

**КРУПНОПОРИСТИЙ ДРІБНОЗЕРНИСТИЙ БЕТОН ІЗ
ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ КАМЕНЕПОДРІБНЕННЯ**

**MACROPOROUS FINE-GRAINED CONCRETE WITH USING OF STONE
CRUSHING WASTE**

**Дворкін Л.Й., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0001-8759-6318,
Бордюженко О.М., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-3686-5121, Мироненко
Т.В., інженер, викладач (Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне)**

**Dvorkin L., doctor of technical sciences, professor, ORCID: 0000-0001-8759-
6318, Bordiuzhenko O., candidate of technical sciences, associate professor,
ORCID: 0000-0003-3686-5121, Myronenko T., engineer, teacher (National
University of Water and Environmental Engineering, Rivne)**

**Наведено результати досліджень властивостей крупнопористого
дрібнозернистого бетону з використанням гранітних відсівів.
Встановлено, що при оптимальних параметрах складу подібні бетони
можуть мати показники міцності та густини, які дозволяють їм успішно
конкурувати із традиційними стіновими матеріалами.**

**Macroporous concrete is a sand-free concrete, usually obtained from a
mixture of gravel or crush stone with cement and water at limited content of
cement paste. A feature of macroporous concrete is its unique structure with a
larger volume of cavities between the grains, in contrast to classical concrete.
The aim of the research was to study the influence of composition factors on
the main properties of macroporous concrete (strength and density) made by
vibropressing. The use as a aggregate of granite screening with
monofractional composition suggests the possibility of obtaining concrete with
an optimal combination of strength and density. To obtain quantitative
dependences that take into account the influence of the main technological
factors which define the macroporous concrete properties, experiments were
performed using mathematical planning. After statistical processing,
experimental-statistical (mathematical) models of strength and density of
macroporous concrete were obtained.**

**It is established that the strength of macroporous concrete depends on the
content and strength of cement stone. However, increasing the consumption of
cement does not always lead to adequate strengthening of contacts between
the grains of the aggregate. As follows from the analysis of the models, there is
a certain optimum consumption of the superplasticizer from the standpoint of
concrete strength.**

It is determined that at optimal parameters of macroporous concretes composition it becomes possible to acquire strength and density values which allow them to compete successfully with traditional wall materials.

Ключові слова:

Крупнопористий бетон, міцність, густина, гранітний відсів, деформативність. Macroporous concrete, strength, density, granite screening, constructive quality factor.

Вступ. Аналіз досліджень. Ідея одержання крупнопористого бетону (КПБ), структура якого характеризується значним об'ємом міжзернових порот, була вперше висловлена в 1912 р. Н.А. Житкевичем [1]. В подальшому технологія цього різновиду легкого бетону вивчалася різними дослідниками [2; 3]. Для одержання крупнопористого бетону застосовують як легкі пористі заповнювачі, так і звичайні важкі: гравій або щебінь. Поряд з іншими видами легких бетонів КПБ може бути використаний як матеріал для монолітних і збірних стінових конструкцій, а також для дренажних систем і фільтрів. При використанні важкого заповнювача товщина стін із КПБ приймається такою ж як цегельних, пористих заповнювачів – зменшується в 1,5...2 рази.

Крупнопористий бетон – це безпіщаний бетон, що отримується звичайно з суміші щільного або пористого гравію або щебеню, цементу і води при обмеженому вмісті цементного тіста. Особливістю крупнопористого бетону є його унікальна структура з більш значним обсягом порожнин між зернами, на відміну від класичного бетону.

Густина крупнопористого бетону на важкому заповнювачі зазвичай не перевищує 1800 кг/м³, що дозволяє ефективно використовувати його для виробів і конструкцій з підвищеною міцністю при відносно невеликій густині. Пориста структура КПБ дозволяє застосовувати його також для виробів і конструкцій з підвищеною фільтраційною здібністю.

Підбір складу КПБ може здійснюватися будь-яким способом за умови отримання матеріалу із заданими міцністю, морозостійкістю та густиною з суміші, що має необхідну легкоукладальність при мінімальній витраті цементу.

Розмір зерен заповнювачів для крупнопористого бетону приймають зазвичай в межах 5...40 мм. Застосування більш однорідних і порівняно дрібних заповнювачів знижує густину і коефіцієнт теплопровідності КПБ і зменшує його повітропроникність [2].

Для підвищення рухомості сумішей крупнопористого бетону застосовуються поверхнево-активні добавки, а також добавки вапна у вигляді тонкомолотого порошку або вапняного тіста; для прискорення твердіння укладеної бетонної суміші застосовуються добавки солей як окремо, так і спільно з поверхнево-активними добавками [3].

Витрати цементу, заповнювача і води, прийняті за таблицями, уточнюють пробними замісами з виготовленням з них контрольних зразків-кубів. При цьому підібраний склад повинен забезпечити нерозшарування крупнопористої бетонної суміші.

Мета, матеріали та методи досліджень. Метою досліджень було вивчення впливу факторів складу на основні властивості КПБ (міцність та середню густину), виготовленого методом вібропресування. Використання в якості заповнювача чистого гранітного відсіву монофракційного складу дозволяє припустити можливість отримання бетону з оптимальним поєднанням значень міцності та середньої густини.

Спосіб отримання КПБ реалізовувався наступним чином. Попередньо проводилось змішування чистого гранітного відсіву (фракції 2,5...5 мм), портландцементу, води і добавки (пластифікатор СП-1). Далі після ретельного перемішування протягом 1...1,5 хв, бетонну суміш уклали в форму (зразки-куби 10×10×10 см) і розміщали на вібромайданчику. Бетонну суміш укладалась в форми в 3 шари з рівномірним ущільненням кожного з використанням привантаження 0,3 Н/см².

Виготовлені зразки (рис. 1) тверділи протягом 28 діб при температурі 20...25° С і відносній вологості повітря близько 95%.



Рис. 1. Лабораторний зразок крупнопористого бетону з гранітного відсіву

Результати досліджень. Для отримання кількісних залежностей, що враховують вплив основних технологічних факторів, що впливають на властивості КПБ були проведені експерименти із застосуванням математичного планування.

Основними факторами, що варіювались при проведенні експериментів були вміст цементу (x_1); В/Ц (x_2) і витрата добавки СП-1, % від цементу (x_3).

В табл. 1 наведені умови планування експерименту. В якості вихідних параметрів прийнято міцність бетону через 28 діб нормального твердіння (f_c^{28}) та його середня густина ρ_b .

Таблиця 1

Умови планування експерименту при отриманні
рівнянь 1 і 2

Фактори	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
Витрата цементу (x_1), кг	200	240	280	40
В/Ц, (x_2)	0,36	0,38	0,4	0,02
Витрата СП-1, % від маси цементу. (x_3)	0	0,3	0,6	0,3

Експериментальні значення марочної міцності та середньої густини бетону, що отримані при реалізації тривіневого трьохфакторного плану, представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Експериментальні результати

№ з/п	В/Ц	Витрати компонентів, кг/м ³				Міцність при стиску, МПа (28 діб) f_c^{28}	Середня густина, кг/м ³ ρ_b
		Ц	В	СП-1	відсів (фракція 2...5мм)		
1	0,4	280	112	1,68	1600	16,5	1805
2	0,4	280	112	0	1600	12,9	1766
3	0,36	280	100,8	1,68	1600	11,8	1798
4	0,36	280	100,8	0	1600	5,9	1774
5	0,4	200	80	1,2	1600	6,8	1679
6	0,4	200	80	0	1600	6,2	1717
7	0,36	200	72	1,2	1600	7,6	1722
8	0,36	200	72	0	1600	5,1	1689
9	0,38	280	106,4	0,84	1600	16,3	1810
10	0,38	200	76	0,6	1600	13,2	1716
11	0,4	240	96	0,72	1600	13,1	1792
12	0,36	240	86,4	0,72	1600	12,3	1770
13	0,38	240	91,2	1,44	1600	9,8	1789
14	0,38	240	91,2	0	1600	9,9	1759
15	0,38	240	91,2	0,72	1600	14,2	1770
16	0,38	240	91,2	0,72	1600	14,4	1772
17	0,38	240	91,2	0,72	1600	13,8	1789

Після статистичної обробки отримані експериментально-статистичні (математичні) моделі міцності (f_c^{28}) та середньої густини (ρ_6) крупнопористого бетону:

$$f_c^{28} = 14,1 + 2,31x_1 + 1,14x_2 + 1,39x_3 + 0,57x_1^2 - 1,48x_2^2 - 4,3x_3^2 + 1,25x_1x_2 + 0,98x_1x_3 - 0,35x_2x_3; \quad (1)$$

$$\rho_6 = 1786 + 43x_1 + 8,8x_3 - 23,8x_1^2 - 4,5x_2^2 - 12,8x_3^2 + 1,8x_1x_2 + 8,5x_1x_3 - 7x_2x_3. \quad (2)$$

Для дослідження впливу варійованих факторів на міцність бетону у відповідному віці були побудовані графіки їх впливу (рис. 2, 3). Третій фактор був зафіксований на основному (нульовому) рівні (табл. 1).

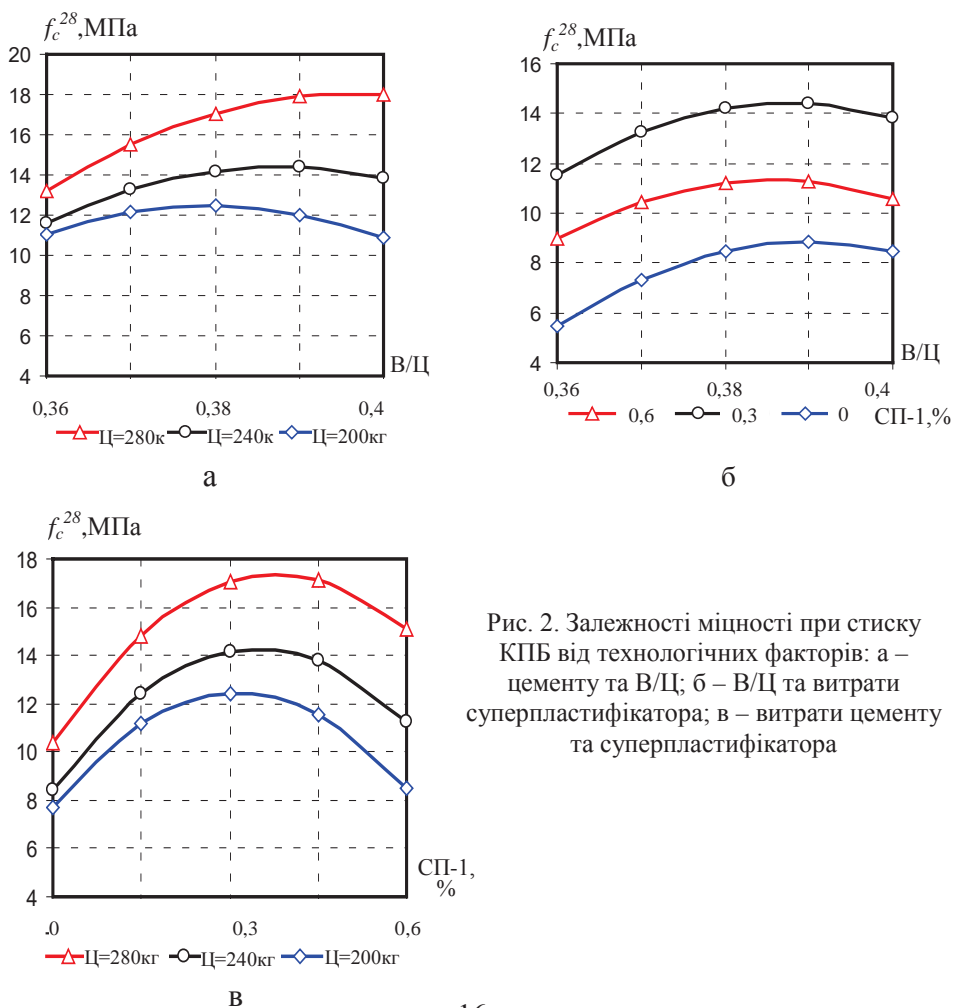


Рис. 2. Залежності міцності при стиску КПБ від технологічних факторів: а – цементу та В/Ц; б – В/Ц та витрати суперпластифікатора; в – витрати цементу та суперпластифікатора

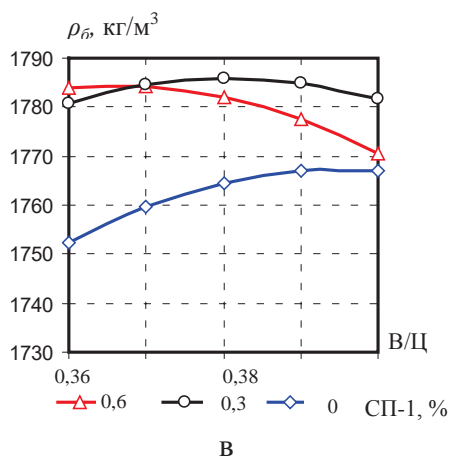
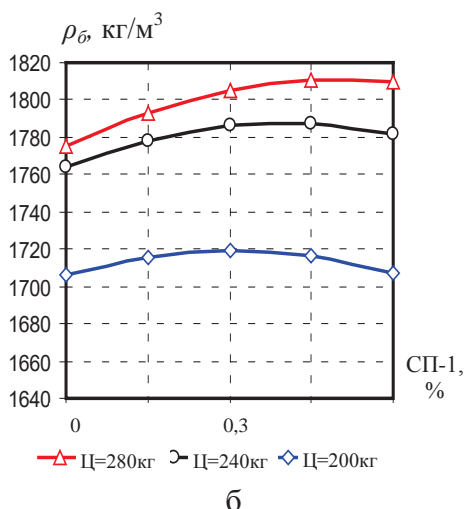
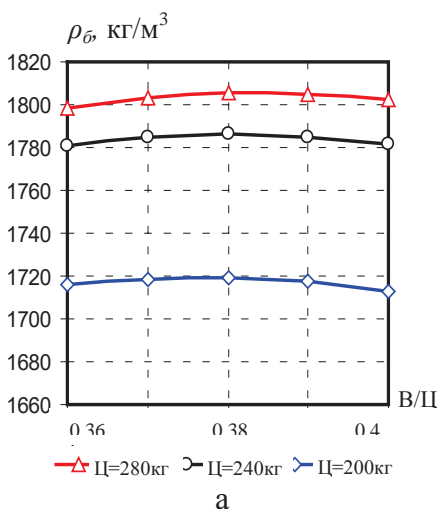


Рис. 3. Залежності середньої густини КРБ від технологічних факторів: а – від витрати цементу та В/Ц; б – витрати цементу та суперпластифікатора; в – В/Ц та витрати суперпластифікатора

Аналізуючи математичні моделі та побудовані на їх основі графічні залежності можна зробити висновок, що міцність крупнопористого бетону залежить від кількості і міцності цементного каменю. Проте збільшення витрати цементу не завжди приводить до адекватного зміцнення контактів між зернами заповнювача. При зменшенні В/Ц вплив витрати цементу на міцність КРБ суттєво зменшується (рис. 2).

На міцність КРБ впливає також добавка суперпластифікатора СП-1. Як випливає з аналізу моделей (рис. 2), спостерігається певний оптимум витрати добавки суперпластифікатора з позицій міцності даного виду бетону.

Експериментальні результати показують, що зміна В/Ц неоднозначно позначається на міцності бетону. Збільшення міцності при збільшенні В/Ц і постійній витраті цементу до певної межі пояснюється необхідністю забезпечення мінімальної витрати води, при якій створюються умови для зв'язування зерен заповнювача в єдиний конгломерат.

На густину КПБ вирішальне значення має витрата цементу (рис. 3) і відповідно цементного каменю. Інші варійовані фактори суттєво не змінюють густину крупнопористого бетону.

Таким чином, з огляду на отримані результати можна відмітити, що при помірних витратах цементу (240...280 кг/м³) та добавки СП-1 (0,3...0,6%) можна отримувати крупнопористий бетон на основі фракції гранітного відсіву 2...5 мм з прийнятними характеристиками: $f_c^{28} = 12...16$ МПа; $\rho_b = 1750...1800$ кг/м³.

Одним з ефективних способів використання крупнопористого бетону може бути використання його в якості оболонки для виготовлення стінових т.зв. "термоблоків" (рис. 4).

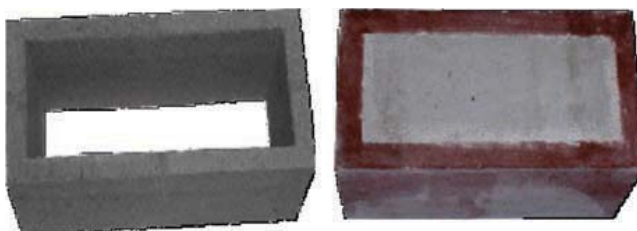


Рис. 4. Зовнішній вигляд оболонки для термоблоку з важкого КПБ та термоблоку з теплоізоляційною вставкою із ніздрюватого бетону густиною 500 кг/м³

Таблиця 3

Фізико-механічні та теплофізичні властивості стінових виробів

Порівнювані матеріали	Густина		Тепло-провідність, Вт/м·К	Термічний опір, м ² ·К/Вт	f_c , МПа	Коефіцієнт конструктивної якості, МПа·г/см ³
	кг/м ³	г/см ³				
Керамічна цегла (повнотіла)	1700	1,7	0,78	0,63	7,5	4,4
Силікатна цегла	1800	1,8	0,83	0,55	10	5,6
Пінобетон (D800)	800	0,8	0,31	2,17	3,2	4
Крупнопористий бетон	1800	1,8	0,83	0,6	15	8,3
Крупнопористий бетон	1700	1,7	0,78	0,64	12	7,1
Термоблок (пінобетон D500)	1160	1,16	0,492	1,017	10	8,6

Порівняння теплофізичних та фізико-механічних властивостей таких виробів із деякими іншими стіновими матеріалами наведено в табл. 3 та на рис. 5.

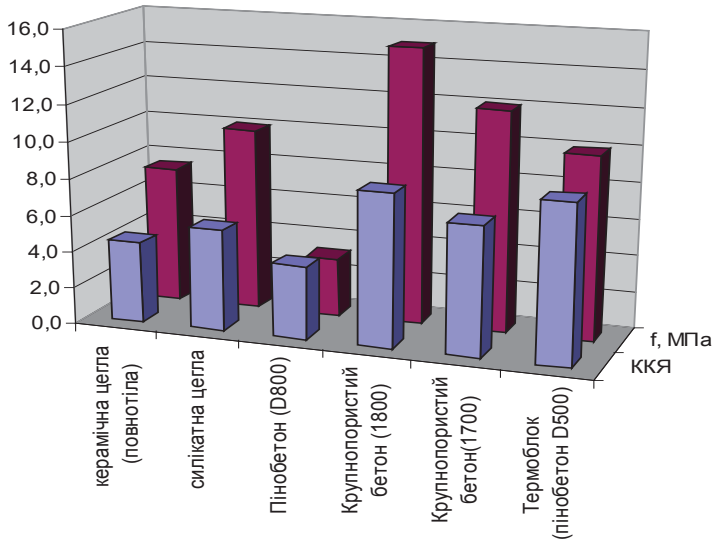


Рис. 5. Міцність при стиску (МПа) та коефіцієнт конструктивної якості (ККЯ) порівнюваних матеріалів

Висновки. Таким чином, отриманий крупнопористий бетон з використанням фракції гранітного відсіву 2,5...5 мм є достатньо конкурентоздатним в порівнянні з "класичними" стіновими матеріалами. Його термічний опір знаходиться на рівні з керамічною та силікатною цеглою, в той же час суттєво переважаючи зазначені матеріали за показниками міцності та, відповідно, коефіцієнта конструктивної якості.

1. Житкевич Н. А. Бетон и бетонные работы. СПб, 1912.
Zhytkevych N. A. Beton y betonnyye raboty. SPb, 1912.
2. Скрамтаев Б. Г. Крупнопористый бетон и его применение в строительстве. М.: Госстройиздат, 1955.
Skramtaev B. G. Krupnoporistyj beton i ego primenenie v stroitelstve. M.: Gosstrojizdat, 1955.
3. Ицкович С. М. Крупнопористый бетон (Технология и свойства). – М.: Стройиздат, 1977. - 119 с.
Ickovich S. M. Krupnoporistyj beton (Tehnologiya i svojstva). – M.: Strojizdat, 1977. - 119 s.