

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЗЕРНОВОГО СКЛАДУ ЗАПОВНЮВАЧА
В БЕТОНІ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ
НА ГРАНІТНОМУ ВІДСІВІ**

**Л.Й.Дворкін, В.В.Житковський, А.Р.Разумовський,
М.М.Скрипник**

*Національний університет водного господарства та
природокористування*

В багатьох регіонах забезпечення будівництва кондиційними заповнювачами є досить значною проблемою, що впливає на екологію та виливається у суттєве підвищення собівартості бетону та бетонних виробів за рахунок збільшення транспортних витрат. Поряд з цим на кар'єрах накопичується значна кількість відсівів подрібнення, що зазвичай становлять близько 30% від добутого щебеню. Відсіві являють собою суміш зерен від 0 до 5...10 мм і містять значну кількість лещадних, голчатих та пилюватих частинок. У цементних бетонах широке використання відсівів обмежене вимогами нормативних документів [1] через суттєвий вміст пилюватих і глинистих частинок, котрі суттєво підвищують водопотребу бетонних сумішей. Здебільшого у відсівах вивержених порід (граніту, діориту, габбро тощо) пилюваті частинки представлені переважно дисперсними частинками вихідної породи, а глинистих (вміст яких рідко коли перевищує 2...5%) визначаються глибиною проведення робіт у кар'єрі і для деяких видів відсівів узагалі нехарактерні.

За даними деяких авторів [2] пилюваті частинки гранітних відсівів, що являють собою дисперсну фракцію вихідної породи можуть виявляти себе в ролі мікронаповнювачів, що позитивно впливають на структуру цементної матриці, але у випадку компенсації негативного впливу дрібних частинок на водопотребу. Ефективним у даному випадку є підвищення жорсткості сумішей і застосування силових способів ущільнення [3]. Нівелювання підвищення водопотреби при використанні мікронаповнювачів спостерігається і за рахунок застосування ефективних добавок-суперпластифікаторів [2].

Не зважаючи на існуючі обмеження [1] відсіві подрібнення твердих порід на щебінь є цінною сировиною, котра здатна при раціональному підході до впливу на властивості бетонних сумішей та бетону, замінити собою кондиційні пісок та щебінь, зберігаючи при цьому

природні ресурси.

У зв'язку з тим, що відмивання пилюватих частинок є досить дорогим процесом, значний інтерес представляє збагачення відсівів шляхом фракціонування, що реалізується на деяких каменедобувних підприємствах. Розподіл на фракції дає можливість виділити з відсіву дрібний щебінь 2,5...5 мм, крупний пісок 0,63...2,5 мм та дрібний пилюватий пісок 0...0,63 мм. Оптимізація зернового складу відсіву за рахунок коректування вмісту фракцій одночасно із застосуванням добавок-суперпластифікаторів повинна сприяти підбору раціональних композицій для бетону різних класів, в тому числі і високоміцних.

Були проведені експериментальні дослідження впливу зернового складу відсіву та добавки-суперпластифікатора на властивості бетону із високорухливих сумішей. Експеримент проводився із використанням математичного плану «суміш-технологія-властивість» [4], котрий дає можливість одночасно варіювати вміст основних фракцій заповнювача та параметри складу бетонної суміші (витрата цементу та вміст хімічної добавки). В досліді використувався гранітний відсів виробництва ТОВ «ККНК «Технобуд»», портландцемент ПЦ-П/А-Ш-500 (ПАТ «Волинь-цемент») та суперпластифікатор СП-1 (ТОВ «Поліпласт»).

Відсів був розділений на три основних фракції: 2,5...10 мм, 0,63...2,5 мм та 0...0,63 мм. Умови планування експерименту наведені у табл. 1. Згідно плану експерименту готувалась дрібнозерниста бетонна суміш з рухомістю, що відповідає марці Р4 -16...21 см. Характеристикою водопотреби бетонної суміші було прийнято водоцементне відношення (В/Ц), що забезпечувало задану рухомість. З бетонної суміші виготовлялись зразки-куби 10×10×10 см, які піддавали твердінню у нормальних умовах і випробовували у віці 28 діб з визначенням міцності при стиску (f_{28} , МПа). Додатково контролювались характеристики заповнювача: питома поверхня (S , см²/г) та пористість (Π , %).

В результаті експерименту отримані адекватні математичні моделі вихідних параметрів, наведені нижче:

$$\begin{aligned} \hat{A}/\hat{O} = & 0,54V_1 + 0,6V_2 + 0,61V_3 - 0,17V_1V_2 - 0,02V_1V_3 - \\ & - 0,11V_2V_3 - 0,2V_1X_1 - 0,05V_1X_2 - 0,2V_2X_1 - 0,07V_2X_2 - \\ & - 0,2V_3X_1 - 0,08V_3X_2 + 0,05X_1^2 + 0,07X_2^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \hat{f}_{28} = & 38,8V_1 + 25,3V_2 + 32V_3 + 20V_1V_2 - 7,6V_1V_3 - \\ & - 27,5V_2V_3 + 12,1V_1X_1 + 1,7V_1X_2 + 6,6V_2X_1 - 1,5V_2X_2 + \\ & + 8,9V_3X_1 + 3,2V_3X_2 - 0,1X_1X_2 - 4,6X_1^2 + 1,3X_2^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Таблиця 1

Умови планування експерименту

Фактори		Рівні варіювання		
Натуральний вид	Код	-1	0	+1
Вміст дрібного щебеню (2,5...10 мм), %	V_1	25	40	55
Вміст крупного піску (0,63...2,5 мм), %	V_2	25	40	55
Вміст дрібної фракції 0...0,63 мм, %	V_3	20	35	50
Вміст суперпластифікатора, (СП, %)	X_1	0	0,5	1
Витрата цементу, (Ц, $\text{кг}/\text{м}^3$)	X_2	300	400	500

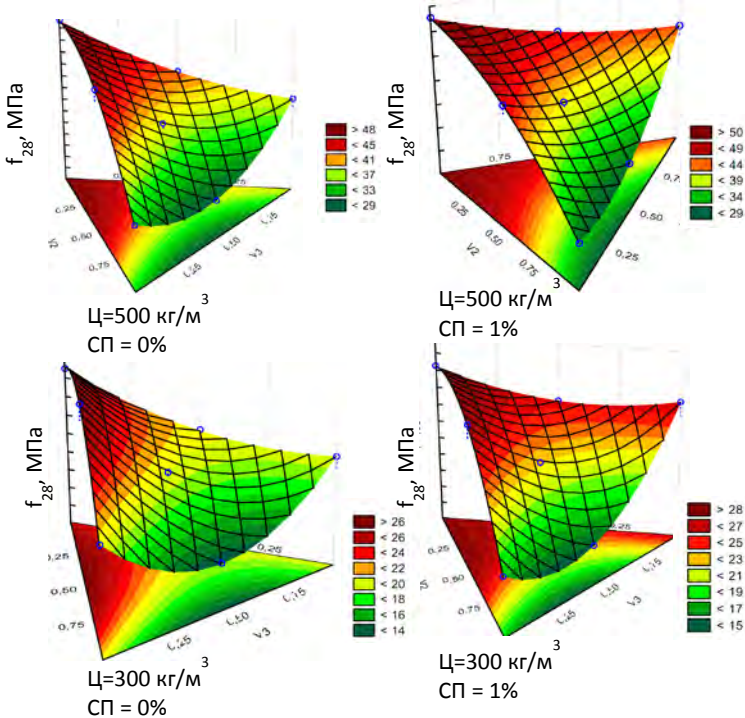


Рис. 1. Поверхні відгуку міцності при стиску потрійних діаграм впливу зернового складу при зміні витрати цементу та кількості суперпластифікатора

Водопотреба бетонної суміші до досягнення заданої легковкладальності ($V/\text{Ц}$) змінювалась у широкому діапазоні – від 0,28

до 0,87. Такий діапазон викликаний спільною дією різних впливових факторів: зміна фактора X_2 (витрата цементу) викликає зниження В/Ц в середньому від 0,37 до 0,82, фактора X_1 (вміст суперпластифікатора) – від 0,72 до 0,53. Фактори зернового складу переважно змінюють водопотребу у відповідності до зміни питомої поверхні заповнювача. Збільшення вмісту фракції 2,5...10 мм знижує В/Ц на 0,03...0,05, збільшення фракцій 0,63...2,5 та 0...0,63 мм, в основному, підвищують водопотребу бетонної суміші. Поряд з цим вплив фракції 0...0,63 мм неоднозначний – при збільшенні вмісту фракції до 40% від варійованого діапазону водопотреба знижується і лише далі спостерігається її підвищення. Як відомо [5], мінеральні наповнювачі здатні підвищувати рухомість розчинів та бетонів при відсутності впливу на водопотребу. В даному випадку невелика кількість дрібної фракції, котра містить до 40% частинок менше 0,16 мм підвищує текучість суміші при нівелюванні негативного впливу за рахунок суперпластифікатора. При подальшому збільшенні вмісту гранітного піску водопотреба все ж підвищується.

Міцність бетону при стиску у віці 28 діб змінюється від 18 до 50 МПа. Найбільш впливовим фактором є X_2 (витрата цементу). Спостерігається також позитивний вплив суперпластифікатора (X_1), однак суттєвий негативний квадратичний ефект даного фактора в моделі (2) свідчить про існування оптимальної кількості в межах області варіювання. Максимальне підвищення міцності спостерігається при вмісті добавки 0,4...0,5%. Вплив зернового складу на міцність, в основному, узгоджується зі впливом складових на водопотребу (рис. 1): область максимальної міцності 45...50 МПа практично співпадає з мінімумом В/Ц (2,5...10 мм – 45...55%; 0,63...2,5 мм – 25...40%; 0...0,63 мм – 20...35%). При підвищенні вмісту суперпластифікатора знижується негативний вплив дисперсних частинок і збільшується поріг їх корисної кількості.

Висновок

З економічної точки зору при використанні фракціонованих (збагачених) відсівів важливим є максимальне використання фракції 0...0,63 мм при мінімальній витраті цементу і ефективній кількості суперпластифікатора. Отримані математичні моделі дають можливість розрахувати найбільш економічні склади бетону для різних проектних класів.

Summary

The following characteristics of concrete results of studies using mathematical plan "mix-technology-property." These regressive impact depending crushed stone wastes main fractions obtained during its enrichment, the water content and strength of concrete.

Література

1. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 «Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови».
2. Горностаева Т.А., Левкова Н.С., Чистов Ю.Д. Оценка возможности использования зерен менее 0.16 мм, выделенных из отсевов дробления изверженных горных пород// Строительство - формирование среды жизнедеятельности: Материалы шестой традиционной (Первой международной) научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и докторантов (21-22 мая 2003г.) Кн. 2/Московский государственный строительный университет. - М.: МГСУ. - 2003. - С.75-77.
3. Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Каганов В.О. Бетони на основі наджорстких сумішей. Рівне, ДЦНТІ, 2006. –179 с.
4. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительнотехнологических задач на ЭВМ. / В.А.Вознесенский, Т.В.Ляшенко, Б.Л.Огарков. – К.: Высшая школа, 1989. – 328 с.
5. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н. Цементные бетоны с минеральными наполнителями.— К.: Будівельник, 1991.— 136 с.