

**УДК 666.972**

**ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ ПОДРІБНЕННЯ ГРАНІТУ  
У ДРІБНОЗЕРНИСТИХ БЕТОНАХ**

**ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ  
ГРАНИТА В МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНАХ**

**WASTES OF KRUSHING GRANITE  
IN FINE-GRAINED CONCRETE APPLICATION**

**Житковський В.В., к.т.н., доц., Разумовський А.Р., здобувач**  
(Національний університет водного господарства та природокористування,  
м.Рівне)

**Житковский В.В., к.т.н., доц., Разумовский А.Р., соискатель**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
г.Ровно)

**Zhytkovsky V.V., PhD., Razumovsky A.R., applicant** (National University of  
Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

**Показана можливість використання гранітного відсіву як заповнювача у дрібнозернистому бетону. Дана характеристика пилюватим частинкам відсіву та їх впливу на властивості дрібнозернистого бетону на основі жорстких та рухливих сумішей.**

**Показана возможность использования гранитного отсева как заполнителя в мелкозернистом бетоне. Дана характеристика пылеватым частицам отсева и их влиянию на свойства мелкозернистого бетона из жестких и подвижных смесей.**

**The possibility of using granite wastes as filler in fine-grained concrete. The characteristic of dusty particles wastes and their influence on the properties of fine-grained concrete from rigid and movable mixes.**

**Ключові слова:**

бетон, відсів, граніт, вібропресування, суперпластифікатор.  
бетон, отсев, гранит, вибропрессования, суперпластификатор.  
concrete, wastes, granite, vibropressing, superplasticizer.

**Забезпечення підприємств якісними кондиційними заповнювачами** може вирішуватись шляхом використання відходів нерудної промисловості, таких як відсіві подрібнення гірських порід на щебінь.

У звичайних цементних бетонах використання відсівів обмежене через незадовільний зерновий склад та високий вміст пиловатих, і викликає перевитрату цементу. Лише частка цих відсівів використовується в будівництві для виготовлення асфальтових бетонів та ін.

Методи зниження водопотреби бетонних сумішей за рахунок ефективних добавок супер- та гіперпластифікаторів, а також застосування інтенсивного ущільнення наджорстких сумішей дозволяють нівелювати негативний вплив пиловатих частинок на властивості бетону. В таких умовах дисперсні частинки магматичних гірських порід можуть проявити себе в якості ефективного наповнювача, граючи позитивну роль у структуроутворенні цементного каменю .

**На кафедрі технології будівельних виробів та матеріалознавства** Національного університету водного господарства та природокористування були проведені дослідження гранітного відсіву як основного заповнювача дрібнозернистого бетону, ущільнюваного способом об'ємного вібропресування наджорстких сумішей, а так бетону з високорухливих сумішей з використанням суперпластифікуючих добавок. В дослідженнях використовувався відсів ТОВ ККНК «Технобуд» (с.м.т. Клесів, Рівненської обл.).

Як показали проведені дослідження, відсіві подрібнення досліджених проб являють собою суміш піщаної фракції граніту розміром від 5 мм до 0,16 мм та пиловидної складової, причому вміст пиловидної фракції для різних проб коливається від 14 до 17%.

Частинки більші 0,16 мм являють собою подрібнені піски, підвищеної крупності з  $M_{кр}=2,9...3,4$ . Головним чином вони представлені фракцією від 5 до 1,25 мм, котра складає 52...65%. Перевага крупної фракції піску свідчить про перервний зерновий склад гранітного відсіву, котрий являється причиною підвищеної порожнестості заповнювача бетону (46...48%).

Пиловидні частинки відсівів досліджених проб представляють собою дисперсний порошок з питомою поверхнею 2175...2230  $см^2/г$  (за ПСХ-2). Аналіз інтегральної і диференціальної кривих розподілу частинок за радіусом (рис.1), отриманих шляхом седиментаційного аналізу, дає змогу вважати, що гранулометричний їх склад є нерівномірним і перервним: близько 55% гранітного пилу представлено частинками розміром від 0,16 до 0,13 мм, причому розмір зростає пропорційно до процентного вмісту; 15% припадає на частинки 0,13...0,11 мм, інших 30% становлять частинки, менші 0,11 мм, причому вміст частинок, розміри яких відрізняються між собою на 0,01 мм становлять 2,2...3%. Процентний вміст частинок розміром менше 5 мкм становить 7...9%. За методом Рутківського частинки гранітного відсіву <0,16 мм містять близько 4...5% глинистих, 10 % пиловатих (0,005...0,05 мм) та

85% піщаних (0,05...0,16 мм), тобто загальний вміст глинистих частинок по відношенню до маси всієї проби становить менше 1%, що задовольняє вимогам ДСТУ БВ.2.7-32-95.

Випробування відсівів у вібропресованих бетонах у якості основного заповнювача виконувалось шляхом виготовлення в лабораторних умовах зразків-циліндрів  $d=h=100$  мм. Зразки виготовлялись на лабораторному вібромайданчику з робочою частотою коливань 50 Гц і амплітудою 0,5 мм. Динамічне навантаження здійснювалось за допомогою спеціально виготовлених привантажень. Таким чином зразки формувались в умовах об'ємного вібропресування з наступними параметрами: частота вібрування – 50 Гц, амплітуда вібрування – 0,5 мм, тривалість ущільнення – 6...12 с, величина динамічного навантаження – 0,06 МПа.

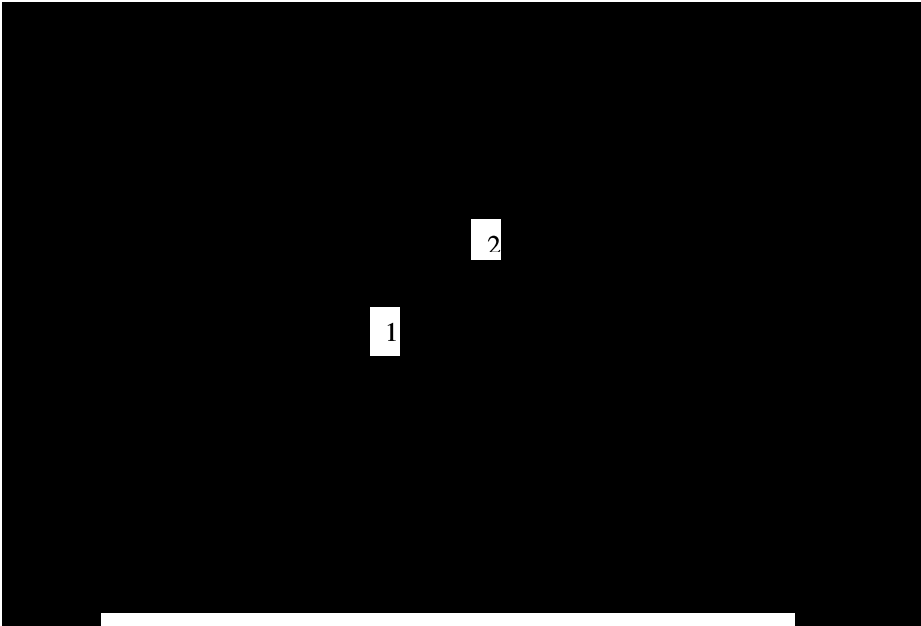


Рис.1. Інтегральна крива (1) та гістограма (2) розподілу частинок пилуватої фракції гранітного відсіву за

Під час проведення експериментальних досліджень виготовлялись бетони з від В/Ц=0,28 до В/Ц=0,72.

Зразки тверділи у нормальних умовах ( $\varphi=90...100\%$ ,  $t=18...20^{\circ}\text{C}$ ). Вихідними параметрами експерименту були взяті наступні: водопотреба бетонної суміші (В, л), середня густина відформованих зразків ( $\rho^0$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ), міцність одразу ж після формування (формувальна міцність ( $R_{\phi}$ , МПа) міцність при стиску у віці 7 та 28 діб ( $R_7$ ,  $R_{28}$ , відповідно, МПа), водопоглинання за масою ( $W_m$ , %), морозостійкість (F, цикли

(характеристика визначалась прискореним способом шляхом заморожування-відтавання у 5%-розчині хлористого натрію).

Бетонна суміш для вібропресування виготовлялась з метою досягнення необхідної формуальності при обмеженій вологості  $W=6...8\%$ . Марка бетонної суміші за легкоукладальністю НЖЗ (згідно ДСТУ БВ.2.7-96-2000).

Результати випробувань дослідних зразків вібропресованого бетону на гранітному відсвіві наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Властивості вібропресованого бетону на гранітному відсвіві

Склад бетону			Формувальна міцність, ( $R_{\text{ф}}$ , МПа)	Середня густина бетону, ( $\rho^0$ , кг/м <sup>3</sup> )	Міцність у віці 7 діб, ( $R_7$ , МПа)	Міцність у віці 28 діб, ( $R_{28}$ , МПа)	Водопоглинання за масотою, ( $W_{\text{пр}}$ , %)	Морозостійкість		
Витрата цементу, кг/м <sup>3</sup>	Витрата відсіву, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц						Втрата міцності після n циклів заморожування-відтавання, ( $\Delta R$ , %)		
								50	100	200
600	1450	0,28	1,45	2280	28,9	48,1	3,9	0	0,9	6,1
400	1650	0,4	1,32	2230	19,8	33,5	4,7	1	2,3	10,2
280	1780	0,5	0,75	2202	14,5	26,4	6,5	1,9	5	14
230	1820	0,59	0,46	2128	11,4	22,0	8,7	2,8	6,6	18,6
170	1890	0,72	0,34	2020	9,7	20,3	11,1	5,1	9,2	21,4

Результати проведених випробувань свідчать, що при використанні незбагачених гранітних відсівів використовуючи спосіб об'ємного вібропресування бетонних сумішей наджорсткої консистенції (вологість 6...8%) можна отримувати бетони класів В15...В35. Порівняно з вібропресованими бетонами на кондиційних матеріалах (пісок+щебінь), застосування гранітного відсіву дозволяє отримати щільний і міцний сирець при значно меншій кількості цементу. Причиною цього являється присутність у відсівах пиловидної фракції – завдяки значній дисперсності, згадана фракція збільшує собою кількість в'язучого підвищуючи структурну міцність відформованих зразків [1].

Як і у звичайних бетонах міцність вібропресованих бетонах на гранітному відсвіві в основному визначається водоцементним відношенням (В/Ц), або ж витратою цементу, так як витрата води з нею однозначно пов'язана. При Ц=600 кг/м<sup>3</sup> (В/Ц=0,28)  $R_{28}= 48,1$  МПа, при Ц=400 кг/м<sup>3</sup> (В/Ц=0,4)  $R_{28}= 33,5$  МПа, при Ц=230 кг/м<sup>3</sup> (В/Ц=0,59)  $R_{28}= 22,0$  МПа. За перших 7 діб твердіння бетон набирає 60...70% відсотків 28-добової міцності.

Відкрита пористість бетону, котра контролювалась через водопоглинання зразків, підвищується зі зростанням В/Ц. Мінімальне водопоглинання

забезпечення якого необхідне для дорожньо-будівельних виробів досягається лише при  $V/C=0,3...0,4$ . Значення цього параметра у бетонах інших досліджених складів знаходиться в межах допустимих значень для стінових матеріалів.

Морозостійкість досліджених бетонів значно залежить від їх складу. При  $C=600 \text{ кг/м}^3$  згаданий показник становить 150 циклів,  $C=400 \text{ кг/м}^3$  – 100 циклів,  $C=280 \text{ кг/м}^3$  – 100 циклів,  $C=230 \text{ кг/м}^3$  – 50 циклів,  $C=170 \text{ кг/м}^3$  – 25 циклів. Судячи з отриманих даних морозостійкість усіх апробованих складів достатня для стінових виробів (цегли, блоків), але низька для дорожніх. Забезпечення морозостійкості дорожньо-будівельних виробів з вібропресованого бетону на гранітному відсіві можлива при застосуванні додаткових методів – використання пластифікуюче-повітрявтягувальних поверхнево-активних речовин, а також часткове збагачення відсіву.

Зміна зернового складу відсіву значною мірою впливає як на водопотребу і здатність до ущільнення бетонної суміші, так і на якість бетону (міцність, водопоглинання). Найбільший вплив на водопотребу створює збільшення кількості пиловидної фракції – кожен процент дисперсного граніту ( $<0,16 \text{ мм}$ ) збільшує необхідну витрату води на  $1...1,5 \text{ л/м}^3$ . При чому збільшення кількості пиловидних частинок у відсвіві нівелює вплив інших фракцій на необхідну витрату води і відповідно на  $V/C$  бетону.

Підвищення кількості гранітного пилу підвищує середню густину бетону, особливо при підвищеній порожнесті відсіву викликаний підвищеним вмістом крупних фракцій ( $10...2,5 \text{ мм}$ ) чи недостатнім дрібних ( $0,63...0,16 \text{ мм}$ ). В середньому з  $1 \text{ м}^3$  наджорсткої бетонної суміші виходить  $\approx 0,52 \text{ м}^3$  вібропресованого бетону. Вихід бетону підвищується зі збільшенням вмісту фракції  $10...2,5 \text{ мм}$ , а також при введенні крупного піску. .

Присутність у гранітному відсвіві до  $15...18\%$  пилуватої фракції в середньому підвищує міцність при стиску на  $37...48\%$ , міцність на розтяг при згині на  $52...60\%$ . Найбільший приріст міцності спостерігається у бетонах з високими значеннями  $V/C$ , коли цементного тіста недостатньо для заповнення порожот заповнювача (бетони класів  $B10...B20$ ). В даному випадку гранітний пил проявляє себе в якості дисперсного мікронаповнювача, котрий інтенсифікує процеси гідратації вібропресованого цементного каменю і разом з цим збільшуючи загальну кількість в'язучого, знижує пористість бетону [2]. Введення гранітного пилу понад граничне значення, що визначається  $V/C$  і зерновим складом заповнювача – призводить до зниження середньої густини бетону і міцності.

Результати проведених досліджень дозволяють вважати за можливе застосування відсівів подрібнення породи на щєбінь в якості основного заповнювача вібропресованих порожотілих і повнотілих бетонних блоків, а у випадку коректування їх зернового складу кондиційним піском та використання пластифікуюче-повітрявтягувальних добавок – тротуарних плит та інших дорожньо-будівельних виробів.

**Вивчали вплив крупності відсіву, вмісту дисперсних частинок (фракція менше 0,16 мм) та суперпластифікатора СП-1 (Поліпласт, виробництво Російська федерація) на властивості дрібнозернистого бетону.** Дослідження проводились із застосуванням математичного планування експерименту за планом В<sub>4</sub>. В якості вихідних параметрів були вибрані: водоцементне відношення, що забезпечує рухомість бетонної суміші в межах Р4 (17...21 см) (*В/Ц*); міцність при стиску у віці 28 діб (*f*<sub>28</sub>, МПа):

$$\begin{aligned} \hat{A}/\hat{O} = & 0,85 - 0,005X_1 + 0,027X_2 - 0,046X_3 - 0,375X_4 - 0,011X_1^2 + \\ & + 0,018X_2^2 - 0,012X_3^2 + 0,015X_4^2 + 0,016X_1X_2 + 0,042X_1X_3 - \\ & - 0,011X_1X_4 - 0,03X_2X_3 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} f_{28} = & 29,4 - 1,41X_1 - 1,24X_2 + 2,48X_3 + 7,68X_4 - 0,45X_1^2 - 2,45X_2^2 - \\ & - 1,5X_3^2 - 2,06X_4^2 + 2,97X_1X_2 - 2,41X_1X_3 + 0,23X_1X_4 + 2,63X_2X_3 - \\ & - 2,92X_2X_4 + 2,1X_3X_4 \end{aligned} \quad (2)$$

Присутність суперпластифікатора в усіх випадках знижує водовміст бетонної суміші, необхідний для досягнення заданої рухомості. Поряд з цим, підвищена кількість добавки викликає розшарування, що стає особливо помітним при максимальній пустотності заповнювача. Розшарування суттєво нижче при значній кількості дисперсних гранітних частинок. Експериментальна мінімальна водопотреба бетонної суміші на гранітному відсвіві корелює зі мінімумом співвідношення між часткою крупної фракції у відсвіві (фактор *X*<sub>1</sub>) та розрахунковим значенням за формулою (1) *r/r*<sub>0</sub>. Причому значно ближче сходження результатів спостерігається у тому випадку, коли пиловидні частинки відсіву врахувати як наповнювач, що збільшує кількість в'язучого, а також врахувати водоредукуючий ефект суперпластифікатора.

Міцність дрібнозернистого бетону на гранітному відсвіві, переважно, визначається впливом його зернового складу на водопотребу бетонної суміші (*В/Ц*) та на порову макроструктуру (за рахунок підвищеної пустотності заповнювача). Підвищення вмісту частинок 5...10 мм, не зважаючи на одночасне зниження *В/Ц*, здебільшого викликає зниження міцності. В даному випадку бетонна суміш втрачає однорідність і зв'язність, особливо при низькій витраті цементу та підвищеному вмісті суперпластифікатора. Позитивний вплив крупної фракції спостерігається лише при підвищеній кількості дисперсних частинок у відсвіві та збільшенні витрати цементу.

В свою чергу гранітний пил одночасно зі збільшенням *В/Ц* теж дещо знижує міцність, однак звертає на себе увагу позитивна взаємодія зі вмістом крупної фракції та суперпластифікатора. Одночасне підвищення кількості дисперсних частинок та суперпластифікатора радикально змінює їх вплив на міцність дрібнозернистого бетону. Якщо без суперпластифікатора

присутність таких частинок впливає здебільшого негативно, то з підвищенням кількості добавки спостерігається позитивний вплив їх на міцність. При максимальній кількості суперпластифікатора підвищення міцності за рахунок пиловатих частинок гранітного відсіву складає 14...15%. Як свідчать дані багатьох досліджень [2], дисперсні частинки граніту можуть виступати в ролі мікронаповнювача, модифікуючи структуру цементного каменю, створюючи «зтіснені» умови [3] для формування гідратних новоутворень, що позитивно відображається на міцності. В деяких роботах також відмічено можливість хімічної взаємодії складових дисперсного граніту з гідроксидом кальцію [4].

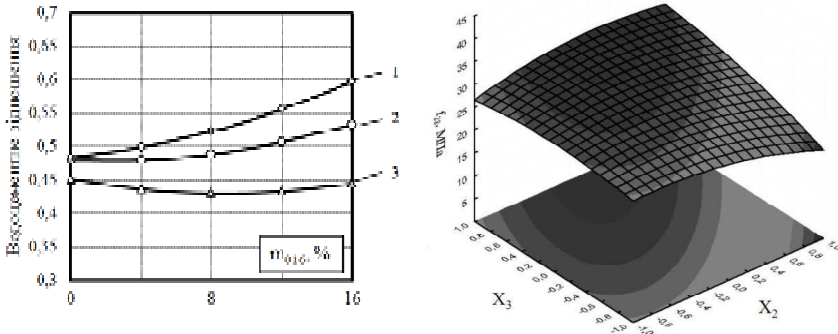


Рис. 2. Вплив факторів на водопотребу та міцність дрібнозернистого бетону на гранітному відсіві:

1- вміст суперпластифікатора СП-1=0%; 2- 0,5%; 3-1%.  $X_1$ - вміст крупної фракції у відсіві ( $m_{5...10}$ , %);  $X_2$ - вміст дисперсних частинок  $m_{016}$ , %;  $X_3$ - вміст суперпластифікатора (СП, %);

**Ефективна кількість пиловидних частинок** пов'язані зі вмістом суперпластифікатора і складає 10...12%. Для проявлення позитивного впливу дисперсного граніту необхідно нівелювати їх вплив на водопотребу бетонної суміші. З цим завданням, в даному випадку, ефективно справляється суперпластифікатор СП-1 в кількості 0,5...0,7%. Очевидно, що використання пластифікуючих добавок з більшим водоредукуючим ефектом відкриває можливості для більш широкого використання відсівів подрібнення кам'яних порід у бетонах та отримання підвищеної міцності.

1. Дворкін Л.Й. Основи бетонознавства / Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін. – К.: Основа, 2007. – 616 с. 2. Дворкін Л.Й., Житковський В.В. Бруківка з вібропресованого бетону на гранітному відсіві. //Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 62, Київ – 2001.– С.102-107. 3. Барвинок Г.М., Сьчев М.М., Касабян СР. О роли «наполнителя» в формировании свойств композиций связка-наполнитель// ЖПХ. - №1. -1983. -С.207-210. 4. Горностаева Т.А. Активный наполнитель для бетона// Строительный эксперт. - №14 (177). - 2004. - С.3-5.