

ДРІБНОЗЕРНИСТИЙ БЕТОН ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ПОДРІБНЕННЯ ГРАНІТУ

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ДРОБЛЕНИЯ ГРАНИТА

FINE-GRAINED CONCRETE WITH INCREASED STRENGTH ON WASTE CRUSHING GRANITE

Ищук О. О., к.т.н., доцент, Мироненко А. В., к.т.н., доцент, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Ищук О. О., к.т.н., доцент, Мироненко А. В., к.т.н., доцент, (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Ischuk A. A., candidate of technical, associate professor, Myronenko A. V., candidate of technical, associate professor, (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

В статті наведені результати досліджень дрібнозернистого бетону на основі відходів подрібнення граніту, портландцементу ПЦ-І-М-500, суперпластифікатора SR-2 і технології дорожнього бетону на їх основі. Отримані математичні моделі впливу технологічних факторів на властивості дрібнозернистого бетону підвищеної міцності, визначені оптимальні значення речовинного складу бетонної суміші.

В статье приведены результаты исследований мелкозернистого бетона на основе отходов дробления гранита, портландцемента ПЦ- I-M-500, суперпластификатора SR-2 и технологи дорожного бетона на их основе. Получены математические модели влияния технологических факторов на свойства мелкозернистого бетона повышенной прочности, определены оптимальные значения состава бетонной смеси.

In the article the results of research fine-grained concrete based on waste crushing granite, Portland cement and SR-2 superplasticizer and the technology of road concrete are presents. A mathematical model of the impact of technological factors on the properties of fine-grained concrete with increased strength are received and determined the optimum value of the material composition of the concrete mix.

Ключові слова:

Дрібнозернистий бетон, відходи подрібнення граніту, суперпластифікатор SR-2.

Мелкозернистый бетон, отходы дробления гранита, суперпластификатор SR-2.

Fine-grained concrete, waste crushing granite, SR-2 superplasticizer.

Бетонні покриття міцно увійшли до практики дорожнього будівництва, вони відрізняються міцністю, довговічністю, простотою експлуатації, високою мірою механізації будівництва і значним зростанням продуктивності праці. В експлуатаційних умовах, що характеризуються великим питомим тиском на дорожні покриття, значною інтенсивністю руху і високими швид-костями, все більшого значення набувають дороги з покриттям підвищеної міцності і, зокрема, цементобетонні покриття як монолітні, так і збірні із заздалегідь виготовлених елементів.

Наукові дослідження присвячені актуальним проблемам ресурсозбереження в будівництві, яке споживає третину всієї маси продукції матеріального виробництва, а також технології виготовлення будівельних матеріалів з використанням відходів подрібнення гірських порід [1,2,3].

З літературних джерел відомо, що для досягнення проектної марки бетону необхідно створити суміш трьох фракцій крупного заповнювача (щебеню чи гравію) із їх пористістю біля 40% з міцністю при стиску в сталевому циліндрі, що перевищує проектну марку бетону в 2-3 рази та суміш шести фракцій дрібного заповнювача – піску кварцового із пористістю 30-35% [5]. Також відомо, що піщаний бетон найкраще працює в конструкціях на вигин, що суттєво для дорожніх плит, але для його виготовлення (наприклад марки М300) необхідно застосувати самий якісний кварцовий пісок оптимальної крупності (з модулем крупності $M_{кр}=2,5-2,75$), портландцемент, марки М500 із витратою не менше 650-700 кг/м³[4,5].

Дослідженнями кафедри ТБВіМ НУВГП в 1993-2013 роках встановлено, що гранітні відвали в смт. Клесів Рівненської області містять в собі в середньому: 15-20% дрібного щебеню фракції 10-5,0 мм, 55-70% кам'яного піску фракції 5,0-0,16 мм та 10-20% кам'яної муки фракції 0,16-0 мм, яка застосовується в якості ущільнюючої добавки до важкого та спеціальних бетонів. Дослідження гранітного відсіву на міцність при стиску в сталевому циліндрі показали, що вони мають невисоку міцність у межах 70,0 – 90,0 МПа, характеризуються високим показником дробимості, збільшеним вмістом (до 55% за масою) лещадних зерен. Ця вторинна сировина для виробництва бетонів має невисокі показники якості, але характеризується зниженою відпускнуою ціною у порівнянні із стандартним гранітним щебенем та фракціонованим кварцовим піском оптимальних зернових складів.

В наших експериментах була здійснена ідея компонування скелету дорожнього бетону з мінімальною пористістю та контактною структурою із

відсівів подрібнення Клесівських гранітів на щебінь, що забезпечило під-вищену насипну густину заповнювачів та як наслідок – високу міцність дрібнозернистого дорожнього бетону з одночасним зменшенням витрат портландцементу [3]. Нами виконана спроба отримання дорожнього високоміцного дрібнозернистого бетону і визначення його технологічних параметрів на основі низько-міцних відходів подрібнення граніту на щебінь: гранітного відсіву з гранітної мукою, та однієї фракції щебеню 10-5мм, Подільського ПЦ-1-М500 та пластифікатора SR-2 з одночасним здешевленням розробленого складу бетону.

В експериментальних дослідженнях [3] використовували портландцемент ПЦ 1-500, ВАТ Подільського цементного заводу, пластифікатор Dynamon SR-2 - на основі модифікованого акрилового полімеру - продукт компанії MAPEI, Клесівський гранітний відсів, що зкомпонований надщільного зернового складу з мінімальною пустотністю 18-22%, запозичений із стандартних зернових складів асфальтових бетонів [6] із наступними повними залишками на ситах, %: $A_{10} = 0$; $A_5 = 35$; $A_{2,5} = 47$; $A_{1,25} = 57$; $A_{0,63} = 67$; $A_{0,315} = 75$; $A_{0,16} = 82$; $A_{<0,16} = 100$.

Для досягнення мінімальної пористості бетону вирішували наступні задачі: досліджували вплив технологічних факторів виготовлення зразків дрібнозернистого бетону: (X_1) витрат цементу, витрат пластифікатора SR-2 (X_2) при постійній водопотребі – $V=190$ л/м³ на осадку конуса бетонної суміші, міцність при стиску бетону, міцність при розколюванні та середню густину зразків у віці 28 діб нормального твердіння. Дослідження виконували з використанням математичного планування експериментів. Рівні варіювання представлені в табл.1, результати експериментів – у табл.2. Отримані графічні залежності показані на рис.1 – рис.4.

Таблиця 1

Умови планування експерименту

Технологічні фактори		Рівні варіювання		
Натуральні	Кодовані	-1	0	+1
Витрати цементу, кг/м ³	X_1	350	400	450
Витрата добавки, SR-2, л/м ³	X_2	5	4	3

Таблиця 2

Матриця планування експерименту і результати досліджень

Точки плану	Технологіч. фактори		Результати випробувань			
	Цемент, кг/м ³	SR-2, л/м ³	Міцність при стиску, МПа	ОК, см	Середня густина, кг/м ³	$R_{розк.}$, МПа
1	2	3	4	5	6	7
1	450	3	46,8	2	2424	4,71
2	450	5	47,6	5	2432	6,53

1	2	3	4	5	6	7
3	350	3	34,2	3	2368	4,85
4	350	5	33,3	5	2456	4,29
5	450	4	8,2	4	2426	6,35
6	350	4	38,0	6	2465	4,57
7	400	3	44,4	3	2446	5,94
8	400	5	42,6	6	2398	5,57
9	400	4	41,2	4	2478	5,30
10	400	4	44,1	5	2490	4,82
11	400	4	50,6	4	2471	5,06

За результатами експериментів отримали наступні математичні моделі:

- осадки конуса бетонної суміші

$$OK = 4,63 - 0,50x_1 - 1,33x_2 - 0,08x_1^2 - 0,58x_2^2 + 0,25x_1x_2, \quad (1)$$

- міцності при стиску бетону у віці 28 діб нормального твердіння

$$R_{ct} = 52,85 + 6,47x_1 - 1,48x_2 + 1,61x_1^2 + 1,34x_2^2 - 5,95x_1x_2, \quad (2)$$

- міцності при розколюванні бетону у віці 28 діб нормального твердіння

$$R_{роз} = 4,38 + 0,70x_1 + 0,09x_2 - 0,14x_1^2 - 0,19x_2^2 - 0,12x_1x_2, \quad (3)$$

- середньої густини бетонних зразків-кубів

$$\rho_0 = 2473,87 - 1,17x_1 - 8,00x_2 - 18,45x_1^2 - 41,95x_2^2 + 20,00x_1x_2; \quad (4)$$

де X_1 -витрата цементу, $кг/м^3$; X_2 -витрата пластифікатора SR-2, $л/м^3$.

Максимальний рівень осадки конуса запропонованого дорожнього бетону за рівнянням (1) - $OK = 5,1-5,6$ см визначений при найбільшому вмісті в ньому пластифікатора SR-2, що дорівнює $5 л/м^3$ ($OK = 5,6$ см) і незначним чином зменшується до $OK = 5,1$ см при вмісті пластифікатора $3 л/м^3$ та витрат цементу - $450 кг/м^3$. Для отримання більш рухомого дорожнього бетону, необхідно вводити в нього $5 л/м^3$ і більше пластифікатора SR-2 при витратах цементу $350-450 кг/м^3$.

Характер ліній на рис. 1 свідчить про абсолютний вплив витрат цементу на міцність дрібнозернистого бетону при незначному впливі витрат пластифікаторів на $1м^3$ бетону, тобто в дослідженому бетоні першим значимим технологічним фактором є витрата портландцементу, другим - надщільний зерновий склад гранітних піску, щебеню і муки, а на третьому місці - витрата пластифікатора SR-2.

Вивчення ізоліній міцності при стиску дрібнозернистого бетону в залежності від двох основних факторів його виготовлення за рис.2. дозволили виявити, що отриманий бетон в межах експерименту має наступні марки: M300, M350, M400, M450, M500. При допомозі ізоліній міцності на стиск (рис.2) були вишукані можливі варіанти виготовлення зазначених марок бетонів, які представлені в таблиці 3.

Вивчення графіків на рис.3 виявило суттєвий вплив на зростання міцності при розколюванні витрат цементу при збільшенні їх в 1 м^3 бетону від 350 кг/м^3 до 450 кг/м^3 із одночасним вмістом в ньому 5 л SR-2 міцність при розколюванні відповідно зростає від 42 кг/см^2 до 67 кг/см^2 . А при вмісті в бетоні 3 л SR-2 при зазначених витратах цементу, міцність при розколюванні становить $50\text{--}51\text{ кг/см}^2$.

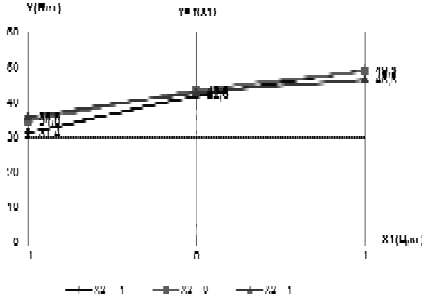


Рис.1. Графіки залежностей міцності при стиску бетонних кубиків, МПа від вмісту ПЦ-I-M500, кг/м^3 .

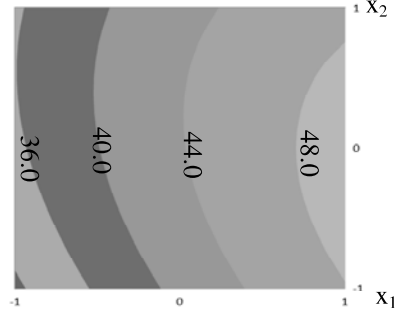


Рис.2. Ізолінії міцностей при стиску дорожнього бетону, МПа в залежності від вмісту ПЦ (x_1), кг/м^3 та вмісту SR-2 (x_2), л/м^3 .

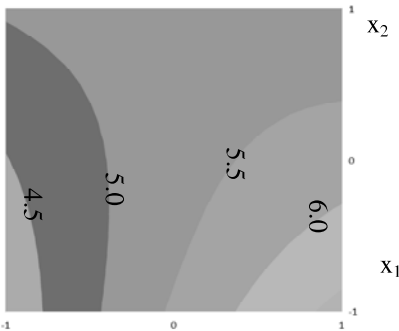


Рис.3. Ізолінії міцності при розколюванні, МПа дрібнозернистого бетону нормального твердіння в залежності від вмісту ПЦ (x_1), кг/м^3 та вмісту SR-2 (x_2), л/м^3 .

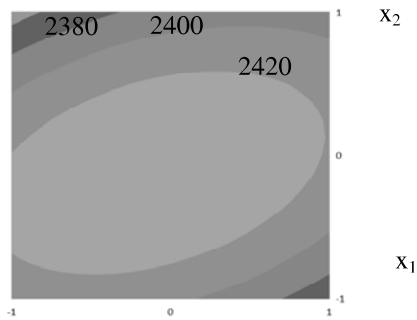


Рис.4. Ізолінії середніх густин дорожнього бетону в залежності від вмісту ПЦ (x_1) та вмісту SR-2 в зразках-кубах.

Характер ізоліній міцності при розколюванні зразків дорожнього бетону на рис.3 виявив множину варіантів міцності при розколюванні запропонованого бетону: від $R_{\text{розк.}}=4,5\text{ МПа}$ до $R_{\text{розк.}}=6,5\text{ МПа}$, які були використані для обґрунтування економічно-доцільних варіантів виробництва дорожнього бетону (табл.4).

Аналіз ізоліній середніх густин дорожнього бетону (рис.4) в залежності від вмісту портландцементу та вмісту SR-2 показав, що вони змінюються в діапазоні від $\rho_0 = 2360 \text{ кг/м}^3$ до $\rho_0 = 2440 \text{ кг/м}^3$, та можуть бути досягнуті у множині варіантів їх технологічних факторів: X_1 - витрат цементу, кг/м^3 та X_2 – витрат пластифікатора SR-2 кг/м^3 .

На ізолініях рис.4 простежуються також максимальні значення середніх густин зразків дорожнього бетону при всіх витратах портландцементу, у межах: $\rho_0 = 2454 \text{ кг/м}^3$, $\rho_0 = 2474 \text{ кг/м}^3$. Отже, в межах здійсненого експерименту для досягнення максимальної щільності дрібнозернистого дорожнього бетону, необхідно вводити в нього 4,5-5,0 л/м^3 пластифікатора SR-2 та 400-450 кг/м^3 портландцементу.

Ретельний аналіз графіків ізоліній міцності при стиску дрібнозернистого бетону на основі фракції щебеню 5-10 мм та гранітного відсіву з мукою надщільного зернового складу[6], Подільського ПЦ-I-500 та пластифікатора SR-2 в залежності від x_1 - витрата цементу, кг/м^3 та x_2 – витрат пластифікатора SR-2 кг/м^3 дозволив визначити можливі марки зазначеного бетону в межах виконаного експерименту: M300, M350, M400, M450, M500, а також їх технологічні параметри, що були вишукані графоаналітичним методом - таблиця 3.

Таблиця 3

Основні варіанти виготовлення дорожнього дрібнозернистого бетону

Марка бетону	Варіанти	Міцність при стиску, МПа	Середня густина, кг/м^3	Міцність при розколюванні, МПа	Осадка конуса, см	Технологічні параметри	
						X_1 (ПЦ) кг/м^3	X_2 (SR-2) л/м^3
1	2	3	4	5	6	7	8
M300	1	30	2330	4,10	5	350	5,0
M300	2	30	2325	4,00	4,9	345	5,0
M350	1	35	2410	4,30	4,5	367	5,0
M350	2	35	2440	4,20	5,0	350	4,6
M350	3	35	2445	4,25	4,9	357	4,62
M400	1	40	2366	5,20	3,5	362	3,0
M400	2	40	2404	4,90	4,0	371	3,52
M400	3	40	2440	4,70	4,6	375	4,0
M400	4	40	2439	4,60	4,8	373	4,5
M400	5	40	2437	4,80	5,6	370	5,0
M400	5	40	2437	4,80	5,6	370	5,0
M450	1	45	2410	5,30	2,0	450	3,0
M450	2	45	2407	5,50	1,8	460	3,52

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
M450	3	45	2390	5,70	4,0	464	4,0
M450	4	45	2386	6,10	4,4	462	4,5
M450	5	45	2440	6,70	5,5	455	5,0
M500	1	50	2450	6,60	5,6	450	5,0

На підставі аналізу можливих варіантів марок запропонованого дорожнього бетону(табл.3) складена таблиця 4, де зазначені рекомендовані оптимальні технологічні фактори виготовлення дослідженого складу бетону, вишукані за мінімальною витратою цементу.

Таблиця 4

Оптимальні варіанти виробництва марок дрібнозернистого бетону

Клас бетону (Марка бетону)	Середня густина, кг/м ³	Міцність при розколюванні МПа	Осадка конуса (см)	Технологічні параметри	
				X ₁ (ПЦ) кг/м ³	X ₂ (SR-2) л/м ³
22,5 (M300)	2325	4,0	4,9	345	5,0
25 (M350)	2440	4,20	5,0	350	4,6
30 (M400)	2366	5,20	3,5	362	3,0
35 (M450)	2410	5,30	2,0	450	3,0
37,5 (M500)	2450	6,60	5,6	450	5,0

1. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л.,Пушкарьова К.К.,Кочевих М.О.,Мохорт М.А.,Безсмертний М.П. Використання техногенних продуктів у будівництві. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2009. – 339 с.
2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. – Ростов-на-Дону: Феникс - 2007. – 369 с.
3. Дворкін Л.Й., МIRONENKO A.B., Удовиченко П.В. Безверхий І.П., Семенюк І.В. Спосіб виготовлення бетонної суміші для дрібнозернистого бетону. Патент України на корисну модель № 75813; Бюл. № 23, від 10.12.2012 р.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Изд-во АСВ, 2002. - с.274-275.
5. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Кочевих М.О. Заповнювачі для бетону. – К.: ФАДА, ЛТД, 2001.
6. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аеродромный. Технические условия. ДСТУ Б В.2.7-119-2003. – с.12.