

УДК 666.97.033

М.М. Нестеренко, асистент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ УЩІЛЬНЕННЯ ЛЕГКОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА УДАРНО-ВІБРАЦІЙНІЙ УСТАНОВЦІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

АНОТАЦІЯ. У статті представлений короткий аналіз факторів, які впливають на міцність легкобетонних виробів. Пропонується план багатфакторного експерименту і приводиться статистичний аналіз експериментальних даних.

ANNOTATION. The short analysis of factors which influence on durability easy concretes wares. The plan of multivariable experiment is offered and the statistical analysis of experimental data over is brought is presented in the article.

Постановка проблеми. Дослідження оптимальних параметрів ущільнення на ударно-вібраційній установці [1,2] потребує проведення серії випробувань, які дозволять побудувати достовірну математичну модель. Найбільш економічним способом проведення досліджень є планування експерименту, яке, в першу чергу, знизить об'єм експерименту і зменшить трудомісткість обробки експериментальних даних [3-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [5] наведено дані по проведенні двофакторного експерименту, де основними факторами виступають пікове прискорення основного удару та витрата цементу.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. При проведенні досліджень [5], хоча і розглядалися фактори, які впливають на міцність виробів на легких заповнювачах, але більшість або відкидалася, або фіксувалися на одному рівні. Тому був проведений трьохфакторний експеримент, який дозволив вивчити вплив конструктивних параметрів ударно-вібраційної установки на міцність формуємих виробів.

Формулювання цілей статті. У даній статті за мету ставиться завдання створити план експериментальних досліджень міцності виробів на легких заповнювачах та вибрати фактори, які впливають на міцність і раніше ще не досліджувалися, або досліджувалися при проведенні малосерійних експериментів.

Виклад основного матеріалу. Одним із основних параметрів який потрібно забезпечити при виготовленні будівельних виробів це межа міцності на стиск. На неї впливають наступні фактори: склад бетонної суміші, висота падіння рухомої рами, час контакту рухомої рами об нерухому, модуль пружності пружних обмежувачів, час ущільнення.

Проаналізувавши вище зазначені фактори, для проведення багатфакторного експерименту провідними було обрано три з них: зазор між рухомою і нерухомою рамою (\tilde{O}_1), час контакту (\tilde{O}_2) між рухомою і нерухомою рамою та модуль пружності пружних елементів (\tilde{O}_3). Слід підкреслити, що ці фактори суттєво впливають на міцність легкобетонних виробів і, зазвичай, пов'язані з недоліками, які виникають під час монтажу та налагодки обладнання.

При цьому до факторів висувалися наступні вимоги: вони повинні бути керованими, незалежними один від одного та змінюватися в таких межах, щоб різниця в їх крайніх точках була суттєвою. Для визначення виду функціональних залежностей фактори повинні змінюватися на трьох рівнях (тобто кожен фактор приймає одне з трьох значень). Отже, план повнофакторного експерименту при зміні трьох факторів на трьох рівнях потребує 3^3 ,



тобто 27 випробувань. Тому з метою зменшення кількості випробувань приймаємо центральний композиційний план другого порядку.

Загальна кількість точок у факторному просторі, в яких реалізуються випробування становить (рис. 1)

$$N = 2^n + 2 \cdot n + n_0 = 2^3 + 2 \cdot 3 + 3 = 17, \quad (1)$$

де n – кількість факторів,

n_0 – число дослідів у центрі плану.

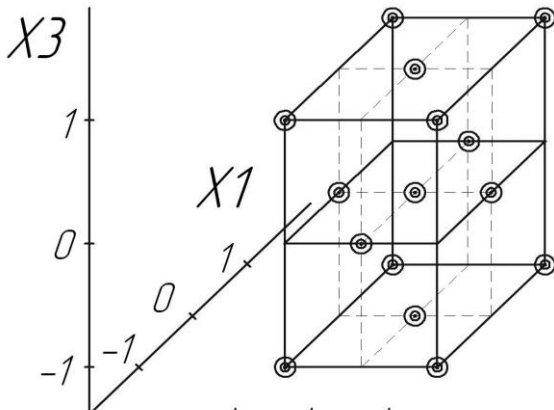


Рисунок 1. Розташування точок спостережень у факторному просторі.

Оскільки, фактори змінюються на трьох рівнях, то для кожного з рівнів приймаємо умовне позначення: на нижньому (-1), середньому (0) і верхньому (+1).

Експериментальні дослідження виконувались по стандартній матриці планування експерименту, згідно встановлених меж варіювання факторів (таблиця 1).

Таблиця 1

Межі варіювання факторів

Фактори та їх розмірності	Позначення	Рівні варіювання		
		-1	0	+1
Зазор між рухомою і нерухомою рамою, мм	X_1	6	8	10
Час контакту між рухомою і нерухомою рамою, с	X_2	0,006	0,008	0,012
Модуль пружності пружних елементів, МПа	X_3	4,46	4,81	5,24

Зразки для проведення експерименту були ущільненні на спроектованій ударно-вібраційній установці.

Нами було підібрано три склади бетонної суміші, які наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Склад бетонної суміші

	Витрата матеріалів на виготовлення 1м^3		
	Арболіту	Керамзитобетон	Пінополістиролбетон
Стружка, кг	240 - 250		
Керамзит, кг		720	
Пісок, кг			935
Полістирол гранульований, кг			27-30
Хлористий кальцій, кг	8		
Цемент (М 400), кг	230 -260	200-250	250
Вода, л	260 - 280	100-150	100-150

Ущільнення усіх зразків проводилось в жорстко закріплених формах з застосуванням привантажувача при питомих значеннях 50 г/см².

У результаті факторного експерименту отримані значення функцій відгуку, математичне очікування яких представлені у таблиці 3.

Таблиця 3

Загальні експериментальні дані

№ досліджу	Математичне очікування функції відгуку		
	Міцність на стиск арболіту, МПа	Міцність на стиск полістиролбетону, МПа	Міцність на стиск керамзитобетону, МПа
1	3,50	2,30	5,00
2	3,20	2,10	4,20
3	3,00	2,00	4,00
4	3,40	2,22	4,38
5	3,14	2,05	4,05
6	2,95	1,95	4,00
7	3,10	2,12	4,32
8	2,95	2,00	3,90
9	2,86	1,80	3,70
10	3,40	3,20	6,01
11	3,20	3,04	5,46
12	3,08	2,90	5,32
13	3,28	3,08	5,52
14	3,10	2,95	5,20
15	3,03	2,80	3,84
16	3,20	2,90	5,30
17	3,14	2,82	4,98

Експериментальні дані були апроксимовані поліном другого порядку, який має вигляд:

$$y_i = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{i=1}^k a_{ii} x_i^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^k a_{ij} x_i x_j, \quad (2)$$

де $i, j = 1, 2, \dots, k$ – порядкові номери факторів;

y_i – величина, яка оптимізується;

x_i, x_j – вхідні фактори у кодованій формі;

k – кількість факторів;

a_0, a_i, a_{ii}, a_{ij} – коефіцієнти рівняння регресії.

Рівноточність вимірів та адекватність отриманої моделі були визначені за стандартними методами математичної статистики.

Для опису залежності міцності арболіту від факторів, що досліджувались, було отримане рівняння:

$$Y = 3,245 + 0,101X_1 - 0,033X_1^2 - 0,199X_2 - 0,174X_3 + 0,047X_1X_3. \quad (3)$$

Для наочності результатів були побудовані поверхні відгуку, для цього у математичній моделі експерименту один фактор підставляли на середньому рівні, та розглядали два інших. Поверхні відгуку, побудовані в координатах факторів, разом з двомірними перерізами поверхні відгуку зображено на рисунку 2.

Знаки коефіцієнтів рівняння функції відгуку при X_2 та X_3 є від'ємними, що свідчить про зменшення міцності при збільшенні часу контакту та модуля пружності прокладок. Збільшення, в певних межах, висоти підйому рухомої рами (X_1) позитивно впливає на



міцність виробів із арболіту. Вплив усіх трьох факторів на міцність носить не лінійний характер, який зумовлений існуванням оптимальних значень факторів впливу, вище яких функція відгуку зростатиме не суттєво.

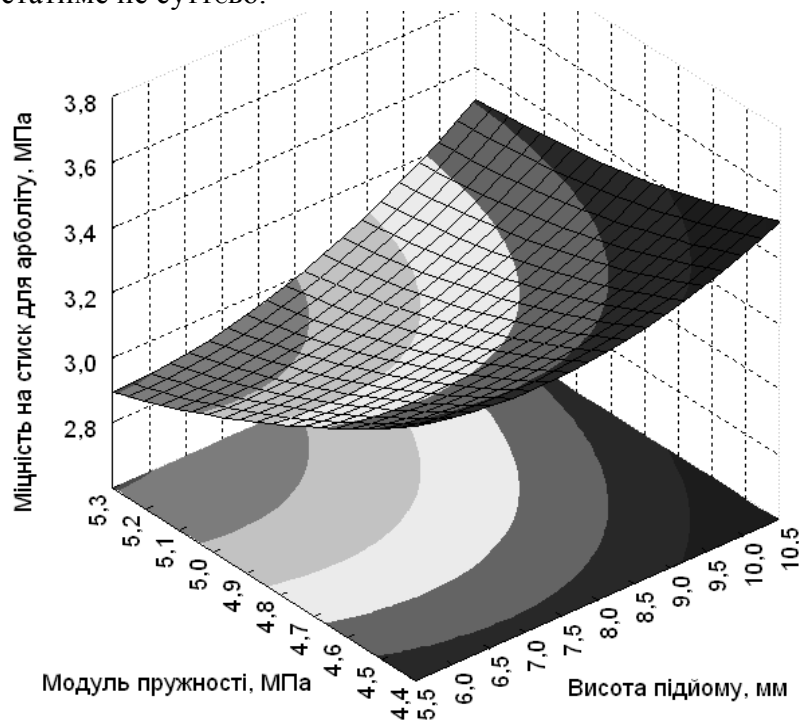


Рисунок 2. Поверхня відгуку міцності на стиск для арболіту в координатах факторів X_1 та X_3 при $X_2=0,008$ с.

З точки зору порівняння впливів, на міцність арболіту найменший вплив має висота підйому рухомої рами, так як коефіцієнт при ній складає 0,1. Фактори X_2 та X_3 мають приблизно однаковий вплив на функцію відгуку.

Залежність міцності полістиролбетону від факторів, що досліджувались описується рівнянням:

$$Y = 2,591 + 0,436 X_1 + 0,198 X_1^2 - 0,124 X_2 - 0,155 X_3 + 0,055 X_1 X_2. \quad (4)$$

Лінійні коефіцієнти рівняння функції відгуку при X_2 та X_3 мають від'ємні значення і, як наслідок, обернено пропорційно впливають на міцність полістирол бетону. Залежність між висотою підйому і міцністю є не лінійною і має параболический характер, що може бути зумовлено фізичними властивостями заповнювача. При зменшенні значень X_2 та X_3 функція міцності зростає практично лінійно (рис.3).

Найбільший вплив на функцію (4) має висота підйому рухомої рами, оскільки коефіцієнт $a_1=0,436$ є найбільшим значенням. Значення коефіцієнтів при вище вказаних факторах майже однакові, і, як наслідок, впливи цих факторів можуть вважатися однаковими.

Міцність на стиск керамзитобетону, як функція відгуку, має вигляд

$$Y = 5,246 + 0,936 X_1 - 0,642 X_2 - 0,359 X_2^2 - 0,425 X_3. \quad (5)$$

При аналізі функції 5, видно що знаки при коефіцієнтах рівняння регресії співпадають з рівнянням 3, але для міцності керамзитобетону найбільш ефективним параметром виявляється висота підйому рухомої рами, а найменшим ефективним – модуль пружності матеріалу пружних прокладок.

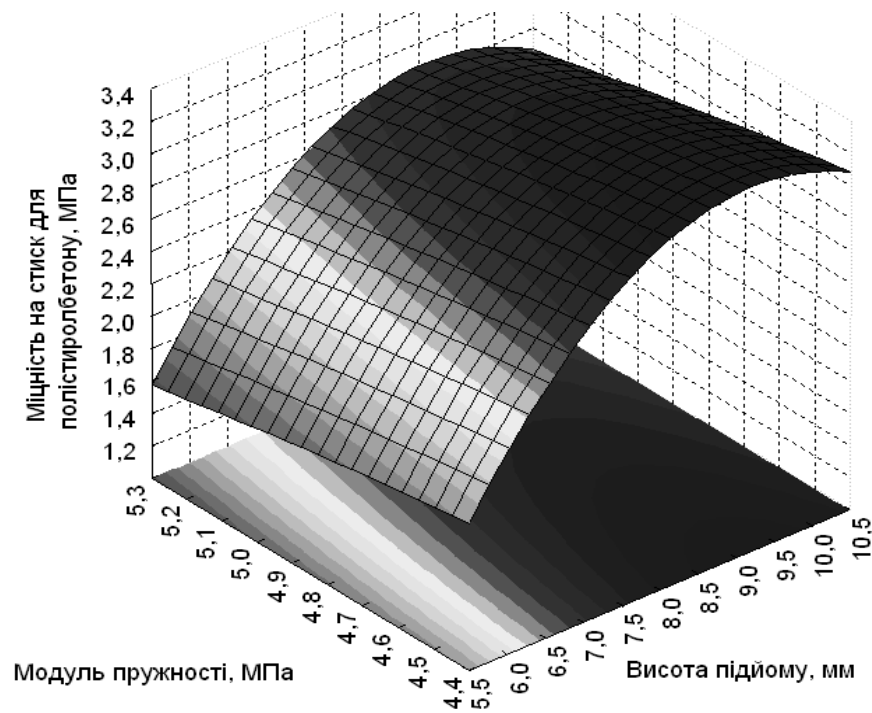
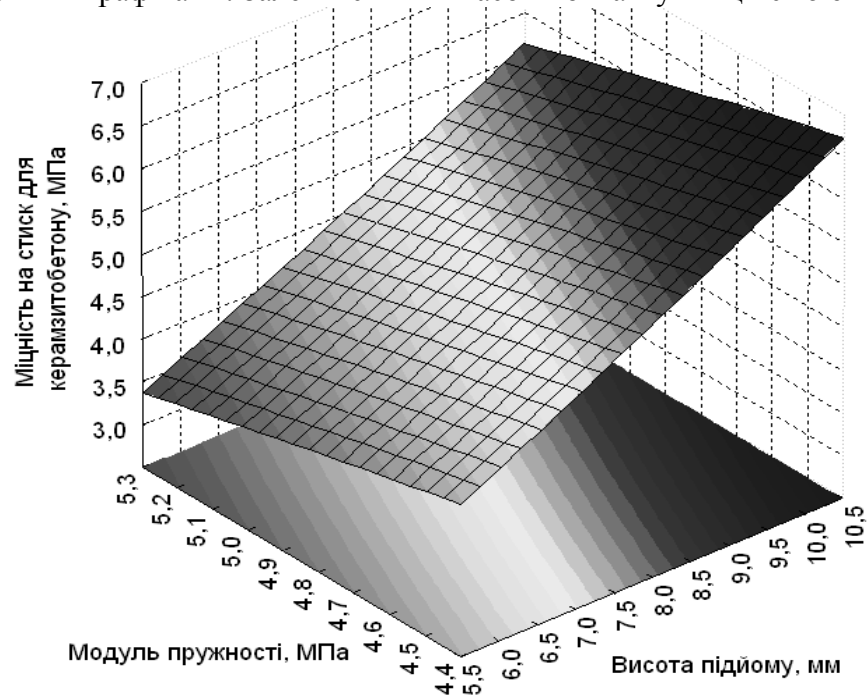


Рисунок 3. Поверхня відгуку міцності на стиск для полістиролбетону в координатах факторів X_1 та X_3 при $X_2=0,008$ с.

На рисунку 4 спостерігається лінійна залежність між міцністю керамзитобетону, висотою падіння та модулем пружності, тому при потребі поверхні відгуку можуть бути замінені двовимірними графіками. Залежність між часом контакту і міцністю є не лінійною.



Рисунку 4. Поверхня відгуку міцності на стиск для керамзитобетону в координатах факторів X_1 та X_3 при $X_2=0,008$ с.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Для дослідження міцності легкобетонних виробів сплановано та проведено багатофакторний експеримент. За основні фактори приймаються: висота підйому, час контакту рухомої рами з пружними обмежувачами та модуль пружності обмежувачів.



В результаті статистичної обробки експериментальних отримано поліноміальні моделі залежності між міцністю та основними факторами для трьох видів легких бетонів: арболіту, керамзитобетону, полістиролбетону.

Виявлено фактори, які найбільше впливають на міцність на стиск: для арболіту – час контакту між рамами; для полістиролбетону та керамзитобетону висота підйому рухомої рами. З метою вивчення характеру впливу, побудовано графіки функцій отриманих рівнянь.

Література

1. Пат. 33711 Україна. МПК (2006) В28В 1/08. Пристрій для ущільнення виробів із бетонних сумішей / М.П. Нестеренко, О.В. Орисенко, М.М. Нестеренко (Україна). - № u 2008 02245; Заявка 21.02.08; Опубл. 10.07.08, Бюл.№13. – 4 с.
2. Орисенко О.В. Розроблення конструкції ударно-струшувальної установки для формування стінових блоків із легких бетонів на основі аналізу конструктивних особливостей ущільнюючих машин / О.В. Орисенко, М.М. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2009 – Вип. 3(25). – С. 150 – 155. Бужевич Г.А Арболит./ Г.А. Бужевич – М.: Стройиздат, 1986. – 244 с.
3. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ. / Дуглас К. Монтгомери. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.
4. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента при исследовании многокомпонентных систем / Ираклий Георгиевич Зедгинидзе. – М.: «Наука», 1976. – 390 с.
5. Олехнович К.А. О формовании арболитовых изделий / К.А. Олехнович , А.Н. Шахов // Бетон и железобетон. –1988. –№8. – С. 11 – 13.