

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вишого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Дослідження моделі вібростолу з автоматичним важільним обертанням
вібробуджувача

Виконав: здобувач ІІ курсу другого
(магістерського) рівня, групи 601-ММ,
спеціальності

133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Корнієнко Є. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Коротич Ю. Ю.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Ахмеднабієв Р. М.

(прізвище та ініціали)

**Дослідження моделі вібростолу з автоматичним
важільним обертанням вібробудувача**


Кваліфікаційна робота магістра


Лист затвердження

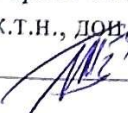
ГММ.601-ММ.008-00.00.000 КРМ - ЛУ

Розробив здобувач групи 601-ММ
 Євген КОРНІЄНКО
«09» 01 2026 р.

Керівник
PhD, доц.
 Юрій КОРОТИЧ
«09» 01 2026 р.

Технологічний контроль
к.т.н., доц.
 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«12» 01 2026 р.

Нормативний контроль
к.т.н., доц.
 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«12» 01 2026 р.

Гарант освітньо-професійної програми
к.т.н., доц.
 Микола НЕСТЕРЕНКО
«12» 01 2026 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
галузевого машинобудування та мехатроніки,
к.т.н., доц.

 Олександр ОРИСЕНКО

№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кільк. листів	№ екз.	Примітка
1						
2			Документація загальна			
3						
4			Вперше розроблена			
5						
6	A4	ГММ.601-ММ.008-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-	
7	A4	ГММ.601-ММ.008-00.00.0000А	Анотація	4	-	
8	A4	ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	56	-	
9						
10			Документація наукова			
11						
12			Вперше розроблена			
13						
14	A4	ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПМ	Дослідження моделі відростолу з автоматичним важільним обертанням відрозбуджувача			
15						
16						
17			Презентаційні матеріали	19	-	
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

Підп. і дата				ГММ.601-ММ.008-00.00.000ВР			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лит	Лист	Листів
Розроб.		Карнієнко	<i>(Підп.)</i>	09.01	Н	1	1
Перевір.		Коротич	<i>(Підп.)</i>	09.01	Национальний університет імені Юрія Кондратюка		
Нконтр.		Васильєв	<i>(Підп.)</i>	12.01	Відомість кваліфікаційної роботи магістра		
Затв.		Орисенко	<i>(Підп.)</i>	12.01	ННІТР, 2026 р.		
				Копіював		Формат А4	

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних
технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія Галузевого машинобудування та мехатроніки

Рівень вищої освіти Магістр


Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри галузевого
машинобудування та мехатроніки,

к.т.н., доцент


«03» _____ 00 Олександр ОРИСЕНКО
2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Корнієнку Євгену Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: Дослідження моделі вібростолу з
автоматичним важільним обертанням віброзбуджувача
керівник роботи (проекту) Коротич Юрій Юрійович, PhD.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «03» вересня 2025 року
№ 1015-ф, а.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра:
«12» січня 2026 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра: Технічні характеристики
віброформувального обладнання. Технологічні параметри процесу
віброущільнення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити): Зміст. Вступ. 1. Загальний огляд процесу віброформування. 2. Огляд
попередніх досліджень. 3. Дослідження та обґрунтування ефективності
віброобладнання. Висновки. Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 3-D
графіки значень віброприскорення вібростолу. – Презентаційні матеріали.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Коротич Ю.Ю.		
2	Нестеренко ММ		
3	Коротич Ю.Ю.		

7. Дата видачі завдання «03» вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Загальний розгляд віброформуального обладнання.	18.10.2025 р.	
2	Огляд попередніх досліджень.	08.11.2025 р.	
3	<u>Проведення дослідження.</u>	22.11.2025 р.	
4	Побудова графіків та обґрунтування параметрів віброформуального обладнання.	29.11.2025 р.	
5	Висновки. Список літератури.	06.12.2025 р.	
6	Оформлення презентаційних матеріалів.	20.12.2025р.	
7	Компонування пояснювальної записки.	27.12.2025 р.	
8	Здача готової кваліфікаційної роботи	12.01.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Євген КОРШЕНКО
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Юрій КОРОТИЧ
(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми

(підпис)

Микола НЕСТЕРЕНКО
(прізвище та ініціали)

Анотація

Є. О. Корнієнко. Дослідження моделі вібростолу з автоматичним важільним обертанням віброзбуджувача. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування». – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2026.

У даній кваліфікаційній роботі магістра проводиться дослідження параметрів вібраційного обладнання для віброформування бетонних виробів. Вібраційний спосіб ущільнення бетонних сумішей є найбільш поширеним серед багатьох способів завдяки простоті обладнання та високій ефективності. В той же час обладнання потребує постійного удосконалення. В даній роботі досліджується метод підвищення ефективності вібраційного столу за допомогою автоматичного важільного обертання віброзбуджувача.

Перший розділ включає в себе загальний огляд процесу віброформування: наведені методи віброформування, аналіз існуючих методів розрахунку основних параметрів віброплощадок, оцінка параметрів по питомій потужності коливань при врахуванні хвильових процесів у бетонній суміші. Також розглянута механічна взаємодія бетонної суміші з робочими органами вібраційного формувального обладнання та проведений аналіз впливу вібраційних характеристик на процес формування.

У другому розділі проводиться огляд попередніх досліджень за темою магістерської роботи. Розглянуто актуальність дослідження та шляхи удосконалення вібраційної техніки. Представлений загальний висновок по методам удосконалення вібраційної техніки. Після проведення огляду дослідного віброобладнання було здійснено вибір об'єкту дослідження.

Третій розділ складається з опису дослідної моделі вібростолу з

					ГММ.601-ММ.008-00.00.000А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Корнієнко		<i>Корнієнко</i>	09.01	Літ.	Лист	Листів
Перев.	Коротич		<i>Коротич</i>	09.01	Н	1	4
Н.контр.	Васильєв		<i>Васильєв</i>	12.01	Анотація Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2026 р.		
Зато.	Орисенко		<i>Орисенко</i>	12.01			

автоматичним важільним обертанням вібробуджувача та методів вимірювання і вимірювального обладнання. Після проведених досліджень а отриманими результатами побудовані 3-D діаграми віброприскорень в залежності від позиції важеля. Наприкінці зроблений аналіз досліджень та обґрунтування ефективності обладнання з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача.

Об'єм магістерської роботи складає 56 сторінки пояснювальної записки формату А4 і 19 сторінки презентаційних матеріалів формату А4.

Ключові слова: віброприскорення коливань, вібраційний стіл, ущільнення, вібробуджувач.

					ГММ.601-ММ.008-00.00.000А	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		2

The summary

E. O. Kornienko. Researching vibrating table model with automatic lever rotation of the vibrator. – Manuscript.

Qualification work for obtaining the degree of higher education «master» in specialty 133 – «Branch Mechanical Engineering». – National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, 2026.

In this master's qualification work, a study of the parameters of vibration equipment for vibroforming of concrete products is carried out. The vibration method of compacting concrete mixtures is the most common among many methods due to the simplicity of the equipment and high efficiency. At the same time, the equipment needs constant improvement. This work investigates a method for increasing the efficiency of a vibrating table using automatic lever rotation of the vibrator.

The first section includes a general overview of the vibroforming process: vibroforming methods are presented, analysis of existing methods for calculating the main parameters of vibration platforms, and estimation of parameters based on the specific power of vibrations when taking into account wave processes in the concrete mixture. The mechanical interaction of the concrete mix with the working bodies of the vibration molding equipment was also considered and the influence of vibration characteristics on the molding process was analyzed.

The second section reviews previous research on the topic of the master's thesis. The relevance of the research and ways to improve vibration technology are considered. A general conclusion on methods for improving vibration equipment is presented. After conducting an inspection of the experimental vibration equipment, the object of research was selected.

The third section consists of a description of the experimental model of a vibrating table with automatic lever rotation of the vibrator and measurement methods and measuring equipment. After the conducted research and the obtained results, 3-D diagrams of vibration accelerations were constructed depending on the position of the

lever. Finally, an analysis of the research and justification of the effectiveness of equipment with automatic lever rotation of the vibration exciter were made.

The volume of the master's thesis is 56 sheets of explanatory note in A4 format and 19 sheets of presentation materials in A4 format.

Keywords: vibration acceleration, vibrating table, compaction, vibration exciter.

					ГММ.601-ММ.008-00.00.000А	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		4

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Дослідження моделі вібростолу з автоматичним важільним обертанням
вібробуджувача**

**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра**

ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПЗ

Полтава – 2026 року

Зміст

Вступ.....	4
1. Загальний огляд процесу віброформування.....	6
1.1 Методи віброформування.....	6
1.2 Аналіз існуючих методів розрахунку основних параметрів віброплощадок.....	8
1.3 Оцінка параметрів по питомій потужності коливань при врахуванні хвильових процесів у бетонній суміші.....	10
1.4 Механічна взаємодія бетонної суміші з робочими органами вібраційного формувального обладнання.....	12
1.5 Аналіз впливу вібраційних характеристик на процес формування.....	14
2. Огляд попередніх досліджень.....	20
2.1 Актуальність дослідження.....	20
2.2 Шляхи удосконалення вібраційної техніки.....	21
2.3 Загальний висновок по методам удосконалення вібраційної техніки.....	29
2.4 Вібростіл с автоматичним важільним обертанням віброзбуджувача.....	30
2.5 Вибір обладнання для досліджень.....	34
3. Дослідження та обґрунтування ефективності віброобладнання.....	36
3.1 Дослідна модель вібростолу з автоматичним важільним обертанням віброзбуджувача.....	36
3.2 Методи вимірювання та вимірювальне обладнання.....	38
3.3 Порядок досліджень та процес виміру віброприскорення.....	42
3.4 Побудова діаграм віброприскорень.....	45

ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Зміст		
Розроб.	Корнієнко	Корн	09.01				
Перев.	Коротич	Корн	09.01		Літ.	Лист	Листів
					Н	2	2
Н.контр.	Васильєв			12.01	Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2026 р.		
Затв.	Орисенко			12.01			

Вступ

Магістерська робота присвячена дослідженню вібраційного обладнання, що використовується у процесі віброформування бетонних виробів. У роботі розглянуто конструктивні особливості даного обладнання, проаналізовано основні робочі параметри та обґрунтовано напрями їх удосконалення з метою підвищення ефективності функціонування за рахунок модернізації виробничого процесу. Особливу увагу приділено дослідженню впливу параметрів вібрації на якість ущільнення бетонних сумішей та продуктивність обладнання.

Вібраційний спосіб ущільнення бетонних сумішей є одним із найпоширеніших методів у виробництві бетонних і залізобетонних виробів, що зумовлено відносною простотою конструкції обладнання, надійністю його роботи та високою ефективністю процесу формування. Разом з тим застосування даного способу супроводжується значними енергетичними витратами, що обумовлює необхідність пошуку раціональних технічних рішень, спрямованих на зниження енергоємності процесу та підвищення загальної ефективності роботи вібраційного обладнання.

В даній роботі пропонується метод підвищення ефективності віброформувального обладнання за рахунок впровадження автоматичного важільного обертання віброзбуджувача.

Мета дослідження. Мета роботи полягає в дослідженні та обґрунтуванні параметрів вібраційного обладнання для віброформування бетонних виробів для підвищення його ефективності за рахунок використання автоматичного важільного обертання віброзбуджувача.

Для виконання поставленої мети магістерської роботи сформульовані та вирішені наступні задачі досліджень:

– проведення розгляду методів віброформування;

					ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Вступ	Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Корнієнко	<i>Корнієнко</i>	03.01		Н		2
Перев.		Коротич	<i>Коротич</i>	03.01				2
Н.контр.		Васильєв	<i>Васильєв</i>	12.01				
Затв.		Орисенко	<i>Орисенко</i>	12.01				
						Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2026 р.		

- здійснення аналізу існуючих методів розрахунку основних параметрів віброплощадок;
- проведення розгляду механічної взаємодії бетонної суміші з робочими органами вібраційного формувального обладнання;
- проведення аналізу впливу вібраційних характеристик на процес віброформування;
- визначення актуальності дослідження та шляхів удосконалення вібраційної техніки;
- розроблення дослідної моделі;
- дослідження технологічних параметрів вібрації;
- обґрунтування ефективності запропонованої моделі вібраційного обладнання.

В якості об'єкта досліджень був розглянутий робочий процес дослідного віброформувального обладнання.

В якості предмета дослідження розглянуті параметри робочого процесу дослідного віброформувального обладнання.

1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ВІБРОФОРМУВАННЯ.

1.1 Методи віброформування.

Методи формування залізобетонних виробів і способи ущільнення, що застосовуються на підприємствах будівельної індустрії, поділяються на кілька основних груп:

- формування методом лиття;
- віброформування;
- віброформування з додатковим тиском;
- ущільнення пресуванням, укоченням або трамбуванням;
- формування з видаленням надлишкової рідкої та повітряної фази під час ущільнення.

Формування методом лиття застосовують переважно для ніздрюватих литих сумішей. Під дією власної маси така суміш самостійно заповнює форму; лише у складних місцях — біля арматури чи в кутах — допускається ручне ущільнення штикуванням. Після цього поверхню суміші вирівнюють урівень із краями форми.

Віброформування використовують для рухомих, малорухомих і помірно жорстких бетонних сумішей, здатних до тиксотропного розрідження при відносно невеликій, але тривалій вібраційній дії. Розрізняють такі види віброущільнення:

- **поверхнєве**, коли вібраційні імпульси передаються через плоскі вібратори, що впливають на елементи форми;

					ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Загальний огляд процесу віброформування		
Розроб.	Корнієнко		<i>[підпис]</i>	09.01			
Перев.	Коротич		<i>[підпис]</i>	25.01			
Н. контр.	Орисенко		<i>[підпис]</i>	12.01			
Затв.	Орисенко		<i>[підпис]</i>	12.01	Літ.	Лист	Листів
					Н	6	
					Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІТР 2026		

пристрій для зняття виробів. Бетонна суміш розподіляється по стрічці бетоноукладачем і ущільнюється вібробалкою (частота 50–100 Гц, амплітуда 0,4 мм, тривалість 45–75 с). Додаткове вирівнювання здійснюють фрезою та калібрувальними котками. Після формування вироби надходять у камеру гідротермальної обробки.

1.2 Аналіз існуючих методів розрахунку основних параметрів віброплощадок.

Процес віброформування залізобетонних виробів є складним багатofакторним технологічним процесом, який залежить від великої кількості взаємопов'язаних параметрів. Ці фактори впливають на ефективність ущільнення бетонної суміші, однорідність структури бетону та кінцеві фізико-механічні властивості виробу.

До основних параметрів, що визначають ефективність віброформування, належать:

- частота і амплітуда коливань;
- частота обертання дебаланса;
- маса дебаланса;
- жорсткість віброопор;
- місце розташування і напрям дії вібробуджувача відносно осі симетрії обладнання.

Вибір оптимальних параметрів вібрації здійснюється з урахуванням реологічних властивостей бетонної суміші (в'язкість, пластичність, тиксотропність), розмірів фракцій заповнювачів та геометричних параметрів форми.

Згідно з експериментальними дослідженнями Р. Лерміта [11], залежність оптимальної частоти вібрації від середнього розміру часток заповнювача має такий вигляд:

Діаметр часток, мм	6,0	1,5	0,4	0,1
Частота вібрації, Гц	25	50	100	200

Як видно з послідовності, зі зменшенням розміру частинок бетонної суміші зростає оптимальна частота коливань. Це пояснюється тим, що для дрібнозернистих систем ефективно ущільнення досягається при більшій кількості коливальних імпульсів за одиницю часу.

Щодо амплітуди вібрацій робочих органів віброплощадок, оптимальні значення зазвичай становлять 0,25...1,2 мм. Конкретні величини залежать від складу бетонної суміші, її рухливості та стадії ущільнення.

Слід враховувати, що під час віброущільнення амплітуда коливань змінюється — на початку процесу вона може бути більшою, а наприкінці — меншою через зростання опору ущільненої маси.

При проектуванні формувального обладнання порядок визначення параметрів вібрації є таким:

1. За експериментальними або довідковими даними визначається оптимальна частота вібрації для даного типу бетонної суміші (згідно з таблицею 1.1).
2. На основі вибраної частоти розраховується амплітуда коливань і збурююча сила віброзбуджувача.
3. Визначаються параметри дебаланса (маса, радіус обертання) та жорсткість пружних опор.
4. Здійснюється перевірка резонансних умов роботи системи з метою мінімізації енергоспоживання та забезпечення стабільної вібрації.

Таким чином, ефективність процесу віброформування визначається комплексом взаємопов'язаних параметрів, оптимізація яких дозволяє отримати високу щільність, однорідність і міцність залізобетонних виробів при мінімальних енергетичних витратах.

Таблиця 1.1 Рекомендовані частоти коливань при віброформуванні.

Тип машини	Середня товщина шару суміші h , м	Частоти, що рекомендуються, об/хв
Вібраційні площадки	$h = 0,10 \dots 0,3$	2800...3000
	Тонкостінні, менш 0,1	3000...4500
Ударно-вібраційні	Більше 1	900...1200
	0,5...1,0	1500
	до 0,5	1500...3000
Вібраційні з горизонтальними коливаннями	Більше 0,5	менше 1500
	0,2...0,5	3000...1500
	до 0,2	3000
Кулачкові	Незалежно від висоти	200...300
Віброштампи	При глибині занурення: до 0,5	2800...3000
	більше 0,5	1500

1.3. Оцінка параметрів по питомій потужності коливань при врахуванні хвильових процесів у бетонній суміші

Питома потужність коливань при гармонійному режимі віброущільнення визначається залежністю

$$\bar{P} = 0,5 \cdot b \cdot U_0^2 \cdot \omega^3, \quad (1.1)$$

де b – коефіцієнт, що враховує хвильові процеси в бетонній суміші, що залежить від складу, висоти стовпа й акустичних властивостей (швидкості поширення хвиль і коефіцієнта загасання) суміші. Коефіцієнт b фізично визначає рівень сприйняття енергії об'ємом суміші, характеризуючи в такий спосіб активний опір коливанням;

U_0 – амплітуда коливань робочого органу вібромашини з урахуванням бетонної суміші

$$U_0 = U \cdot k_d, \quad (1.2)$$

Де U – амплітуда коливань робочого органу без урахування бетонної суміші;

k_d – коефіцієнт динамічності вібросистеми «робочий орган – середовище».

Чисельні значення коефіцієнтів b і k_d наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Чисельні значення коефіцієнтів b і k_d .

Висота стовпа суміші, M	Хвильовий коефіцієнт b	Коефіцієнт динамічності k_d
0,2	0,15...0,25	0,83...0,70
0,3	0,75...0,65	1,26...1,46
0,4	0,16...0,05	1,04...1,07
0,5	0,10...0,20	1,00...0,90

Крайні значення для коефіцієнтів b і k_d наведені зі співвідношення для рухливих і твердих сумішей. Для визначення параметрів ущільнення помірно твердих сумішей приймаються середні значення b і k_d .

Величина \bar{P} , що забезпечує необхідні умови для ущільнення суміші, перебуває в межах 0,4...2,0 Вт/кг. Менші значення відповідають виробам висотою $0,1 < h \leq 0,2$ м, що формуються з рухливих сумішей, більші – виробам висотою $0,2 < h \leq 0,5$ м, що формуються із твердих сумішей.

Чисельні значення коефіцієнта k_d внесені для відношення маси бетонної суміші m_b до маси коливних частин площадки $m_{к.ч}$ і маси форми m_{ϕ} :

$$m_b / (m_{к.ч} + m_{\phi}) = 0,3. \quad (1.3)$$

Зі збільшенням цього співвідношення до значення 0,7 (максимального, що зустрічається у виробничій практиці) коефіцієнт k_d зменшується. Його величину можна визначити по залежності

$$k_d^\eta = (k^{0,3} - \eta \cdot 0,05), \quad (1.4)$$

де $\eta = 0 \dots 4$ – порядковий номер співвідношення

$$m_b / (m_{к.ч} + m_\phi). \quad (1.5)$$

Питома потужність коливань при ударно-вібраційному режимі ущільнення

$$\bar{P} = \frac{0,79 U_{cp} \cdot a_n (1 + k_a)}{T \cdot k_0}, \quad (1.6)$$

де U_{cp} – усереднене значення амплітуди коливань (напіврозмах коливань);

T – період коливань;

a_n – ударне прискорення при знаходженні робочого органа в крайньому нижньому положенні;

k_a – коефіцієнт асиметрії прискорення коливань.

Співвідношення між амплітудою й частотою коливань, що найбільше часто зустрічаються в практиці, наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 Співвідношення між амплітудою й частотою коливань.

Частота коливань, 1/с	Амплітуда коливань, U_0 , мм
157	0,8...1,2
250	0,6...0,8
314	0,4...0,6

1.4 Механічна взаємодія бетонної суміші з робочими органами вібраційного формувального обладнання.

Проблема механічної (контактної) взаємодії бетонної суміші з робочими органами ущільнювачів і формувальних машин має важливе наукове та

практичне значення, оскільки визначає ефективність процесів віброущільнення, якість поверхні та однорідність структури готового виробу.

Протягом тривалого часу вважалося, що контакт між віброуючою поверхнею та бетонною сумішшю є суцільним і нерозривним, тобто коливання повністю передаються від робочого органу до суміші. Такий підхід здавався логічним, поки експериментальні дані не виявили суттєвих розбіжностей між амплітудами коливань корпусу вібратора та реальними коливаннями бетонної маси, що ущільнюється.

Так, у дослідах з глибинними вібраторами було зафіксовано, що інтенсивність коливань самого вібратора та навколишньої суміші значно різняться. Подібні результати отримав і І. Плаумен, який вперше виміряв коливання бетонної суміші, укладеної у форму, прикріплену до віброплощадки. Виявилось, що амплітуда коливань суміші значно менша, ніж у форми, що свідчить про часткове роз'єднання системи «віброорган – бетон».

Подальші дослідження показали, що бетонна суміш не може розглядатися як абсолютно суцільне пружне тіло, яке завжди рухається синхронно з віброуючою поверхнею. Насправді, під дією вібрації між сумішшю і формою можуть виникати розриви суцільності, мікропорожнини або прошарки повітря, які значно змінюють передачу енергії коливань.

Одним із перших практичних проявів цього явища стало «підсмоктування повітря» у форму, що вібрує разом із бетонною масою у вертикальному напрямку. Це явище неможливо пояснити без припущення про тимчасове відривання шару суміші від поверхні форми.

Крім того, підтвердженням існування таких розривів є значні перепади амплітуд коливань між корпусом глибинного вібратора та сумішшю, що його оточує. У ряді експериментів спостерігалось, що ці перепади можуть бути настільки великими, що бетонна маса фактично обтікає корпус вібратора, тобто втрачається безпосередній контакт. При цьому, враховуючи величезні прискорення, яких досягають глибинні вібратори (до 200 g), можна впевнено

стверджувати, що в зоні контакту відбуваються розриви та коливальні зсуви суміші відносно поверхні вібратора.

Таким чином, сучасні дослідження доводять, що при віброущільненні бетонних сумішей контакт між сумішшю та вібруючим інструментом не є сталим, а має переривчастий характер, який змінюється залежно від частоти, амплітуди коливань, реологічних властивостей суміші та геометрії робочих органів.

Розуміння цього явища є ключовим для:

- удосконалення конструкцій віброущільнювачів;
- розробки енергозберігаючих режимів ущільнення;
- підвищення однорідності структури бетону;
- зниження зношування обладнання.

Механічна взаємодія бетонної суміші з робочими органами віброобладнання носить непереривний характер, оскільки між сумішшю та вібруючими поверхнями виникають тимчасові розриви та зсуви. Це явище впливає на ефективність ущільнення, передачу коливань і однорідність структури виробу. Розуміння контактної взаємодії є ключовим для оптимізації конструкцій віброущільнювачів і підвищення якості залізобетонних виробів.

1.5 Аналіз впливу вібраційних характеристик на процес формування.

При центральному розташуванні віброзбуджувача робота віброплощадки характеризується переважним впливом вертикальних складових віброприскорень, які мають суттєве значення для ефективності ущільнення бетонної суміші. У цьому випадку вібраційна активність системи проявляється більш рівномірно, однак у середній частині рухомої рами спостерігається зниження амплітуд коливань, що зумовлює певну нерівномірність ущільнення по довжині форми. Така особливість пояснюється розподілом мас інерції та реакцій пружних опор, які в центральній зоні частково компенсують дію збуджуючих сил.

зміщенням вібробудувача можна винести зону зниженої інтенсивності коливань за межі рухомої рами, що сприяє кращому використанню енергії коливань у робочій зоні. Однак навіть у цьому випадку повністю усунути нерівномірність розподілу вертикальних амплітуд не вдається, оскільки конструктивні та динамічні властивості системи створюють складний векторний розподіл енергії.

Отже, положення вібробудувача, його кут нахилу, частота та фаза коливань мають визначальний вплив на динаміку рухомої рами віброплощадки, а отже — і на якість ущільнення бетонної суміші. Оптимізація цих параметрів дозволяє досягти підвищеної рівномірності ущільнення, скорочення тривалості вібраційного циклу та зменшення енергоспоживання установки без ускладнення її конструкції.

Передача енергії коливань від віброплощадки до бетонної суміші здійснюється через днище та борти форми, які безпосередньо контактують із робочою рамою. Саме через ці елементи вібропереміщення найефективніше передаються суміші, що ущільнюються. Особливо інтенсивно енергія коливань впливає на ті поверхні форми, що розташовані перпендикулярно до напрямку дії вібрації, оскільки в цьому випадку відбувається найкраще передавання імпульсів коливальної енергії.

Таким чином, ущільнення бетонної суміші починається з периферійних зон — ділянок, які безпосередньо прилягають до днища та бокових стінок форми, де спостерігаються максимальні амплітуди вертикальних вібропереміщень. У цих областях коливання найповніше передаються суміші, що забезпечує швидке руйнування внутрішніх зчеплень між частинками, зниження в'язкості та утворення щільнішої структури бетону. Горизонтальні коливання у свою чергу посилюють ефект ущільнення, сприяючи перерозподілу частинок заповнювача й видаленню повітряних пустот із маси.

У центральній частині форми процес ущільнення відбувається дещо повільніше. Це пояснюється тим, що передача енергії в цю зону здійснюється

переважно через хвилі пружних деформацій, які поширюються від бортів і поступово втрачають свою інтенсивність у міру віддалення від джерела коливань. Енергія таких хвиль швидко затухає, що зменшує ефективність дії вібрацій у центрі форми. Тому для досягнення рівномірного ущільнення бетонної маси в центральній частині необхідно збільшувати тривалість вібрування або застосовувати інтенсивніший режим коливань порівняно з тим, що є достатнім для якісного ущільнення суміші поблизу стінок.

Наявність у формі вкладишів, що утворюють порожнечі, а також додаткових привантажень (наприклад, при виготовленні багатопустотних панелей перекриттів) певною мірою покращує умови передачі вібрацій на центральні ділянки бетонної суміші. Ці елементи діють як провідники коливальної енергії, допомагаючи рівномірніше розподілити вібраційний вплив. Проте навіть за їх використання повністю усунути нерівномірність вібраційного поля у всьому об'ємі форми не вдається — у центрі все одно зберігаються зони із зниженою інтенсивністю дії.

Результати лабораторних експериментів і виробничих спостережень підтверджують, що для забезпечення максимально можливого ущільнення жорстких бетонних сумішей із показником жорсткості від 11 до 20 секунд необхідно збільшити частоту коливань робочого органу з традиційних 25 Гц до 30 Гц. Підвищення частоти дає змогу ефективніше подолати внутрішні сили тертя в суміші, прискорити вихід повітря та води й утворити більш щільну структуру.

При цьому слід дотримуватись певних динамічних параметрів: максимальні горизонтальні складові віброприскорень мають бути в межах (2–3) g, що забезпечує достатню інтенсивність коливань для активного переміщення частинок бетонної суміші. Вертикальні складові віброприскорень повинні становити приблизно 1 g, щоб форма здійснювала безвідривні коливання від поверхні віброплощинки, зберігаючи стійкий контакт і рівномірну передачу енергії.

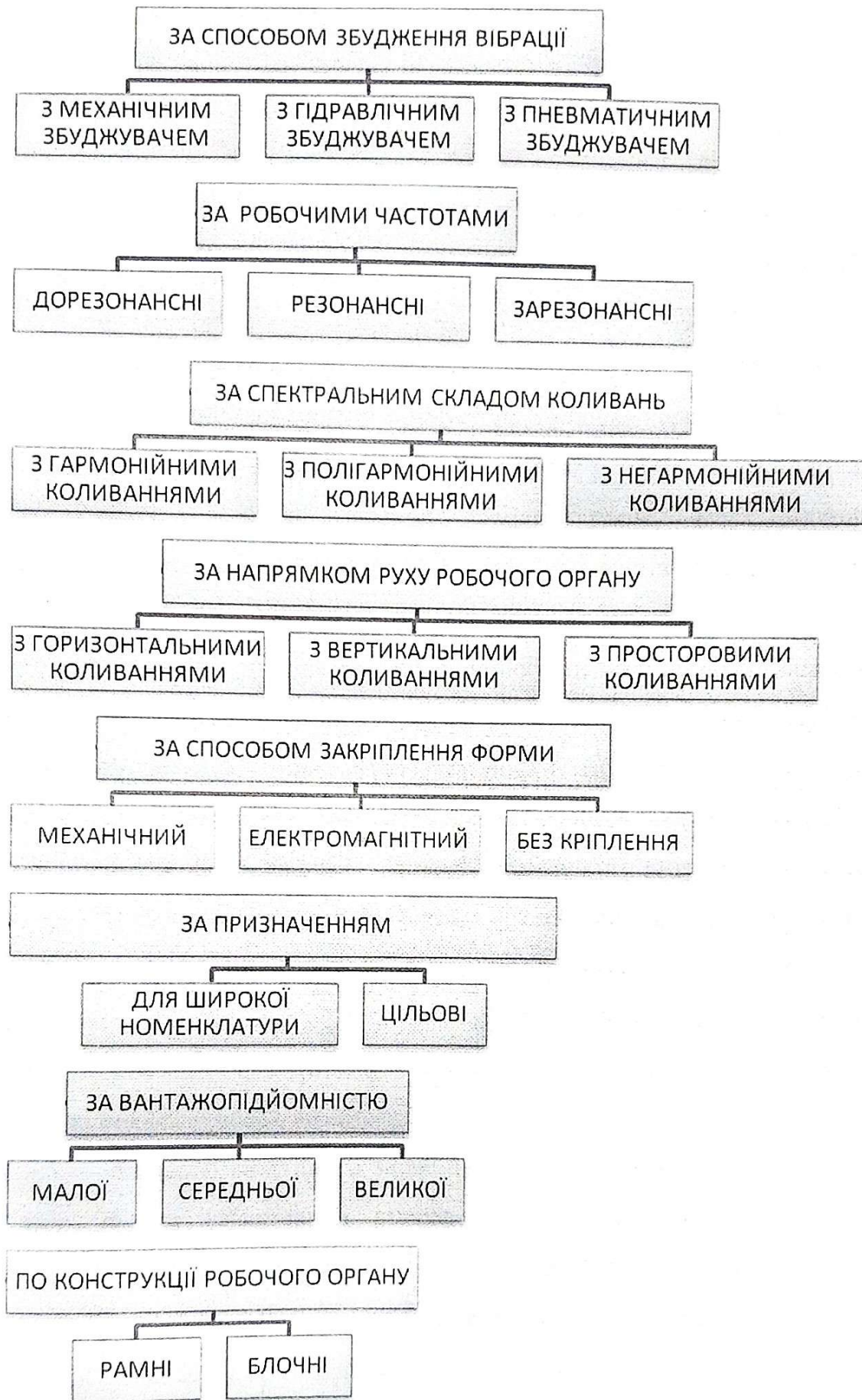


Рис. 1.2 Види існуючого віброформуального обладнання.

2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

2.1 Актуальність дослідження.

Вібраційна техніка сьогодні знаходить усе ширше застосування у різних технологічних процесах, поступово замінюючи традиційні методи обробки матеріалів. Використання вібраційних технологій сприяє підвищенню продуктивності праці, покращенню якості готової продукції, а також зменшенню енергоспоживання та собівартості виробництва. Сучасні керовані вібромашини, розроблені протягом останніх років, поєднують у собі низку унікальних технічних і експлуатаційних переваг. Завдяки цьому вони відкривають можливість ефективного застосування вібраційної техніки в галузях, де раніше її використання вважалося недоцільним або економічно невиправданим.

Подолати кризові явища у галузі виробництва збірного залізобетону можливо шляхом упровадження високоефективного віброформуального обладнання нового покоління. Такі установки можуть виготовлятися як власними силами підприємств, так і невеликими серіями на місцевих ремонтно-механічних заводах, що значно знижує капітальні витрати та підвищує технологічну незалежність виробництва. Водночас необхідно здійснити ґрунтовний аналіз наявного парку вібраційного обладнання, оцінити його технічний стан, ефективність та визначити доцільність використання для ущільнення різних типів бетонних сумішей з урахуванням їх фізико-механічних властивостей і технологічних вимог.

У цьому контексті важливого значення набуває вдосконалення конструкції самого вібраційного обладнання шляхом оптимізації його кінематичних і динамічних параметрів, раціонального розміщення робочих органів та вдосконалення схем збудження коливань. Конструктивні зміни, спрямовані на

					ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Корнієнко	<i>[підпис]</i>	09.01		20	
Перев.		Коротич	<i>[підпис]</i>	09.01			
Н. контр.		Орисенко	<i>[підпис]</i>	12.01			
Затв.		Орисенко	<i>[підпис]</i>	12.01			
					Огляд попередніх досліджень		
					Н Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІТР 2026		

підвищення жорсткості елементів, зменшення втрат енергії та забезпечення стабільності режимів роботи, дають змогу суттєво підвищити ефективність процесу ущільнення бетонних сумішей. Такий підхід забезпечує покращення якості формування виробів, зниження енерговитрат і підвищення надійності роботи обладнання без суттєвого ускладнення технологічного процесу.

2.2 Шляхи удосконалення вібраційної техніки.

У сучасному будівельному виробництві удосконалення технології формування бетонних виробів здійснюється шляхом пошуку найбільш раціональних режимів вібраційного впливу на бетонну суміш. Основна тенденція розвитку цієї технології полягає у зниженні частоти коливань, збільшенні амплітуди вібрацій та покращенні умов передачі коливальної енергії безпосередньо бетонній масі. Такий підхід дозволяє інтенсивніше впливати на структуру суміші, підвищуючи якість ущільнення, однак водночас породжує низку технічних і енергетичних проблем.

Зокрема, збільшення амплітуди та сили вібрацій призводить до підвищення споживаної потужності робочих електродвигунів, що, у свою чергу, впливає на режими їх експлуатації. У сталому робочому режимі двигуни часто працюють із помітним недовантаженням, тобто не реалізують свій повний потенціал, тоді як у момент пуску відбувається різке перевантаження електричних і механічних вузлів системи. Такий нерівномірний розподіл навантаження сприяє підвищеному зносу деталей та зменшує загальну надійність обладнання.

Крім того, під час роботи вібраційного обладнання спостерігається явище переходу через проміжні резонансні зони, коли частота коливань системи збігається з її власною частотою. Це викликає різке збільшення амплітуд, що може спричинити механічні пошкодження елементів конструкції, появу тріщин, ослаблення з'єднань і навіть руйнування вузлів. Для уникнення цього явища

						ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			21

завичай підвищують жорсткість і масивність елементів установки, що призводить до збільшення металомісткості, вартості та складності обслуговування обладнання.

Отже, подальший розвиток вібраційної технології формування бетонних виробів потребує поглибленого вивчення та оптимізації режимів ущільнення. Необхідно враховувати реологічні властивості бетонних сумішей, тобто їхню здатність змінювати в'язкість і пластичність під дією зовнішніх сил. Рациональний підбір частоти, амплітуди та напрямку коливань має ґрунтуватися на характеристиках конкретної суміші — її зерновому складі, вологості, рухливості та вмісті цементного тіста.

Особливої уваги потребує розробка нових методів ущільнення, здатних забезпечити вищу енергонасиченість процесу віброущільнення без істотного збільшення споживаної потужності. До таких методів належать використання керованих збуджувачів дебалансного типу, які дозволяють змінювати параметри вібраційного впливу в процесі роботи — частоту, амплітуду, фазу та напрямок коливань. Застосування нестатичних (нестационарних) режимів вібрації, коли параметри коливань динамічно змінюються у часі, відкриває нові можливості для підвищення якості ущільнення важких бетонів при одночасному зниженні енергоспоживання.

Таким чином, удосконалення технологічного процесу формування бетонних виробів повинно базуватися на комплексному підході, який поєднує технічну модернізацію віброплощадок, удосконалення системи керування вібрацією та врахування фізико-механічних властивостей бетонних сумішей. Реалізація таких рішень дасть змогу зменшити час формування, знизити енергетичні витрати, підвищити довговічність обладнання та забезпечити високу якість готової продукції при зменшенні собівартості виробів.

Вібраційне формування бетонної суміші є основним і найпоширенішим способом виготовлення залізобетонних виробів та конструкцій різного призначення. Саме цей процес визначає не лише щільність і міцність готового

технологічного циклу та зменшити витрати енергії. У результаті підвищується економічна ефективність усього процесу, а вібраційне формування стає більш керованим, стабільним і ресурсозберігаючим методом у сучасному виробництві залізобетонних конструкцій.

Широке застосування вібраційної техніки у виробництві бетонних і залізобетонних виробів, а також багаторічні теоретичні та експериментальні дослідження динаміки вібраційних машин, дозволили глибше зрозуміти закономірності їхньої роботи. У процесі досліджень були виявлені особливості дії вібраційних коливань на нелінійні механічні системи, а також встановлені своєрідні ефекти, які мають важливе практичне значення для удосконалення технологій ущільнення бетонних сумішей.

Під впливом вібраційних коливань у бетонній суміші відбувається складна взаємодія частинок заповнювача, цементного тіста та збуджувача коливань. Цей процес має нелінійний і багатофакторний характер, тому деякі його аспекти залишаються недостатньо дослідженими. На сьогодні в наукових колах продовжують обговорюватися моделі поведінки бетонної суміші під дією вібрацій, математичні рівняння її стану, а також критерії ефективності ущільнення та якісні показники поверхні готових виробів [19, 20].

Одним із ключових напрямів у розумінні механізму віброущільнення є корпускулярна теорія, суть якої полягає в тому, що під час вібрації окремі частинки бетонної суміші отримують часті імпульсні поштовхи. У результаті цього внутрішнє тертя між частинками значно зменшується, і суміш переходить у стан, подібний до важкої текучої рідини. У такому стані частинки починають переміщатися під дією власної ваги, прагнучі зайняти найщільніше можливе положення, при якому об'єм бетону стає мінімальним. При цьому повітря, захоплене сумішшю, поступово витісняється на поверхню, забезпечуючи ущільнення бетону під власною вагою [21, 22].

Дослідження показують, що під час вібрації частинки бетонної суміші коливаються з різними швидкостями, що створює градієнт швидкості. Саме він

викликає тиксотропні та ізотермічні зміни в'язкості системи. Якщо ж усі частинки рухаються з однаковими швидкостями та в одній фазі, тиксотропне розрідження не відбувається, а отже, ущільнення також не настає. Така різниця у швидкостях руху частинок пояснюється відмінністю їх розмірів, форм і густини, що впливає на опір руху в середовищі та визначає ефективність ущільнення.

Роботи ряду дослідників [23, 24] довели, що резонансні явища окремих частинок практично не проявляються під час вібраційного ущільнення. Тому вони не є визначальним фактором при виборі режимів віброущільнення, на відміну від частоти і амплітуди коливань, які мають безпосередній вплив на процес ущільнення.

Корпускулярна теорія дає можливість пояснити, як бетон набуває щільності та міцності внаслідок спрямованого руху частинок униз під дією сили тяжіння. Проте вона не враховує поширення хвиль коливань у суміші, тобто не пояснює розподіл енергії в об'ємі бетону, а отже — неоднорідність ущільнення в різних його зонах.

Поряд із цим існує інше пояснення — феноменологічне уявлення про механізм віброущільнення бетонної суміші. Згідно з ним, бетонна суміш розглядається як однорідне в'язке середовище, що має певну густину (ρ) та в'язкість (η). У межах цього підходу структура бетону не розглядається на рівні окремих частинок, натомість аналізується поведінка суміші в цілому як континууму, що піддається вібраційному впливу.

Феноменологічне уявлення розвивалося у трьох головних напрямках:

- реологічні дослідження, у яких визначають залежність в'язкості від швидкості коливань, температури, тривалості дії та фізико-хімічних властивостей цементного тіста;
- вивчення поширення коливань у необмеженому об'ємі бетонної суміші, визначення коефіцієнтів затухання хвиль, мінімальних амплітуд і швидкостей для ефективного ущільнення;

– дослідження поведінки суміші в обмеженому об'ємі форми, зокрема вивчення процесів відбиття хвиль від граней форми, утворення вузлів і пучностей, що впливають на рівномірність ущільнення (так звані хвильові уявлення).

Процес віброформування бетонних виробів у своїй суті полягає у руйнуванні початкової нестійкої структури суміші, що формується під час перемішування, та створенні нової, більш щільної і стабільної структури [13, 27]. Ефективність цього процесу залежить від цілої низки факторів: від фізико-механічних властивостей суміші, зернового складу заповнювача, температури, вологості, до параметрів динамічного впливу — частоти, амплітуди та тривалості коливань.

Крім того, властивості бетонної суміші не є сталими, а постійно змінюються в процесі ущільнення, що ускладнює вибір оптимальних режимів роботи обладнання [10, 14]. З погляду фізико-механічних характеристик, легка бетонна суміш займає проміжне положення між твердими тілами та рідинами. За аналогією з колоїдними й дисперсними системами, її можна віднести до структурованих середовищ, у яких властивості залежать від внутрішньої організації частинок та зв'язків між ними [28, 29].

До останнього часу основна гіпотеза процесу вібраційного ущільнення бетонних сумішей ґрунтувалася на уявленні про тиксотропне розрідження під дією вібраційних коливань [23, 24]. Суть цієї гіпотези полягає в тому, що під час вібрації частинки крупного заповнювача переміщуються та ущільнюються під впливом сил ваги і масових інерційних сил, що виникають у процесі коливань. Такий підхід зумовив традиційне використання високих частот вібрації як головного чинника ефективного ущільнення бетонних сумішей.

Однак подальші дослідження внесли суттєві уточнення до цієї концепції. Так, Б.В. Гусев [31] розвинув і доповнив гіпотезу, запропонувавши застосування низькочастотної асиметричної вібрації, що стало основою нового напрямку в теорії та практиці віброущільнення. Згідно з його висновками, використання

низьких частот із великими амплітудами є особливо ефективним при ущільненні крупнодисперсних бетонних сумішей, оскільки такі режими забезпечують значні відносні переміщення частинок і дають змогу ефективніше долати сили сухого тертя, що виникають між ними.

Результати досліджень А.С. Петрова [32] підтверджують цей висновок: зі збільшенням жорсткості бетонної суміші та розмірів заповнювачів необхідно пропорційно збільшувати амплітуду вібрацій, щоб досягти оптимального ефекту ущільнення.

Загалом питання вибору оптимальної частоти та амплітуди віброущільнення і сьогодні залишається дискусійним [31–33]. Очевидно, що для кожного конкретного складу бетонної суміші існує своя оптимальна комбінація параметрів вібраційного впливу, яка забезпечує найбільшу ефективність ущільнення. Інтервал між мінімальною та максимальною ефективними амплітудами визначає так звану зону технологічної стійкості режиму віброущільнення [31].

П. Ребю [34] зазначає, що вібрацію не слід розглядати як універсальний засіб, здатний компенсувати помилки попередніх етапів технологічного процесу, таких як використання неякісних компонентів або неточне дозування матеріалів. За його твердженням, під час вібраційного впливу на бетонну суміш діють два типи сил:

1. Інерційні сили, викликані прискоренням коливань;
2. В'язкі сили, які є наслідком дії перших.

У будь-який момент часу бетонна суміш характеризується коефіцієнтом пластичної в'язкості, що залежить як від складу суміші (гранулометричного складу, природи заповнювачів, кількості води, вмісту цементу тощо), так і від параметрів вібрації (частоти, амплітуди, спрямованості коливань).

При цьому рух частинок бетонної суміші можна розглядати по-різному:

- для великих частинок — як невеликі періодичні коливання;
- для дрібних — як суцільне завихрення потоку частинок.

Найбільш раціональним, за висновками дослідників, є використання комбінованих двочастотних режимів вібрації. У цьому випадку перша, нижча частота, застосовується на етапі заповнення форми та початкового ущільнення, а друга, вища частота, — на етапі фінішного ущільнення та розрідження розчинної частини суміші. Такий підхід забезпечує покращене структуроутворення бетону та підвищує його однорідність.

Вплив вібрації на процес ущільнення визначається передусім відносним рухом складових частин суміші, який призводить до порушення їх структурних зв'язків. Проте цей відносний рух виникає не за будь-якого режиму вібраційного впливу. Як зазначає П.П. Овчинников [35], ймовірність виникнення відносного переміщення частинок значно зростає при змінних параметрах частоти й амплітуди, порівняно з режимами, де ці параметри залишаються постійними.

Отже, можна стверджувати, що віброущільнення бетонної суміші зі змінними параметрами (амплітудою та частотою) є більш ефективним, ніж ущільнення в умовах сталого режиму. Методика підбору змінної з часом частоти вібрації уперше була розроблена й обґрунтована в роботі [36].

В.С. Бабій [37] показав, що особливо високих результатів можна досягти при вібруванні з постійною модуляцією частот — коли процес починається з нижчих частот, а потім поступово переходить до вищих. Такий підхід дозволяє оптимізувати процес ущільнення на кожному етапі — від початкового переміщення великих частинок до остаточного розрідження цементного розчину.

Необхідність використання керованих, адаптивних режимів віброущільнення, які враховують зміну властивостей бетонної суміші у процесі дії вібрацій, підтверджується також у працях В.Г. Зазимка та Б.І. Зикова [38, 39].

Таким чином, сучасні дослідження показують, що найефективніше ущільнення бетонної суміші досягається в умовах нестационарного (змінного) вібраційного поля, параметри якого динамічно змінюються в процесі впливу на суміш — залежно від її фізико-механічних властивостей, гранулометричного складу та стадії ущільнення [33]. Це відкриває перспективи для створення

інтелектуальних систем керування вібраційними установками, здатних автоматично регулювати частоту та амплітуду коливань для досягнення максимальної щільності бетону при мінімальних енергетичних затратах.

2.3 Загальний висновок по методам удосконалення вібраційної техніки.

На базі вище викладеного можемо зробити наступні висновки.

Аналіз сучасного формувального обладнання показує, що велика кількість його різновидів є результатом багаторічних спроб конструкторів створити універсальні машини, здатні ефективно ущільнювати бетонні суміші різної жорсткості, складу та гранулометрії. Проте більшість відомих конструкцій працюють у межах традиційних стаціонарних режимів вібрації, можливості яких нині практично вичерпані. Це обмежує подальше підвищення якості ущільнення та енергоефективності процесу.

У сучасних умовах актуальним є створення вібраційних машин нового покоління — з керованими дебалансними збуджувачами коливань, які дозволяють здійснювати пуск і зупинку установки у моменти, коли обертальні частини системи взаємно врівноважені. Така технічна реалізація забезпечує зменшення навантаження на привідний електродвигун, особливо в періоди пуску, і усуває небезпечні перехідні резонансні явища, що знижують довговічність обладнання. Крім того, застосування керованих перехідних режимів вібрації як робочих відкриває можливість регулювання інтенсивності вібраційного поля, що робить процес ущільнення більш гнучким і адаптованим до конкретних властивостей бетонної суміші.

Найвищої якості ущільнення бетонної суміші можна досягти за умов дії нестационарного вібраційного поля, параметри якого змінюються в процесі формування відповідно до поточного стану оброблюваного середовища — його реологічних характеристик, жорсткості, вологості та ступеня ущільнення. Такий

ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ

Лист

29

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

підхід дозволяє забезпечити рівномірну передачу енергії в усі зони форми, оптимізувати енергоємність процесу, скоротити тривалість формування виробів і, як наслідок, підвищити якість та міцність готових конструкцій.

2.4 Вібростіл с автоматичним важільним обертанням вібробуджувача.

Виходячи із наданих висновків та слідуючи шляхам удосконалення віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів пропонується розглянути модель вібростолу с автоматичним важільним обертанням вібробуджувача.

Запропонована конструктивна модель належить до галузі будівельного машинобудування та призначена для використання у процесах віброущільнення бетонних виробів.

Як відомий аналог розглядається вібростіл, що застосовується для формування тротуарної плитки. (рис. 2.1).

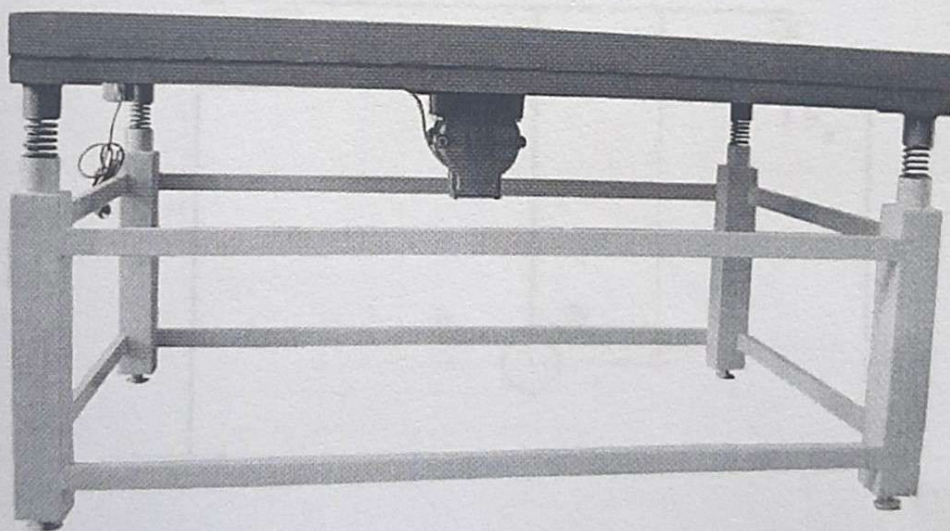


Рис. 2.1 Вібростіл для тротуарної плитки.

Його конструкція складається з нерухокої основи та рухокої рами. Нерухома рама виконує функцію опори, тоді як рухома утримується за допомогою вібраційних елементів, через які навантаження передається на основу. До нижньої частини рухокої рами жорстко кріпиться електромеханічний вібробудувач, вісь обертання якого розташована паралельно площині столу. На верхній поверхні рухокої рами встановлюються форми, заповнені бетонною сумішшю. Під час роботи вібробудувача коливання передаються безпосередньо на форми, забезпечуючи ущільнення бетонної суміші.

Разом з тим, наявність віброопор призводить до зменшення амплітуди коливань, особливо в зонах їх розташування. У зв'язку з цим для досягнення необхідної інтенсивності вібрації виникає потреба у збільшенні потужності вібробудувача, що негативно впливає на енергоефективність обладнання.

Як відомий прототип розглядається вібростіл із важільним кріпленням вібробудувача. (рис. 2.2).

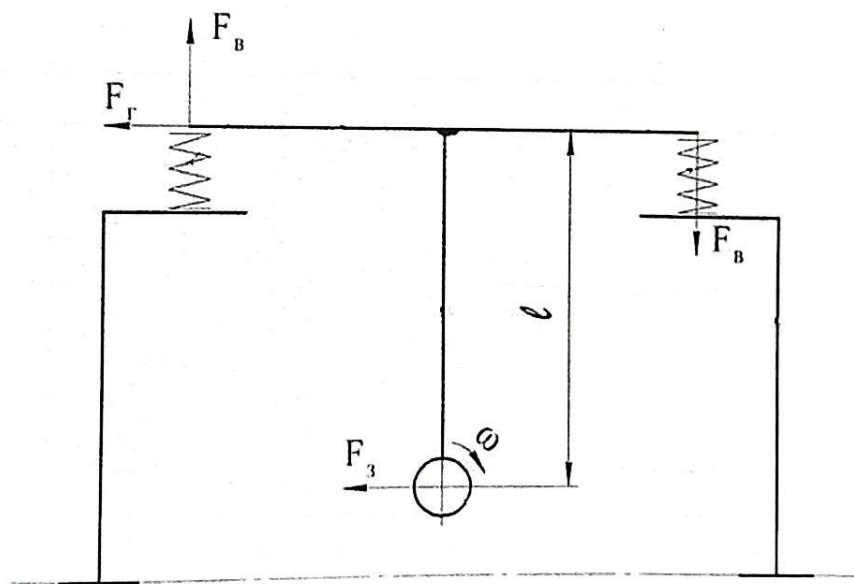


Рис. 2.2 Вібростіл з важільним закріпленням вібробудувача.

Його конструктивна схема загалом відповідає аналогу, однак вібробудувач встановлюється не безпосередньо під рухоною рамою, а на

певній відстані від неї, що визначається довжиною важеля. Таке розташування забезпечує збільшення амплітуди коливань на поверхні столу без додаткових енерговитрат. Крім того, важільне кріплення зумовлене конструктивною наявністю вільного простору під рухомою частиною вібростолу. Водночас геометрія закріплення вібробудувача є сталюю, що призводить до нерівномірного розподілу вібрацій по поверхні столу та можливого виникнення зон із недостатньою інтенсивністю коливань.

Основною метою запропонованої конструкції є створення умов для рівномірного розподілу амплітуди вібрацій по всій площині рухомого столу шляхом зміни напрямку дії коливань. Це дозволяє підвищити якість ущільнення бетонних виробів, скоротити тривалість формування та зменшити загальні енерговитрати процесу.

Реалізація поставленого завдання досягається завдяки автоматичному обертанню вібробудувача відносно рухомої рами 1 (див. рис.2.3).

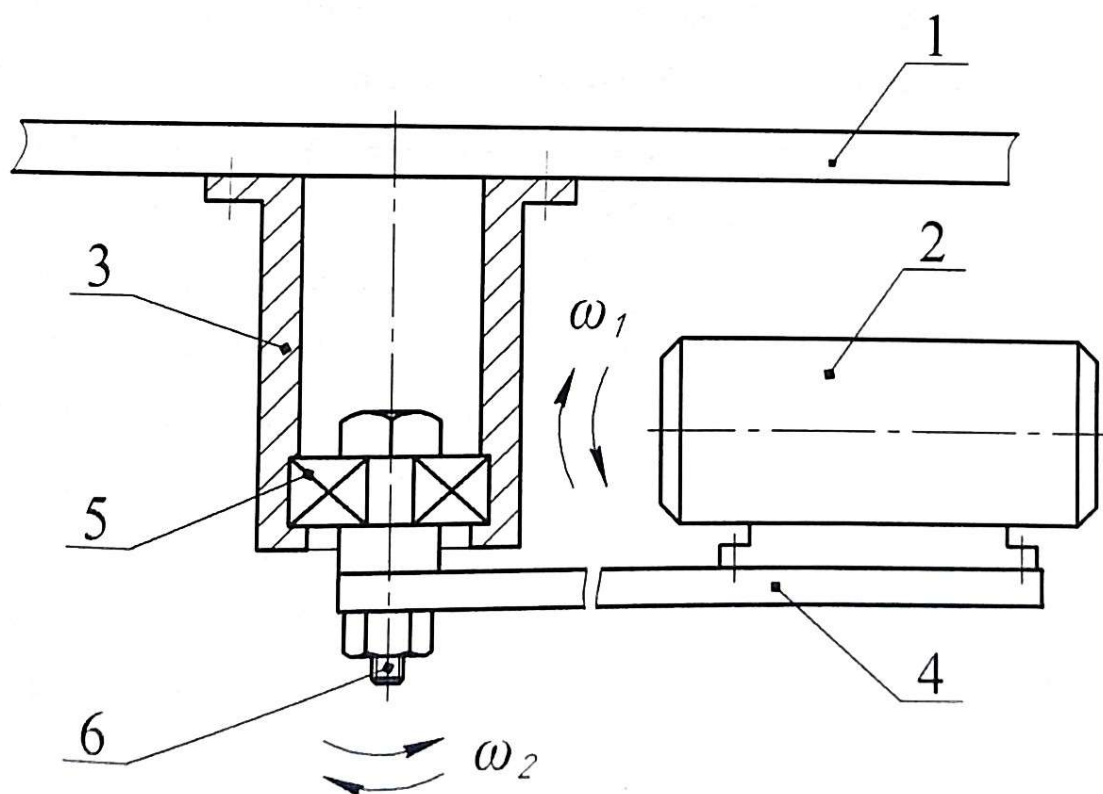


Рис. 2.3 Вібростіл с автоматичним важільним обертанням вібробудувача.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ

Лист

32

Рухома рама вібростолу 1 встановлена на опорах нерухомої основи. У центральній частині її нижньої поверхні жорстко закріплена втулка 3, розташована під прямим кутом до площини столу, яка слугує опорою для важеля 4 з вібробуджувачем 2. Геометричні параметри втулки 3 та довжина важеля 4 визначаються конструкцією рами та умовами компоновки.

Робота вібростолу з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача здійснюється таким чином. Вібробуджувач 2 закріплений на важелі 4 та має можливість вільного обертання відносно осі втулки 3 завдяки наявності вузла підшипників 5, встановлених на болті 6.

Вібробуджувач являє собою електродвигун з ексцентрично закріпленим вантажем. Під час обертання валу електродвигуна вібробуджувача 2 збуджувальна сила спрямована у радіальному напрямку. Утворені коливання через важіль 4, підшипниковий вузол 5 та втулку 3 передаються на рухому раму вібростолу 1. Характер вібрацій у кожній окремій точці рухомої поверхні визначається геометрією закріплення вібробуджувача. Для забезпечення рівномірного розподілу та зміни величини віброколивань у кожній точці рухомої рами передбачено обертання важеля 4 разом із вібробуджувачем 2. При цьому обертання важеля 4 під час роботи вібробуджувача 2 здійснюється автоматично за рахунок дії сили Коріоліса.

Під час обертання вала вібробуджувача 2 у напрямку ω_1 за або проти годинникової стрілки виникає сила Коріоліса, яка зумовлює обертання важеля 4 з вібробуджувачем 2 у напрямку ω_2 відповідно за або проти годинникової стрілки. Величина сили Коріоліса є достатньою для надійного обертання важеля 4 разом із вібробуджувачем 2.

Оскільки напрям обертання вала вібробуджувача 2 (ω_1) не впливає на величину збуджувальної сили вібрацій, доцільною є організація роботи вібростолу в наступному режимі. З метою запобігання перекручуванню кабелів живлення електродвигуна реалізовано коливальний режим руху важеля 4 з кутовим переміщенням ω_2 у межах 360° . У крайніх положеннях за допомогою

кінцевих вимикачів здійснюється реверсування напрямку обертання валу вібробудувача ω_1 , унаслідок чого змінюється напрям дії сили Коріоліса, і автоматичний коливальний цикл руху важеля 4 продовжується. Це забезпечує рівномірний розподіл вібрацій по всій поверхні вібростолу.

Аналізуючи переваги запропонованої конструкції вібростолу, можна відзначити, що за наявності вільного простору під робочою поверхнею (у разі встановлення вібростолу на каркасі вище рівня підлоги) створюються умови для реалізації важільного кріплення вібробудувача з можливістю його автоматичного обертання. Така схема забезпечує коливальний автоматичний рух важеля 4 разом із вібробудувачем 2. Зазначене конструктивне рішення дозволяє рівномірно розподіляти амплітуду віброколивань по всій площині рухомого вібростолу шляхом зміни напрямку дії вібрацій, що сприяє покращенню ущільнення бетонної суміші, скороченню часу формування виробів та зменшенню енергетичних витрат.

2.5 Вибір обладнання для досліджень.

Одна з головних проблем в машинобудуванні, яка постійно потребує вирішення або удосконалення, це проблема енергозберігання та підвищення якості виробів.

Одним зі шляхів вирішення цих проблем є покращення або модернізація існуючого обладнання.

Для цього пропонується ефективна модель віброобладнання, в якій вібробудувач закріплений у вільному просторі під віброплитою через важель, має здатність обертання під час своєї роботи – змінювати своє геометричне положення відносно центру віброплити.

Вібростіл з автоматичним важільним обертанням вібробудувача, що містить у своїй конструкції рухому раму вібростолу 1 та вібробудувач 2, відрізняється тим, що оснащений втулкою 3 з вузлом підшипників 5. При цьому втулка 3 жорстко закріплена в центральній частині нижньої поверхні рухомої

рами вібростолу 1. У вузлі підшипників 5 за допомогою болта 6 встановлено важіль 4, на якому закріплений віброзбуджувач 2.

Під час обертання валу віброзбуджувача 2 виникає сила Коріоліса, яка забезпечує автоматичне обертання важеля 4 відносно осі втулки 3. У результаті цього відбувається рівномірний розподіл вібраційних коливань по всій площині рухомої рами вібростолу 1.

Пропонується дослідити технологічні параметри роботи даного обладнання, а саме величину віброприскорення вертикальних коливань робочого органу, на прикладі спеціально створеної дослідної моделі вібростолу та на базі результатів отриманих вимірювань оцінити ефективність запропонованої установки (моделі).

ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ

				Лист
Лист	№ докум.	Підп.	Дата	35

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІБРООБЛАДНАННЯ.

3.1 Дослідна модель вібростолу з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача.

Беручи до уваги попередні дослідження та огляд літератури нами була створена дослідна модель (рис. 3.1, 3.2), яка була виготовлена по схемі вібростолу з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача (див. рис. 2.3).

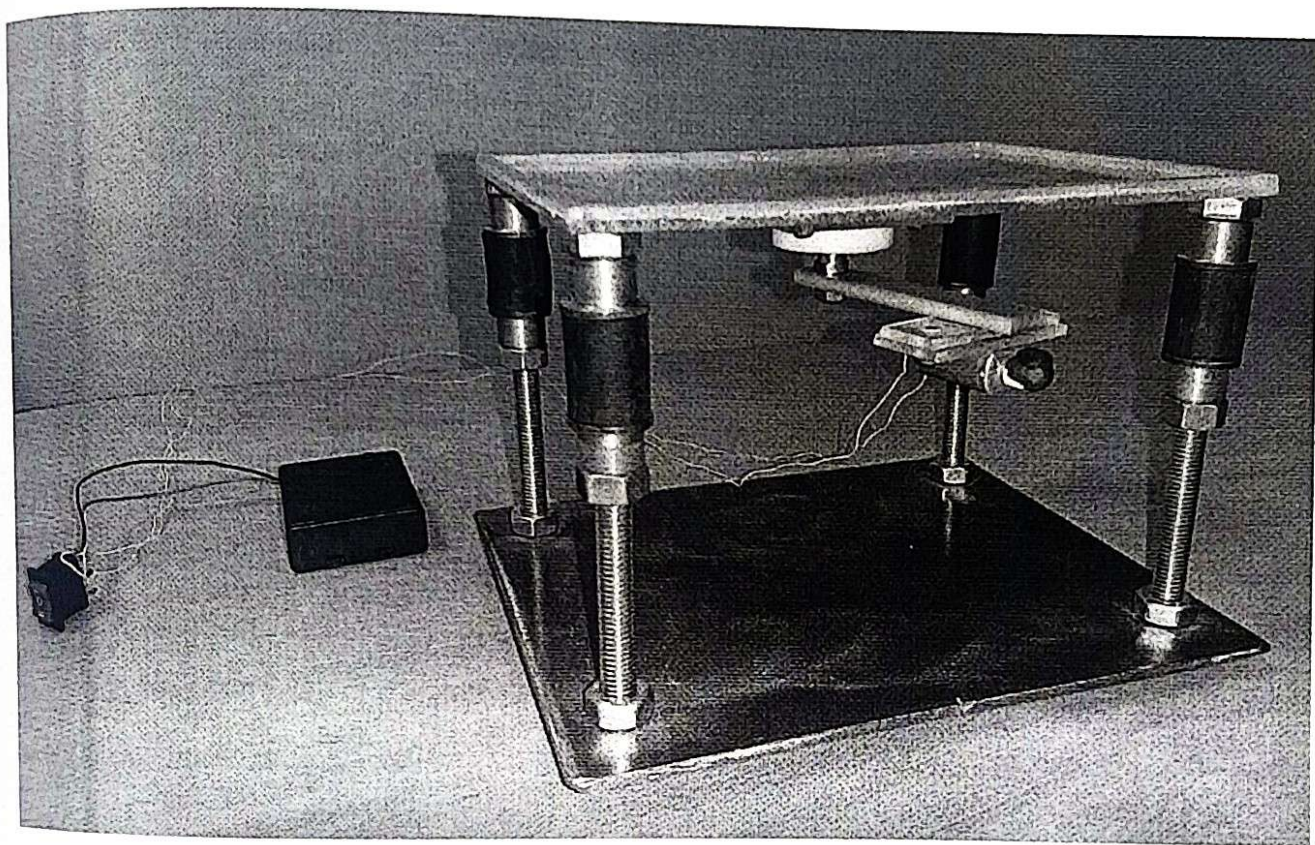


Рис. 3.1 Дослідна модель вібростолу з автоматичним важільним обертанням
вібробуджувача.

ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Корнієнко	<i>Нор</i>	04.01		36	
Перев.		Коротич	<i>К</i>	09.01			
Н. контр.		Васильєв	<i>В</i>	12.01			
Затв.		Орисенко	<i>О</i>	12.01			

Дослідження та обґрунтування ефективності віброобладнання

Национальний університет імені Юрія Кондратюка
ННІТР 2026

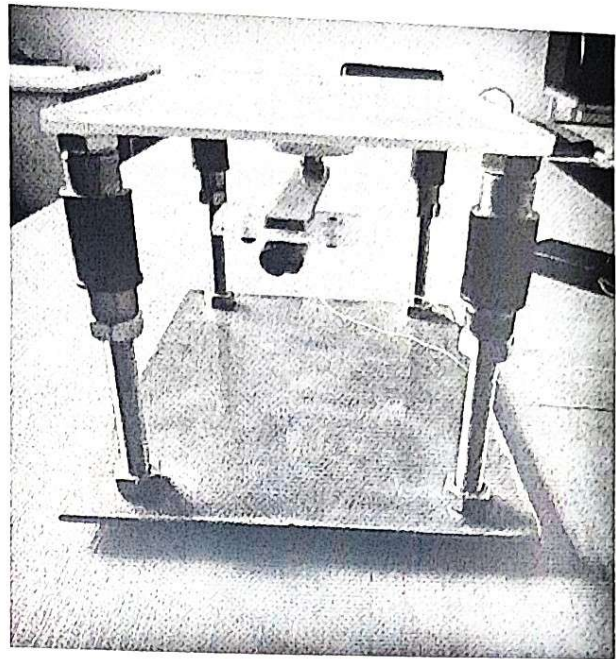
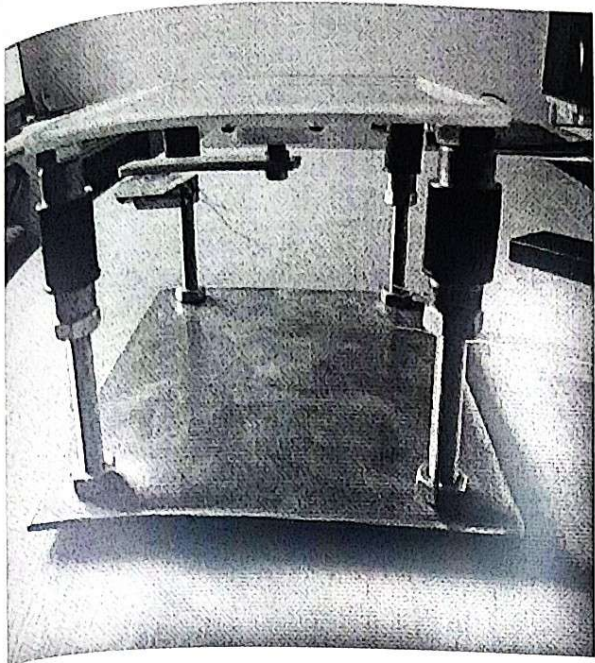


Рис. 3.2 Дослідний вібростол.

Дослідна модель спеціально розроблена для виконання зазначених експериментів і конструктивно відтворює реальний вібраційний стіл у масштабі 1:10. На металевій рамі в кутах змонтовано чотири опорні стійки, на яких через пружні елементи встановлено віброплиту. Віброплита виконує функцію робочого органу установки, на її поверхні здійснюється вимірювання показників вібраційного впливу. Пружні опори мають можливість регулювання по висоті, що забезпечує точне вирівнювання робочого органу в горизонтальній площині. Під віброплитою по центру знизу закріплений горизонтальний важіль: один край важеля приєднаний до віброплити через підшипниковий вузол, до другого краю приєднаний віброзбуджувач. Він являє собою електродвигун з ексцентрично закріпленим на валу дебалансом. Довжина обертального важеля складає 65 мм. Віброзбуджувач приводиться в дію від електричного блоку живлення постійного струму.

Розміри робочого органу – віброплити – $a \times b = 150 \times 200$ мм.

Висота вібростолу – $h = 120$ мм.

При включенні блоку живлення постійного струму здійснюється обертання

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ

Лист

37

валу з дебалансом. В цей же час важіль з вібробуджувачем починає плавний автоматичний обертальний рух навколо підшипникового вузла під віброплитою за рахунок дії сили Коріоліса. Повний цикл обертання триває 30 секунд.

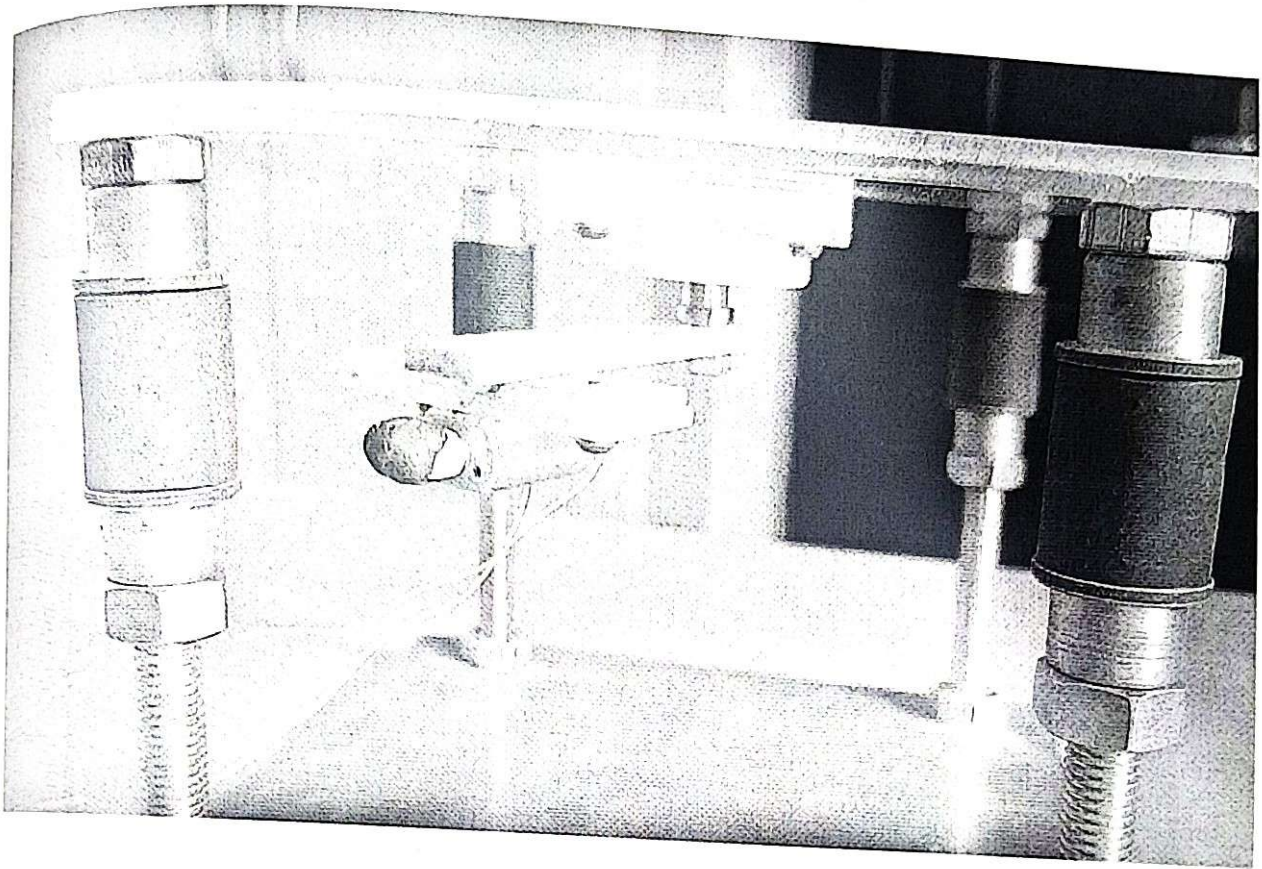


Рис. 3.3 Конструкція робочих вузлів дослідного вібростолу.

3.2 Методи вимірювання та вимірювальне обладнання.

Для остаточного визначення дослідного параметра віброколивань розглянемо всю множину можливих параметрів для дослідження на віброформувальному обладнанні.

На вібраційному столі можна досліджувати широкий спектр параметрів вібрації, які характеризують коливальний рух, динамічні навантаження та вплив вібрації на об'єкти. Основні з них такі:

1. Кінематичні параметри коливань

- Амплітуда переміщення (мм) — максимальне відхилення робочої поверхні

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

від положення рівноваги.

- Віброшвидкість (мм/с) — швидкість коливального руху, важлива для оцінки енергії вібрації.
- Віброприскорення (м/с² або g) — характеризує інерційні навантаження, є одним з основних вимірюваних параметрів.

2. Частотні параметри

- Частота коливань (Гц) — кількість коливань за одиницю часу.
- Кутова частота (рад/с).
- Діапазон частот — інтервал, у якому працює вібраційний стіл.
- Резонансна частота системи — частота, за якої спостерігається максимальна амплітуда коливань.

3. Динамічні параметри

- Сила збурення віброзбуджувача.
- Інерційні сили, що діють на об'єкт випробування.
- Жорсткість та демпфування пружних опор.

4. Спектральні характеристики

- Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ).
- Спектр вібрації (гармоніки, шумові складові).
- Фазові зсуви між збуренням і відгуком системи.

5. Просторові параметри

- Напрямок вібрації (вертикальна, горизонтальна, просторова).
- Форма коливань робочого органу (поступальні, крутильні, комбіновані).

6. Параметри взаємодії з навантаженням

- Вплив маси та розміщення вантажу на характеристики вібрації.
- Зміна параметрів коливань при різних режимах роботи.

7. Часові характеристики

- Тривалість вібраційного впливу.
- Перехідні процеси (розгін, зупинка, зміна режимів).

Основні параметри вібрації приведені в таблиці 3.1.

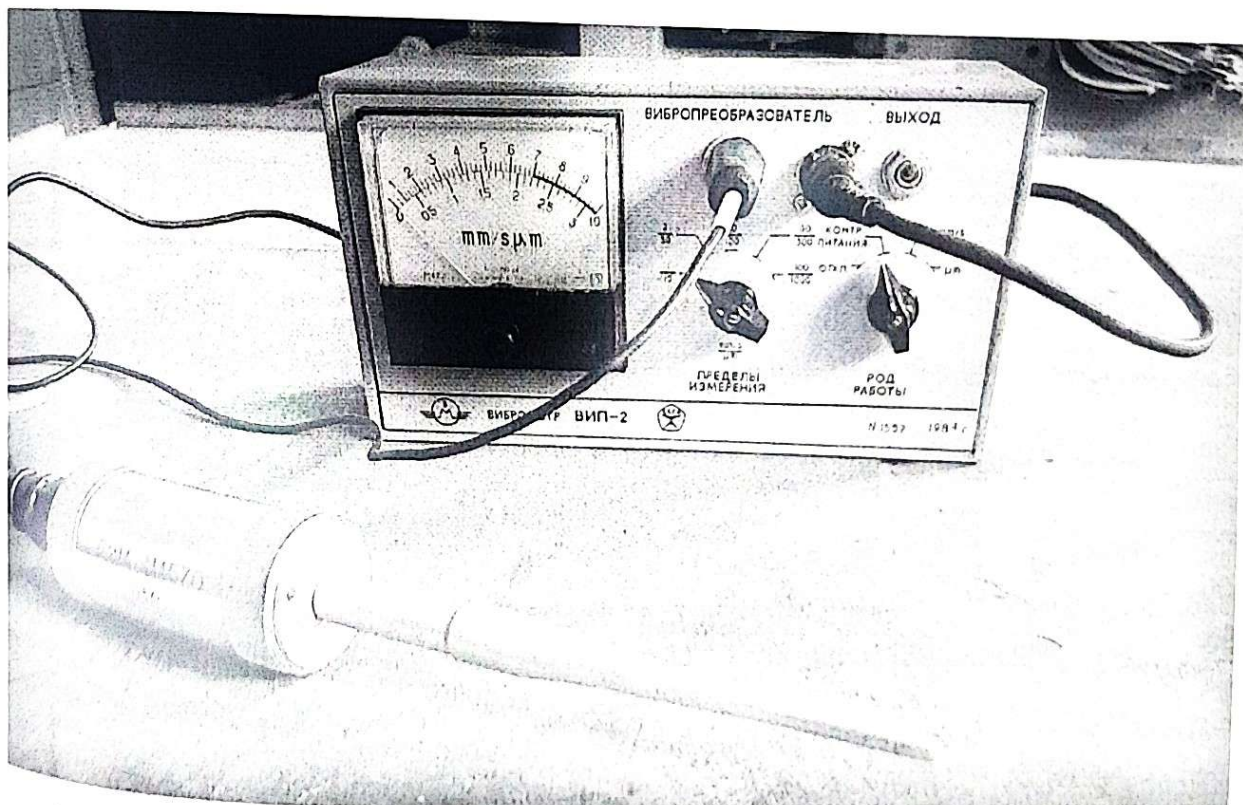
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ	Лист
						39

Таблиця 3.1 Основні параметри вібрації

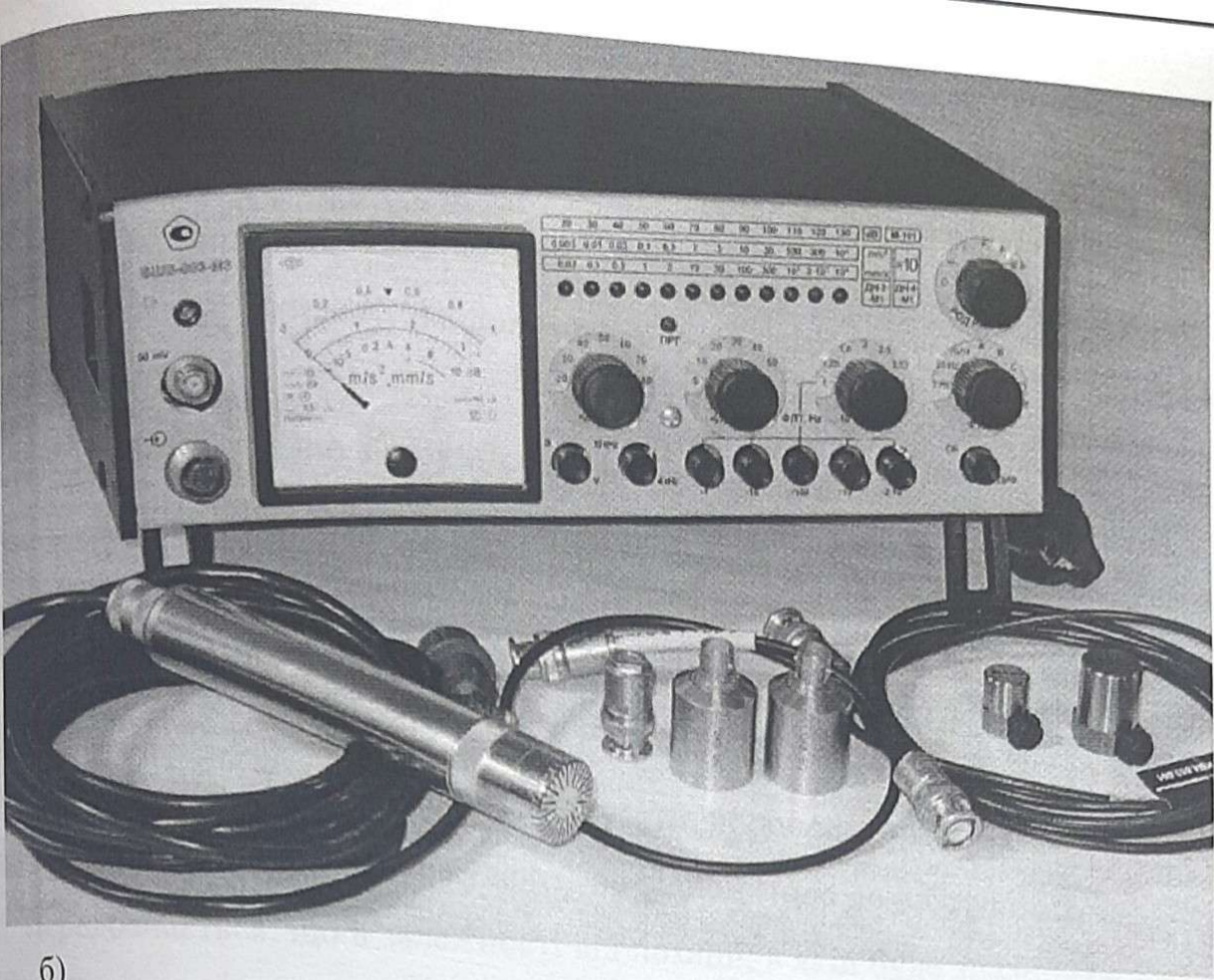
Параметр	Позначення	Одиниця вимірювання
Віброшвидкість	V_m	м/с
Амплітуда	X_m	м
Віброприскорення	a_m	м/с ²
Період коливань	T	с
Частота коливань	f	Гц

Найбільш впливовими параметрами при виготовленні бетонних виробів є амплітуда, віброшвидкість та віброприскорення – їх величина повинна мати чіткі фіксовані значення, недотримання яких приводить до значного зменшення якості виготовляємої продукції.

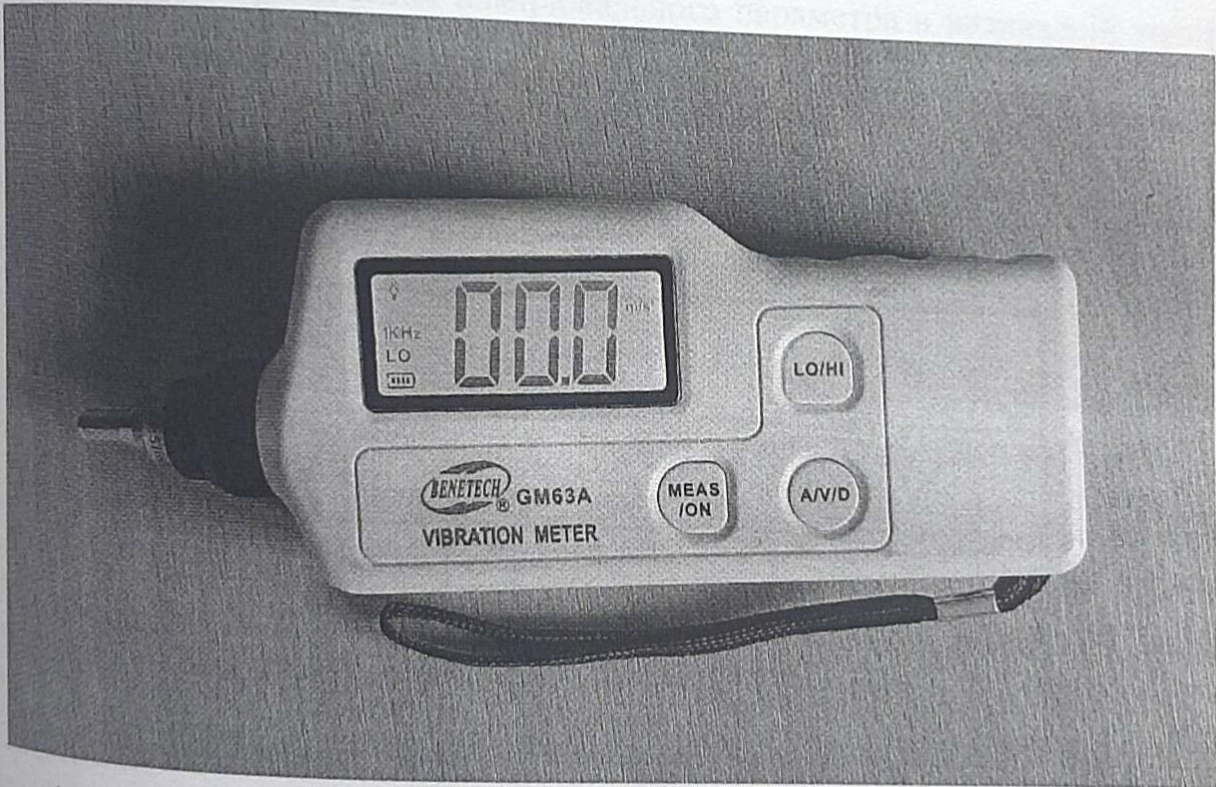
На рисунку 3.3 представлено вимірювальне обладнання, яке застосовується для виміру вищезгаданих параметрів.



а)



б)



в)

Рис. 3.3 Вимірювальне обладнання: а) віброметр ВІП-2; б) віброшумомір ВШВ-003-М2; в) віброметр GM63A.

№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ

Дане вимірювальне обладнання широко використовується при дослідженнях вібраційних процесів. За його допомогою отримуються такі показники параметрів вібрації, як віброшвидкість, м/с, та віброприскорення, м/с² та амплітуда, мм.

Але було вирішено використати нестандартний підхід і провести виміри віброприскорення коливань за допомогою смартфона та спеціального додатку «Акселерометр».

Варто зазначити, що в результатах вимірювання нас цікавили не самі числові значення, а характер їх зміни від положення важеля по відношенню до віброплити.

3.3 Порядок досліджень та процес виміру віброприскорення.

Мета нашого дослідження - зафіксувати віброприскорення в залежності від положення важеля з віброзбуджувачем по відношенню до віброплити.

Передбачається, що в залежності від позиції, в якій буде знаходитись важіль з віброзбуджувачем, значення вимірювального параметра в визначеній точці на поверхні віброплити буде змінюватися.

Для того, щоб визначити віброприскорення на всій поверхні віброплити, вимірювання відбувалось у визначених 25 точках (рис. 3.4).

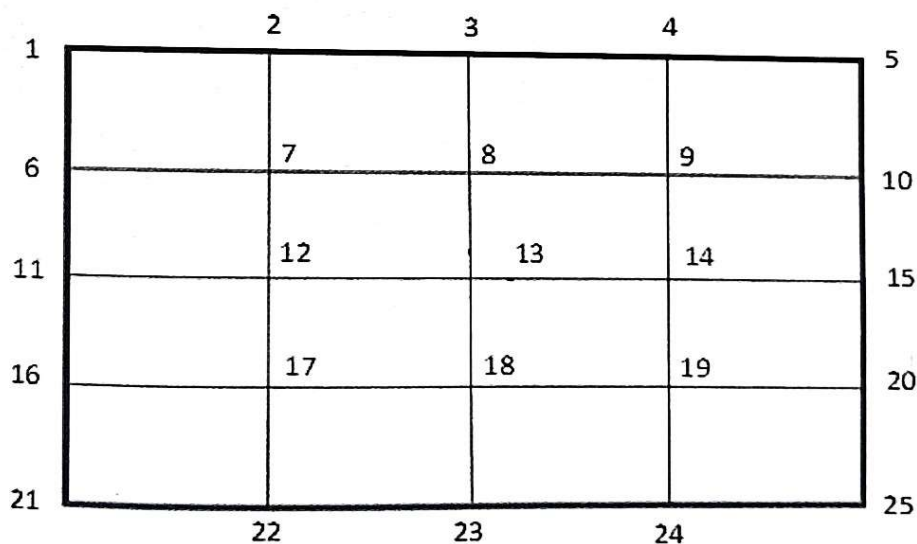


Рис. 3.4 Визначені точки на віброплиті для виміру віброприскорення.

Це дасть нам змогу в подальшому більш докладно оцінити зміну віброприскорення залежно від позиції важеля на всій робочій поверхні та побудувати «поле віброприскорень» при кожній дослідній позиції важеля. Проведення процесу виміру віброприскорення коливань представлено на рис.

3.5.



Рис. 3.5 Процес вимірювання амплітуди коливань на дослідній моделі.

№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ	Лист
						43

Вимірювання проводилось для трьох позицій важеля (лив. рис.3.6 -3.8):

- позиція 1 – важіль направлений «на 3 години»;
- позиція 2 – важіль направлений «на 4-30 години»;
- позиція 3 – важіль направлений «на 6 годин».

Результати вимірювань представлені в таблиці 3.2.

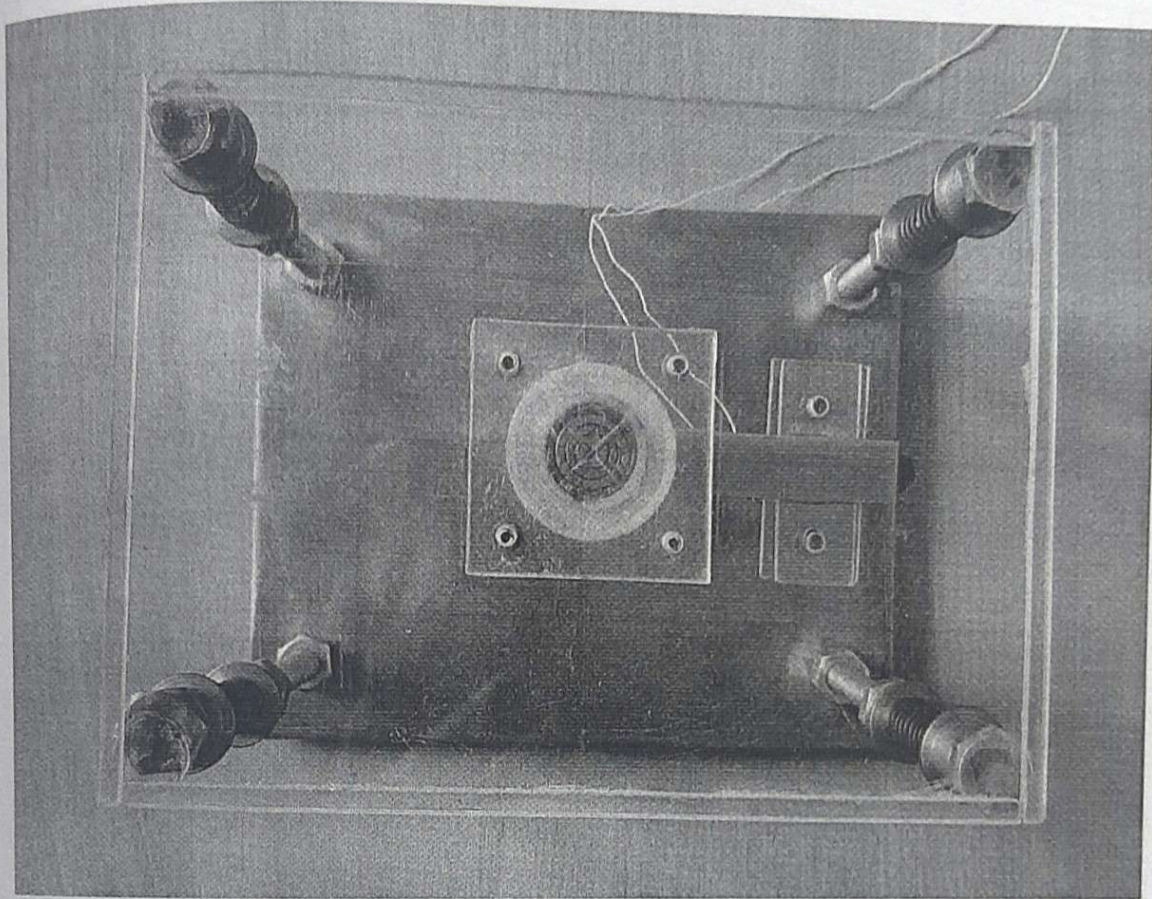
Таблиця 3.2 Значення віброприскорення вертикальних коливань.

№ точки виміру	Значення віброприскорення коливань a_m , м/с ²		
	Позиція 1	Позиція 2	Позиція 3
1.	0,4	0,35	0,4
2.	0,4	0,36	0,39
3.	0,35	0,39	0,36
4.	0,25	0,4	0,39
5.	0,2	0,4	0,4
6.	0,38	0,36	0,38
7.	0,36	0,35	0,36
8.	0,33	0,35	0,35
9.	0,23	0,37	0,36
10.	0,18	0,36	0,38
11.	0,37	0,39	0,35
12.	0,35	0,35	0,31
13.	0,3	0,3	0,3
14.	0,22	0,33	0,31
15.	0,18	0,3	0,35
16.	0,38	0,4	0,27
17.	0,36	0,37	0,23
18.	0,33	0,33	0,2
19.	0,23	0,23	0,23
20.	0,18	0,24	0,27
21.	0,4	0,4	0,22
22.	0,4	0,36	0,2
23.	0,35	0,3	0,19
24.	0,25	0,24	0,2
25.	0,2	0,2	0,22

Результати практичного дослідження показують, що величина віброприскорення коливань на поверхні віброплити змінює своє значення в залежності від позиції, в якій знаходиться важіль з вібробуджувачем.

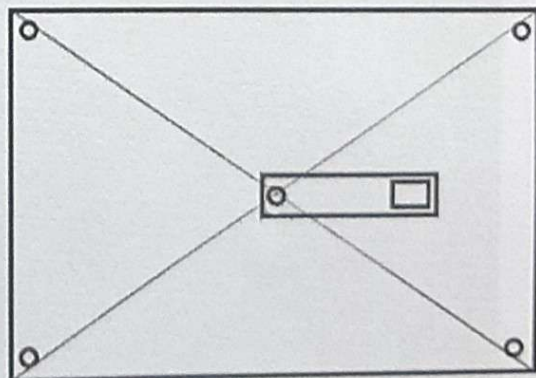
3.4 Побудова діаграм віброприскорень.

Використовуючи комп'ютерне програмування та отримані значення з таблиці 3.2, побудовано 3-D поверхні значень віброприскорення коливань вібростолу (рис. 3.6 – 3.8).



а)

0.4	0.4	0.35	0.25	0.2
0.38	0.36	0.33	0.23	0.18
0.37	0.35	0.3	0.22	0.18
0.38	0.36	0.33	0.23	0.18
0.4	0.4	0.35	0.25	0.2



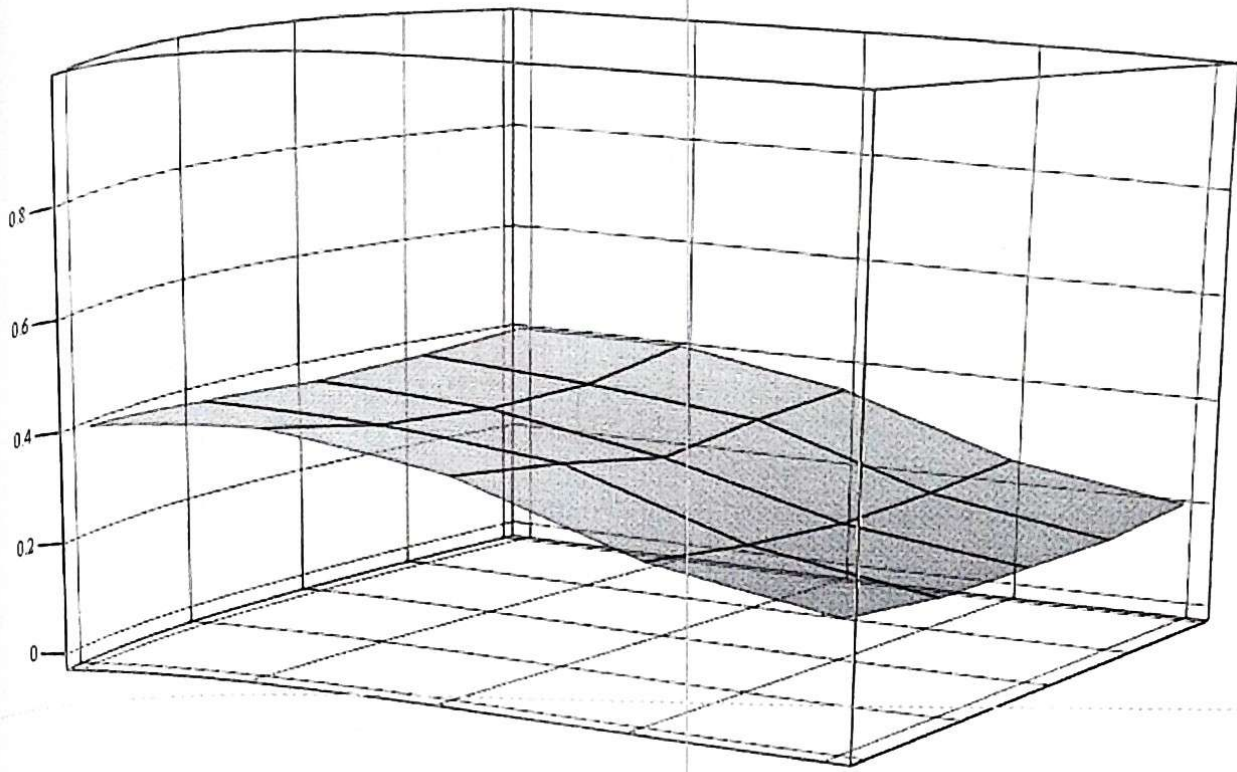
б)

Лист	№ докум.	Підп.	Дата
------	----------	-------	------

ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ

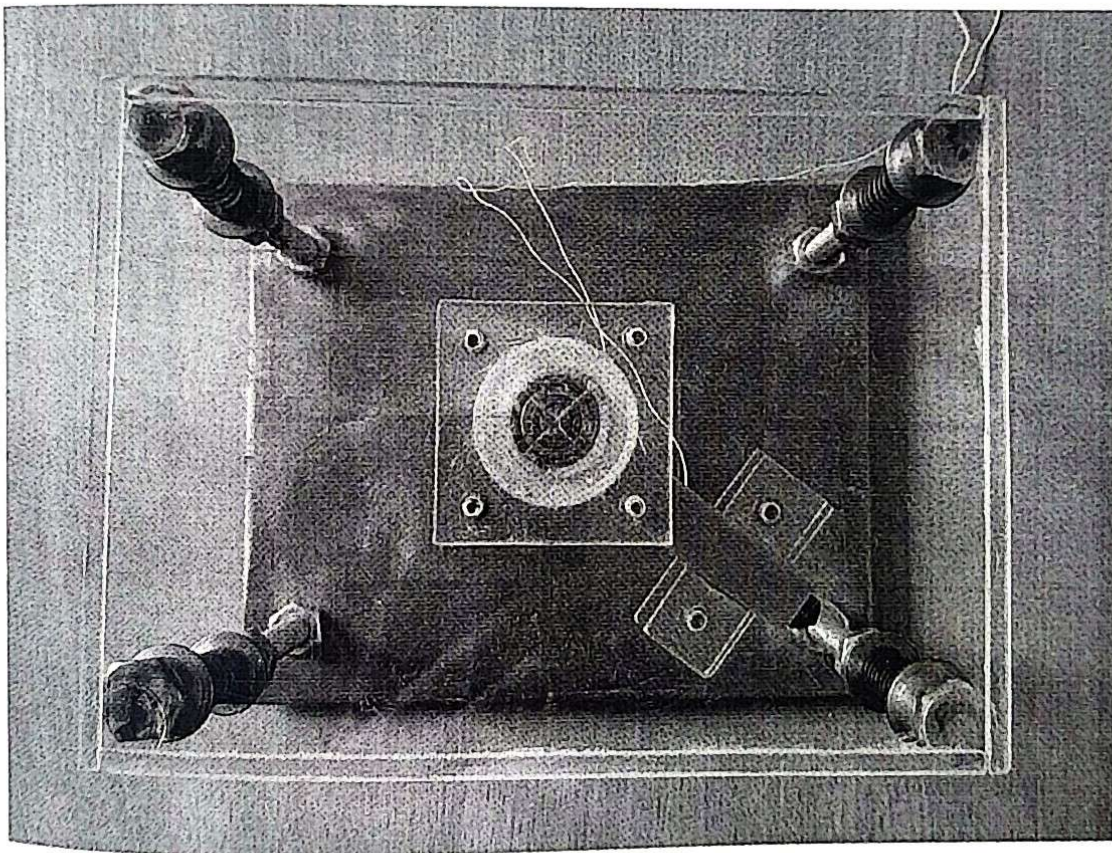
Лист

45



в)

Рис. 3.6 «Поле віброприскорень» вібростолу, позиція 1.



а)

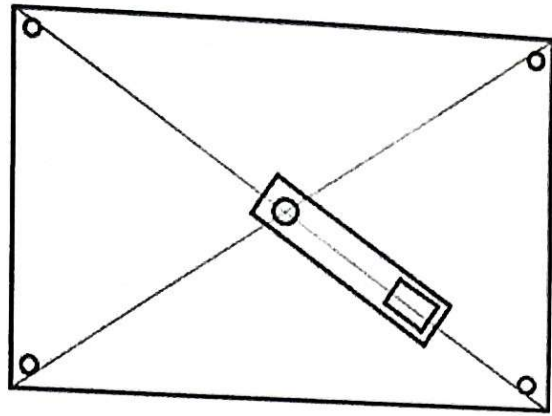
ГММ.601-ММ.008-00.00.000 ПЗ

Лист

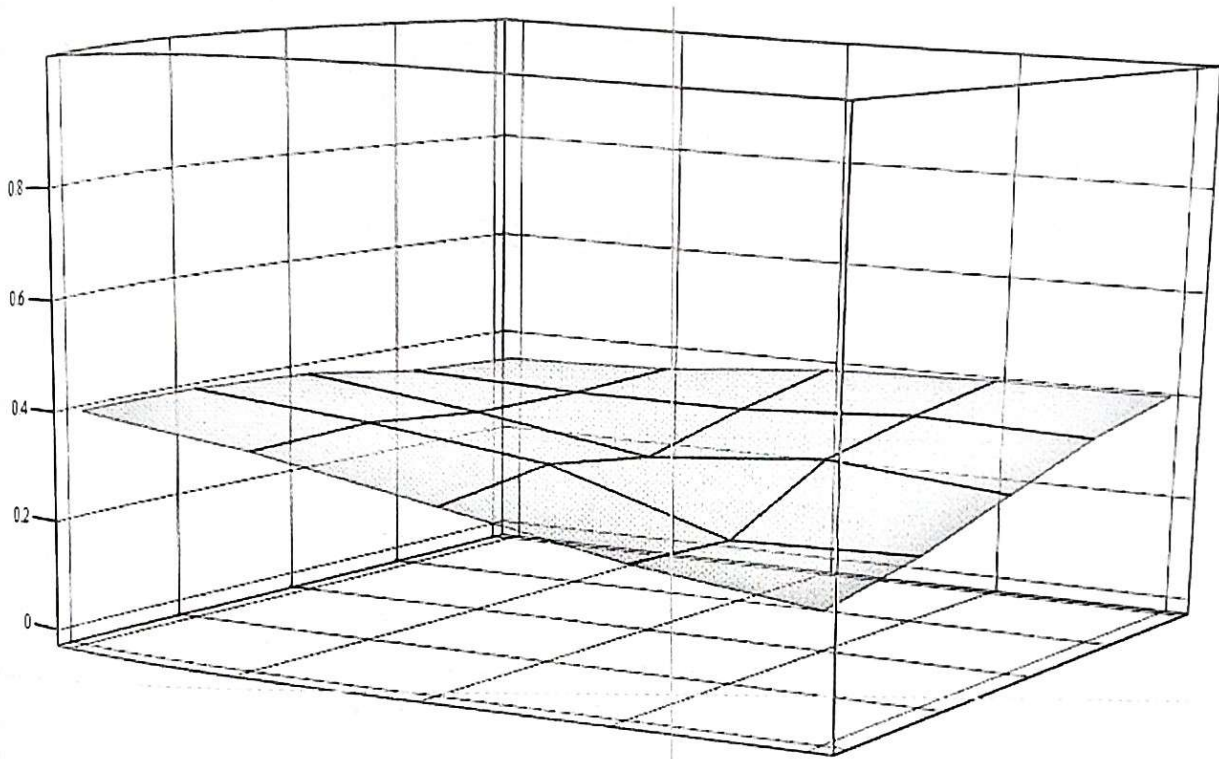
46

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

0.35	0.36	0.39	0.4	0.4
0.36	0.35	0.35	0.37	0.36
0.39	0.35	0.3	0.33	0.3
0.4	0.37	0.33	0.23	0.24
0.4	0.36	0.3	0.24	0.2

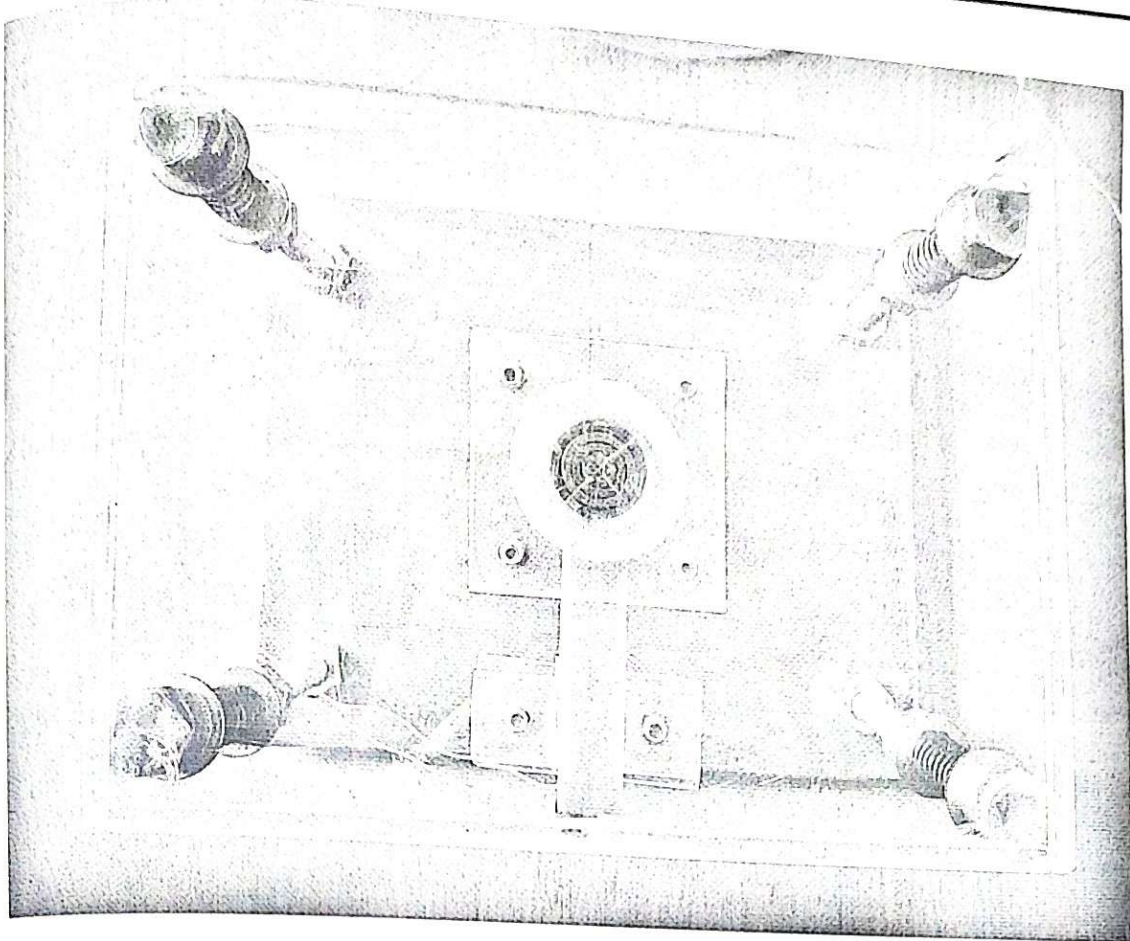


б)



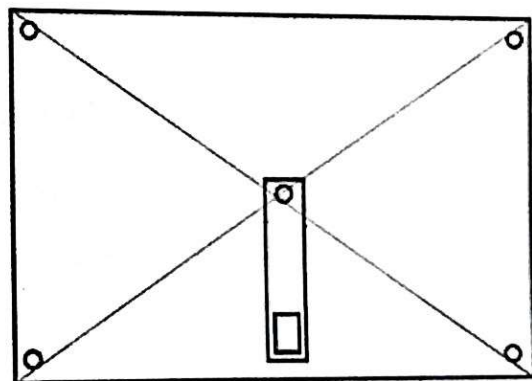
в)

Рис. 3.7 «Поле віброприскорень» вібростолу, позиція 2.



a)

0.4	0.39	0.36	0.39	0.4
0.38	0.36	0.35	0.36	0.38
0.35	0.31	0.3	0.31	0.35
0.27	0.23	0.2	0.23	0.27
0.22	0.2	0.19	0.2	0.22



b)

Висновки

Магістерська робота присвячена дослідженню питань застосування, експлуатаційних особливостей та напрямів удосконалення віброформувального обладнання, що використовується у виробництві залізобетонних виробів. Актуальність обраної тематики зумовлена стійкою тенденцією до зростання обсягів застосування бетонних і залізобетонних виробів у сучасному будівництві, що, у свою чергу, висуває підвищені вимоги до ефективності та надійності технологічного обладнання і потребує його подальшого вдосконалення.

у результаті аналізу та експериментальних досліджень віброформувального обладнання з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача в межах магістерської роботи отримано науково обґрунтовані експериментальні дані, які мають практичну цінність і можуть бути використані для подальшого розвитку вібраційної техніки, а також для вдосконалення технологічних процесів у галузі виробництва будівельних матеріалів і конструкцій.

Визначивши мету дослідження, у ході роботи були вирішені наступні задачі.

– здійснення детального огляду та систематизації сучасних методів віброформування, що застосовуються у виробництві бетонних та залізобетонних виробів, з урахуванням їхніх конструктивних і технологічних особливостей;

– визначення актуальності обраної тематики дослідження, обґрунтування напрямів подальшого вдосконалення вібраційної техніки та підвищення її енергоефективності й надійності;

– проведення всебічного аналізу наявних аналітичних і експериментальних методик розрахунку основних параметрів віброплощадок;

					ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Корнієнко	<i>[Підпис]</i>	09.01	Н	51	2
Перев.		Коротич	<i>[Підпис]</i>	09.01	Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2026 р.		
Н.контр.		Васильєв	<i>[Підпис]</i>	12.01			
Зато.		Орисенко	<i>[Підпис]</i>	12.01			

Список літератури

1. Назаренко І. І. Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2007. 230 с.
2. Огляд і аналіз вібраційного обладнання для формування плоских залізобетонних виробів / І. Назаренко, О. Дєдов, О. Дьяченко, А. Свідерський. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2017. Вип. 90. С. 49–58.
3. Study of technical systems of materials compaction process / I. Nazarenko et al. *Dynamic processes in technological technical systems : monograph*. Kharkiv, 2021. Чаp. 5. P. 77–93.
4. 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 (галузеве машинобудування, будівництво)*: 2015. Вип. 1 (43). С. 231–237.
5. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю. Вплив важільного закріплення віброзбуджувача на загальну ефективність віброущільнення. *Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво*. 2021. Вип. 1 (56). Т. 1. С. 12–17.
6. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю. Дослідження параметрів вібраційного столу з важільним закріпленням віброзбуджувача. *Modern engineering and innovative technologies*. 2023. Iss. 28, Part 1. P. 3–12.
7. Shigezuki D., Goryozono Y., Hashimoto S. Study on consolidation of concrete with vibration. *Physics Procedia*. 2012. Vol. 25. P. 325–332.
8. Пілюшенко В. Л., Шкрабак І. В., Славенко Е. І. Наукове дослідження: організація, методологія, інформаційне забезпечення : навч. посіб. Київ: Лібра, 2004. 344 с.
9. Сівко В. Й., Кузьмінець М. П. Оцінка впливу робочого середовища на режими коливань вібраційних машин. *Теорія і практика будівництва*. 2012. № 10. С. 3–5.

ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПЗ							
Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Лист	Листів	
Короб.	Корнієнко	<i>[Підпис]</i>	09.01	Н	53	5	
Перев.	Коротич	<i>[Підпис]</i>	09.01				
Н. контр.	Васильєв		12.01				
Дата	Орисенко	<i>[Підпис]</i>	12.01				

Список літератури

Національний університет
імені Юрія Кондратюка,
ННІТР, 2026 р.

33. Дворкін Л. Й. Будівельні в'язучі матеріали. Рівне : НУВГП, 2019. 622 с.
34. Dvorkin L., Nwaubani S., Dvorkin O. Construction Materials. New York : Nova Science Publ., 2010. 409 p.
35. Шаповал С. В. Конспект лекцій до вивчення дисципліни «Виробнича база будівництва» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання напряму підготовки «Будівництво»). Харків : ХНУМГ, 2013. 83 с.
36. Нестеренко М. М., Нестеренко Т. М., Скляренко Т. О. Теоретичні дослідження напружень в шарі легкобетонної суміші, що ущільнюється на ударно-вібраційній установці. *Building Innovations – 2018* : зб. наук. пр. I Міжнар. азербайджан.-укр. конф., 24 – 25 трав. 2018 р. Баку ; Полтава : ПолтНТУ, 2018. С. 168 –170.
37. Cannon R. W. Compaction of Mass Concrete with Vibratory Roller. *ACI Journal*. 1974. Proceeding v. 71. № 10. P. 506–513
38. Ратушняк Г. С., Слободян Н. М. Вібросилова технологія формування декоративних бетонних виробів : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. 161с.
39. Нестеренко М. П. Класифікація та оцінка споживчих якостей сучасних вібраційних машин для формування залізобетонних виробів. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. 2007. Вип. 20. С. 20–25.
40. Ратушняк, Г. С., Дудар І. Н., Бікс Ю. С. Прогнозування міцності та розподілу бокового тиску при виробництві пресованих бетонних дорожніх каменів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 120 с.
41. Загреба В. П., Дудар І. Н., Коваленко А. О. Технологія роздільного віброімпульсного формування каменебетонних виробів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2012. 92 с.

ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПЗ

Лист

56

№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

**Дослідження моделі вібростолу з
автоматичним важільним обертанням
вібробуджувача**

Презентаційні матеріали

ГММ.601-ММ.008-00.00.000ПМ

1. The first step in the process of the cell cycle is the G1 phase.

2. During the G1 phase, the cell grows and prepares for DNA replication.

3. The second step is the S phase, where DNA synthesis occurs.

4. This is followed by the G2 phase, where the cell continues to grow.

5. The final step is the M phase, where the cell divides.

6. The cell cycle is a continuous process that repeats itself.

7. The duration of the cell cycle varies between different cell types.

Загальна характеристика роботи

Мета

Дослідженні та обґрунтуванні параметрів вібраційного обладнання для віброформування бетонних виробів для підвищення його ефективності за рахунок використання автоматичного важільного обертання вібробудувача.

Задачі

- проведення розгляду методів віброформування;
- здійснення аналізу існуючих методів розрахунку основних параметрів віброплощадок;
- проведення розгляду механічної взаємодії бетонної суміші з робочими органами вібраційного формувального обладнання;
- проведення аналізу впливу вібраційних характеристик на процес віброформування;
- визначення актуальності дослідження та шляхів удосконалення вібраційної техніки;
- розроблення дослідної моделі;
- дослідження технологічних параметрів вібрації;
- обґрунтування ефективності запропонованої моделі вібраційного обладнання.

Об'єкт
дослідження

Робочій процес дослідного
віброформувального обладнання.

Предмет
дослідження

Параметри робочого процесу дослідного
віброформувального обладнання.

Методи
дослідження

Емпіричні методи збору інформації,
методи прогнозування та моделювання.

Загальний огляд процесу
віброформування



Розділ 1



Огляд попередніх досліджень



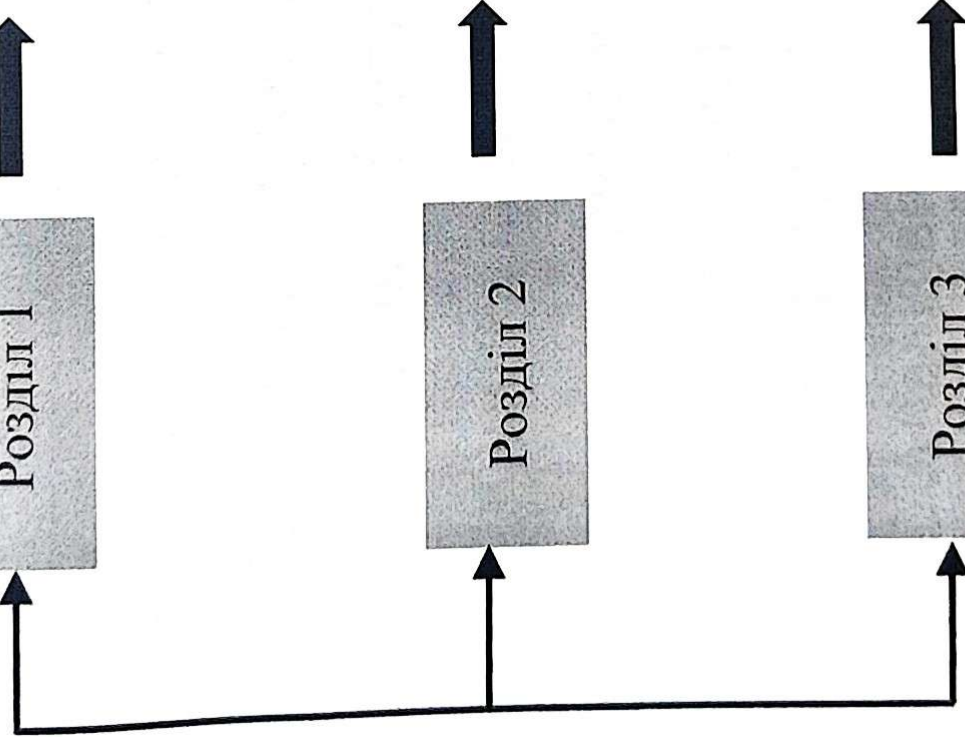
Розділ 2



Дослідження та обґрунтування
ефективності віброобладнання



Розділ 3



РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСУ ВІБРОФОРМУВАННЯ

1.1. Методи віброформування.

1.2. Аналіз існуючих методів розрахунку основних параметрів віброплощадок.

1.3. Оцінка параметрів по питомій потужності коливань при врахуванні хвильових процесів у бетонній суміші.

1.4. Механічна взаємодія бетонної суміші з робочими органами вібраційного формувального обладнання.

1.5. Аналіз впливу вібраційних характеристик на процес формування.

Віброформування використовують для рухомих, малорухомих і помірно жорстких бетонних сумішей, здатних до тиксотропного розрідження при відносно невеликій, але тривалій вібраційній дії. Розрізняють такі види віброуцільнення:

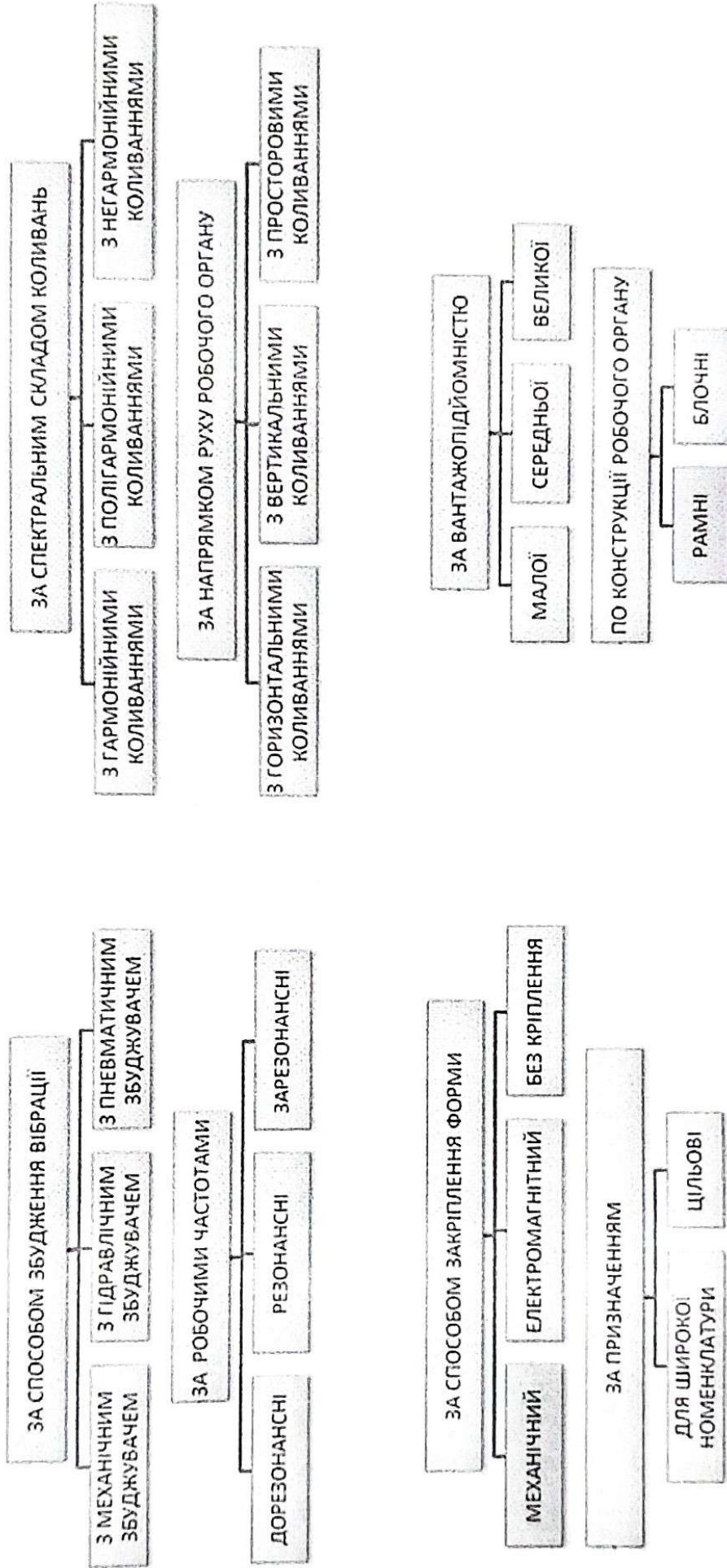
- **поверхневе**, коли вібраційні імпульси передаються через плоскі вібратори, що впливають на елементи форми;
- **глибинне**, коли коливання створюються за допомогою занурених у суміш глибинних вібраторів або вібровкладшів;
- **об'ємне**, коли виріб встановлюється на віброплощадці, що передає коливання до всієї маси суміші.

До основних параметрів, що визначають ефективність віброформування, належать:

- частота і амплітуда коливань;
- частота обертання дебаланса;
- маса дебаланса;
- жорсткість віброопор;
- місце розташування і напрям дії вібробуджувача відносно осі симетрії обладнання.

Вибір оптимальних параметрів вібрації здійснюється з урахуванням реологічних властивостей бетонної суміші (в'язкість, пластичність, тиксотропність), розмірів фракцій заповнювачів та геометричних параметрів форми.

Види існуючого віброформування обладнання



РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

- 2.1. Актуальність дослідження.
- 2.2. Шляхи удосконалення вібраційної техніки.
- 2.3. Загальний висновок по методам удосконалення вібраційної техніки.
- 2.4. Вібростіл з автоматичним важільним обертанням віброзбуджувача..
- 2.5. Вибір обладнання для досліджень.

Загальний висновок по методам удосконалення вібраційної техніки

Аналіз сучасного формувального обладнання показує, що велика кількість його різновидів є результатом багаторічних спроб конструкторів створити універсальні машини, здатні ефективно ущільнювати бетонні суміші різної жорсткості, складу та гранулометрії. Проте більшість відомих конструкцій працюють у межах традиційних стаціонарних режимів вібрації, можливості яких нині практично вичерпані. Це обмежує подальше підвищення якості ущільнення та енергоефективності процесу.

У сучасних умовах актуальним є створення вібраційних машин з можливістю регулювання інтенсивності вібраційного поля, що робить процес ущільнення більш гнучким і адаптованим до конкретних властивостей бетонної суміші.

Найвищої якості ущільнення бетонної суміші можна досягти за умов дії нестационарного вібраційного поля, параметри якого змінюються в процесі формування відповідно до поточного стану оброблюваного середовища — його реологічних характеристик, жорсткості, вологості та ступеня ущільнення. Такий підхід дозволяє забезпечити рівномірну передачу енергії в усі зони форми, оптимізувати енергоємність процесу, скоротити тривалість формування виробів і, як наслідок, підвищити якість та міцність готових конструкцій.

Вібростіл з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача

Виходячи із наданих висновків та слідуючи шляхам удосконалення віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів пропонується розглянути модель вібростолу с автоматичним важільним обертанням вібробуджувача.

Рухома рама вібростолу 1 встановлена на опорах нерухомої основи. У центральній частині її нижньої поверхні жорстко закріплена втулка 3, розташована під прямим кутом до площини столу, яка слугує опорою для важеля 4 з вібробуджувачем 2. Геометричні параметри втулки 3 та довжина важеля 4 визначаються конструкцією рами та умовами компоновки.

Робота вібростолу з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача здійснюється таким чином. Вібробуджувач 2 закріплений на важелі 4 та має можливість вільного обертання відносно осі втулки 3 завдяки наявності вузла підшипників 5, встановлених на болті 6.

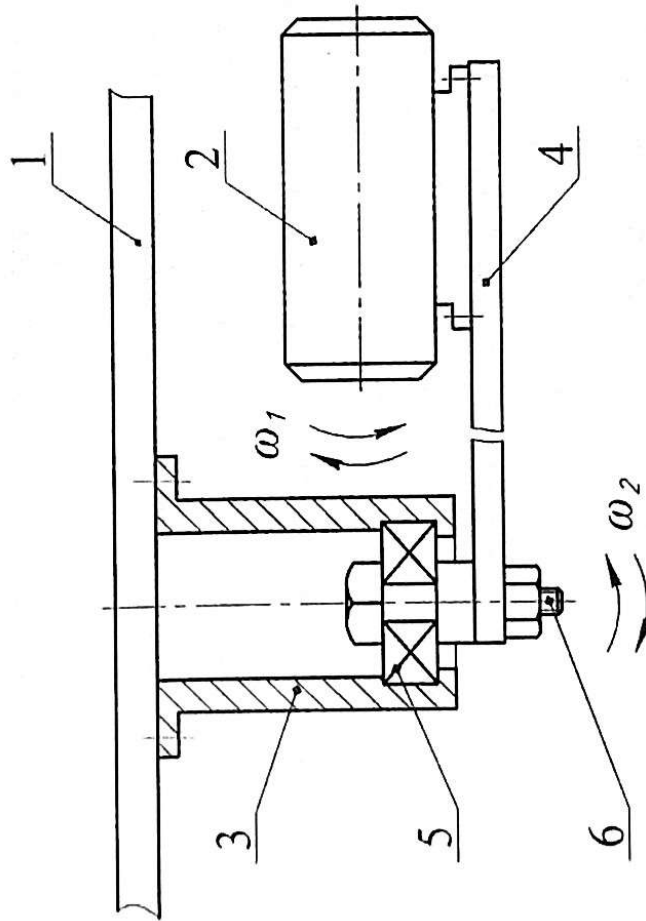


Рис. 2.3 Вібростіл з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача.

Вибір обладнання для досліджень

Одна з головних проблем в машинобудуванні, яка постійно потребує вирішення або удосконалення, це проблема енергозберігання та підвищення якості виробів.

Одним зі шляхів вирішення цих проблем є покращення або модернізація існуючого обладнання.

Для цього пропонується ефективна модель віброобладнання, в якій вібробуджувач закріплений у вільному просторі під віброплитою через важель, що має здатність обертання під час своєї роботи – змінювати своє геометричне положення відносно центру віброплити.

Пропонується дослідити технологічні параметри роботи даного обладнання, а саме величину віброприскорення вертикальних коливань робочого органу, на прикладі спеціально створеної дослідної моделі вібростолу та на базі результатів отриманих вимірювань оцінити ефективність запропонованої установки (моделі).

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІБРООБЛАДНАННЯ

- 3.1. Дослідна модель вібростолу з автоматичним важільним обертанням віброзбуджувача.
- 3.2. Методи вимірювання та вимірювальне обладнання.
- 3.3. Порядок досліджень та процес виміру віброприскорення.
- 3.4. Побудова діаграм віброприскорень.
- 3.5. Аналіз досліджень.

Вибір обладнання для досліджень

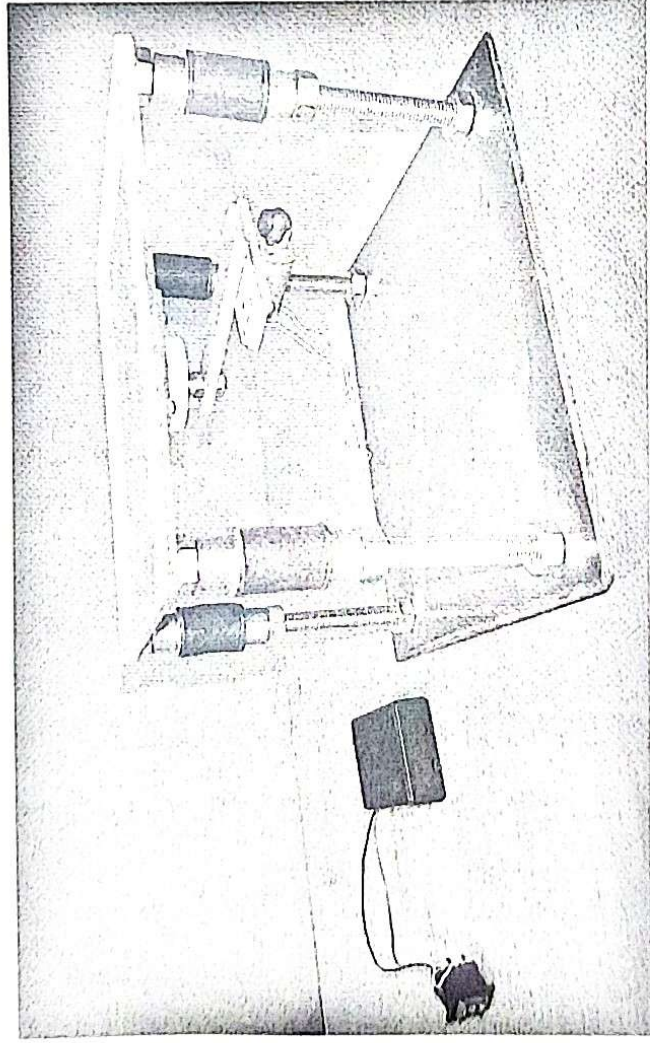


Рис. 3.1 Дослідна модель вібростолу з автоматичним важільним обертанням вібробуджувача.

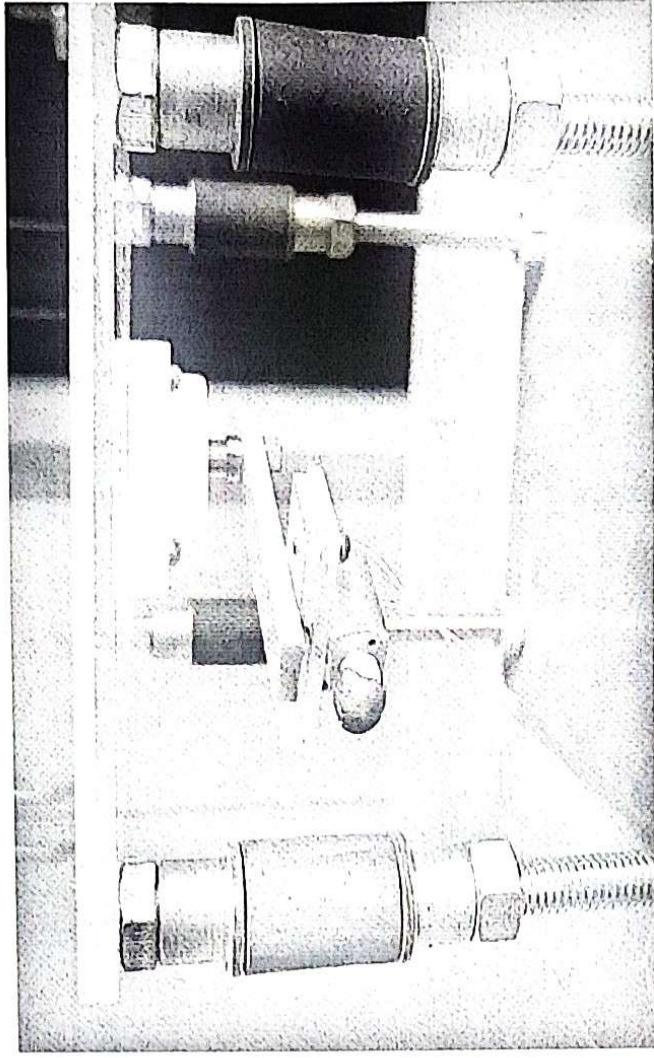


Рис. 3.3 Конструкція робочих вузлів дослідного вібростолу.

При включенні блоку живлення постійного струму здійснюється обертання валу з дебалансом. В цей же час важіль з вібробуджувачем починає плавний автоматичний обертальний рух навколо підшипникового вузла під впливом за рахунок дії сили Кориоліса. Повний цикл обертання триває 30 секунд.

Таблиця 3.1 Основні параметри вібрації

Параметр	Позначення	Одиниця вимірювання
Віброшвидкість	V_m	м/с
Амплітуда	X_m	м
Віброприскорення	a_m	м/с ²
Період коливань	T	с
Частота коливань	f	Гц

Найбільш впливовими параметрами при виготовленні бетонних виробів є амплітуда, віброшвидкість та віброприскорення – їх величина повинна мати чіткі фіксовані значення, недотримання яких приводить до значного зменшення якості виготовлюємої продукції.

Вимірювальне обладнання, яке застосовується для виміру вищезгаданих параметрів: віброметр ВІП-2, віброшумомір ВШВ-003-М2, віброметр GM63A.

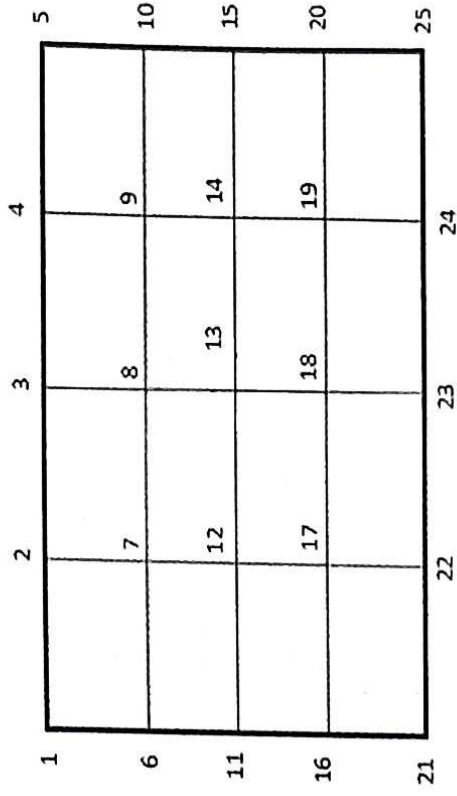
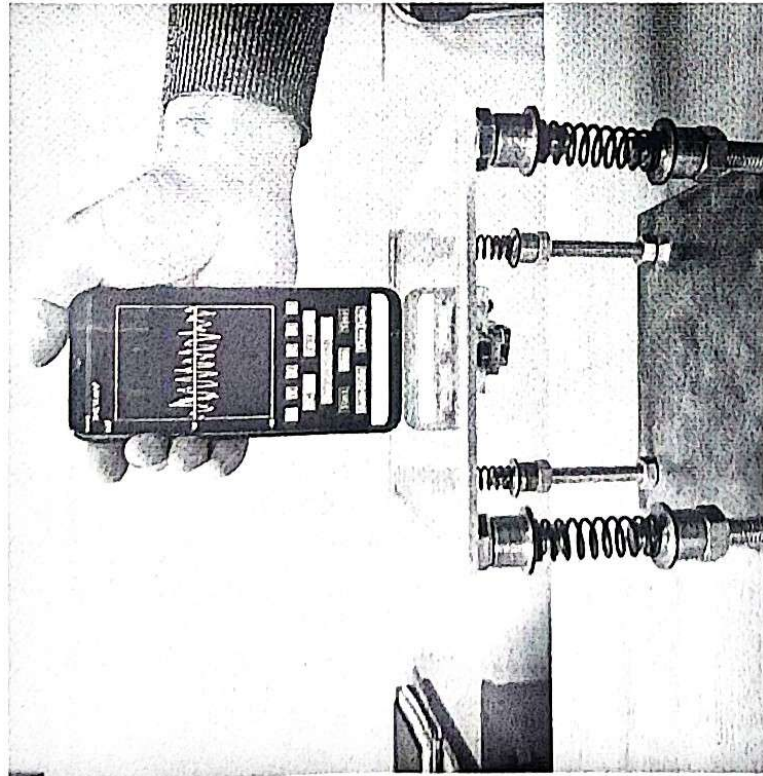
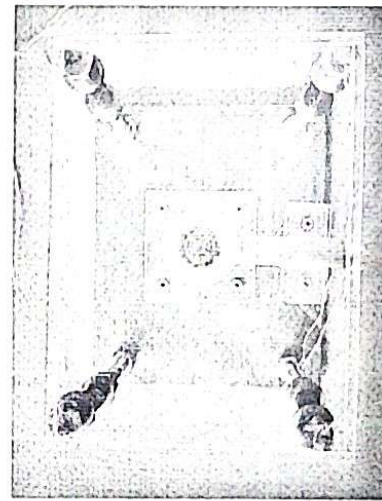
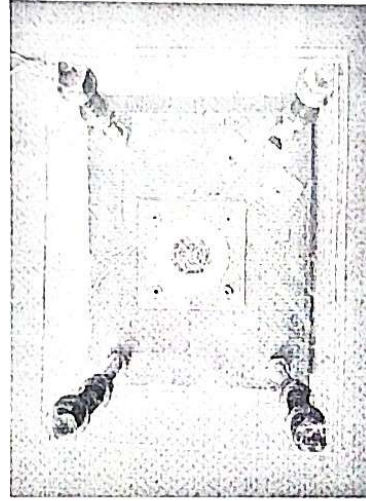
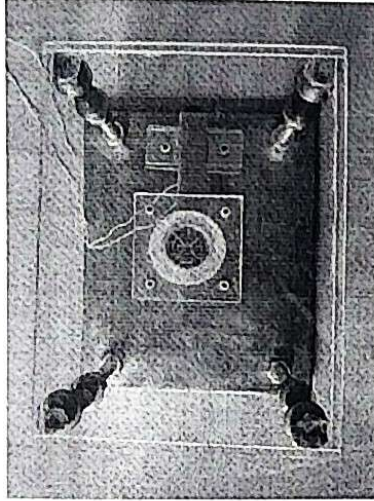


Рис. 3.4 Визначені точки на віброплиті для виміру віброприскорення.



Вимірювання проводилось для трьох позицій важеля :

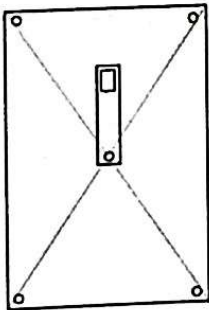
- позиція 1 – важіль направлений «на 3 години»;
- позиція 2 – важіль направлений «на 4-30 години»;
- позиція 3 – важіль направлений «на 6 годин».

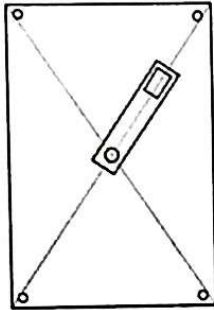


Таблиця 3.2. Значення віброприскорення вертикальних коливань.

№ точки виміру	Значення віброприскорення коливань a_w , м/с ²		
	Позиція 1	Позиція 2	Позиція 3
1.	0,4	0,35	0,4
2.	0,4	0,36	0,39
3.	0,35	0,39	0,36
4.	0,25	0,4	0,39
5.	0,2	0,4	0,4
6.	0,38	0,36	0,38
7.	0,36	0,35	0,36
8.	0,33	0,35	0,35
9.	0,23	0,37	0,36
10.	0,18	0,36	0,38
11.	0,37	0,39	0,35
12.	0,35	0,35	0,31
13.	0,3	0,3	0,3
14.	0,22	0,35	0,31
15.	0,18	0,3	0,35
16.	0,38	0,4	0,27
17.	0,36	0,37	0,23
18.	0,33	0,33	0,2
19.	0,23	0,23	0,23
20.	0,18	0,24	0,27
21.	0,4	0,4	0,22
22.	0,4	0,36	0,2
23.	0,35	0,3	0,19
24.	0,25	0,24	0,2
25.	0,2	0,2	0,22

Побудова діаграм віброприскорень

$$\begin{pmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.35 & 0.25 & 0.2 \\ 0.38 & 0.36 & 0.33 & 0.25 & 0.18 \\ 0.37 & 0.35 & 0.3 & 0.22 & 0.18 \\ 0.38 & 0.36 & 0.33 & 0.25 & 0.18 \\ 0.4 & 0.4 & 0.35 & 0.25 & 0.2 \end{pmatrix}$$


$$\begin{pmatrix} 0.35 & 0.36 & 0.39 & 0.4 & 0.4 \\ 0.36 & 0.35 & 0.35 & 0.37 & 0.36 \\ 0.39 & 0.35 & 0.3 & 0.33 & 0.3 \\ 0.4 & 0.37 & 0.35 & 0.25 & 0.24 \\ 0.4 & 0.36 & 0.3 & 0.24 & 0.2 \end{pmatrix}$$


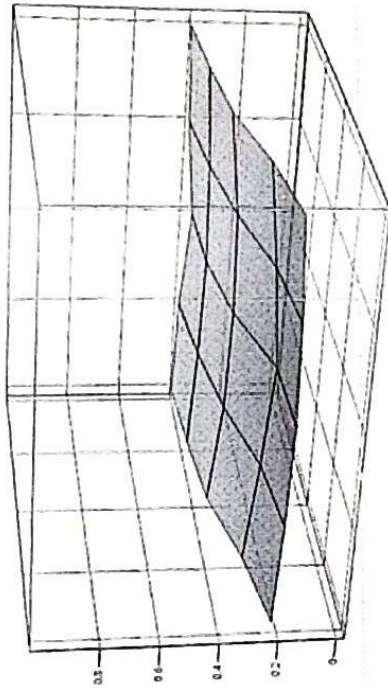
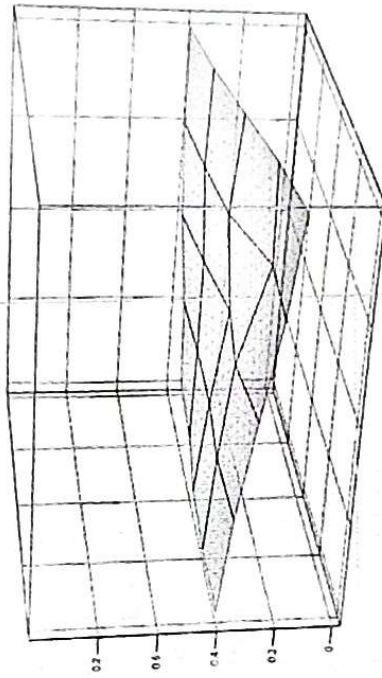
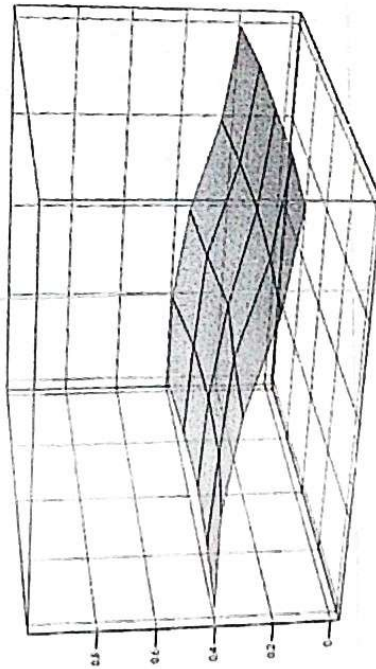
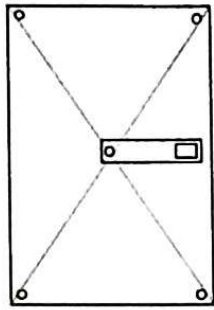
$$\begin{pmatrix} 0.4 & 0.39 & 0.36 & 0.39 & 0.4 \\ 0.38 & 0.36 & 0.35 & 0.36 & 0.38 \\ 0.35 & 0.31 & 0.3 & 0.31 & 0.35 \\ 0.27 & 0.25 & 0.2 & 0.23 & 0.27 \\ 0.22 & 0.2 & 0.19 & 0.2 & 0.22 \end{pmatrix}$$


Рис. 3.8 «Поле віброприскорень» вібростогу, позиція 1 - 3.

Аналіз досліджень

Аналізуючи побудовані 3-D поверхні, можемо стверджувати, що використання автоматичного важільного обертання приводить до наступного:

- величина віброприскорення коливань у визначеній точці робочого органу вібростолу змінюється в залежності від позиції важеля звіброзбуджувачем під віброплитою;
- числове значення віброприскорення змінюється приблизно у два рази за повний цикл обертання важеля на 360° ;
- у зоні віброплити, яка розташована над важелем, значення віброприскорення мінімальні;
- максимальні значення віброприскорення діють у найбільш віддалених від важеля з віброзбуджувачем зонах на поверхні віброплити;
- діапазон максимальних та мінімальних значень віброприскорення залежить від геометричних розмірів конструктивних елементів вібростолу.

Бетонна суміш, яка знаходиться у формі, під час віброуцільнення зазнає поперемінного впливу вібрації з різними значеннями амплітуди. Даний вид впливу, як було зазначено в попередніх розділах, сприяє кращому віброформуванню бетонної суміші та підвищує коефіцієнт ущільнення. Отже, можна стверджувати, що віброуцільнення бетонної суміші зі змінними параметрами є більш ефективним, ніж ущільнення в умовах сталого режиму.

Важливим фактором доцільності даного обладнання є також насамперед те, що для досягнення зміни діючих параметрів не застосовується додаткове дороговартісне обладнання, таке як частотно - регульовані асинхронні електроприводи. Зміна величини віброприскорення коливань (амплітуди) відбувається автоматично за рахунок вдалого конструктивного рішення без додаткових витрат.

Розглянувши переваги запропонованої конструкції вібростолу, з'ясуємо, що автоматичне обертання закріпленого на важелі віброзбуджувача дозволяє покращити однорідність бетонної суміші у формі, збільшити коефіцієнт ущільнення, що призведе до підвищення якості готових виробів без значних додаткових витрат.

Висновки

У результаті аналізу та експериментальних досліджень віброформувального обладнання з автоматичним важільним обертанням віброзбуджувача в межах магістерської роботи отримано науково обґрунтовані експериментальні дані, які мають практичну цінність і можуть бути використані для подальшого розвитку вібраційної техніки, а також для вдосконалення технологічних процесів у галузі виробництва будівельних матеріалів і конструкцій.

Визначивши мету дослідження, у ході роботи були вирішені наступні задачі.

- здійснення детального огляду та систематизації сучасних методів віброформування, що застосовуються у виробництві бетонних та залізобетонних виробів, з урахуванням їхніх конструктивних і технологічних особливостей;
- визначення актуальності обраної тематики дослідження, обґрунтування напрямів подальшого вдосконалення вібраційної техніки та підвищення її енергоефективності й надійності;
- проведення всебічного аналізу наявних аналітичних і експериментальних методик розрахунку основних параметрів віброплощадок;
- дослідження механічної взаємодії бетонної суміші з робочими органами вібраційного формувального обладнання, а також вивчення впливу реологічних властивостей суміші на характер і ефективність ущільнення;
- аналіз впливу основних вібраційних характеристик на процес віброформування, зокрема на інтенсивність ущільнення, рівномірність структури та якість готових виробів;
- розроблення дослідної моделі вібраційного обладнання, яка відтворює основні конструктивні та кінематичні особливості промислових зразків;
- експериментальне дослідження технологічних параметрів вібрації, насамперед віброприскорення коливань;
- обґрунтування ефективності запропонованої конструкції вібраційного обладнання на основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень, а також оцінка можливостей її практичного впровадження.

Доповідь закінчена.

Дякую за увагу!