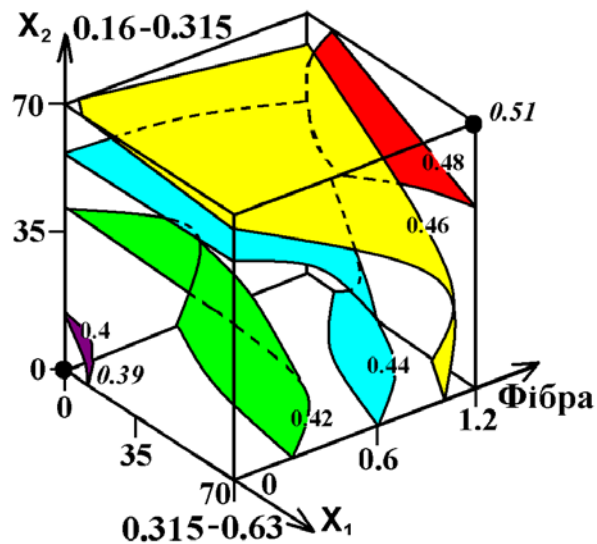


Рис.1. Вплив факторів складу на В/Ц суміші рівної рухливості

Аналіз моделі (1) і діаграми дозволяє сказати, що у межах факторного простору проведеного експерименту найменше В/Ц мають бетони без фібри і керамзитових зерен. Зміна кварцового піску фракції 0.315-0.63 мм на зерна пониженої пружності аналогічного розміру (керамзитовий пісок) майже не впливає на В/Ц (водопотребу) суміші, проте введення більш дрібних зерен 0.16-0.315 мм вже підвищують В/Ц. Введення фібри, природно, підвищує В/Ц суміші рівної рухливості.

Крім водопотреби досліджувалася однорідність суміші за показником її водовідділення. Слід відмітити, що суміші з керамзитовими зернами були більш однорідними в порівнянні з бетонними і фібробетонними сумішами без пористих зерен [7].

Міцність бетонів була досліджена як при нормальній (рівноважній) вологості, як і у сухому, так і у водонасиченому станах. Результати аналізу показали, що заміна до 70% кварцового піску «крупної» фракції 0.315-0.63 мм на керамзитові зерна майже не впливає на міцність бетону при стиску незалежно від вологості матеріалу. Введення поліпропіленової фібри також несуттєво впливає на міцність при стиску. Проте заміна піску «дрібною» фракції 0.16-0.315 мм на зерна пониженої пружності впливає на рівень  $R_b$  негативно, що пояснюється підвищенням водопотреби суміші і, відповідно, В/Ц.

На міцність на розтягування при згині варіювання факторів складу бетону оказує більш відчутний вплив. Заміна кварцового піску фракції 0.315-0.63 мм частками пониженої пружності ( $x_1$ ) підвищує міцність бетону на розтягання при згині на 10-12% у всіх трьох досліджених ступенях вологості матеріалу. Причому, по мірі росту кількості фібри у бетоні ефективність введення часток пониженої пружності поступово знижується. Застосування дисперсного армування підвищує рівень  $R_{bt}$  на 10-15% майже незалежно від рівнів інших факторів. Введення «дрібною» фракції 0.16-0.315 мм керамзитового піску майже не впливає на міцність бетону на розтягання при згині.

Тріщиностійкість матеріалу оцінювалася по рівню критичного коефіцієнту інтенсивності напружень  $K_{1C}$  [8] за трьох-точковою схемою випробувань. Вплив факторів складу, які варіювалися, на тріщиностійкість дрібнозернистого бетону описується ЕС-моделлю ( $\sigma_E = 0.017 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0.5}$ ):

$$K_{1C} (\text{МПа} \cdot \text{м}^{0.5}) = 0.333 + 0.007x_1 \quad \bullet \quad + 0.013x_1x_2 - 0.016x_1x_3$$

$$- 0.014x_2 \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet \quad \bullet$$

По моделі (2) була побудована діаграма у вигляді квадрата, яка показана на рис.2.а, що відображає вплив кількості часток пониженої пружності фракції 0.315-0.63 мм ( $x_1$ ) і фібри ( $x_3$ ) на тріщиностійкість бетону. Діаграма характеризує бетон без часток пониженої пружності «дрібної» фракції, тобто побудована при зафіксованому  $x_2 = -1$ .

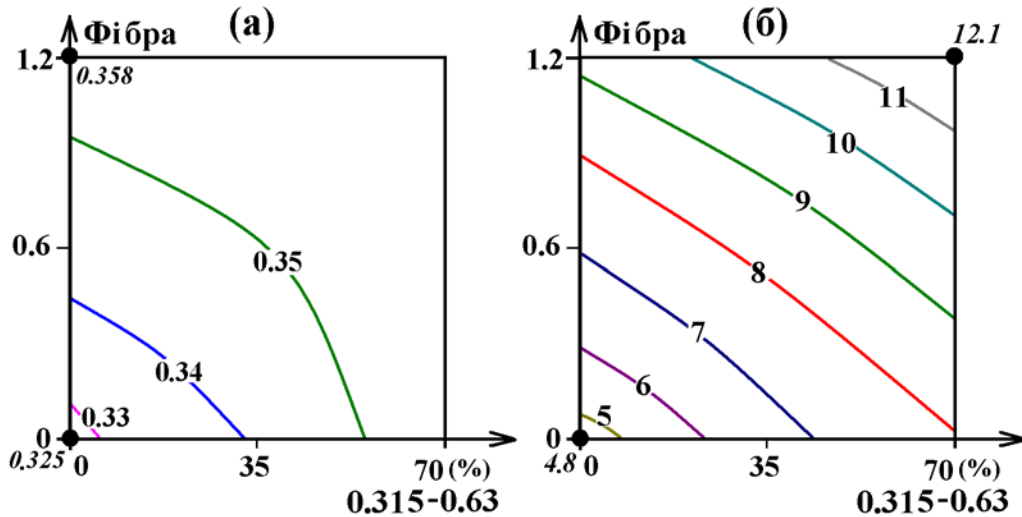


Рис.2. Вплив кількості часток пониженої пружності фракції 0.315-0.63 мм і поліпропіленової фібри на тріщиностійкість (а) і ударостійкість (б) бетону.

Аналіз діаграми дозволяє сказати, що збільшення кількості керамзитових зерен в піску фракції 0.315-0.63 у рамках факторного простору експерименту підвищує тріщиностійкість бетону на 12-14%. Майже аналогічний вплив на рівень  $K_{1C}$  оказує дисперсне армування бетону поліпропіленовою фіброю. Проте сумісне введення часток пониженої пружності і фібри вже не дає додаткового ефекту у підвищенні тріщиностійкості.

По моделі, аналогічній (1) і (2) була побудована діаграма на рис.2.б, що відображають вплив кількості часток пониженої пружності фракції 0.315-0.63 мм і фібри на ударостійкість бетону. Можна зробити висновок, що застосовані в нашому дослідженні технологічні прийоми дозволяють підвищувати ударостійкість бетону більш ефективно, ніж тріщиностійкість. Причому ударостійкість додатково поліпшується при сумісному введенні часток пониженої пружності і фібри – в сумі у 2.5 рази.

Зміна морозостійкості дрібнозернистого бетону при варіюванні факторів складу описується ЕС-моделлю ( $s_E = 14$  циклів):

$$F(\text{цикли}) = 400 + 20x_1 - 30x_1^2 + 19x_1x_2 + 45x_3 \quad (3)$$

Діаграма, яка побудована по даній моделі, показана на рис.3. Можна зробити висновок, що заміна 40-50% кварцового піску фракції 0.315-0.63 мм частками пониженої пружності дозволяє підвищити морозостійкість дрібнозернистого бетону на 50-70 циклів майже незалежно від кількості фібри у композиті. Ведення «дрібної» фракції керамзитового піску 0.16-0.315 мм майже не впливає на морозостійкість. Позитивний ефект для

«крупних» пористих зерен можна пояснити створенням «резервної» пористості у бетоні, аналогічній ефекту при застосуванні повітрязалучуючих добавок.

Застосування дисперсного армування також позитивно впливає на морозостійкість бетону, що є відомим у матеріалознавстві фактом. Важливо відмитими, що вплив фібри на морозостійкість за масштабом майже співпадає з ефектом, який досягається за рахунок введення зерен пониженої пружності оптимального розміру. Проте застосування дисперсного армування можна вважати технологічно більш складною і коштовною операцією. Слід зазначити, що описані результати були отримані на дрібнозернистому піщаному бетоні. Для важких бетонів з крупним заповнювачем, в яких можливо більш якісне защемлення волокон фібри, ефективність порівняних технологічних прийомів (застосування зерен пониженої пружності і дисперсного армування) може бути іншою.

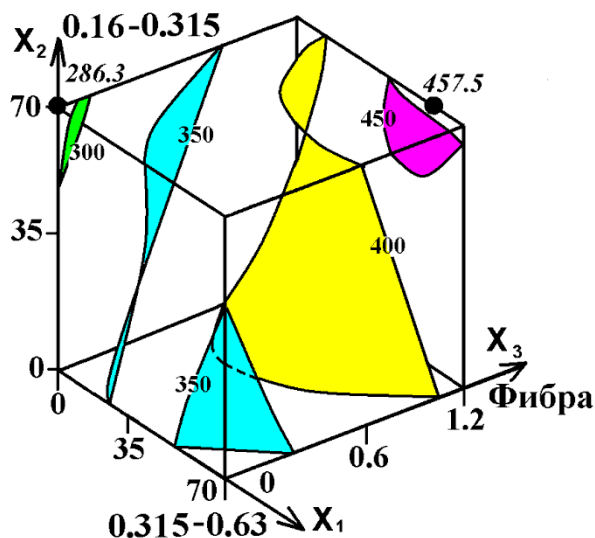


Рис.3. Вплив факторів складу на морозостійкість бетону (циклів).

**Висновок.** В цілому можна зробити висновок, що введення зерен пониженої пружності оптимального розміру дозволяє керувати властивостями дрібнозернистого бетону з ефективністю, практично рівною ефективності дисперсного армування. Для дрібнозернистого бетону оптимальною можна вважати фракцію розміром близько 0.5 мм (0.315-0.63 мм при використанні стандартних сит). Але, враховуючи економічний фактор, зокрема вартість волокон і технологічність приготування суміші, використання частки керамзитового піску як матеріали-демпферу у виробництві важкого бетону можна вважати більш вигідним.

### Summary

**Investigated and compared the impact of beans lowered elasticity of different factions and polymer fiber of fine reinforcement of concrete. Shown that the introduction of expanded clay grain size 0.315-0.63 mm to improve crack resistance, impact strength and frost resistance of concrete.**

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции / Ф.Н. Рабинович. – М.: Издательство АСВ, 2004. — 560 с.

2. Структурообразование и разрушение цементных бетонов // [В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов] – Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. – 376 с.

3. Кровяков С.А. Анализ влияния демпфирующих частиц на трещиностойкость композитов в сухом и водонасыщенном состоянии с использованием пропорциональных

критериальных шкал / С.А. Кровяков // Мат-лы 47-го междуна. сем. МОК'47. – Одесса: Астропринт, 2008. – С. 61-63.

4. Кровяков С.А. Влияние демпфирующих частиц на свойства мелкозернистых бетонов при зафиксированной гранулометрии заполнителей / С.А. Кровяков, А.В. Даниленко / Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). Вип..72. К.: ДП НДІБК, 2009. – С. 99-104.

5. Кровяков С.А. Влияние демпфирующих частиц на свойства мелкозернистых бетонов в сухом и водонасыщенном состоянии / С.А. Кровяков, А.В. Даниленко / Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 34. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. – С. 116-122.

6. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.

7. Кровяков С.О. Порівняння ефективності застосування зерен пониженої пружності і дисперсного армування при керуванні властивостями дрібнозернистого бетону/ С.О. Кровяков, А.В. Даниленко / Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. №14, 2010 р. – С. 163-168.

8. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей / Ю.В. Зайцев. - М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.