

УДК 691.33

Дворкін Л.Й., д.т.н., професор, Житковський В.В., к.т.н., доцент, Кулакевич Р.М., асистент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ВІБРОПРЕСОВАНОГО ГІПСОБЕТОНУ НА КЕРАМЗИТОВОМУ ЗАПОВНЮВАЧІ

Визначено вплив керамзитового заповнювача на фізико-механічні властивості вібропресованих гіпсобетонів. Отримано теоретичні моделі густини, міцності, водогіпсового відношення (В/Г). Визначено оптимальний склад бетону.

Ключові слова: вібропресований гіпсобетон, жорсткі та наджорсткі суміші.

Certainly influence of the haydite filler on physicomechanical property of the vibropressed plaster concretes. The theoretical models of closeness, durability, water-gypsum ratio are got (W/G). Certainly optimum composition of concrete.

Keywords: vibropressed plaster concrete, hard and ultra-hard mixtures.

Определено влияние керамзитового заполнителя на физико-механические свойства вибропрессуемых гипсобетонов. Получены теоретические модели плотности, прочности, водогипсового отношения (В/Г). Определен оптимальный состав бетона.

Ключевые слова: вибропрессуемый гипсобетон, жесткие и сверхжесткие смеси.

Актуальність. Останнім часом у зв'язку з постійним підвищенням цін на енергоносії, промисловість вимагає все ширшого застосування низькоенергоємних в'язучих, оскільки використання портландцементу для виготовлення бетонних виробів призводить до суттєвого зростання їх вартості. Серед перспективних, в даному випадку, видів в'язучих речовин важливе місце займають низьковипальні гіпсові в'язучі (будівельний гіпс, фосфогіпсові в'язучі), енергоємність отримання яких в 4...6 разів нижча, ніж портландцементу [1].

Широкому використанню матеріалів на основі гіпсових в'язучих перешкоджають їх негативні властивості: висока водопотреба і повзучість, низька міцність і водостійкість, погане зчеплення із заповнювачами. Значна кількість цих показників визначається якраз високою водопотребою гіпсу у сумішах звичайної (стандартної) консистенції [2], тому для виготовлення будівельних виробів ефективно застосування сумішей підвищеної жорсткості в

посаднанні з силовим ущільненням. Наші дослідження [3] показують, що виготовлення гіпсових виробів способом вібропресування дозволяє суттєво підвищити міцність, навіть при використанні низькоактивних видів в'язучих, водостійкість, знизити усадочні деформації, дає можливість використовувати підвищену кількість заповнювача. Підвищена міцність вібропресованого гіпсобетону дає можливість ефективно використовувати в ньому легкі пористі заповнювачі, тим самим розширювати можливу номенклатуру виробів та сферу застосування такого бетону.

Метою проведених досліджень було визначити оптимальні параметри виготовлення вібропресованих гіпсобетонів на керамзитовому заповнювачі.

При виготовленні бетону способом вібропресування значно підвищується роль заповнювача, ще у більшій мірі на властивостях матеріалу позначаються характеристики і вміст легких зерен. Тому у проведених дослідженнях основна увага приділялась зерновому складу керамзиту, його вмісту та інтенсивності ущільнення. Вивчення впливу даних факторів проводилось з використанням математичного планування експерименту шляхом реалізації плану Бокса – Бенкена для чотирьох факторів [4]. Умови планування наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови планування експерименту

№ з/п	Фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	Натуральний вид	Кодов. вид	-1	0	+1	
1	Масова частка керамзитового піску у заповнювачі, $r_n = П/(П+К)$	X_1	0,1	0,25	0,4	0,15
2	Масова частка дрібного керамзиту, $K_d/(K_d+K_k)$	X_2	0	0,5	1	0,5
3	Співвідношення витрат заповнювача і в'язучого, З/Г	X_3	1	2	3	1
4	Величина привантаження (динамічного тиску), Р, МПа	X_4	0,01	0,06	0,11	0,05

В експериментах використовувались наступні матеріали: будівельний гіпс марки Г-5 (ВАТ «Іванофранківськ-цемент»), керамзитовий пісок (П) ($\rho_n=700 \text{ кг/м}^3$), керамзит дрібний (Кд) фракції 1...5 мм ($\rho_n=500 \text{ кг/м}^3$), керамзит крупний (Кк) фракції 5...10 мм ($\rho_n=450 \text{ кг/м}^3$) Вінницького заводу "Керамзит". Параметри ущільнення: частота – 50 Гц, амплітуда – 0,5 мм, тривалість ущільнення – 15 с. При проведенні експерименту для забезпечення необхідної "живучості" гіпсобетонної суміші був використаний сповільнювач (лимонна кислота) в кількості 0,05% від маси гіпсу.

В якості вихідних параметрів експерименту вибрані наступні:

– водогіпсове відношення (В/Г), – показник, що характеризує водопотребу бетону;

– середня густина бетону (ρ_0 , кг/м³);

– міцність гіпсобетону при стиску в висушеному стані ($R_{ст}$, МПа).

Матриця планування та результати експериментів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування та результати експериментів

№ з/п	Кодовані значення факторів				Склад				Значення вихідних параметрів		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Г, кг/м ³	П, кг/м ³	Кд, кг/м ³	Кк, кг/м ³	R _{ст} , Мпа	В/Г	ρ^0 , кг/м ³
1	1	1	0	0	240	192	288	0	12,24	0,366	1173
2	1	-1	0	0	240	192	0	288	8,86	0,360	1095
3	-1	1	0	0	240	48	432	0	8,79	0,389	1087
4	-1	-1	0	0	240	48	0	432	1,59	0,399	851
5	1	0	1	0	180	216	162	162	4,68	0,428	972
6	1	0	-1	0	360	144	108	108	16,22	0,303	1332
7	-1	0	1	0	180	54	243	243	1,37	0,507	885
8	-1	0	-1	0	360	36	162	162	8,81	0,277	1172
9	0	1	1	0	180	135	405	0	2,48	0,410	1024
10	0	1	-1	0	360	90	270	0	16,67	0,293	1302
11	0	-1	1	0	180	135	0	405	1,89	0,487	871
12	0	-1	-1	0	360	90	0	270	6,67	0,297	1152
13	0	0	1	1	180	135	202,5	202,5	6,07	0,390	996
14	0	0	1	-1	180	135	202,5	202,5	1,07	0,547	858
15	0	0	-1	1	360	90	135	135	16,53	0,270	1253
16	0	0	-1	-1	360	90	135	135	9,59	0,353	1218
17	1	0	0	1	240	192	144	144	15,47	0,300	1138
18	1	0	0	-1	240	192	144	144	8,40	0,412	1012
19	-1	0	0	1	240	48	216	216	9,01	0,300	986
20	-1	0	0	-1	240	48	216	216	4,14	0,495	857
21	0	1	0	1	240	120	360	0	15,96	0,300	1103
22	0	1	0	-1	240	120	360	0	6,15	0,455	1030
23	0	-1	0	1	240	120	0	360	6,83	0,300	1004
24	0	-1	0	-1	240	120	0	360	4,71	0,500	838

Результати проведення дослідів оброблено методами математичної ста-

тистики та одержано таким чином залежності між вихідними параметрами та факторами, що на них впливають, у вигляді математичних моделей:

$$R_{cm} = 8,07 + 2,68X_1 + 2,64X_2 - 4,74X_3 + 2,98X_4 + 0,32X_1^2 - 0,52X_2^2 - 0,62X_3^2 + 0,86X_4^2 - 0,95X_1X_2 - 1,03X_1X_3 + 0,55X_1X_4 - 2,35X_2X_3 + 1,92X_2X_4 - 0,48X_3X_4 \quad (1)$$

$$\rho_0 = 1050 + 147X_1 + 151X_2 - 303X_3 + 111X_4 + 5X_1^2 + 9X_2^2 - 54X_3^2 + 39X_4^2 - 79X_1X_2 - 36X_1X_3 - 1X_1X_4 + 1X_2X_3 - 46X_2X_4 + 52X_3X_4 \quad (2)$$

$$\frac{B}{\Gamma} = 0,38 - 0,03X_1 - 0,02X_2 + 0,16X_3 - 0,15X_4 + 0,01X_1X_2 - 0,05X_1X_3 + 0,04X_1X_4 - 0,04X_2X_3 + 0,02X_2X_4 - 0,04X_3X_4 \quad (3)$$

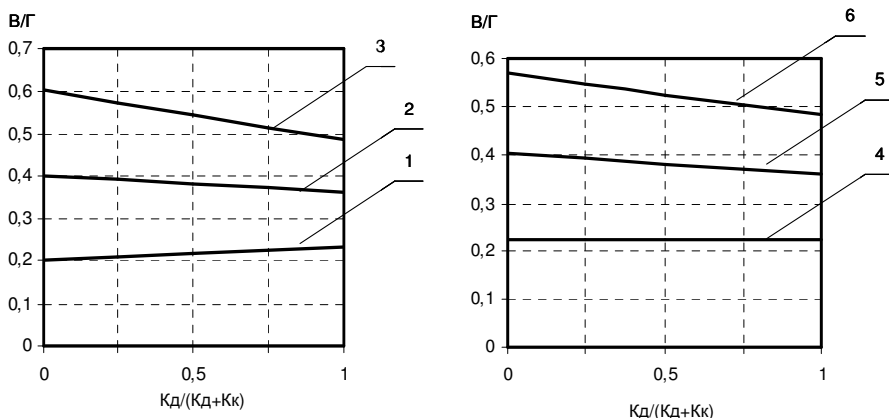


Рис. 1. Залежність водогіпсового відношення (В/Г) вібропресованих гіпсобетонів від факторів, що досліджувались:

- 1 – З/Г(масова частка заповнювача з гіпсом)=1; 2 – З/Г=2; 3- З/Г=3;
4 – Р(тиск привантаження)=0,11 МПа; 5 – Р=0,06 МПа; 6 – Р=0,01 МПа

Як видно з отриманих даних (рис. 1), водопотреба вібропресованого гіпсобетону з використанням керамзитового заповнювача коливається досить широко (від 0,2 до 0,65), що пояснюється різними причинами. Максимальний вплив викликає фактор X_3 (З/Г) – він здійснює практично лінійний вплив на В/Г. Збільшення вмісту пористого заповнювача викликає необхідність підвищення водовмісту для забезпечення необхідної консистенції.

Фактор X_4 , що характеризує вплив величини привантаження діє негативно, тобто підвищення інтенсивності ущільнення сприяє зниженню водопотреби. Менше абсолютне значення цього фактора порівняно з X_3 свідчить про те, що вплив пористого заповнювача на водопотребу бетону за рахунок збі-

льшення динамічного тиску при вібропресуванні нейтралізувати не вдається.

Взаємна дія факторів X_1 та X_3 має найбільший негативний вплив. Це пояснюється нівелюванням впливу зернового складу на водопотребу при збільшенні вмісту в'язучого.

Значення середньої густини отриманого керамзитобетону знаходяться в межах $600 \dots 1450 \text{ кг/м}^3$ (рис. 2). Найбільш помітно впливає фактор X_3 (Z/Γ) – збільшення частки керамзиту дозволяє суттєво знизити густину бетону.

Фактори X_1 , X_2 і X_4 , а також їх взаємодії впливають позитивно: підвищення вмісту керамзитового піску та гравію дрібної фракції сприяють підвищенню ущільнюваності бетонної суміші, цьому також додатково допомагає підвищення величини привантаження.

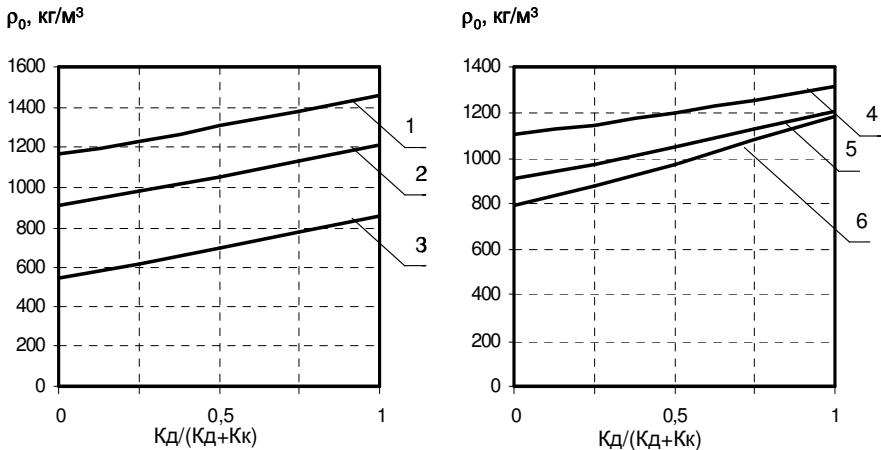


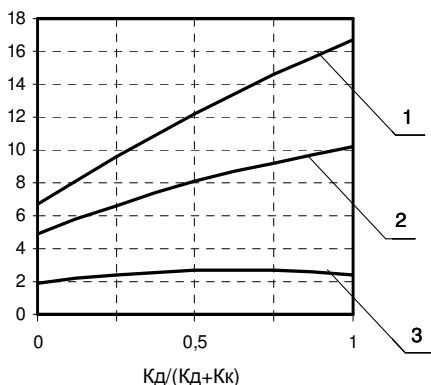
Рис. 2. Залежність середньої густини (ρ_0) вібропресованих гіпсобетонів від факторів, що досліджувались:

- 1 – Z/Γ (масова частка заповнювача з гіпсом)=1; 2 – Z/Γ =2; 3- Z/Γ =3;
4 – P (тиск привантаження)=0,11 МПа; 5 – P =0,06 МПа; 6 – P =0,01 МПа

Характер моделі міцності вібропресованого гіпсобетону подібний до моделі середньої густини (рис. 3). Як видно з отриманих даних, міцність вібропресованих гіпсобетонів коливається досить широко (від 2,3 до 16 МПа). Підвищення міцності викликає зміна значень факторів X_1 , X_2 і X_4 (вміст керамзитового піску, частка дрібної фракції гравію та величина привантаження). При підвищенні кількості заповнювача (фактор X_3 (Z/Γ)) – міцність, природно, знижується.

Можемо відмітити, що при збільшенні кількості керамзитового піску в бетонній суміші спостерігається зростання міцності на 20...25%, що пояснюється більш щільною структурою каркаса заповнювача.

$R_{ст}$, МПа



$R_{ст}$, МПа

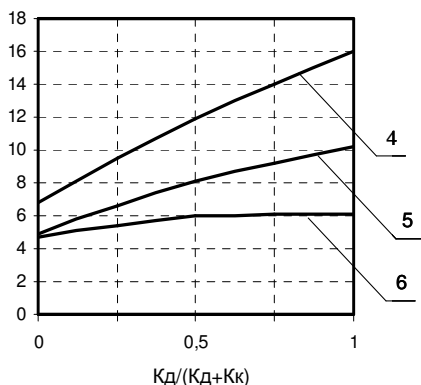


Рис. 3. Залежність міцності ($R_{ст}$) вібропресованих гіпсобетонів від факторів, що досліджувались:

- 1 – $3/\Gamma$ (масова частка заповнювача з гіпсом)=1; 2 – $3/\Gamma=2$; 3 – $3/\Gamma=3$;
 4 – P (тиск привантаження)=0,11 МПа; 5 – $P=0,06$ МПа; 6 – $P=0,01$ МПа

Висновок. При оптимальному співвідношенні фракцій керамзитового гравію і піску вібропресуванням було отримано гіпсобетон на керамзитовому заповнювачі з міцністю при стиску 9...11 МПа, середньою густиною 900...1100 кг/м³. Водопотреба бетонної суміші при оптимальному привантаженні 0,06...0,08 МПа знаходилась в межах 0,34...0,38.

Бетон таких властивостей можна використовувати для виготовлення повнотілих та пустотних блоків марок від М35 до М100 для внутрішніх, а при обробці захисним шаром і для зовнішніх робіт.

1. Дворкин Л.И. Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов. Материалы VII научно-технического семинара "Бетони і розчини з використанням ефективних добавок та відходів промисловості", ТОВ "Поліпром", К., 2008. – С. 4-22. 2. А.Ф. Ферронская. Гипсовые материалы и изделия. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – С. 91. 3. Дворкин Л.И., Житковський В.В., Кулакевич Р.Н. Вибропресованный гипсовый бетон // Будівельні конструкції. – Вип.72. – К.: НДІБК, 2009. – С. 312-319. 4. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Житковський В.В. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту: навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2011. – 175 с.

Рецензент: к.т.н., доц. Гарніцький Ю.В. (НУВГП)