

УДК 691.322.7  
UDK 691.322.7

DOI:10.33744/0365-8171-2024-115.2-084-095

**ЗАСТОСУВАННЯ ВІДСІВІВ КАМЕНЕПОДРІБНЕННЯ В ЯКОСТІ ДРІБНОГО  
ЗАПОВНЮВАЧА ТОВАРНОГО БЕТОНУ**

**UTILIZING GRANITE CRUSHED STONE SCREENINGS AS FINE AGGREGATE FOR  
COMMERCIAL CONCRETE**



*Кузло Микола Трохимович, доктор технічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), завідувач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів, e-mail: [kuzlo-@ukr.net](mailto:kuzlo-@ukr.net), тел. +380966890792,*

<https://orcid.org/0000-0001-9242-2478>



*Скрипник Микола Михайлович, кандидат технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), старший викладач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів, e-mail: [m.m.skrypnyk@nuwm.edu.ua](mailto:m.m.skrypnyk@nuwm.edu.ua), тел. +380966558818*

<https://orcid.org/0000-0003-4947-3477>

**Анотація.** В роботі розглянуто актуальну проблему сьогодення для промислового комплексу та будівельної галузі України, а саме забезпечення раціонального застосування матеріалів та енергоресурсів. До 50% матеріальних ресурсів, що споживає будівельна галузь припадає на продукцію промислових нерудних матеріалів (щебінь та пісок). Технологія переробки природного каменю на кінцеві продукти супроводжується виходом 25-30% відходів кам'яних відсівів каменеподрібнення. Велику кількість відсівів направляють у відвали. Досить потужні відвали відсівів накопичені на кар'єрах Рівненської обл. Перешкодою для широкого використання відсівів подрібнення є перш за все велика кількість частинок менше 0,16 мм, яка у вивержених гірських породах може досягати 25%, в тому числі глинистих частинок, які визначаються методом відмулювання – до 12%, що тягне за собою збільшення водопотреби від 9 до 18 % і перевитрати цементу до 20%, а також неправильна форма зерен і шорстка поверхня.

Поряд з цим будівельна галузь відчуває гостру потребу в кондиційних заповнювачах. Зокрема, в Рівненській області піски для бетонів і розчинів переважно дрібні, що викликає значну перевитрату цементу при виготовленні бетону.

У статті запропоновано ефективний шлях вирішення цієї проблеми, а саме забезпечення безвідходного застосування кам'яних відсівів, при виготовленні важкого бетону. Впроваджуються

також технології збагачення відсівів і вироблення на їх основі штучного піску. Досліджено, що підвищений вміст частинок менше 0,16 мм в ряді випадків може створювати позитивний вплив.

**Ключові слова:** гранітний відсів, природний пісок, суперпластифікатор.

**Вступ.** Використання в якості заповнювача цементних бетонів відходів переробки гірських порід на щебінь (відсівів) мало практикується через наявність у їх гранулометричному складі значної кількості (до 20 %) пилюватих частинок, які підвищують водопотребу бетонної суміші. Навіть при видаленні цих частинок, відсівів не можуть бути використані для отримання звичайним способом якісних бетонів через високий вміст лещадних та голчатих зерен [1] та відсутності зерен середніх фракцій (0,63...0,315 мм). Через це вони здебільшого використовуються як добавка у дрібні піски, а також в дорожньому будівництві – як заповнювач асфальтових бетонів та як матеріал для влаштування основ дорожніх покриттів [2, 3].

На окремих підприємствах за допомогою спеціалізованих комплексів проводиться класифікація відсівів за фракціями. Однак ця технологія є досить енергоємною. В даний час актуальним є завдання комплексного вивчення відсівів подрібнення різних порід із метою широкого їх застосування в будівництві.

Основними споживачами на даний момент є дорожньо-будівельні організації. Застосування відсівів подрібнення в дорожньому будівництві відображено в ряді діючих нормативних документів [4]. В основному відсівів подрібнення використовують для приготування асфальтобетонних сумішей, що дає можливість значно знизити вартість будівництва. Піски із відсівів подрібнення успішно застосовуються для будівництва автомобільних доріг в США, Німеччині та низці інших країн. Крім того, відсівів подрібнення із вивержених гірських порід, можуть застосовуватися для приготування піщаних сумішей, оброблених цементом і для пристрою дренажних та протиморозних шарів, а також як посипання при ожеледиці [5].

Використання пісків із відсівів подрібнення передбачено ДСТУ Б В.2.7-210:2010 «Пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід для будівельних робіт» [6]. У бетонах різного призначення відсівів, велика частина яких відноситься до крупних і дуже крупних пісків (із модулем крупності  $M_{кр}$  = більше 2,5 до 3,2 – 3,6), застосовуються як укрупнююча добавка до природних дрібних і дуже дрібних пісків. Така укрупнююча добавка дає можливість замінити до 50 % піску відсівами подрібнення і знизити витрату в'язучого на 15 – 20 %.

Згідно [6] за погодженням зі споживачем виробники піску з відсівів можуть постачати матеріал з підвищеним вмістом пилюватих і глинистих домішок. За умови, що дані домішки представлені більше пилюватими частинками вихідних гірських порід і не містять значної кількості глини, використання таких відсівів можливе, однак більш раціонально одночасно використовувати методи, що дозволяють нівелювати негативний вплив дисперсних частинок на водопотребу бетонної суміші.

Перспективним, на думку багатьох дослідників, є використання відсівів в якості дрібного заповнювача для бетонів після додаткової переробки – збагачення з виділенням частинок менше 0,16 мм, а в деяких випадках також частинок менше 0,315 мм. Однак також відзначено погіршення морозостійкості бетонів на митих відсівах подрібнення. За іншими даними міцність бетонів на відсівах подрібнення практично не відрізняється від міцності бетону на природному кварцовому піску [7].

**Матеріали та методи дослідження.** В досліді використовувався портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-500Р-Н (ІПАТ «Дікергофф Цемент Україна»), добавка суперпластифікатор нафталін формальдегідного типу (СП-1), добавка лігносульфонатного типу (ЛСТМ) та полікарбоксилатного

типу (Melflux 2651F), а також мінеральна добавка – зола виносу з Ладизинської ТЕС. В якості дрібного заповнювача застосовували пісок Славутського родовища з  $M_{кр}=1,68$  та незбагачені відсівні подрібнення граніту з  $M_{кр}=3,23$  та вмістом частинок  $<0,16$  мм 17% з Клесівського родовища.

**Метою роботи** є обґрунтування застосування відсівів подрібнення граніту із значним вмістом частинок  $<0,16$  мм в якості дрібного заповнювача важкого бетону або часткової його заміни.

**Виклад основного матеріалу.** Визначення можливості використання гранітних відсівів в якості заповнювача важкого бетону для заміни частки природного піску було проведено плановий експеримент за планом В<sub>3</sub>. Умови планування експерименту наведені в табл.1.

В якості варійованих факторів прийняті наступні:

$X_1$  – водоцементне відношення (В/Ц);

$X_2$  – частка відсіву ( $n_b$ ), % від маси дрібного заповнювача;

$X_3$  – частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів ( $r$ ), %.

**Таблиця 1** – Умови планування експерименту

**Table 1** – Experiment planning conditions

№	Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	Натуральні	Кодовані	-1	0	1	
1	Водоцементне відношення (В/Ц)	$X_1$	0,35	0,4	0,45	0,05
2	Частка відсіву( $n_b$ ), % від маси дрібного заповнювача	$X_2$	0	50	100	50
3	Частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів ( $r$ ), %	$X_3$	30	45	60	15

Математичні моделі:

$$R_{ст7} = 38,74 - 2,48x_1 - 1,39x_2 - 5,18x_3 + 3,28x_{12} - 0,6x_{22} + 0,61x_{32} + 4,2x_1x_2 + 0,11x_1x_3 - 1,06x_2x_3$$

$$R_{ст28} = 41,34 - 11,41x_1 - 2,1x_2 - 3,9x_3 + 6,22x_{12} - 2,34x_{22} + 0,18x_{32} + 2,22x_1x_2 + 1,9x_1x_3 - 2,67x_2x_3$$

$$\rho = 2,33 + 0,007x_1 + 0,018x_2 - 0,034x_3 + 0,027x_{12} - 0,013x_{22} + 0,01x_{32} + 0,019x_1x_2 + 0,014x_1x_3 - 0,008x_2x_3$$

Провівши аналіз математичних моделей міцності бетону у віці 7 діб (рисунку 1) наглядно видно, що при зростанні В/Ц та збільшення частки дрібного заповнювача в суміші заповнювачів міцність бетону на стиск у віці 7 діб спадає. Також до спаду міцності призводить зростання взаємодії факторів: частка відсіву ( $n_b$ ) від маси дрібного заповнювача та частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів ( $r$ ). Даний ефект обумовлений неоднорідністю бетонної суміші, що призводить до збільшення парового простору між частинками заповнювача, а це в свою чергу до суттєвого зниження міцності бетону.

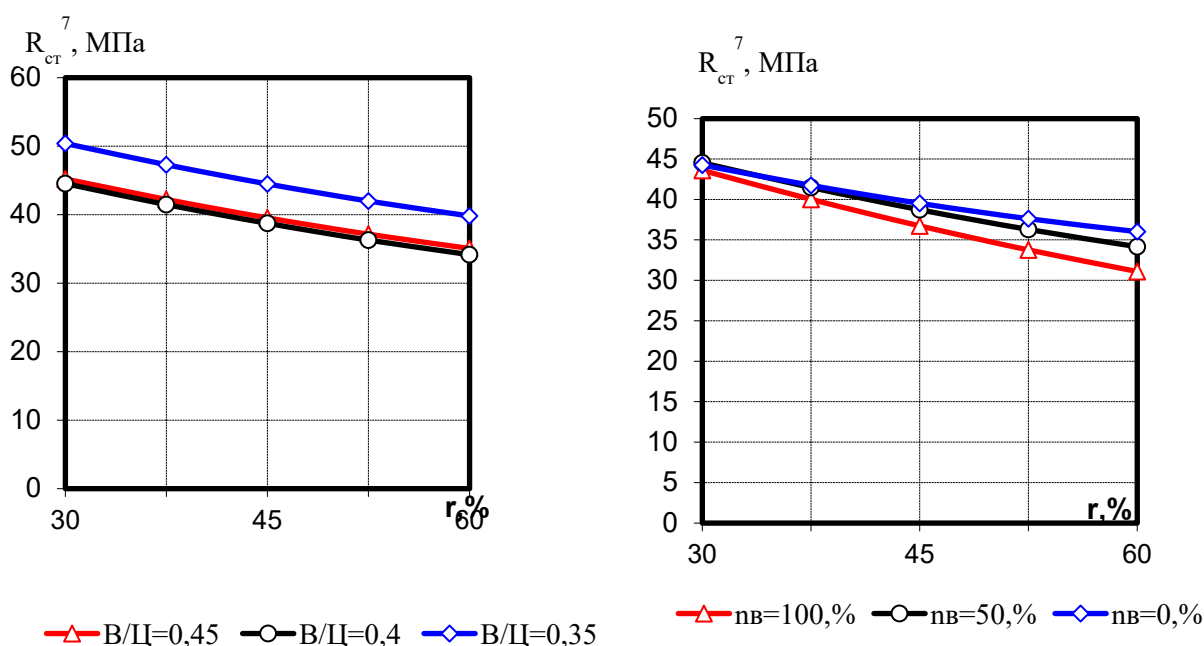


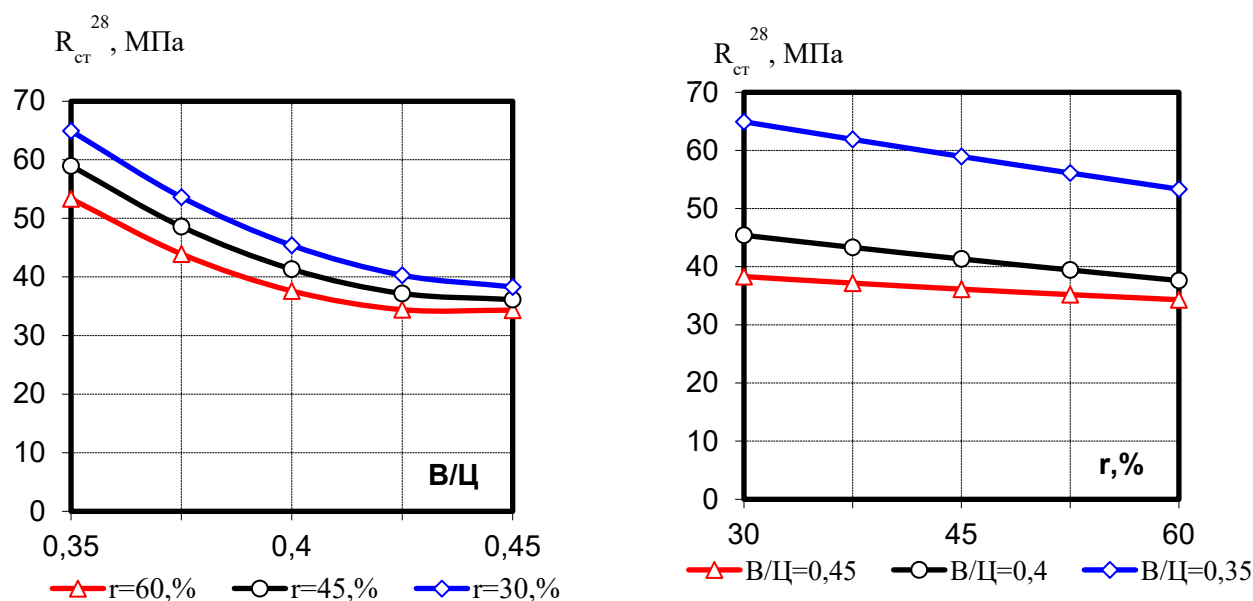
Рисунок 1 – Діаграма впливу технологічних факторів на міцність бетону на стиск у віці 7 днів.

Figure 1 – Diagram of the influence of technological factors on the compressive strength of concrete at the age of 7 days.

На рисунку 2 проілюстровано, що зростання водоцементного відношення та збільшення частки дрібного заповнювача в суміші веде до спаду міцності бетону на стиск у віці 28 днів. Деякий позитивний ефект від часткової заміни піску відсівом спостерігається при збільшенні частки відсіву в заповнювачі від 0% до 50%, при В/Ц=0,45, коли частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів становить 30%. На міцність бетону при стиску найбільший вплив чинить водоцементне відношення та взаємодія  $nв$  та  $r$ .

Також слід відмітити вплив частки відсіву ( $nв$ ) від маси дрібного заповнювача та частка дрібного заповнювача в суміші заповнювачів ( $r$ ) на густину бетонну. Як видно з рис. 3.3 при збільшенні частки дрібного заповнювача в суміші заповнювачів ( $r$ ) з 30% до 60% призводить до суттєвого зниження густини бетону з 2380 кг/м<sup>3</sup> до 2300 кг/м<sup>3</sup> і в свою чергу це негативно впливає на міцність бетону у віці 7 і 28 днів. Даний ефект обумовлюється збільшення міжзернового простору між частинками заповнювача за рахунок неоптимального їх компонування.

При збільшенні частки відсіву ( $nв$ ) від маси дрібного заповнювача у варійованих межах спостерігається певне зростання густини бетону. Це обумовлюється наявністю значної кількості пилюватих частинок у складі відсіву, що дозволяють закуповувати міжзерновий простір. Цей ефект спостерігається лише при використанні добавки суперпластифікатора, за рахунок зниження водопотреби бетонної суміші.



**Рисунок 2** – Діаграма впливу технологічних факторів на міцність бетону на стиск у віці 28 діб.  
**Figure 2** – Diagram of the influence of technological factors on the compressive strength of concrete at the age of 28 days.

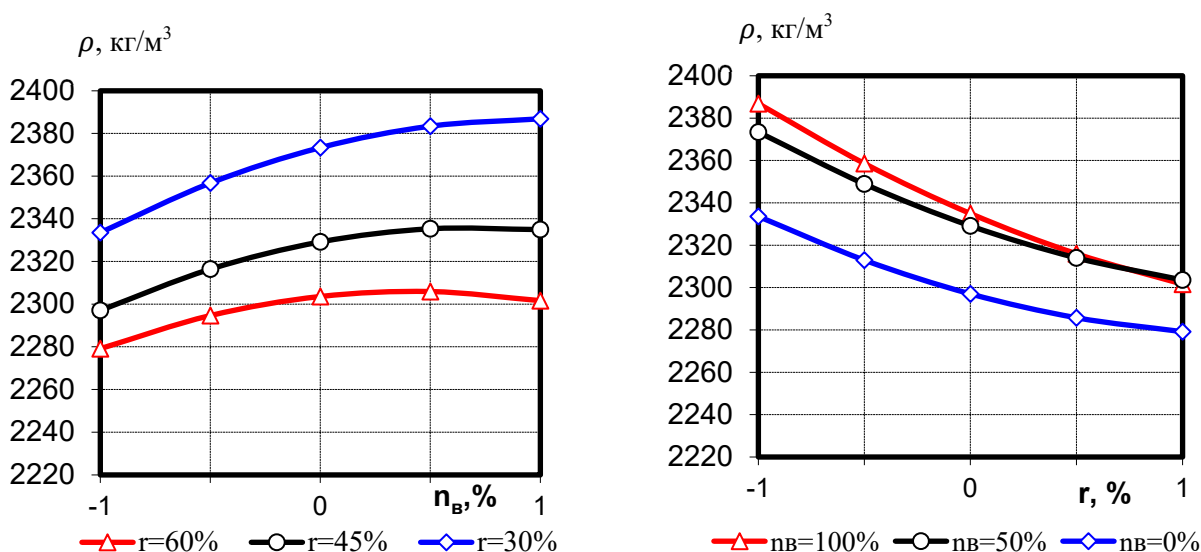
Для підтвердження можливості застосування відсівів дроблення граніту як дрібного заповнювача для заміни частки природного щільного піску на підприємстві було проведено ряд досліджень:

1. Визначено модуль крупності та зерновий склад піску та відсіву дроблення граніту.
2. Для покращення показників відсівів каменеподрібнення було збагачено шляхом просіювання та відмивання.
3. Виконаний підбір складів бетону на різних варіантах дрібного заповнювача.

#### Варіанти підборів

1. Бетон з відсівом каменеподрібнення граніту (100%);
2. Бетон з відсівом каменеподрібнення граніту відмитим (100%);
3. Бетон з піском природним щільним (100%);
4. Бетон з відсівом каменеподрібнення граніту (50%) + піском природним щільним (50%);
5. Бетон з відсівом каменеподрібнення граніту відмитим (50%) + піском природним щільним (50%).
6. Бетон з фракціонованим відсівом каменеподрібнення граніту (20%) + піском природним щільним (80%).

**На першому етапі** дослідження розглядалась можливість повної або часткової заміни піску відсівом каменеподрібнення граніту. Для цього були виконані підбори з повною заміною піску відсівом та підбори з заміною половини піску на відсів. Для чистоти експерименту хімічні добавки на даному етапі не застосовувались, також додатково використовували золу виносу. Результати дослідження наведені в таблицях 3-5.



**Рисунок 3** – Діаграма впливу технологічних факторів на густину бетону.  
**Figure 3** - Diagram of the influence of technological factors on the density of concrete.

**Таблиця 3** – Склад бетонної суміші (етап 1):  
**Table 3** – Concrete mix composition (stage 1):

№ п/п	Цемент, кг	Зола виносу, кг	Щебінь 5-20, кг	Дрібний заповнювач, кг			Вода, кг
				Відсів гранітний	Відсів гранітний митий	Пісок кварцовий природний	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	260	85	1200	670	-	-	180
2.	260	85	1200	-	670	-	180
3.	260	85	1200	-	-	670	170
4.	260	85	1200	335	-	335	175
5.	260	85	1200	-	335	335	175

В результаті проведеного експерименту було отримано такі результати:

- бетонні суміші на відсіві подрібнення граніту володіють поганою зв'язністю, важкоукладальні, мають значне водовідділення та потребують більшої кількості води (5%) для рівнорухомих сумішей у порівнянні з сумішшю на піску;
- бетонні суміші з частковою заміною (50%) піску на відсів володіють дещо кращою зв'язністю, але не достатньою, щоб отримати технологічну суміш, мають незначне водовідділення;
- бетонні суміші з застосуванням відмитого відсіву у порівнянні з іншими мають найбільше водовідділення;
- застосування відсіву дроблення в цілому негативно впливає на міцність бетону, міцність знижується на 16-20% при повній заміні піску відсівом та на 6-12% при використанні суміші (50/50) піску з відсівом.

**Таблиця 4** – Характеристика бетонної суміші (етап 1)  
**Table 4** – Characteristics of the concrete mixture (stage 1)

№ п/п	Назва	Зовнішній вигляд	Осадка конуса, см
1	2	3	4
1.	Бетон з відсівом подрібнення граніту	Бетонна суміш на вигляд щебениста, тяжка у роботі, погана зв'язність суміші	5,5
2.	Бетон з відмитим відсівом подрібнення граніту	Бетонна суміш на вигляд щебениста, тяжка у роботі, погана зв'язність суміші	5,0
3.	Бетон з піском природнім щільним	Бетонна суміш на вигляд має оптимальну кількість піску, зв'язність суміші добра	6,0
4.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним	Бетонна суміш на вигляд має достатню кількість піску, зв'язність суміші недостатня	5,5
5.	Бетон з відмитим відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним	Бетонна суміш на вигляд має достатню кількість піску, зв'язність суміші недостатня	5,5

**Таблиця 5** – Міцність бетону з різними типами дрібного заповнювача (етап 1)  
**Table 5** – Strength of concrete with different types of fine aggregate (stage 1)

№ п/п	Назва	Після ТВО		28 діб після ТВО		28 діб твердіння в нормальних умовах	
		МПа	%	МПа	%	МПа	%
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
1.	Бетон з відсівом подрібнення граніту	14,63	93,7	29,65	84,2	30,74	84,6
2.	Бетон з відмитим відсівом подрібнення граніту	14,73	94,4	29,39	83,5	29,02	79,9
3.	Бетон з піском природнім щільним	15,61	100	35,21	100	36,32	100
4.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним	14,71	94,2	31,97	90,8	31,95	88,0
5.	Бетон з відмитим відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним	15,76	101	34,35	97,6	33,96	93,5

**На другому етапі** дослідження проведено експеримент із застосуванням в якості дрібного заповнювача суміші піску та відсіву подрібнення граніту з використанням різних типів хімічних добавок (полікарбоксилатної, лігносульфонатної та нафталінформальдегід сульфонатної). Результати досліду наведені в таблицях 6-8.

**Таблиця 6** – Склад бетонної суміші (етап 2):

**Table 6** – Concrete mix composition (stage 2):

№ п/п	Цемент, кг	Зола виносу, кг	Щебінь 5-20, кг	Хімічна добавка, кг			Дрібний заповнювач, кг			Вода, кг
				Melflux 2651 f	ЛСТМ	СП 1	Відсів дроблення	Відсів дроблення відмитий	Пісок кварцовий природний	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1.	260	85	1220	1,3	-	-	335	-	335	160
2.	260	85	1200	1,3	-	-	-	345	345	155
3.	260	85	1200	-	2,1	-	335	-	335	165
4.	260	85	1200	-	2,1	-	-	335	335	165
5.	260	85	1210	-	-	1,6	335	-	335	162
6.	260	85	1210	-	-	1,6	-	335	335	162

**Таблиця 7** – Характеристика бетонної суміші (етап 2)

**Table 7** – Characteristics of the concrete mixture (stage 2)

№ п/п	Назва	Зовнішній вигляд	ОК, см
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + пісок природний щільний, хім.доб. полікарбоксилатна	Не вистачає зв'язності бетонної суміші, водовідділення	осипався
2.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природним щільним, хім.доб. полікарбоксилатна	Розшарування бетонної суміші, велике водовідділення, біла плівка на поверхні бетону	осипався
3.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природним щільним, хім.доб. ЛСТМ	Бетонна суміш відповідає вимогам	6,5
4.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природним щільним, хім.доб. ЛСТМ	Незначне водовідділення	8,0
5.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природним щільним + хім.доб. нафталінформальдегід сульфатна	Дещо не вистачає зв'язності бетонної суміші, незначне водовідділення	9,5 (просів)
6.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природним щільним, хім.доб. нафталінформальдегід сульфатна	Не вистачає зв'язності бетонної суміші, водовідділення	осипався

**Таблиця 8 – Міцність бетону з різними типами дрібного заповнювача (етап 2)**  
**Table 8 – Strength of concrete with different types of fine aggregate (stage 2)**

№ п/п	Назва	Після ТВО		28 діб після ТВО		28 діб твердіння в нормальних умовах	
		МПа	%	МПа	%	МПа	%
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним, хім.доб. полікарбонатна	27,8	174,8	47,6	135,4	46,5	128,7
2.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним, хім.доб. полікарбонатна	26,8	171,6	45,7	129,9	45,0	123,9
3.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним, хім.доб. ЛСТМ	22,7	145,6	38,6	108,4	37,2	102,4
4.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним, хім.доб. ЛСТМ	22,4	145,7	39,9	112,2	38,1	106,0
5.	Бетон з відсівом подрібнення граніту + піском природнім щільним, хім.доб. нафталінформальдегід сульфонатна	22,7	141,4	42,3	119,6	43,6	120,5
6.	Бетон з відсівом подрібнення граніту, відмитим + піском природнім щільним, хім.доб. нафталінформальдегід сульфонатна	20,2	132,7	38,5	108,3	37,5	102,3

В результаті проведеного експерименту було отримано такі результати:

- – полікарбонатний суперпластифікатор внаслідок високої водоредуруючої здатності незадовільно реагує на заміну піску відсівом. Так, при використанні незбагаченого відсіву спостерігається водовідділення, суміш володіє поганою зв'язністю. А при використанні збагаченого відсіву суміш повністю розшаровується, спостерігається значне водовідділення, добавка виділяється на поверхні суміші;
- – при застосуванні лігносульфонату бетонна суміш – технологічна;
- – застосування нафталінформальдегід сульфонатної добавки (СП 1) у бетонних сумішах з відсівом каменеподрібнення спостерігається недостатня зв'язність та незначне водовідділення, а на збагаченому відсвіві дані недоліки спостерігаються більш чітко;
- – застосування добавок дещо зменшує негативну тенденцію до зниження міцності, але на перший план виходить технологічність бетонних сумішей при застосуванні відсівів дроблення.

**На третьому етапі** дослідження проведено експеримент із застосуванням в якості дрібного заповнювача суміші піску (80%) та фракціонованого відсіву каменеподрібнення (0,63-2,5 мм) (20%) з використанням різних типів хімічних добавок (полікарбонатної, лігносульфонатної та нафталінформальдегід сульфонатної). Результати дослідження наведені в таблицях 9-11.

**Таблиця 9** – Склад бетонної суміші (етап 3):

**Table 9** – Concrete mix composition (stage 3):

№ п/п	Цемент, кг	Зола виносу, кг	Щебін ь 5-20, кг	Хімічна добавка, кг			Дрібний заповнювач, кг		Вода, кг
				Melflu x 2651 f	ЛСТ М	СП 1	Відсів каменеподрібнення 0,63-2,5 мм	Пісок кварцовий природний	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
1.	260	85	1180	2,1	-	-	140	570	155
2.	260	85	1190	-	5,25	-	135	545	165
3.	260	85	1190	-	-	4,2	135	545	160

**Таблиця 10** – Характеристика бетонної суміші (етап 3)

**Table 10** – Characteristics of the concrete mixture (stage 3)

№ п/п	Назва	Зовнішній вигляд	Осадка конуса, см
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1.	Бетон з відсівом каменеподрібнення фракціонованим + піском природнім щільним, хім.доб. полікарбоксилатна	Не вистачає зв'язності бетонної суміші, водовідділення	осипався
2.	Бетон з відсівом каменеподрібнення фракціонованим + піском природнім щільним, хім.доб. ЛСТМ	Бетонна суміш відповідає вимогам	10
3.	Бетон з відсівом каменеподрібнення фракціонованим + піском природнім щільним + хім.доб. нафталінформальдегідсульфонатна	Не вистачає зв'язності бетонної суміші, водовідділення	осипався

В результаті проведеного експерименту було отримано такі результати:

6. – застосування фракціонованого відсіву каменеподрібнення в бетонах потребує значної корекції в рецептурах в бік зменшення кількості щебня та збільшення кількості піску, що в результаті не призводить до економії дефіцитного матеріалу;

7. – хімічні добавки неоднозначно реагують на введення 20% фракціонованого відсіву у бетонну суміш: так полікарбоксилатні та нафталін-формальдегід сульфонатні добавки роблять бетонну суміш нетехнологічною. Для роботи з даними сумішами можна застосовувати лише невибагливі лігносульфонати.

### Висновки

1. В бетонних сумішах можливо застосовувати відсів каменеподрібнення лише на заміну частини природного піску (не більше 50%).

2. При цьому значну увагу необхідно приділити застосуванню хімічних добавок:

– нафталінформальдегід сульфонатні мають обмежене використання – не більше 30% відсіву дроблення в дрібному заповнювачі;

– найкраще з відсівами дроблення працюють лігносульфонати у бетонах до 50% відсіву дроблення в дрібному заповнювачі.

3. Відсів каменеподрібнення значно знижують початкову та кінцеву міцність бетону, так як потребують більшої кількості води для отримання рівнорухомих сумішей. Для отримання бетонів на

відсівів каменеподрібнення рівних за міцністю з бетонами на природних пісках необхідно підвищити кількість в'язучого, що збільшує собівартість бетону.

4. Значну увагу необхідно приділити кількості пиловидних частинок у відсіві, так як надлишковий пил суттєво знижує міцність бетону.

5. Фракціонований відсів дроблення 0,63-2,5 мм не дає економії дрібного заповнювача.

#### **Перелік посилань**

1. Дворкін Л. Й. Основи бетонознавства / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін // - К.: Основа, 2007. – 616 с. ISBN 978-966-699-298-0.

2. Солодкий С.Й., Гуняк О. М., Марків Т. Є. Тріщиностійкість модифікованих високоміцних бетонів// Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник. – 2016. – Т.98. – С. 247–255.

3. Духовний І. З. Застосування місцевих кам'яних матеріалів при будівництві автомобільних доріг України / І. З. Духовний // Автошляховик України - 1996. - №1. – С. 29 – 32.

4. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану: ДСТУ 3587–97 [Чинний від 1998–01–01]. – К.: Держстандарт України.

5. Карабан Г. Л. / Использование отсеков дробления гранитного щебня при борьбе со скользкостью / Г. Л. Карабан, Н. В. Борисюк // Автомобильные дороги. – 1994. – №10-11– С. 13 – 14.

6. ДСТУ БВ.2.7-210:2010. Національний стандарт України. Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови.

7. Джигид С. Г. Использование отходов камнедробления для сборных конструкций // Бетон и железобетон. – 1987. - №7. – С. 38-39.

#### **UTILIZING GRANITE CRUSHED STONE SCREENINGS AS FINE AGGREGATE FOR COMMERCIAL CONCRETE**

**Mykola Kuzlo**, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine), Head of the Department of Automobile Roads, Bases and Foundations, e-mail: [kuzlo-@ukr.net](mailto:kuzlo-@ukr.net), +380966890792, <https://orcid.org/0000-0001-9242-2478>

**Mykola Skrypnyk**, Ph.D., National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine), Senior Lecturer at the Department of Automobile Roads, Bases, and Foundations. e-mail: [m.m.skrypnyk@nuwm.edu.ua](mailto:m.m.skrypnyk@nuwm.edu.ua), +380966558818, <https://orcid.org/0000-0003-4947-3477>

**Summary.** The work deals with the current problem of the industrial complex and the construction industry of Ukraine, namely ensuring the rational use of materials and energy resources. Up to 50% of the material resources consumed by the construction industry are produced by industrial non-metallic materials (crushed stone and sand). The technology of processing natural stone into final products is accompanied by the output of 25-30% of stone screening waste from stone crushing. A large number of screenings are sent to landfills. Quite powerful tailings dumps are accumulated in the quarries of the Rivne region. An obstacle to the widespread use of grinding sieves is primarily the large number of particles smaller than 0.16 mm, which in igneous rocks can reach 25%, including clay particles, which are determined by the desilting method - up to 12%, which entails an increase in water consumption from 9 to 18% and overspending of cement up to 20%, as well as irregular grain shape and rough surface.

Along with this, the construction industry feels an acute need for conditioned aggregates. In particular, in the Rivne region, sand for concrete and mortar is mostly fine, which causes a significant overspending of cement in the production of concrete.

The article proposes an effective way to solve this problem, namely ensuring the waste-free use of stone screenings in the production of heavy concrete. Technologies for enriching screenings and producing artificial sand on their basis are also being introduced. It has been studied that the increased content of particles smaller than 0.16 mm can create a positive effect in some cases.

**Key words:** granite screening, natural sand, superplasticizer.

**References**

1. Dvorkin, L.Y. Fundamentals of concrete science / L.Y. Dvorkin, O.L. Dvorkin // - K.: Osnova, 2007. – 616 p. ISBN 978-966-699-298-0.
2. Solodkyi S.Y., Guniak O.M., Markiv T.E. Crack resistance of modified high-strength concrete// Automobile roads and road construction: scientific and technical collection. – 2016. – Т.98. – С. 247–255.
3. I. Z. Dukhovnyi Application of local stone materials in the construction of Ukrainian highways / I. Z. Dukhovnyi // Highway of Ukraine - 1996. - №1. - P. 29 - 32.
4. Traffic safety. Roads, streets and railway crossings. Requirements for operational condition: DSTU 3587–97 [Effective from 1998–01–01]. - K.: State Standard of Ukraine.
5. G. L. Karaban / The use of screenings for crushing granite rubble in the fight against slippage / G. L. Karaban, N. V. Borysyuk // Automobile roads. – 1994. – No. 10-11 – P. 13 – 14.
6. DSTU BV.2.7-210:2010. National standard of Ukraine. Building materials. Sand from screenings of crushed erupted rocks for construction works. Specifications.
7. Dzhigid S.G. Use of stone crushing waste for precast structures // Concrete and concrete concrete. – 1987. - No. 7. - P. 38-39.