

В. В. РИБКІН, В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦЬ, П. О. ПІШНЬКО, В. П. ЛИСНЯК,  
Л. О. ЯРИШКІНА, С. В. ВАСИЛЬЄВА, С. В. КОВАЛЕНКО (ДІПТ)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНИХ ЗАПОВНЮВАЧІВ БЕТОНУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ

В роботі проведено аналіз реакційної здатності та фракційного складу крупних заповнювачів для виробництва залізобетонних шпал.

*Ключові слова:* лужно-кремнієвокисла реакція, щебінь, фракційний склад, слюда

Україна має багаті родовища якісного граніту. Але застаріле обладнання кар'єрів, відсутність належного контролю за відповідністю якісних показників щебенів, що виготовляються з українських гранітів та напрямком їх використання створює іноді проблеми з довговічністю для виготовлених з них залізобетонних виробів.

Одним з найбільш відповідальних напрямків використання гранітного щебеню є виготовлення залізобетонних шпал. В умовах експлуатації шпал поєднуються значні динамічні навантаження з агресивним впливом оточуючого середовища. Якісний відсів щебеню відповідає за щільність бетонних виробів, а низька реакційна здатність попереджає лужно-кремнієвокислу реакцію в процесі їх експлуатації [1]. Тому системний аналіз партій щебеню для виробництва залізобетонних шпал є актуальним.

*Метою роботи* є дослідження можливості використання щебеню різних Українських родовищ для виробництва залізобетонних шпал.

Об'єктом дослідження був щебінь різних фракцій Передаточинського, Мокрянського, Редутського, Пінзевицького, Хлистунівського, Гніванського, Бехівського, Крюковського, Самчинецького та Старокостянтинівського кар'єрів.

В роботі застосовано фотокалориметричні і вагові методики аналізу реакційної здатності, методи визначення фракційного складу та макроскопічний аналіз.

Необхідність вхідного контролю реакційної здатності партій щебеню на підприємствах – виробниках затверджено нормами ДСТУ [2]. Реакційну здатність заповнювачів в даній роботі визначали фотометричним і ваговим методами.

Дослідження щебеню Передаточинського, Мокрянського, Редутського, Пінзевицького, Хлистунівського, Гніванського, Бехівського, Крюковського, Самчинецького та Старокостян-

тинівського кар'єрів показало, що за вмістом реакційно здатного кремнезему усі зразки відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-76-98. Кількість реакційноздатного кремнезему в них складає від 6,4 до 35,31 ммоль/л.

Дослідження розмірів часток щебеню та наявності в них великих кристалів слюди, які знижують як міцності характеристики матеріалу (утворення великої долі щебеню ліщадної та голкоподібної форми), так і адгезивні властивості цементного розчину при формуванні бетонної суміші проводилося за нормами ДСТУ Б В.2.7-75-98 (табл. 1). За означеним стандартом мінімальний розмір часток фракції повинен складати від 90 до 100 %.  $0,5(d+D)$  – від 30 до 80 %, максимальний розмір  $D$  – до 10 %, фракція розмірів  $1,25D$  не повинна перевищувати 0,5 %.

Результати розсіву щебеню Бехівського кар'єроуправління фракції 5...20 мм наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Фракційний склад щебеню Бехівського кар'єру фракції 5...20 мм**

Повні залишки, %	Розміри сит, мм					Пройшло скрізь сито 0,16, %
	25	20	10	5	0,16	
14,17	48,09	95,39	99,77	99,91		

$d(5) = 99,77\%$ ;  $0,5(5+20) = 73,98\%$ ;  $D(20) = 48,09\%$ ;  $1,25D = 14,17\%$

Виходячи з результатів розсіву, щебінь Бехівського кар'єроуправління фракції 5...25 мм не відповідає нормам ДСТУ [3]. Крім того, основна доля часток, більших ніж  $1,25D$  дорівнює 30 мм, розмір кристалів слюди – до 30 мм в діаметрі. Кристали слюди в щебені представлено на рис. 1.

Слюди – це група мінералів-алюмосилікатів, що мають шароподібну структуру і загальну

формулу  $R_1(R_2)_3 [AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$ , де  $R_1 = K, Na$ ;  $R_2 = Al, Mg, Fe, Li$ . Слюда – один з найпоширеніших мінералів інтрузивних, метаморфічних і осаdnих гірничих порід.



Рис. 1. Мінерал слюди в граніті щебеню

Основним елементом структури слюди є тришаровий пакет з двох тетраедричних шарів  $[AlSi_3O_{10}]^{4-}$  або  $[Si_4O_{10}]^{4-}$ , між якими знаходиться октаедричний шар з катіонів  $R_2$ . Два з шести атомів кисню октаедрів заміщені гідроксильними групами (OH) або фтором. Пакети зв'язані в безперервну структуру через іони  $K^+$  (або  $Na^+$ ) з координаційним числом 12. За кількістю октаедричних катіонів у хімічній формулі розділяють діоктаедричні та триоктаедричні слюди. В перших катіони  $Al^{3+}$  займають два з трьох октаедрів, залишаючи один порожнім; у других катіони  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  та  $Li^+$  з  $Al^{3+}$  займають всі октаедри.

Слюди кристалізуються в моноклінній (псевдотригональній) системі й утворюють стовбчасті або пластиноподібні кристали. Відносно положення шестикутних комірок граней трьохшарових пакетів обумовлено їх поворотами відносно осі на різні кути, кратні  $60^\circ$ , із зсувом уздовж осей  $a$  та  $b$  елементарної комірки. Це пояснює існування декількох поліморфних модифікацій (політипів) слюди, які мають, як правило, моноклінну симетрію.

Шароподібна структура слюди і слабкий зв'язок між пакетами впливає на її властивості: пластинчастість, базальну спайність, здатність розщиплюватися на тонкі шари, що зберігають пластичність, пружність і міцність. Кристали слюди можуть двійникуватись за «слюдяним законом» із гранню зростання (001) і часто мають псевдогексагональні окреслення.

Властивості слюди представлені в табл. 2. Як можна побачити з рис. 1 та табл. 2, адгезія цементного каменю до слюдяних включень відсутня або, якщо її можна побачити, то зусилля розчеплення самої слюди на шари невеликі. Тому крупні в діаметрі до 2 см включення слюди в щебін можуть спричиняти руйнування відповідальних динамічно напружених бетонних виробів.

Таблиця 2

**Властивості слюди**

Характеристика	Природна слюда	
	Мусковіт	Флогопіт
Щільність, г/см <sup>3</sup>	2,6...2,8	2,3...2,8
Гігроскопічність, %	0,02...0,65	0,1...0,77
Водопоглинання, %	0,3...4,5	1,5...5,2
Термостійкість, °C	400...700	200...800
Зусилля розчеплення, кг/см <sup>2</sup>	1,4	1,7
Коефіцієнт термічного розширення ( $\alpha \cdot 10^{-6}$ )	19,8	18,3

Наступним об'єктом аналізу був щебін Бехівського кар'єроуправління фракції 5...25 мм.

Результати його розсіву наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Фракційний склад щебеню Бехівського кар'єру фракції 5...25 мм**

Повні залишки, %	Розміри сит, мм					Пройшло скрізь сито 0,16, %
	25	20	10	5	0,16	
	14,17	48,09	95,39	99,77	99,91	

$$d(5) = 99,58\%; 0,5(5+25) = 52,7\%; D(25) = 5,86\%$$

В щебені наявна велика кількість часток ліщадної та голкоподібної форми, максимальний розмір часток дорівнює 40 мм.

Результати розсіву щебеню Мокрянського кар'єру фракції 5...20 мм наведено в табл. 4. Виробником ця фракція була визначена як фракція 10...20 мм.

Таблиця 4

**Результати розсіву щебеню Мокрянського кар'єру фракції 5...20 мм**

Повні залишки, %	Розміри сит, мм					Пройшло скрізь сито 0,16, %
	25	20	10	5	0,16	
	0	7,52	77,29	98,29	99,91	

$$d(5) = 98,29\%; 0,5(5+20) = 52,9\%; D(20) = 7,52\%$$

Щебін кубічної форми, відносно великі розміри кристалів слюди ( $\varnothing$  до 10 мм) можна

спостерігати лише в рожевому граніті фракції 5...10 мм.

Результати розсіву щебеню Пенізевицького кар'єру фракції 5...20 мм наведено в табл. 5.

Таблиця 5

**Результати розсіву щебеню Пенізевицького кар'єру фракції 5...20 мм**

Повні за- лишки, %	Розміри сит, мм					Пройшло скрізь сито 0,16, %
	25	20	10	5	0,16	
0	1,62	68,10	98,53	99,71		

$d(5) = 98,53 \%$ ;  $0,5(5+20) = 50,1 \%$ ;  $D(20) = 1,62 \%$

Хоча фракційний склад щебеню задовольняє нормам стандарту, але розмір часток слюди дорівнює 15 мм, що негативно впливає на адгезію цементного розчину та утворює концентратори напруги у динамічно навантаженої шпалі.

Результати розсіву щебеню Крюковського кар'єру фракції 5...25 мм наведено в табл. 6. Максимальний розмір часток щебеню дорівнює 40 мм, крім того є велика доля ліщадних часток.

Таблиця 6

**Результати розсіву щебеню Крюковського кар'єру фракції 5...25 мм**

Повні за- лишки, %	Розміри сит, мм					Пройшло скрізь сито 0,16, %
	25	20	10	5	0,16	
0	8,55	95,65	99,61	99,84		

$d(5) = 99,61 \%$ ;  $0,5(5+20) = 54,1 \%$ ;  $D(20) = 8,55 \%$

Результати розсіву щебеню Хлистунівського кар'єру фракції 5...10 мм наведено в табл. 7.

Таблиця 7

**Результати розсіву щебеню Хлистунівського кар'єру фракції 5...10 мм**

Повні за- лишки, %	Розміри сит, мм					Пройшло скрізь сито 0,16, %
	25	20	10	5	0,16	
0	0	19,14	97,02	97,89		

$d(5) = 97,02 \%$ ;  $0,5(5+10) = 58,08 \%$ ;  $D(10) = 19,14 \%$ .

Щебінь не відповідає нормам стандарту, містить багато ліщадної та голкоподібної фракції з максимальними розмірами до 34 мм.

Результати розсіву щебеню Хлистунівського кар'єру фракції 5...20 мм наведено в табл. 8.

Таблиця 8

**Результати розсіву щебеню Хлистунівського кар'єру фракції 5...20 мм**

Повні за- лишки, %	Розміри сит, мм					Пройшло скрізь сито 0,16, %
	25	20	10	5	0,16	
0	6,3	87,56	97,32	99,84		

$d(5) = 97,32 \%$ ;  $0,5(5+10) = 51,8 \%$ ;  $D(10) = 6,3 \%$

Максимальний розмір часток щебеню дорівнює 30 мм, розміри кристалів слюди складають 15 мм довжини та 1...2 мм товщини, що сприяє розшаруванню як самого граніту, так і виробів із нього.

Мінімальна відстань між струнами сталеві арматури в шпалах складає 15 мм. Великі частки щебеню (більші за 15 мм) створюють неоднорідність бетонної суміші у різних частинах шпал та сприяють наявності у проміжках між армуючими вставками більшого об'ємного відсотка розчинної частини бетонної суміші. Це значно знижує механічні характеристики шпал в частині найменшого перетину та в цілому. У зв'язку зі зниженням механічних характеристик бетону попереднє напруження арматури виявляється надмірним та в бетоні формуються характерні для надмірного напруження повздовжні тріщини. Брак подібного роду пропонується виключати впровадженням нового фракційного складу щебеню для виготовлення залізобетонних шпал – 5...10 мм. Застосування фракції щебеню, що пропонується, збільшить водопотребу бетонної суміші та час віброукладання. Щоб попередити можливі технологічні недоліки, пропонується застосування хімічних добавок до бетонних сумішей ПЛКП, які знижують водопотребу жорстких бетонних сумішей до 15 % (відносних), економлять до 15 % цементу, дозволяють знижувати температуру термовологої обробки та підвищують зручність укладання бетонної суміші при збереженні та підвищенні міцності бетону.

Для оптимізації форми щебеню (виробництва кубічного щебеню) пропонуємо використовувати роторні дробарки та гумометалеві просіваючі поверхні нової конструкції, що забезпечать якісний відсів потрібних фракцій щебеню. Сучасні технології грохочення із застосуванням гумометалевих просіваючих поверхонь мають підвищену зносостійкість порівняно з діючими металевими.

## Висновки

1. В роботі виявлено, що склад гранітних щебенів різних кар'єрів України є постійним та нерекційноздатним.

2. Дослідження фракційного складу та морфологічних ознак включень слюди в граніті щебеню різних родовищ показало, що за фракційним складом не відповідають нормам стандарту [3] щебені: фракції 5...10 Хлестунівського кар'єроуправління, фракції 5...20 Бехівського кар'єроуправління, великий розмір кристалів слюди виявлено в Хлестунівському, Пенізевицькому, Бехівському щебені.

3. Для оптимізації форми щебеню пропонуємо використовувати роторні дробарки та просіваючі поверхні нової конструкції, що забезпечать якісний відсів потрібних фракцій щебеню. Це насамперед стосується Крюковського кар'єру, де достатньо застосувати нові просіваючі поверхні для якісного відсіву необхідної фракції.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Штарк, И. Долговечность бетона [Текст] / И. Штарк, Б. Вихт. – К.: Оранта, 2004.

2. ДСТУ Б.В. 2.7-71-98 «Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт» [Текст] / К.: Держ. комітет з буд-ва, арх-ри та житл. політики України. – К.: Вид-во стандартів, сор. 1999. – 47 с. – (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи).
3. ДСТУ Б В.2.7-75-98 «Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт» [Текст]. – Замість ГОСТ 8267-82 «Щебень из природного камня для строительных работ. Технические условия», ГОСТ 8268-82 «Гравий для строительных работ. Технические условия», ГОСТ 10260-82 «Щебень из гравия для строительных работ. Технические условия», ГОСТ 23254-78 «Щебень для строительных работ из попутно добываемых пород и отходов горно-обогатительных предприятий. Технические условия» та ГОСТ 26873-86 «Материалы из отсеков дробления осадочных горных пород для строительных работ. Технические условия» / К.: Держ. комітет з буд-ва, арх-ри та житл. політики України. – К.: Вид-во стандартів, сор. 1999. – 14 с. – (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи).

Надійшла до редколегії 19.12.2014.

Прийнята до друку 21.12.2014.

В. В. РЫБКИН, В. В. КОВАЛЕНКО, Ю. Л. ЗАЯЦ, П. А. ПШИНЬКО, В. П. ЛИСНЯК,  
Л. А. ЯРЫШКИНА, С. В. ВАСИЛЬЕВА, С. В. КОВАЛЕНКО

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ БЕТОНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ

В работе проведен анализ реакционной способности и фракционного состава крупных заполнителей для производства железобетонных шпал.

*Ключевые слова:* щелочно-кремневокислая реакция, щебень, фракционный состав, слюда

V. V. RYBKIN, V. V. KOVALENKO, Yu. L. ZAYATS, P. O. PSHIN'KO, V. P. LISNYAK,  
L. O. YARYSHKINA, S. V. VASILYEVA, S. V. KOVALENKO

## RESEARCH OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF LARGE FILLERS FOR PRODUCTION OF FERRO-CONCRETE SLEEPERS

The paper is dealt with an analysis of the reactivity of large fillers and their fractional composition for the production of ferro-concrete sleepers.

*Keywords:* alkalinity-silicoacid reaction, broken stone, fractional composition, mica