

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ УЩІЛЬНЕННЯ ЛЕГКОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА УДАРНО-ВІБРАЦІЙНІЙ УСТАНОВЦІ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

У статті представлено короткий аналіз факторів, які впливають на міцність легкобетонних виробів. Запропоновано план багатфакторного експерименту і надано статистичний аналіз експериментальних даних.

Ключові слова: ударно-вібраційна установка, планування експерименту, легкобетонні суміші.

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 обсяг експерименту і зменшить трудомісткість обробки експериментальних даних [3-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми й на які спираються автори, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У роботі [5] наведено дані про виконання двофакторного експерименту, де основними факторами виступають пікове прискорення основного удару та витрата цементу.

При проведенні досліджень [5], хоча і розглядалися фактори, що 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 формованих виробів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). У цій 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 дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Одним із основних параметрів, який потрібно забезпечити при виготовленні будівельних виробів, – це межа міцності на стиск. На неї впливають такі фактори: склад

бетонної суміші, висота падіння рухомої рами, час контакту рухомої рами об нерухому, модуль пружності пружних обмежувачів, час ущільнення.

Проаналізувавши раніше зазначені фактори, для проведення багатофакторного експерименту провідними було обрано три з них: проміжок між рухомою і нерухомою рамою (X_1), час контакту (X_2) між рухомою і нерухомою рамою та модуль пружності пружних елементів (X_3). Слід підкреслити, що ці фактори суттєво впливають на міцність легкобетонних виробів і, зазвичай, пов'язані з недоліками, які виникають під час монтажу та налагодження обладнання.

При цьому до факторів висувалися такі 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 мають змінюватися на трьох рівнях (тобто кожен фактор набуває 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)

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

де n – кількість факторів,

n_0 – число дослідів у центрі плану.

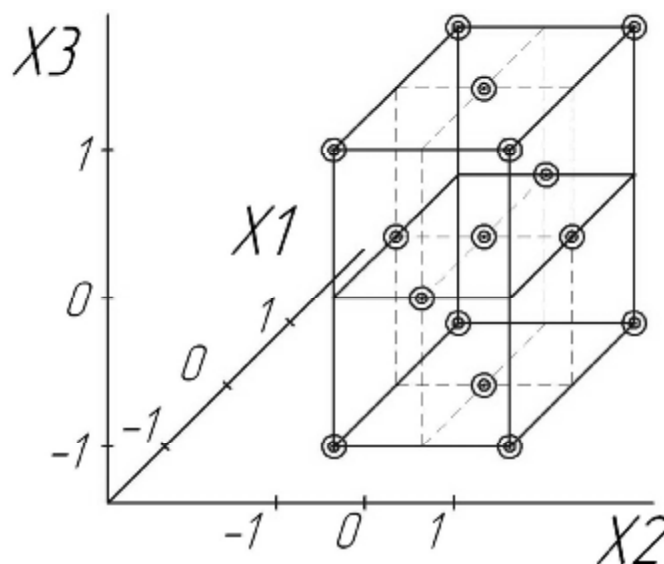


Рис. 1. Розташування точок спостережень у факторному просторі

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

Експериментальні дослідження виконувалися за стандартною матрицею планування експерименту, відповідно до встановлених меж варіювання факторів (таблиця 1).

Таблиця 1. Межі варіювання факторів

Фактори та їх розмірності	Позначення	Рівні варіювання		
		-1	0	+1
Проміжок 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 ущільнені 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 1 м ³		
	Арболіт	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 всіх зразків проводилось у жорстко закріплених формах із застосуванням привантажувача при питомих значеннях 50 г/см².

У результаті факторного експерименту отримано значення функцій відгуку, математичне очікування яких представлено 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 поліномом другого порядку, який має вигляд

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

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 було побудовано 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 має нелінійний характер, який зумовлений існуванням оптимальних значень факторів впливу, вище від яких функція відгуку зростатиме не суттєво.

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

Залежність міцності полістиролбетону від факторів, що досліджувались, описується рівнянням

$$Y = 2,591 + 0,436X_1 + 0,198X_1^2 - 0,124X_2 - 0,155X_3 + 0,055X_1X_2. \quad (4)$$

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

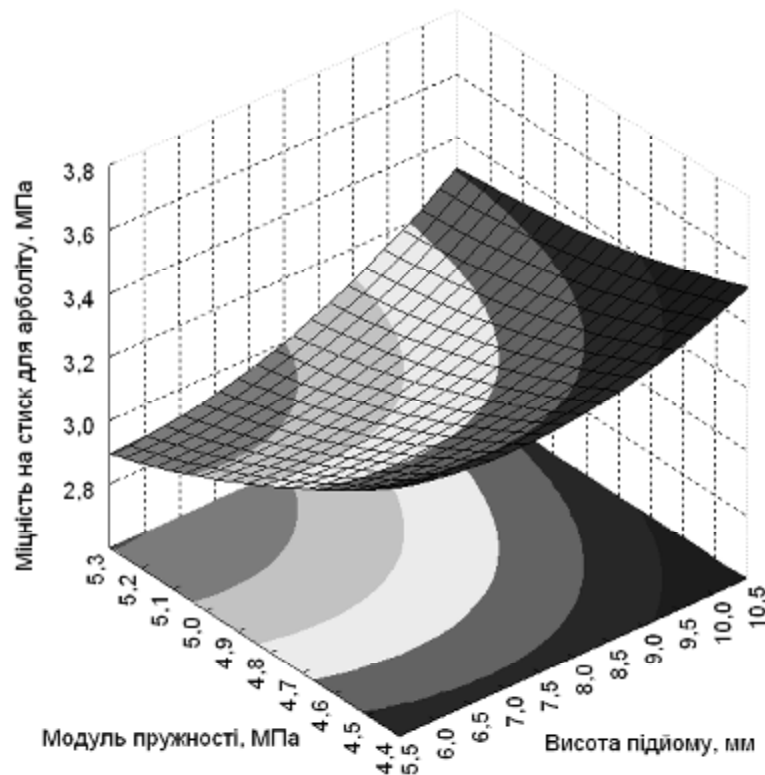


Рис. 2. Поверхня відгуку міцності на стиск для арболіту в координатах факторів X_1 та X_3 при $X_2=0,008$ с.

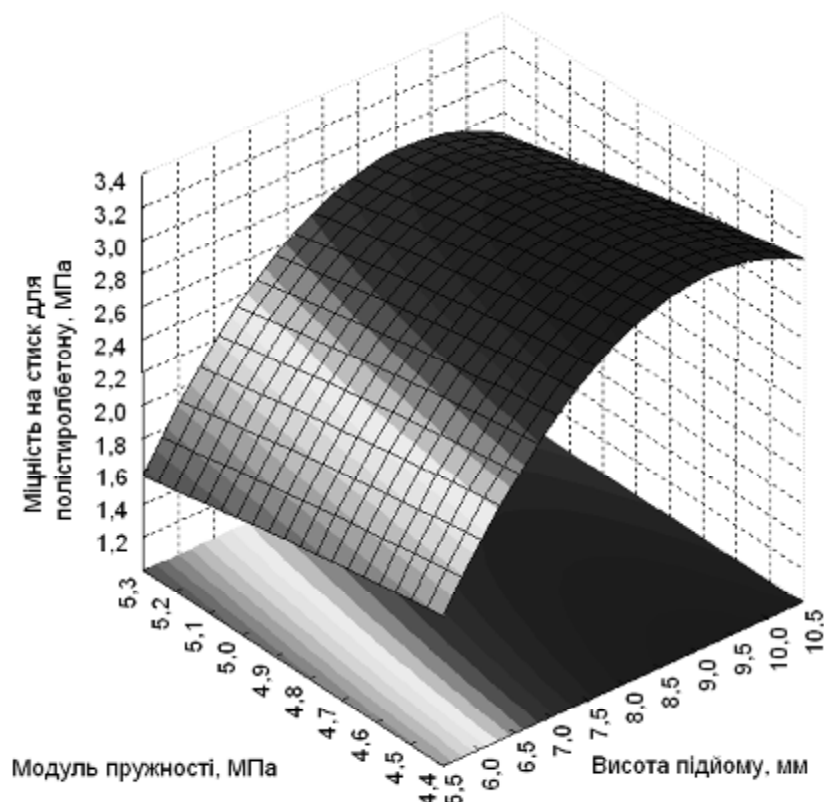


Рис.3. Поверхня відгуку міцності на стиск для полістиролбетону в координатах факторів X_1 та X_3 при $X_2=0,008$ с.

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

Міцність на стиск керамзитобетону як функція відгуку має вигляд

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

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

На рисунку 4 спостерігаємо лінійну 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 нелінійною.

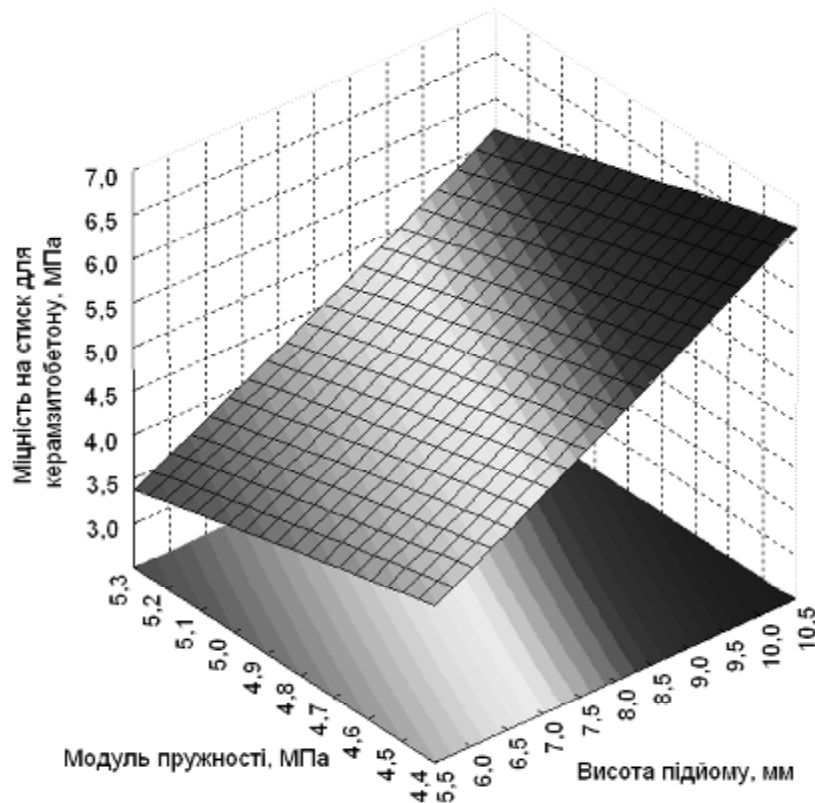


Рис.4. Поверхня відгуку міцності на стиск для керамзитобетону в координатах факторів X_1 та X_3 при $X_2=0,008$ с.

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі

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.

У результаті статистичної обробки експериментальних даних 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 виявлення 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). - № и 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.

3. Бужевич Г.А. Арболит.– М.: Стройиздат, 1986. – 244 с.

4. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: Пер. с англ. / Дуглас К. Монтгомери. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.

5. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента при исследовании многокомпонентных систем / Ираклий Георгиевич Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

6. Олехнович К.А. О формовании арболитовых изделий / К.А. Олехнович, А.Н. Шахов // Бетон и железобетон. –1988. –№8. – С. 11 – 13.

Надійшла до редакції 20.11.2012

© С. Ф. Пічугін, М. М. Нестеренко

УДК 666.97.033

*С. Ф. Пічугін, д.т.н., проф.,
Н. Н. Нестеренко, к.т.н., ст. преподаватель
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ УПЛОТНЕНИЯ ЛЕГКОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА УДАРНО-ВИБРАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В статье представлен короткий анализ факторов, которые влияют на прочность легкобетонных изделий. Предлагается план многофакторного эксперимента и приводится статистический анализ экспериментальных данных.

***Ключевые слова:** ударно-вибрационная установка, планирование эксперимента, легкобетонные смеси.*

UDC 666.97.033

*S. F. Pichugin, Doctor of Technical Sciences, Professor,
N. N. Nesterenko, Ph. D., Senior Lecturer
Poltava National Technical University named in honour of Yuriy Kondratyuk*

STUDY OF LIGHT CONCRETE MIXES SEALS MODE FOR SHOCK- VIBRATION MACHINE BY MATHEPLANNING EXPERIMENT

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.

***Keywords:** shock-vibration installation, design of experiments, light concretemix.*