

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ГУМОВИХ ВІБРООПОР НА АМПЛІТУДУ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ВІБРАЦІЙНОГО СТОЛУ

Анотація. В статті проводиться розгляд та дослідження вібраційного обладнання для віброформування бетонних виробів з використанням пружних гумових вібраційних опор. Актуальність даної теми підтверджується постійним використанням підприємствами обладнання подібного типу при виготовленні малогабаритних бетонних виробів для облаштування покриття вулиць та майданів. Метою даної роботи було дослідження впливу температури гумових віброопор на амплітуду вертикальних коливань вібраційного столу, дотримання необхідної величини якої має вирішальний вплив на якість виготовленої продукції. Під час дослідів використовувались загальні емпіричні і теоретичні методи досліджень.

На початку проведений розгляд різноманітних конструкцій гумових вібраційних опор, що використовуються у віброформувальному обладнанні, з оцінкою їх конструктивних та експлуатаційних особливостей. Надалі здійснено експериментальні дослідження на діючому вібраційному обладнанні по визначенню температурних режимів роботи гумових віброопор та вимірюванню амплітуди вертикальних коливань робочого органу. У ході досліджень виявлено, що на початку амплітуда коливань має мінімальні значення, а далі зі збільшенням температури гума втрачає жорсткість унаслідок підвищення рухливості макромолекул і зменшення модуля пружності, що призводить до поступового підвищення амплітуди коливань. Виконано детальний аналіз результатів експериментальних досліджень з метою оцінки впливу досліджуваних параметрів на ефективність роботи обладнання. Наведено практичні рекомендації щодо експлуатації та удосконалення віброформувального обладнання з гумовими пружними віброоперами з урахуванням отриманих результатів.

Ключові слова: вібростіл, амплітуда коливань, гума, віброопера, жорсткість, ущільнення, малогабаритні бетонні вироби.

Постановка проблеми. В наш час для віброформування бетонних виробів широко застосовується вібраційне обладнання різних типів [1]. Вібраційний спосіб ущільнення бетонних сумішей на обладнанні подібного типу є доволі поширеним завдяки простоті та високій ефективності.

Надійність і продуктивність вібраційного обладнання значною мірою визначаються станом та довговічністю його пружних віброопор. Саме вони сприймають основні динамічні навантаження, ізолюють фундамент і робочу зону від небезпечної дії вібрації та забезпечують необхідні параметри коливань. Тому під час проектування вібраційних машин вибору та конструкції віброопор приділяють особливу увагу [2,3].

У вібраційному обладнанні застосовуються два основних види пружних віброопор: пружинні та гумові. Кожен з цих видів має як свої переваги, так і недоліки [4,5].

Але використання в якості вібраційних опор саме гумових елементів має свою специфіку застосування, яка потребує розгляду, дослідження та обґрунтування.

Аналіз останніх публікацій і досліджень. Відомо, що від параметрів коливань рухомої частини вібростолу залежить якість ущільнення бетонної суміші [6]. Основними величинами, які впливають на це, є амплітуда та частота коливань рухомої частини вібростолу. В свою чергу, рухома частина вібростолу знаходиться у стані вимушених коливань, частота яких задається віброзбуджувачем, а амплітуда залежить від маси рухомої частини з сумішшю та жорсткості пружних вібраційних опор.

Крім того, зміна жорсткості вібраційних опор впливає на амплітуду коливань рухомої частини вібростолу [4], що слідує з рівнянь:

$$A = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}} \quad (1)$$

де A – амплітуда коливань робочого органу;

$f_0 = F_0 / m$;

ω – циклічна частота коливань робочого органу;

$\beta = b / 2m$;

b – коефіцієнт дисипативного в'язкого опору.

ω_0 – власна частота коливань системи

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт жорсткості пружної опори;

m – маса рухомих частин вібраційного столу.

З рівнянь (1) і (2) випливає, що при зменшенні жорсткості k пружної опори при незмінній масі m її рухомих частин, відповідно зменшується власна частота коливань системи ω_0 , а амплітуда A вимушених коливань рухомої частини вібростолу буде збільшуватися.

Вібраційне обладнання працює у різних кліматичних умовах та в різні пори року. Гумові пружні опори мають бути стійкими до природних умов і в той же час мати підвищену довговічність та зносостійкість. У роботах [4,7] викладено основні принципи конструювання високоефективних пружних опор зі зменшеною матеріалоемністю й збереженням простоти їхніх конструкцій. Пружні елементи опори можуть бути виготовлені з технічної гуми відповідної твердості, але нині краще використовувати нові полімерні матеріали, наприклад поліуретан, який містить уретанову групу $-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$. Кисень у молекулярному ланцюзі надає полімерам гнучкість, еластичність, їм властива атмосферостійкість і морозостійкість (до -60°C) при відносній вологості до 95%. Залежно від вихідних речовин, які використовуються при отриманні поліуретанів, вони можуть мати різні властивості: бути твердими та еластичними.

Постановка задачі. Довговічна експлуатація пружних опор зменшує витрати на їхнє оновлення, знижує пов'язані з простоями для їхньої заміни втрати часу, сприяє підвищенню безпеки експлуатації вібраційної машини в цілому.

Температура в виробничому цеху (або на відкритому майданчику) по виготовленню бетонних виробів в залежності від пори року може коливатися від мінус 20°C взимку до плюс 40°C влітку. Також припускається, що температура гуми, з якої виготовлено віброопору, буде впливати на

технологічні параметри обладнання, насамперед на величину амплітуди коливань робочого органу вібростолу.

Сформульоване завдання досліджень виглядає наступним чином:

- на діючому віброформувальному обладнанні (вібростіл) потрібно провести вимірювання амплітуди вертикальних коливань робочого органу (віброплити);

- метою даного дослідження є виявлення існування залежності амплітуди коливань від зміни температури гумових вібраційних опор;

- представити практичні рекомендації по експлуатації та удосконаленню віброформувального обладнання з гумовими пружними віброопорами.

В якості об'єкта досліджень обираємо технологічний процес віброформувального обладнання.

Викладення основного матеріалу. Основне призначення пружних опор - це зменшення передачі вібрацій від робочого органу віброформувального обладнання на фундамент, раму або робочу платформу.

В цілому вони забезпечують наступне:

- зниження вібраційного навантаження на всю конструкції робочого місця;

- зменшення шуму та динамічних впливів на робоче середовище;

- можливість роботи обладнання без додаткового масивного фундаменту.

Пружні опори разом із масою вібростолу утворюють пружно-масову систему, яка визначає амплітуду коливань A при заданій частоті (1) та власну частоту системи ω_0 (2).

Із вищенаведеного слідує, що пружні опори:

- задають жорсткість системи;

- впливають на амплітуду;

- визначають, наскільки близька робоча частота до резонансної.

Підсумовуючи, можемо зробити висновок, що пружні опори віброформувального обладнання виконують такі функції:

1. Ізоляція вібрацій — зменшення передачі коливань на конструкцію.

2. Забезпечення необхідних параметрів коливань — впливають на амплітуду та частотні властивості.

3. Демпфування — поглинання частини енергії для стабільної і безпечної роботи.

В якості обладнання для проведення досліджень обираємо вібраційний стіл для виготовлення бетонних виробів [8] (рис. 1). Даний тип віброформувального обладнання має широке застосування для виробництва тротуарної плитки, поребрика, бетонних перекриттів невеликих розмірів тощо.

Згідно з технічними вимогами до віброформування залізобетонних виробів [9] технологічні параметри робочого процесу повинні бути в наступних межах:

- амплітуда вертикальних коливань – 0,75-1,0 мм (при діючій циклічній частоті коливань 314 c^{-1});
- тривалість віброущільнення – близько 45 с.



Рисунок 1 - Вібраційний стіл

Тривалість процесу віброформування визначається формою й габаритами виробів, наявністю арматури, типом застосовуваного обладнання, інтенсивністю вібраційного впливу на бетонну суміш, а також її жорсткістю. Орієнтовно час віброформування приймають таким, щоб він відповідав подвійному значенню показника жорсткості бетонної суміші, при цьому його уточнюють за результатами експериментальних перевірок. Контроль відповідності фактичних параметрів вібрації нормативним слід виконувати щотижня у шести–семи характерних точках на поверхні робочого органу за умови паспортного навантаження обладнання.

Всі чотири віброопори (див. рис. 2) даного віброобладнання конструктивно виконані згідно [10]. При виборі конструкції та матеріалу віброопор бралися до уваги їх зручність та експлуатаційна надійність [11].

У якості матеріалу вібраційних опор обираємо гумовий елемент (дюритовий шланг) – рукав Б(І) – 2,5 – 50 – 62 У по ГОСТ 18698-79, завтовшки 6 мм., висотою $h = 100 \text{ мм}$, діаметром $d = 62 \text{ мм}$.

Метою даного дослідження було виявити залежність амплітуди вертикальних коливань робочого органу від нагрівання гумових віброопор під час роботи вібраційного столу.

Для досягнення поставленої мети були проведені досліди, під час яких одночасно здійснювалось вимірювання амплітуди коливань та температури віброопор.

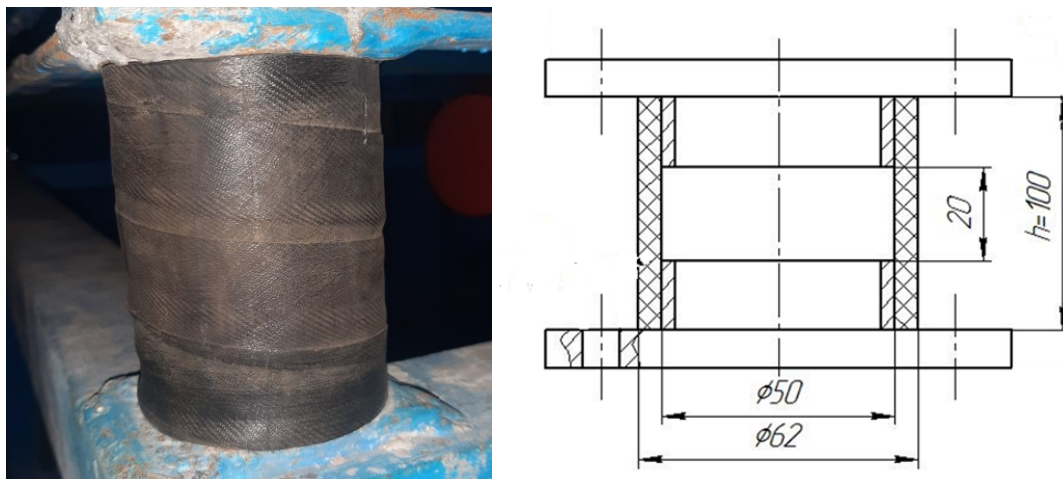


Рисунок 2 - Пружна опора

Для вимірювань використовувалось наступне обладнання (рис. 3):

- пірометр GM300, який вимірює температуру в межах від – 50 до + 420 оС;
- віброметр GM63A, з межами вимірювання для вібропереміщення 0,001-1,999 мм.



Рисунок 3 - Вимірювальне обладнання

План проведення вимірювань:

1. Підготовка до роботи дослідного та вимірювального обладнання.
2. Забір температури гумової віброопори (приблизно повинна збігатися з температурою повітря в робочому приміщенні).
3. Після початку роботи вібраційного столу проводимо одночасне вимірювання температури і амплітуди з інтервалом у 20 секунд.
4. Точка, в якій вимірюється показник, під час дослідження, не змінюється.
5. Процес вимірювання продовжуємо до тих пір, поки температура і амплітуда не стабілізують свої значення.

Температура гумових віброопор – це не єдиний і не головний фактор, який впливає на величину амплітуди віброколиваний віброформувального обладнання. Вимірювальна амплітуда також залежить від багатьох чинників. Насамперед, від частоти коливаний, величини збурюючої сили та загальної маси коливальної системи. В нашому випадку ми розглядали функцію залежності амплітуди від температури віброопор $A = f(T_B)$ при сталих величинах інших впливових чинників.

Результати вимірювань представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Зміна амплітуди вертикальних коливань та температури гумових віброопор під час роботи вібростолу

№ п/п	Час, с, (хв)	Температура, °С	Амплітуда, мм	№ п/п	Час, с, (хв)	Температура, °С	Амплітуда, мм
1	2	4,6	0,66	14	4-20	23,1	0,89
2	20	5,3	0,69	15	4-40	23,4	0,9
3	40	6,2	0,7	16	5	23,6	0,9
4	1 хв	7,2	0,71	17	5-20	23,8	0,9
5	1-20	8,0	0,74	18	5-40	24,1	0,9
6	1-40	10,1	0,78	19	6	24,4	0,91
7	2	12,0	0,82	20	6-20	24,5	0,91
8	2-20	14,5	0,83	21	6-40	24,9	0,91
9	2-40	17,2	0,85	22	7	25,1	0,91
10	3	19,1	0,86	23	7-20	25,1	0,91
11	3-20	20,5	0,87	24	7-40	25,1	0,91
12	3-40	21,6	0,88	25	8	25,1	0,91
13	4	22,8	0,89				

Наглядно зміна амплітуди вертикальних коливань та температури віброопор з плином часу представлена на рис. 4 у вигляді графіків.

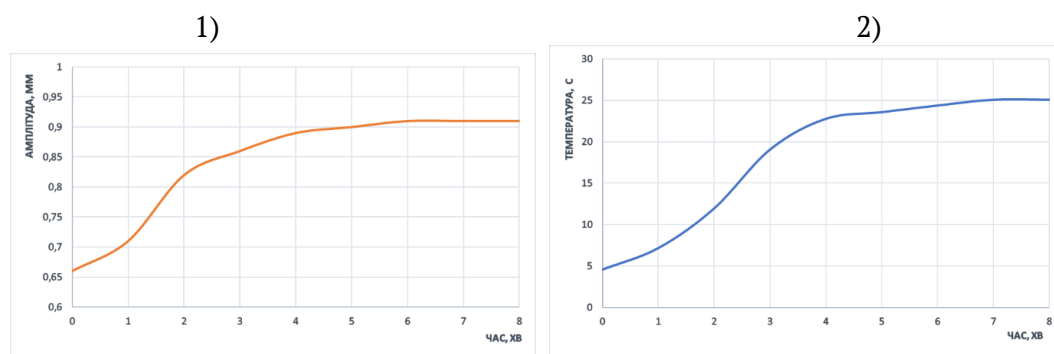


Рисунок 4 - Графік зміни: 1) амплітуди вертикальних коливань; 2) температури віброопор

З аналізу побудованих графіків можемо зробити наступні висновки.

1. З плином часу і температура і амплітуда збільшують свої показники.
2. Максимальне збільшення температури відбувається на протязі двох хвилин в проміжку часу після першої і до четвертої хвилини.
3. Максимальне збільшення амплітуди відбувається на протязі однієї хвилини в проміжку часу після першої і до третьої хвилини.

4. Починаючи з четвертої хвилини величини амплітуди та температури практично не змінюють свого значення і набувають сталої величини наприкінці вимірювального періоду.

У процесі роботи вібростолу гумові елементи зазнають комбінованих деформацій — стиску та згину, що виникають під дією сил збудження від віброзбуджувача. В результаті гума починає нагріватися.

Гума втрачає жорсткість при нагріванні через особливості її молекулярної структури та фізико-механічних властивостей.

Основні причини цього явища наступні.

1. Зростання рухливості макромолекул.

Гума є полімерним матеріалом, структура якого складається з довгих ланцюгів макромолекул. При підвищенні температури:

- збільшується тепловий рух молекулярних ланцюгів;
- послаблюються міжмолекулярні зв'язки;
- ланцюги легше деформуються під навантаженням.

У результаті модуль пружності гуми зменшується, а матеріал стає більш податливим.

2. Зменшення модуля Юнга та модуля зсуву.

Жорсткість гумових елементів безпосередньо залежить від модулів пружності – модуля Юнга та модуля зсуву. При нагріванні величини цих модулів зменшуються, тому за однакової сили деформація стає більшою, а отже жорсткість опори падає.

3. Вплив температури на в'язкопружні властивості.

Гума є в'язкопружним матеріалом, тобто її поведінка залежить і від навантаження, і від температури. З підвищенням температури зростає в'язка складова деформації, що призводить до зменшення опору деформаціям і, як наслідок, до збільшення амплітуди переміщень у гумовому елементі віброопори.

Всі перелічені чинники призводять до того, що зі зростанням температури гуми зменшується її жорсткість, а зменшення жорсткості віброопори збільшує амплітуду коливань робочого органу. При цьому покращується віброізоляція фундаменту, але при надмірному нагріванні можливе зниження несучої здатності самих віброопор.

Отже, зі збільшенням температури гума втрачає жорсткість унаслідок підвищення рухливості макромолекул і зменшення модуля пружності, що характерно для в'язкопружних полімерних матеріалів.

Зменшення жорсткості гумових віброопор призводить до збільшення амплітуди коливань робочого органу вібростолу. Підвищення температури гумових віброопор триває до тих пір, поки кількість тепла, що утворюється в гумі, не зрівняється з кількістю тепла, яка за той же час перейде з неї в навколишнє середовище.

Взявши до уваги результати практичних та теоретичних досліджень технологічного процесу роботи вібраційного столу на гумових вібраційних опорах, можемо сформулювати деякі рекомендації для даного виду віброформувального обладнання.

1. Використання гумових вібраційних опор є цілком прийнятним для виготовлення бетонних виробів на віброформувальному обладнанні.

2. Гумові віброопори доцільно використовувати при високій частоті коливань (більше 50 Гц) і порівняно невеликій амплітуді коливань (до 1,2 мм).

3. Доцільно користуватися подібним видом обладнання у теплу пору року або в приміщеннях з обігрівом при температурі навколишнього повітря від +5°C до +28°C.

4. У холодну пору року потрібно проводити попередній «прогрів» обладнання, для того щоб температура гуми досягла необхідних значень, при яких величина амплітуди вібропереміщень буде оптимальною.

5. Самим оптимальним часом для робочого процесу буде час, коли значення амплітуди коливань набудуть необхідної рекомендованої величини і не будуть змінюватись на протязі процесу віброформування. Це забезпечить досягнення однакового коефіцієнту ущільнення бетонної суміші, і як наслідок – однакової міцності у всіх виробках.

6. Для запобігання сильному нагріву гумових елементів, що може призвести до втрати несучої здатності віброопор та їх інтенсивнішому руйнуванню, рекомендується створити вентиляційні отвори в металевих поверхнях, які ізолюють внутрішній простір віброопори від зовнішнього середовища. При цьому отвори не повинні ослаблювати міцність конструкції вібростолу.

Висновок. У ході експериментального дослідження віброформувального обладнання з пружними гумовими віброопорами та його аналізу було отримано науково обґрунтовані результати, які мають практичну цінність для подальшого розвитку вібраційної техніки та вдосконалення технологічних процесів у виробництві будівельних матеріалів і конструкцій.

Чітке дотримання технології виробництва бетонних виробів має безпосередній вплив на якість виготовленої продукції. Насамперед потребує контролю такий технологічний параметр, як амплітуда віброколивань.

На діючому віброформувальному обладнанні був проведений вимір амплітуди вертикальних коливань віброплити та температури гумових елементів віброопор. Виявлена залежність представлена у виді графіків, з аналізу яких слідує, що температура гумових віброопор впливає на величину необхідної амплітуди вертикальних коливань, а отже на оптимальний режим роботи обладнання. З приводу цього розроблені практичні рекомендації по експлуатації та удосконаленню віброформувального обладнання з гумовими пружними віброопорами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Назаренко І. І. Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2007. 230 с.
2. Гусев Б. В., Зазимко В. Г. Вібраційна технологія бетону. Київ : Будівельник, 1991. 230 с.
3. Petrović Z., Marković G. Application of rubber pads for vibration isolation in industrial equipment. *Journal of Sound and Vibration*. 2023. Vol. 548. Art. 117522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2023.117522>
4. Нестеренко М. П., Воскобійник О. П., Павленко А. М. Розроблення пружних опор вібраційних площадок для формування залізобетонних виробів. *Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2017. № 1(43). С. 238–243. URL: <http://journals.nupp.edu.ua/znp/article/view/129>
5. Li Q., Wang X., Zhao Y. Dynamic stiffness and damping characteristics of elastomeric supports for vibration isolation. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2025. Vol. 210. Art. 111089. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2025.111089>
6. Черевко О. М., Давиденко Ю. О., Черевко П. О. Вплив параметрів вібрації на процес ущільнення бетонних сумішей. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. 2010. Вип. 2(27). С. 138–146.
7. Нестеренко М. П., Склярченко Т. О., Малинський С. М. Дослідження руху віброплощадки із циліндричними та конічними опорами. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. 2009. Вип. 2(23). С. 56–62. URL: <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/8328>.

8. Коротич Ю. Ю. Обґрунтування параметрів малогабаритного обладнання для віброформування бетонних виробів : дис. ... д-ра філос. : 133 – галузеве машинобудування. Полтава, 2023. 177 с. URL: <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/14134>.
9. ДСТУ-Н Б А.3.1-34:2016. Настанова з виробництва бетонних і залізобетонних виробів. Чинний від 01.04.2017. Київ, 2017. 24 с.
10. Пружна опора для вібраційних пристроїв : пат. № 68059 Україна. № 2003098610; заявл. 22.09.2003; опубл. 15.07.2004, Бюл. № 7.
11. Нестеренко М. П., Склярєнко Т. О. Розроблення та впровадження ефективної вібраційної установки з круговими коливаннями робочого органа для формування малогабаритних залізобетонних виробів. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). 2012. Вип. 1(31). С. 236–240. URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/item/7660>.

Received 15.03.2026.

Accepted 16.04.2026.

Published 30.04.2026

UDC 624.04

Y. Y. Korotych

INFLUENCE OF RUBBER VIBRATION MOUNT TEMPERATURE ON VIBRATING TABLE VERTICAL VIBRATION AMPLITUDE

Abstract. *The article examines and studies vibration equipment used for vibroforming concrete products with the application of elastic rubber vibration mounts. The relevance of this topic is confirmed by the widespread use of such equipment by industrial enterprises in the production of small-sized concrete products for paving streets and public areas.*

The aim of this work was to investigate the effect of the temperature of rubber vibration mounts on the amplitude of vertical oscillations of a vibrating table, maintaining the required value of which has a decisive impact on the quality of the manufactured products. General empirical and theoretical research methods were employed in the study.

Initially, various designs of rubber vibration mounts used in vibroforming equipment were analyzed, with an assessment of their structural and operational features. Subsequently, experimental studies were carried out on operating vibration equipment to determine the temperature regimes of rubber vibration mounts and to measure the amplitude of vertical oscillations of the working element.

The research revealed that at the initial stage the oscillation amplitude has minimal values; however, as the temperature increases, rubber loses stiffness due to increased mobility of macromolecules and a decrease in the modulus of elasticity, which leads to a gradual increase in amplitude. A detailed analysis of the experimental results was

conducted to evaluate the influence of the studied parameters on the efficiency of the equipment operation.

Practical recommendations for the operation and improvement of vibroforming equipment with elastic rubber vibration mounts are provided, taking into account the obtained results.

Keywords: *vibrating table, vibration amplitude, rubber, vibration mount, stiffness, compaction, small-sized concrete products.*

REFERENCES

1. Nazarenko, I. I. (2007). *Vibration machines and processes of the construction industry*. Kyiv: KNUBA.
2. Gusev, B. V., & Zazymko, V. H. (1991). *Vibration technology of concrete*. Kyiv: Budivelnyk.
3. Petrović, Z., & Marković, G. (2023). Application of rubber pads for vibration isolation in industrial equipment. *Journal of Sound and Vibration*, 548, Article 117522. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2023.117522>.
4. Nesterenko, M. P., Voskobiinyk, O. P., & Pavlenko, A. M. (2017). Development of elastic supports for vibration platforms used in reinforced concrete products manufacturing. *Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(43), 238–243. <http://journals.nupp.edu.ua/znp/article/view/129>.
5. Li, Q., Wang, X., & Zhao, Y. (2025). Dynamic stiffness and damping characteristics of elastomeric supports for vibration isolation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 210, Article 111089. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2025.111089>.
6. Cherevko, O. M., Davydenko, Y. O., & Cherevko, P. O. (2010). Influence of vibration parameters on the compaction process of concrete mixtures. *Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2(27), 138–146.
7. Nesterenko, M. P., Skliarenko, T. O., & Malynskiy, S. M. (2009). Study of vibration platform motion with cylindrical and conical supports. *Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 23(2), 56–62. <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/8328>
8. Korotych, Y. Y. (2023). *Substantiation of parameters of compact equipment for vibration forming of concrete products* [PhD dissertation. National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»]. eNUPPIR Open. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/14134>.
9. Scientific Research Institute of Construction Production (RIBV). (2017). *Guidelines for the production of concrete and reinforced concrete products*. (DSTU-N B A.3.1-34:2016).
10. Nesterenko, M. P., Skliarenko, T. O., & Nesterenko, M. M. (2004). Elastic support for vibration devices (Patent No. 68059 A, Ukraine).
11. Nesterenko, M. P., & Skliarenko, T. O. (2012). Development and implementation of an efficient vibration unit with circular oscillations of the working body for manufacturing small-sized reinforced concrete products. *Collection of Scientific Works (Branch Mechanical Engineering, Construction)*, 1(31), 236–240.

Юрій Юрійович Коротич – доктор філософії, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1961-5318>

Yurii Korotych - PhD, Associate Professor of the Department of branch machinery and mechatronics, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1961-5318>