

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 666.97.033.16

**РАЦІОНАЛЬНІ РЕЖИМИ РОЗДІЛЬНОГО ВІБРОІМПУЛЬСНОГО ПРЕСУВАННЯ
КАМЕНЕБЕТОННИХ ВИРОБІВ**

І. Н. Дудар, В. П. Загреба, А. О. Коваленко, С. О. Краєвський

Виконано дослідження із визначення раціональних параметрів режиму віброімпульсного формування каменобетонних виробів в порівнянні зі звичайним способом ущільнення бетонної суміші на віброплощині. Отримано раціональні значення частоти віброімпульсів, амплітуди пульсації віброімпульсного формування та тривалості віброімпульсного ущільнення.

Выполнены исследования по определению рациональных параметров режима виброимпульсного формирования каменобетонных изделий по сравнению с обычным способом уплотнения бетонной смеси на виброплощадке. Получены рациональные значения частоты виброимпульсов, амплитуды пульсации виброимпульсного формирования и продолжительности виброимпульсного уплотнения.

Performed studies to determine the rational parameters of vibroimpulses of masonry and concrete stone compared with conventional packing method of concrete mix on the vibrotable. Obtained the rational values of vibroimpulsive frequency, the amplitude and the duration of the vibroimpulses.

Вступ

Технологія ущільнення каменобетонної суміші використовується для отримання каменобетонних виробів з хорошими фізико-механічними характеристиками та відповідної якості цих виробів. Ці характеристики напряму залежать від вибору оптимальних параметрів ущільнення каменобетонної суміші, таких як: частота віброімпульсів, амплітуда коливань еластичної діафрагми та тривалість ущільнення. Ущільнення каменобетонної суміші віброімпульсним режимом сприяє підвищенню ефективності формування в порівнянні з раніше відомими методами за рахунок впровадження і перемішування кам'яної накладки в бетонній суміші та отримання більш щільної і рівномірно-розподіленої структури бетону.

Експериментальні дослідження проводилися на лабораторному обладнанні методом роздільного віброімпульсного формування каменобетонної суміші при виготовленні зразків-кубів $200 \times 200 \times 200$ мм.

Для порівняння результатів виконані дослідження ефективності імпульсного ущільнювально-перемешувального формування звичайним способом ущільнення бетонної суміші на віброплощині.

Основна частина

Частота є найменш залежним показником режиму віброімпульсів. На підставі проведеного аналізу технології віброімпульсного формування встановлено інтервал дослідження частоти: $f = 0,25; 0,5; 0,75; 1$ Гц.

Дослідження із визначення раціональної частоти імпульсів режиму ущільнювально-перемешувального процесу є досить важливим, оскільки воно значно впливає на міцнісні характеристики каменобетону і загальну тривалість роздільного віброімпульсного ущільнення даним методом. Цьому питанню приділяли увагу багато вчених, які досліджували імпульсне формування залізобетонних виробів, зокрема, пристрої для імпульсного ущільнення бетонних сумішей [1, 2], пульсуючого пресування, такі як устаткування диско-роликового типу [3], імпульсно-резонансні віброплощини [4].

Ефективність величини параметрів віброімпульсного формування оцінювалася за кількома показниками міцності бетону: за границею міцності при стисненні ($R_{ст.}$) і розколюванні ($R_{роз.}$), щільності каменобетону і бетону ($\rho_{к.б.}$) і швидкості проходження ультразвуку ($V_{у.зв.}$).

Умови проведення досліджень і результати випробувань зразків-кубів подані в табл. 1 та на рис. 1-3.

Міцність каменобетону при стисненні і розколюванні, щільність і швидкість проходження ультразвуку істотно підвищуються при віброімпульсному режимі формування у порівнянні зі

звичайним способом ущільнення бетонної суміші на віброплощадці.

Зростання показників спостерігається до частоти пульсації $f=0,75$ Гц, при якій вони набувають найбільшого значення. Так, у порівнянні з бетоном, ущільненим на віброплощадці, міцність каменобетону на стиск збільшилася в 1,1-1,6 раза. Зростання міцності при стисненні і розколюванні, а також швидкості проходження ультразвуку тут обумовлені отриманням більш щільної структури каменобетону за рахунок впровадження в бетон кам'яної накладки й застосування раціонального режиму перемішування бетонної суміші. Збільшення частоти понад 0,75 Гц не приводить до поліпшення фізико-механічних властивостей каменобетону, а при $f=1$ Гц навіть дещо погіршує їх, хоча інтенсивність віброімпульсів зростає. Це явище можна пояснити тим, що при частоті віброімпульсів більше 0,75 Гц локалізується процес перемішування та введення кам'яної накладки в бетонну суміш, і тому утруднюється перекомпонування зерен бетонної суміші між кам'яною накладкою.

Таблиця 1

Залежність фізико-механічних характеристик каменобетону від частоти віброімпульсного впливу

№ п/п	Витрата на 1 м ³ каменобетонної суміші					О.К., см	А, мм	τ, с	f, Гц	R _{ст.} , МПа	R _{роз.} , МПа	V _{у.зв.} , м/с	ρ _{к.б.} , кг/м ³
	Ц, кг	П, кг	Щ, кг	В, л	К.н., кг								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	244,5	467,1	833,9	131,3	1000	4,6	28	90	0,25	12,3	3,47	4361	2628
									0,5	14,82	3,93	5160	2640
									0,75	16,08	4,10	5625	2660
									1,00	15,7	4,05	5580	2655
віброімпульсне ущільнення													
2	218,5	474,6	841,4	142,5	1000	6,0	28	90	0,25	8,61	2,42	3149	2600
									0,5	9,5	2,6	3398	2608
									0,75	10,1	2,93	3540	2613
									1,00	9,7	2,85	3496	2611
3	244,5	470,6	837,8	124,2	1000	3,0	28	90	0,25	11,35	3,32	3950	2614
									0,5	12,13	3,46	4310	2625
									0,75	12,52	3,58	4440	2630
									1,00	12,32	3,5	4390	2628
ущільнення методом вібрування													
1	220	711,4	1270	200	-	4-6	0,35	90	50	10,9	3,2	3830	2419
2	180	722,9	1281	217	-	6,0	0,35	90	50	6,7	1,55	2600	2417
3	220	716,8	1276	189	-	3,0	0,35	90	50	11,1	3,26	3839	2435

З наведеного аналізу результатів експериментальних досліджень випливає, що при різних складах каменобетонної суміші раціональне значення частоти пульсації залишається постійним і рівним 0,75 Гц. Подальші дослідження параметрів режиму пульсуючого формування слід проводити при $f = 0,75$ Гц. Експериментальні дослідження з визначення раціональної амплітуди пульсації проводилися на п'яти рівнях $A=15; 20; 25; 30; 35$ мм при постійних значеннях інших параметрів режиму пульсації ($\tau = 90$ с; $f = 0,75$ Гц). З результатів експериментальних досліджень поданих в табл. 2 та на рис. 4 випливає, що з підвищенням амплітуди віброімпульсів від 15 до 25 мм відбувається підвищення показників міцності каменобетону. При амплітуді $A=25$ мм міцнісні характеристики досягають екстремальних значень. Подальше підвищення амплітуди віброімпульсів не призводить до підвищення міцнісних характеристик каменобетону.

Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок про те, що як оптимальну величину амплітуди віброімпульсів слід прийняти $A = 25$ мм.

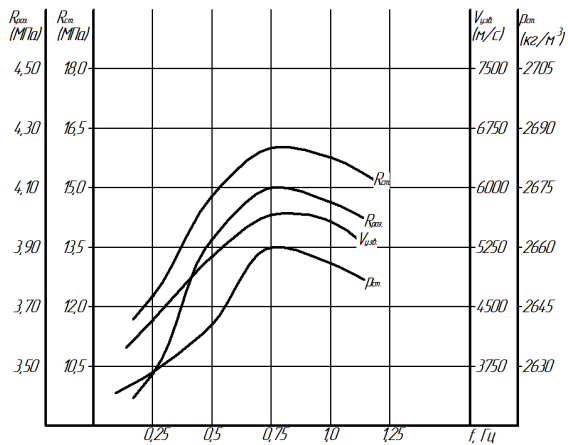


Рис. 1. Залежність міцнісних характеристик каменбетону від частоти віброімпульсного впливу (дослід 1)

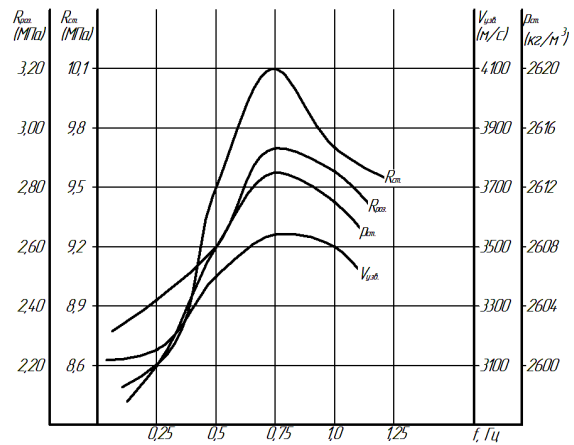


Рис. 2. Залежність міцнісних характеристик каменбетону від частоти віброімпульсного впливу (дослід 2)

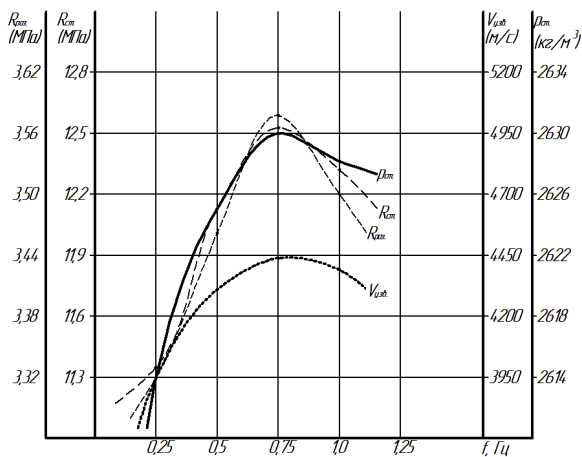


Рис. 3. Залежність міцнісних характеристик каменбетону від частоти віброімпульсного впливу (дослід 3)

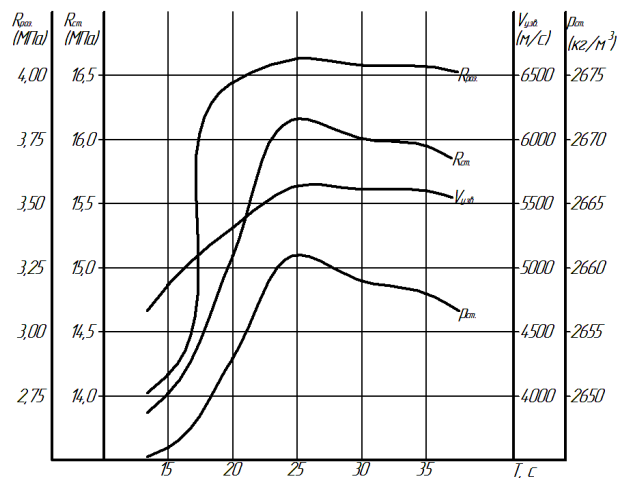


Рис. 4. Залежність міцнісних характеристик каменбетону від амплітуди віброімпульсів

Таблиця 2

Залежність міцнісних характеристик каменбетону від амплітуди віброімпульсного ущільнення

Витрата на 1 м ³ каменбетонної суміші					К _{р.к.н.}	τ, с	f, Гц	А, мм	R _{ст.} , МПа	R _{роз.} , МПа	V _{у.зв.} , м/с	ρ _{к.б.} , кг/м ³
Ц, кг	П, кг	Щ, кг	В, л	К.н., кг								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
								15	14,03	2,83	4875	2646
								20	15,10	3,95	5310	2653
244,5	467,1	833,9	131,3	1000	1,65	90	0,75	25	16,15	4,11	5645	2661
								30	16,01	4,09	5603	2659
								35	15,93	4,08	5594	2658

Час роздільного віброімпульсного ущільнення звичайно задає ритм технологічної лінії і впливає на загальну тривалість виготовлення виробів і визначає продуктивність. Тому, при розробці всіх технологій і методів ущільнення, прагнуть встановити мінімально необхідну тривалість ущільнення. Як показав аналіз постановних дослідів, тривалість роздільного віброімпульсного ущільнення деякою мірою залежить від витрати цементу, а також від водоцементного відношення і від коефіцієнта розсунення кам'яної накладки (Кр.к.н.), тобто, від співвідношення бетонної суміші та кам'яної накладки.

Для складу бетонної суміші, як заповнювачі, застосовувався пісок і гранітний відсів (суміш 1:1) з $M_k = 2,5$ і щебінь фракції 3...10 мм. Кам'яна накидка фракцій 70...140 мм. Портландцемент для складу бетонної суміші М 400. Водоцементне відношення $V/C=0,909$. Параметри частоти і амплітуди віброімпульсного формування рівні раніше прийнятим. Коефіцієнт розсушення кам'яної накидки $K_{p.k.h.}=1,65$. Аналіз результатів дослідів проводили за показниками фізико-механічних характеристик: міцності каменобетону при осьовому стиску ($R_{ст.}$), швидкості проходження імпульсних ультразвукових коливань ($V_{у.зв.}$), міцності каменобетону на розколювання ($R_{роз.}$) і його щільності ($\rho_{к.б.}$). Випробування проводили на зразках-кубах $200 \times 200 \times 200$ мм для каменобетону і $100 \times 100 \times 100$ мм для дрібнозернистого бетону.

Методика виконання експерименту передбачала дослідження часу віброімпульсного ущільнення в діапазоні від 30 до 150 с з інтервалом через 30 с, а також порівняння міцнісних характеристик каменобетону з аналогічними характеристиками зразків-кубів із дрібнозернистою бетонною сумішшю, ущільнених за стандартним вібраційним режимом.

Умови проведення експерименту, склад суміші, режими формування і результати дослідів подані в табл. 3 та показані на рис. 5.

Таблиця 3

Залежність міцнісних характеристик каменобетону від тривалості віброімпульсного ущільнення

Витрата на 1 м ³ каменобетонної суміші					О.К., см	А, мм	f, Гц	τ , с	$R_{ст.}$, МПа	$R_{роз.}$, МПа	$V_{у.зв.}$, м/с	$\rho_{к.б.}$, кг/м ³
Ц, кг	П, кг	Щ, кг	В, л	К.н., кг								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
віброімпульсне ущільнення												
								30	14,3	3,5	4978	2639
								60	16,0	4,10	5606	2660
144,5	467,1	833,9	131,3	1000	4 – 6	25	0,75	90	16,2	4,10	5645	2661
								120	16,2	4,10	5691	2662
								150	16,2	4,10	5655	2662
вібрування												
								30	9,3	2,50	3428	2413
								60	9,6	2,90	3650	2415
220,0	711,4	1270	200,0	–	4 – 6	50	0,35	90	10,9	3,20	3830	2419
								120	11,0	3,26	3837	2435
								150	11,2	3,30	3920	2480

Аналіз результатів дослідів показав, що тривалість віброімпульсного ущільнення протягом 30 секунд явно недостатня. Це впливає як з показників міцності каменобетону, так і з візуальних спостережень за ущільнювально-перемешувальними процесом каменобетонної суміші. Кам'яна накидка не встигає повністю і рівномірно розподілитися в дрібнозернистій бетонній суміші, а остання не достатньо перемішана з кам'яною накидкою й між камінням не створені ще прошарки необхідної товщини з бетонної суміші. Зі збільшенням тривалості віброімпульсного ущільнення ці процеси значно поліпшуються і досягають оптимального значення при тривалості 90 секунд. Показники фізико-механічних характеристик при даній тривалості теж досягають максимальних значень. Подальше збільшення тривалості віброімпульсного ущільнення не приводить до підвищення міцності каменобетону (див. рис. 5). Тому збільшення тривалості понад 90 секунд економічно не доцільно. Більш того, при досить рухомій дрібнозернистій бетонній суміші (О.К. = 9...12 см) з підвищенням тривалості віброімпульсного формування в лабораторних дослідах відмічено навіть деяке розшарування каменобетонної суміші.

Характерним є також порівняння за тривалістю ущільнення віброімпульсного режиму для каменобетону з вібруванням за стандартним режимом для бетонної суміші (рис. 6). Показники міцності повністю узгоджуються, з чого можна зробити припущення, що закономірності за тривалістю ущільнення каменобетонної суміші такі ж як і для бетонної суміші.

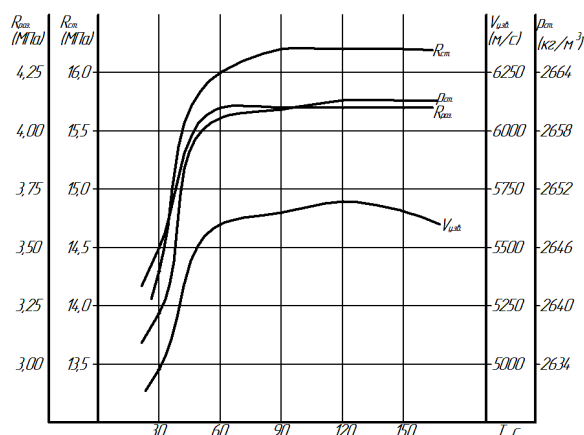


Рис. 5. Залежність фізико-механічних характеристик каменобетону від тривалості віброімпульсного ущільнення

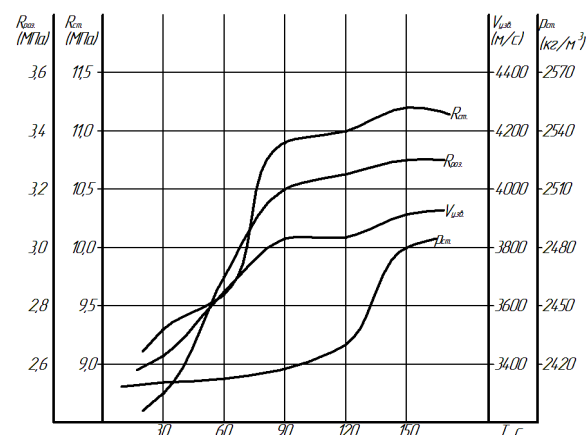


Рис. 6. Залежність міцнісних характеристик каменобетону від тривалості вібрування

Незважаючи на те, що ущільнювально-перемішувальні процеси досягають найкращого ефекту при тривалості 90 секунд, проте приріст міцнісних показників каменобетону в порівнянні з аналогічним, ущільненим при тривалості $\tau = 60$ с, практично не спостерігається. Останнє дало підставу прийняти раціональне значення часу віброімпульсного ущільнення каменобетонної суміші $\tau = 60$ с.

Висновки

- Міцність каменобетону при стисненні і розколюванні, щільність і швидкість проходження ультразвуку істотно підвищуються при віброімпульсному режимі формування у порівнянні зі звичайним способом ущільнення бетонної суміші на віброплощадці. Зростання показників спостерігається до частоти пульсації $f=0,75$ Гц, при якій вони набувають найбільше значення.
- Міцність каменобетону на стиск збільшилася в 1,1-1,6 раза у порівнянні з бетоном, ущільненим на віброплощадці.
- Раціональне значення частоти пульсації складає $f = 0,75$ Гц.
- Раціональне значення амплітуди віброімпульсів складає $A = 25$ мм.
- При тривалості $\tau = 90$ с приріст міцнісних показників каменобетону в порівнянні з аналогічним, ущільненим при тривалості $\tau = 60$ с, практично не спостерігається, з чого можна зробити висновок, що раціональне значення часу віброімпульсного ущільнення каменобетонної суміші $\tau=60$ с.

Список літератури

1. Загребя В. П. Формування бетонних і залізобетонних виробів методом пульсуючого пресування бетонних сумішей / В. П. Загребя, І. Н. Дудар // Монографія. – Вінниця. : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 37 с.
2. Дудар І. Н. Термосилова технологія бетону / Ігор Никифорович Дудар // Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 44 с.
3. Афанасьев А. А. Изготовление длиномерных изделий с применением импульсного уплотнения: Сб. Бетон и железобетон / А. А. Афанасьев, А. И. Бойков, А. Н. Татарин // М. : Стройиздат – 1976. – 63 с.
4. Швець В. В. Вібротермосилова технологія залізобетонних виробів і конструкцій / В.В. Швець, І.Н. Дудар // Монографія. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 26 с.

Дудар Ігор Никифорович – д.т.н., професор, завідувач кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.

Загребя Василь Петрович – к.т.н., доцент кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.

Коваленко Андрій Олександрович – аспірант Вінницького національного технічного університету.

Краєвський Станіслав Олександрович – студент Вінницького національного технічного університету.