



УДК 621.9-868:693.546.4

**INVESTIGATION OF THE VIBRATING TABLE PARAMETERS  
WITH A VIBRATOR LEVER FIXING**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО СТОЛУ З ВАЖІЛЬНИМ  
ЗАКРІПЛЕННЯМ ВІБРОЗБУДЖУВАЧА**

**Korobko V.O. / Коробко В.О.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-9086-3904

**Korotych Y.Y. / Коротич Ю. Ю.***senior lecturer / ст. викл.*

ORCID: 0000-0002-1961-5318

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,**Poltava, Pershotravneva Avenue, 24, 36011,**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»**Полтава,, Першотравневий проспект 24, 36011*

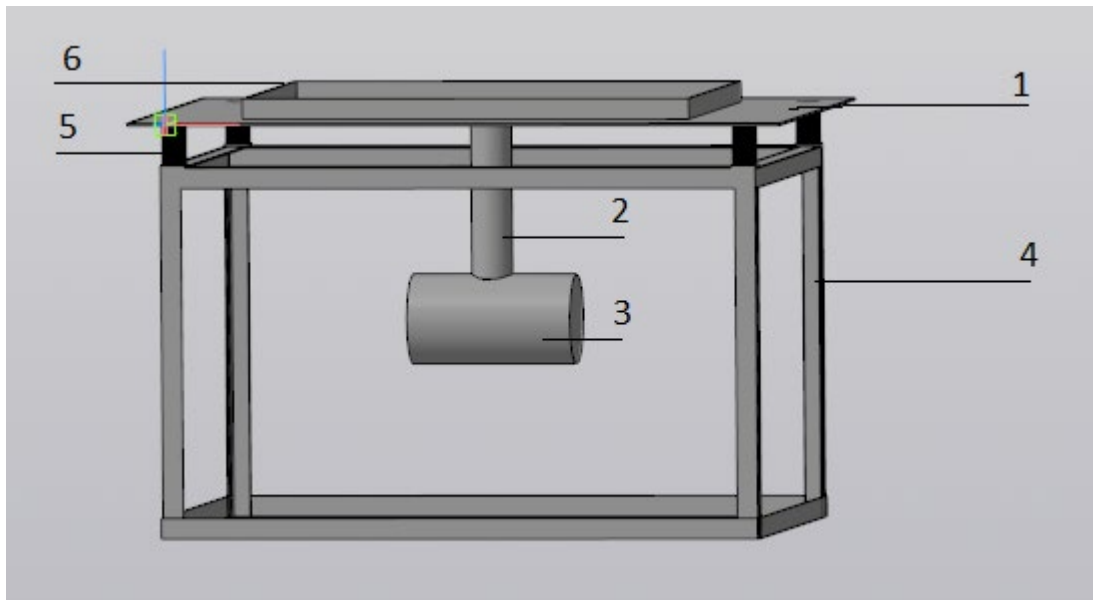
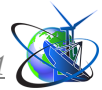
**Анотація.** В роботі розглядається проведення лабораторних досліджень для підтвердження ефективності використання запропонованої конструкції вібростолу з важільним закріпленням віброзбуджувача для віброущільнення малогабаритних бетонних виробів. Досліди проводились шляхом планування експерименту. В результаті було знайдено ступені впливу зміни параметрів: довжини важеля, на якому закріплений віброзбуджувач, маси бетону, що підлягає ущільненню, та збуджуючої сили віброзбуджувача на амплітуду коливань вібростолу для обґрунтування їх раціональних значень, які забезпечують максимальне енергозбереження.

**Ключові слова:** вібростіл, важіль, амплітуда, збуджуюча сила, віброзбуджувач.

**Вступ.** В наш час в багатьох країнах виникла задача влаштування покриттів тротуарів, пішохідних доріжок, майданчиків для громадського транспорту з довговічних матеріалів, зокрема з бетону [1]. Тому існує потреба в організації виробництва малогабаритних бетонних виробів, таких як тротуарні плити, елементи фігурного мощення, бортові камені. Широкому використанню даних бетонних виробів сприяли їхня механічна міцність, довговічність, точність геометричних розмірів та можливість експлуатувати їх відразу після укладання.

Одним з найпоширеніших методів виробництва цих виробів є віброущільнення методом лиття на вібростолах, який отримав розповсюдження завдяки своїй технологічній простоті та невибагливості конструкції обладнання [2]. Але підвищення енергоефективності при виробництві в наш час все більше набуває своєї нагальності [3]. Метою даної роботи є проведення досліджень для підтвердження ефективності використання запропонованої нами конструкції вібростолу з важільним закріпленням віброзбуджувача [4] та обґрунтування раціональних значень діючих на віброущільнення параметрів для забезпечення максимального енергозбереження при здійсненні робочого процесу.

**Основний текст.** Вібростіл з важільним закріпленням віброзбуджувача (рис. 1) складається з віброплити 1, до якої знизу по центру через важіль 2 жорстко приєднаний віброзбуджувач вимушених коливань 3. Віброплита 1 встановлена на нерухомій рамі 4 за допомогою пружних віброопор 5. Форма з бетонною сумішшю 6 також жорстко приєднана до віброплити 1.



**Рисунок 1 - Вібростіл з важільним закріпленням вібробудувача**  
 Авторська розробка

Встановлено, що одним з основних параметрів, який визначає ефективність роботи вібраційного столу, є його амплітуда вимушених коливань  $A$ , яку він отримує від вібробудувача [5]. В свою чергу з попередньо проведених досліджень і експериментальних випробувань [6] було визначено ряд параметрів, які найбільш вагомо впливають на величину амплітуди. Ними є: довжина важіля  $l_{важ.}$ , на якому закріплений вібробудувач, м; збурююча сила  $P$ , кН, яку створює вібробудувач; вага бетонної суміші з формою  $m_6$ , кг.

Під час проведення досліджень здійснювалось вимірювання амплітуди вимушених коливань  $A$  вібраційного столу. Були визначені діапазони зміни та інтервали варіювання довжини важеля  $l_{важ.}$ , збурюючої сили вібробудувача  $P$  та ваги бетонної суміші з формою  $m_6$ , які приймалися в залежності від технічних характеристик дослідного вібростолу та в межах яких спостерігається найвища ефективність його роботи. Їх значення наведені у таблиці 1.

**Таблиця 1 - Діапазони зміни та інтервали варіювання параметрів**

Найменування	Розмірність	Позначення	Верхній рівень	Нульовий рівень	Нижній рівень	Інтервал варіювання
Довжина важіля	м	$l_{важ.}$	0,2	0,1	0	0,1
Збурююча сила	кН	$P$	3,5	3	2,5	0,5
Вага	кг	$m_6$	250	150	50	100

При проведенні досліджень величину збурюючої сили  $P$  змінювали взаємним розташуванням дебалансів вібробудувача, вагу бетонної суміші з формою  $m_6$  – використанням відповідного по масі жорстко закріпленого



вантажу, довжину важеля  $\ell_{важ.}$  – за рахунок закріплення важелів різної довжини (див.рис.2).



**Рисунок 2 - Важелі для закріплення віброзбудувача**

Вимірювання величини амплітуди віброколивань  $A$  проводилось на поверхні дослідного вібраційного столу (див.рис.3) у його центрі над закріпленим на важелі віброзбудувачем за допомогою приладів віброметр ВІП – 2 та ВШВ – 003 – М2.



**Рисунок 3 - Дослідний вібраційний стіл**

Використовуючи механізм планування експерименту та слідуючи методиці його проведення [7,8] для знаходження ступеня впливу довжини важеля  $\ell_{важ.}$ , збудуючої сили віброзбудувача  $P$  та ваги бетонної суміші з формою  $m_6$  на ефективність роботи вібростолу, було поставлено за мету знаходження



функціональної залежності впливу вищенаведених параметрів на амплітуду коливань у вигляді

$$A = f(\ell_{\text{важ.}}, P, m_6). \quad (1)$$

У нашому випадку, коли вплив дії вказаних параметрів на амплітуду коливань відрізняється від лінійного, використовуємо трифакторний експеримент другого порядку. У випадку, якщо побудована модель не буде відповідати проведеним дослідом (не буде адекватною), слід використовувати експеримент іншого вигляду. Матриця планування експерименту та отримані результати вимірювань представлені у табл. 2.

**Таблиця 2 – Реалізація плану експерименту**

№ досл.	Код	Довжина важіля, м	Код	Збурююча сила, кН	Код	Вага виробу, кг	Амплітуда, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
–	+1	0,2	+1	3,5	+1	250	–
	0	0,1	0	3	0	150	
	-1	0	-1	2,5	-1	50	
1	+	0,2	+	3,5	+	250	0,93
2	–	0	+	3,5	+	250	0,5
3	+	0,2	-	2,5	+	250	0,28
4	–	0	-	2,5	+	250	0,17
5	+	0,2	+	3,5	–	50	2,36
6	–	0	+	3,5	–	50	0,53
7	+	0,2	–	2,5	–	50	1,69
8	–	0	–	2,5	–	50	0,2
9	+	0,2	0	3	0	150	1,07
10	–	0	0	3	0	150	0,1
11	0	0,1	+	3,5	0	150	0,83
12	0	0,1	–	2,5	0	150	0,34
13	0	0,1	0	3	+	250	0,14
14	0	0,1	0	3	–	50	0,86
15	0	0,1	0	3	0	150	0,41
16	0	0,1	0	3	0	150	0,4
17	0	0,1	0	3	0	150	0,41

Результати дослідів обробляємо з використанням методів математичної статистики та комп'ютерного програмування, одержуючи при цьому рівняння регресії, яке відображає зв'язок між амплітудою коливань  $A$  ( $y$ ) вібростолу та вихідними параметрами ( $x_1, x_2, x_3$ ).

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (2)$$



де  $y$  – амплітуда коливань вібростолу;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}$  – коефіцієнти рівняння регресії;

$x_1, x_2, x_3$  – вихідні параметри.

В результаті обчислень отримано числові значення коефіцієнтів регресії:

$$b_0 = 0,4126; \quad b_{11} = 0,1681; \quad b_{13} = 0,3475;$$

$$b_1 = 0,483; \quad b_{22} = 0,1681; \quad b_{23} = 0,0025.$$

$$b_2 = 0,247; \quad b_{33} = 0,083;$$

$$b_3 = 0,362; \quad b_{12} = 0,0825;$$

Розраховані значення коефіцієнтів регресії перевіряємо на значущість за критерієм Стьюдента та підставляємо в рівняння (2). Після чого отримуємо уточнене рівняння регресії у наступному вигляді

$$y = 0,4126 + 0,483x_1 + 0,247x_2 - 0,362x_3 + 0,1681x_1^2 + 0,1681x_2^2 + 0,083x_3^2 + 0,0825x_1x_2 - 0,3475x_1x_3. \quad (3)$$

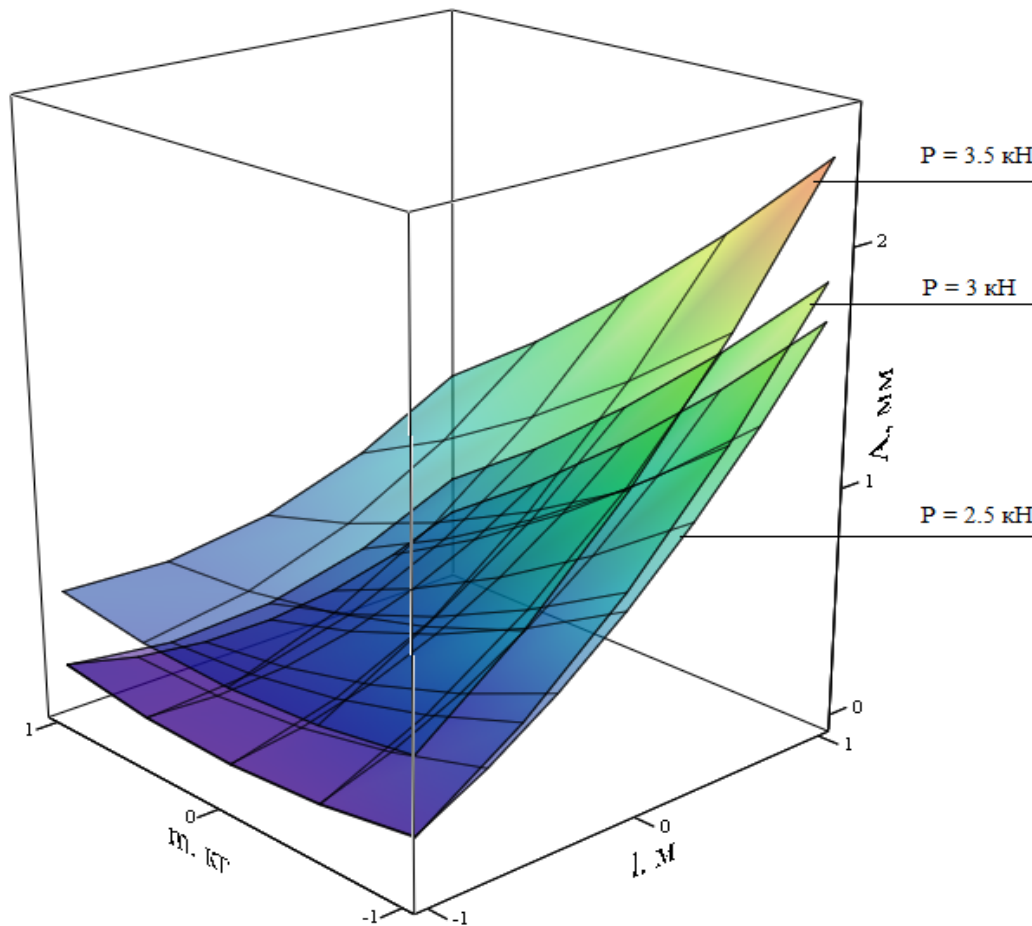
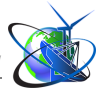
Одержане рівняння встановлює залежність амплітуди коливань вібростолу від зміни довжини важеля, на якому закріплений віброзбуджувач, збурюючої сили, яку надає віброзбуджувач та ваги бетонної суміші з формою, що знаходяться на віброплиті.

Дане рівняння перевіряємо на адекватність за критерієм Фішера. Оскільки розрахункове значення критерію менше, ніж граничне, то можна стверджувати, що розроблена на основі багатофакторного аналізу функціональна залежність (3) адекватно описує процес впливу конструктивних параметрів та режимів роботи вібраційного столу на величину амплітуди вимушених коливань.

Використовуючи комп'ютерне програмування та вихідні значення діапазонів діючих параметрів з табл. 2 за отриманою залежністю (3) побудовано 3-D поверхні та на їх основі розглянутий вплив зміни діючих параметрів на амплітуду коливань, також проведений аналіз результатів досліджень ефективності роботи вібраційного столу.

Розглянемо вплив зміни маси бетону та довжини важеля при незмінній збурюючій силі на амплітуду віброколивань. На рис. 4 зображені три 3-D поверхні, які характеризують вплив зміни маси бетону, який знаходиться у формі на вібростолі і який підлягає віброущільненню – надалі - маса і довжини важеля, на якому віброзбуджувач приєднаний до середини нижньої поверхні вібростолу - надалі – важіль, на значення амплітуди віброколивань, яка виникає на поверхні вібростолу – надалі – амплітуда.

Розглянемо поверхню, яка характерна залежностям при значенні збурюючої сили віброзбуджувача 2,5 кН (на рис. 4 – нижня поверхня). При збільшенні довжини важеля чітко простежується збільшення значень амплітуди для будь – яких значень маси. Але маса також впливає на амплітуду. Цей вплив має менші (незначні) значення при мінімальній довжині важеля. Але він простежується - для меншої маси амплітуда збільшується. Збільшення маси призводить до зменшення амплітуди. Зростання амплітуди спостерігається із збільшенням довжини важеля, що підтверджує ефективність закріплення віброзбуджувача на важелі.



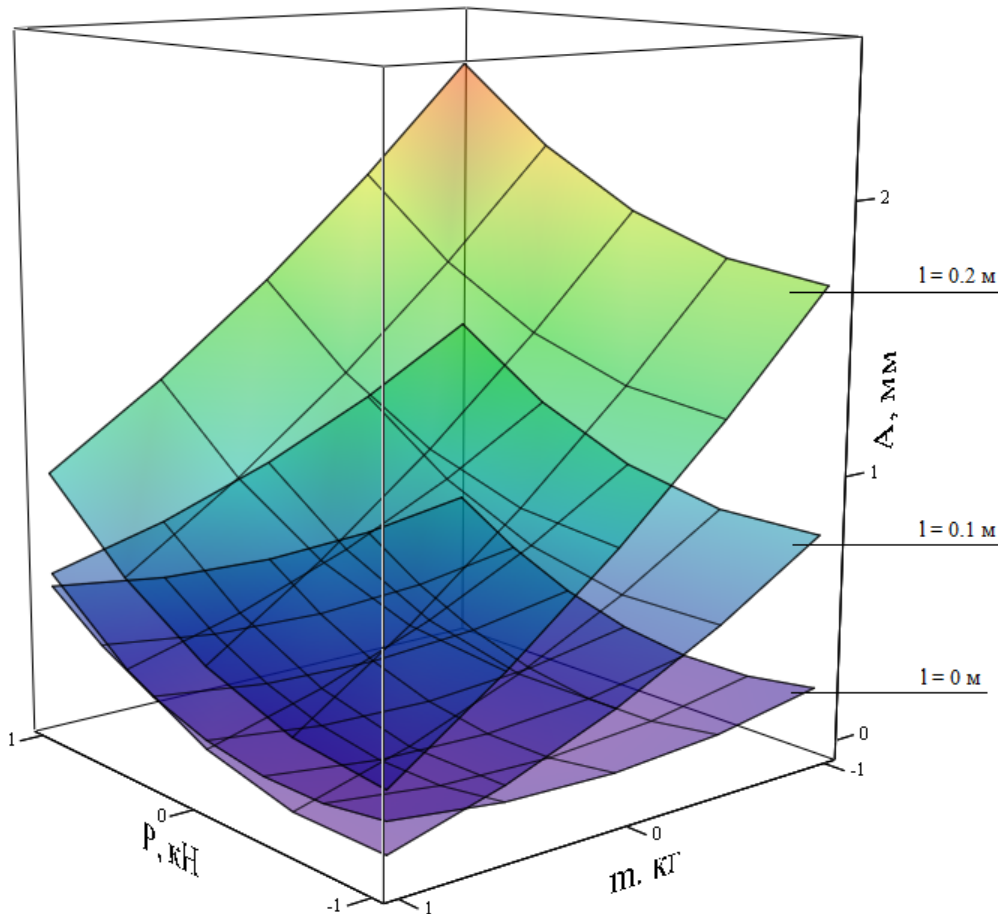
**Рисунок 4 - Графік залежності амплітуди віброколивань від маси бетону та довжини важеля при незмінній збурюючій силі.**

Тому є очевидним розташування екстремума амплітуди коливань - це максимальна довжина важеля і мінімальне завантаження вібростолу. Але довжина важеля має кінцеве значення, яка обмежена компоновкою конструкції вібростолу, що є вкрай достатньою для здійснення ефективного процесу віброущільнення, а дійсне значення маси бетону хоч і зменшує амплітуду віброколивань, але також для даної компоновки конструкції вібростолу є економічно прийнятним та ефективним.

Дві поверхні, які розташовані вище, відповідають за характер взаємозв'язків при тих самих параметрах, але для збурюючої сили 3 та 3,5 кН. Характер кривизни верхніх поверхонь повністю копіює форму поверхні для збурюючої сили 2,5 кН, яка розташована знизу. Це повністю співпадає з фізичним уявленням збільшення джерела сили, яке призводить до збільшення амплітуди коливань.

Збільшення амплітуди коливань забезпечується майже пропорційно збільшенню значення збурюючої сили. Це підтверджує, що конструкція вібростолу повністю усуває паразитні зв'язки, які б могли погіршувати ефективність віброущільнення.

Розглянемо вплив зміни маси бетону та збурюючої сили при незмінній довжині важеля на амплітуду віброколивань (рис. 5).



**Рисунок 5 - Графік залежності амплітуди віброколивань від маси бетону та збудуючої сили при незмінній довжині важеля.**

На рис. 5 зображені три 3-D поверхні, які характеризують вплив зміни маси бетону, який знаходиться у формі на вібростолі і який підлягає віброуцільненню – надалі - маса і вплив зміни збудуючої сили від віброзбудувача – надалі - сили на значення амплітуди віброколивань – надалі амплітуди, яка виникає на поверхні вібраційного столу.

Розглянемо поверхню, яка характерна залежностям при значенні довжини важеля, на якому віброзбудувач приєднаний до середини нижньої поверхні вібростолу, 0 м, тобто важель відсутній і віброзбудувач приєднаний безпосередньо до нижньої поверхні вібростолу. Вона розташована як найнижча поверхня на рис. 5.

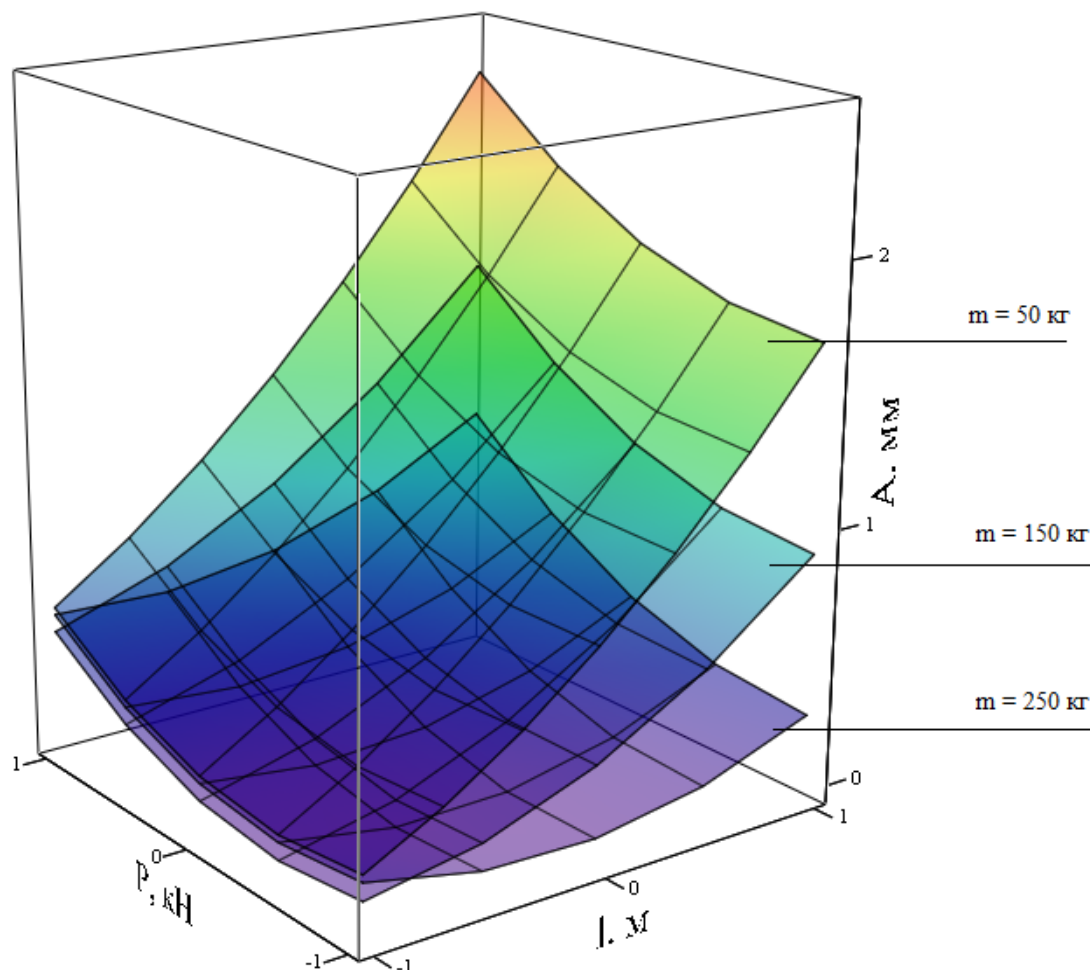
Зміна маси суттєво не впливає на зміну величину амплітуди, але спостерігається незначна тенденція зменшення амплітуди при зростанні маси. Також можна сказати, що у запропонованій конструкції вібростолу є резерв у навантажувальній здатності і незначне перевантаження столу бетонною сумішшю не зможе погіршити експлуатаційні властивості процесу віброуцільнення бетону.

Зміна значення збудуючої сили у напрямку її збільшення викликає однозначне збільшення амплітуди, що відповідає вимогам енергозощадження – збільшення амплітуди напряму пов'язане із збільшенням збудуючої сили. Значення збудуючої сили призначається відповідно до потрібної амплітуди.



Інші дві поверхні відповідають залежностям з довжиною важеля 0,1 м та 0,2 м. Із збільшенням довжини важеля однозначно збільшується амплітуда, причому зростання маси зменшує позитивний вплив від збільшення довжини важеля. Тому може бути актуальним контролювати навантаження вібростолу, хоча перевантаження суттєво не погіршує номінальні умови віброуцільнення.

Розглянемо вплив зміни довжини важеля та збуджуючої сили при незмінній масі бетону на амплітуду віброколивань (рис. 6).



**Рисунок 6 - Графік залежності амплітуди віброколивань від довжини важеля та збуджуючої сили при незмінній масі бетону.**

На рис. 6 зображені три 3-D поверхні, які характеризують вплив зміни збуджуючої сили від вібробуджувача, надалі - сили і вплив зміни довжини важеля, на якому закріплений вібробуджувач, надалі – важіль, на значення амплітуди віброколивань – надалі амплітуди.

Розглянемо спочатку нижню поверхню, яка розташована на рис. 6. Вона характеризує вплив зміни вказаних параметрів на амплітуду віброколивань при незмінній масі бетону 250 кг. Збільшення сили призводить до збільшення амплітуди, при чому збільшення довжини важеля забезпечує більше зростання амплітуди.

Якщо розглянути поверхні, які відносяться до інших постійних значень маси бетону, що підлягає віброуцільненню, то закономірність змін впливу





вказаних параметрів на амплітуду повторюється, при чому зменшення маси бетону призводить до збільшення амплітуди. Це також співпадає з закономірністю енергозбереження – чим більші навантаження від маси, яка підлягає ущільненню, тим менша виникає амплітуда, оскільки більш важку масу складніше розхитати.

**Висновки.** Для підтвердження рівня працездатності запропонованої конструкції вібраційного столу з важільним закріпленням віброзбуджувача були виконані експериментальні лабораторні дослідження. Здійснювалось вимірювання амплітуди віброколивачів на поверхні вібраційного столу. Ефективність роботи вібраційного столу визначалась значенням амплітуди віброколивачів.

Досліди проводились шляхом планування експерименту. Досліджувався вплив зміни параметрів: довжини важеля, на якому закріплюється віброзбуджувач в межах від 0 до 0,2 м; збурюючої сили віброзбуджувача від 2,5 до 3,5 кН та маси форми з бетонною сумішшю, яка підлягала віброущільненню в межах від 50 до 250 кг.

Одержана математична модель – рівняння регресії другого порядку, яка адекватно встановлює взаємозв'язок зміни вказаних параметрів на значення величини амплітуди в центрі вібраційного столу. Аналіз одержаної математичної моделі підтверджує ефективність важільного закріплення віброзбуджувача до вібростолу. Збільшення довжини важеля від 0 до 0,2 м призводить до збільшення амплітуди коливачів від 0,5 до 2,5 мм.

При цьому, збільшення маси бетону від номінального (середній рівень) значення, що підлягає ущільненню, не суттєво впливає на зміну амплітуди. З іншого боку можна сказати, що недовантаження бетонною сумішшю відносно номінального значення, суттєво збільшує значення амплітуди коливачів.

Підвищення збурюючої сили віброзбуджувача прогнозовано призводить до збільшення амплітуди коливачів, але характер збільшення краще спостерігається, починаючи із збурюючої сили 3 кН.

Підсумовуючи, загальний висновок можна сформулювати наступним чином – важільне закріплення віброзбуджувача підвищує ефективність роботи даного обладнання, при чому, його довжина призначається максимальною, яка визначається компоновкою вібростолу.

Маса бетону, що підлягає ущільненню, повинна відповідати номінальній. Незначне перевантаження не призводить до суттєвого погіршення віброущільнення. Так саме, можна твердити, що достатнім є віброзбуджувач із номінальною збурюючою силою 3 кН. Саме номінальні значення вказаних параметрів визначаються розмірами, компоновкою, масою вібростолу та конструкцією віброопор. Для запропонованої конкретної конструкції вібростенду вони є номінальними і забезпечують максимальне енергозбереження при віброущільненні бетонних виробів.

### Література:

1. Прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при виробництві пресованих бетонних дорожніх каменів : монографія / Г. С. Ратушняк, І. Н.



Дудар, Ю. С. Бікс – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 120 с. ISBN 978-966-641-583-0.

2. Назаренко Іван. Огляд і аналіз вібраційного обладнання для формування плоских залізобетонних виробів / Іван Назаренко, Олег Дедов, Олександр Дьяченко, Анатолій Свідерський // Збірник наукових праць. Будівельні машини і технологічне обладнання – ГБДММ:2017. Вип. 90, с. 49-58

3. Нестеренко М.П., Білецький В.С., Семко О.В. Оцінка конструктивно-технологічних параметрів та експлуатаційних якостей вібраційних машин для формування залізобетонних виробів. Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. Вип. 1(43). – 2015. – ПолтНТУ с. 231-237

4. Пат. 146691 Україна. МПК В28В 1/08 (2006.01). Вібростіл з важільним закріпленням віброзбуджувача / Коробко Б.О., Коротич Ю.Ю., Васильєв Є.А.; власник Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка". – № u 2020 06563; заявл. 12.10.2020; опубл. 10.03.2021, Бюл. № 10.

5. Назаренко І.І. Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії: навчальний посібник / І.І. Назаренко. – К: КНУБА, 2007. – 230 с

6. Korobko B. & Korotych Yu. (2021). The influence of the lever fixturing of the vibration exciter on the overall efficiency of concrete-mix vibration. Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering, 1 (56), 12-17

7. Statistische versuchsplanung und-auswertung in der stofwirtschaft / К. Hartmann, Т. Lezki, W. Schafer. – VEB Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie, Leipzig, 1974. – 552 s

8. Теорія планування експерименту [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В. П. Нечаєв [та ін.]. - К. : Кондор, 2005. - 232 с

***Abstract.** The paper considers conducting laboratory studies to confirm the effectiveness of using the proposed design of the vibrating table with a vibration exciter lever attachment for small-sized concrete products under vibration compaction. Experiments were carried out by planning the experiment. The main parameters affecting the amplitude of oscillations were determined, the ranges of their changes and the intervals of variation were chosen. A regression equation was obtained that reflects the relationship between the amplitude of vibrating table vibration and the initial parameters. As a result, on the basis of the regression equation, 3-D surfaces were constructed and the influence of changes in parameters was carried out: the length of the lever on which the vibration alarm is fixed, the mass of concrete to be compacted, and the disturbing force of the vibration exciter on the amplitude of vibrating table vibrations to substantiate their rational values that provide maximum energy saving.*

***Key words:** vibrating table, lever, amplitude, acting force, vibration exciter.*

Стаття відправлена: 15.08.2023 р.

© Коротич Ю. Ю.