

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого 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 амплітуди коливань
віброформувального обладнання з важелем**

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

133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Мар'єнко В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Коротич Ю. Ю.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Ахмеднабієв Р. М.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
КАФЕДРА ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕХАТРОНІКИ


**Дослідження амплітуди коливань
віброформуального обладнання з важелем**

Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження


ГММ.601-ММ.010-00.00.000 КРМ - ЛУ

Розробив здобувач групи 601-ММ

 Володимир МАР'ЄНКО
«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			<u>Документація загальна</u>			
3						
4			<i>Вперше розроблена</i>			
5						
6	A4	ГММ.601-ММ.010-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-	
7	A4	ГММ.601-ММ.010-00.00.000А	Анотація	4	-	
8	A4	ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	60	-	
9						
10			<u>Документація наукова</u>			
11						
12			<i>Вперше розроблена</i>			
13						
14	A4	ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПМ	Дослідження амплітуди коливань віброформуального обладнання з важелем			
15						
16						
17			Презентаційні матеріали	21	-	
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

Підп. і дата					ГММ.601-ММ.010-00.00.000ВР			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Дослідження амплітуди коливань віброформуального обладнання з важелем	Лит	Лист	Листів
Розроб.	Мар'єнко		<i>МВ</i>	09.01		Н	1	1
Перевір.	Коротич		<i>К</i>	09.01	Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2026 р.			
Н.контр.	Васильєв		<i>В</i>	12.01	Відомість кваліфікаційної роботи магістра			
Затв.	Орисенко		<i>О</i>	14.01	Копіював			
Інв. № вісн.					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

Олександр ОРИСЕНКО

«03» 09 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мар'єнку Володимиру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: Дослідження амплітуди коливань
віброформуального обладнання з важелем

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
віброформуального обладнання. Технологічні параметри процесу
віброуцілення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити): Зміст. Вступ. 1. Загальний розгляд віброформуального обладнання. 2.
Огляд попередніх досліджень. 3. Дослідження та обґрунтування параметрів
віброформуального обладнання. Висновки. Список літератури.

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

Анотація

В. В. Мар'єнко. Дослідження амплітуди коливань віброформувального обладнання з важелем. – 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 він потребує значних енерговитрат. В даній роботі досліджується метод підвищення ефективності вібраційного столу за допомогою важільного закріплення віброзбуджувача.

У першому розділі наведено принципи і етапи віброущільнення бетонних сумішей, розглянута класифікація віброформувального обладнання та зроблено огляд типів та конструктивних особливостей віброформувального обладнання. Також розглянутий вплив параметрів вібрації на якість ущільнення бетонних сумішей.

У другому розділі проводиться докладний огляд процесу віброущільнення бетонних сумішей і шляхів підвищення його ефективності. Далі проведений патентний огляд віброобладнання-аналогів та представлена загальна методика розрахунку віброплощадок з вертикальними коливаннями. Як підсумок, зроблений вибір об'єкту дослідження та визначена метою даного дослідження.

Третій розділ складається з опису дослідного віброформувального обладнання для виробництва бетонних виробів, вибору вимірювального

					ГММ.601-ММ.010-00.00.000А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Мар'єнко		<i>MM</i>	09.01			
Перев.	Коротич		<i>KK</i>	09.01	Лім.	Лист	Листів
					Н	1	4
Н.контр.	Васильєв		<i>VA</i>	12.01	Анотація Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2026 р.		
Зате.	Орисенко		<i>OR</i>	19.01			

concrete products for their production on this vibroforming equipment is given and recommendations have been developed regarding the length and design of the lever for mounting the vibrator.

The volume of the master's thesis is 60 sheets of explanatory note in A4 format and 21 sheets of presentation materials in A4 format.

Keywords: vibration amplitude, vibration table, concrete products, compaction, vibration exciter.

					ГММ.601-ММ.010-00.00.000А	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 амплітуди коливань
віброформувального обладнання з важелем

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

ГММ.601-ММ.010–00.00.000ПЗ

Полтава – 2026 року

Зміст

Вступ.....	4
1. Загальний огляд віброформувального обладнання.....	6
1.1 Принцип і етапи віброуцільнення бетонних сумішей.....	6
1.2 Класифікація віброформувального обладнання.....	10
1.3 Типи та конструктивні особливості віброформувального обладнання.....	13
1.4 Вплив параметрів вібрації на якість ущільнення бетонних сумішей.....	18
2. Огляд попередніх досліджень.....	22
2.1 Процес віброуцільнення бетонних сумішей і шляхи підвищення його ефективності.....	22
2.2 Огляд віброобладнання-аналогів.....	24
2.2.1 Вібростіл для виготовлення малогабаритних бетонних виробів.....	24
2.2.2 Віброустановка для виготовлення малогабаритних бетонних і залізобетонних виробів.....	27
2.2.3 Вібромайданчик з похилим встановленням віброзбуджувача.....	29
2.3 Методика розрахунку віброплощадки з вертикальними коливаннями.....	34
2.4 Вибір об'єкту дослідження.....	35
3. Дослідження віброформувального обладнання.....	39
3.1 Технічна характеристика.....	39
3.2 Дослідження впливу важільного закріплення віброзбуджувача на величину амплітуди вимушених коливань.....	41

ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПЗ							
Зм.	Лис	№ докум.	Підп.	Дат	Зміст Літ. Лист Листів Н 2 2 Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2026 р.		
Розроб.	Мар'єнко	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>	09.01			
Перев.	Коротич	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>	09.01			
Н.контр.	Васильєв	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>	12.01			
Затв.	Орисенко	<i>[підпис]</i>	<i>[підпис]</i>	12.01			

3.3	Визначення рівня впливу важільного закріплення вібробуджувача на величину амплітуди віброколивань.....	46
3.4	Номенклатура видів бетонних виробів для їх виробництва на даному віброформувальному обладнанні..	51
3.5.	Рекомендації щодо довжини та конструкції важеля для закріплення вібробуджувача на віброформувальному обладнанні.....	54
	Висновки.....	56
	Список літератури.....	58
	Презентаційні матеріали	

ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПЗ

Лист

3

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

Вступ


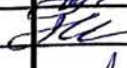


Магістерська робота присвячена розгляду віброформувального обладнання для виробництва бетонних виробів, дослідженні та обґрунтуванні його параметрів та конструкції для модернізації виробничого процесу при виробництві конкретного бетонного виробу. Віброформування бетонних сумішей є найбільш поширеним серед багатьох способів завдяки простоті обладнання та високій ефективності. В той же час цей процес потребує значних енерговитрат. В даній роботі пропонується метод підвищення ефективності віброформувального обладнання за рахунок впровадження важільного закріплення віброзбуджувача при виробництві бетонних плит з отвором для люку.

Мета дослідження. Мета роботи полягає в дослідженні та обґрунтуванні параметрів віброформувального обладнання для виробництва бетонних виробів для підвищення його ефективності та енергозощадження за рахунок важільного закріплення віброзбуджувача.

Для досягнення поставленої мети в даній роботі були сформульовані та вирішені наступні завдання досліджень:

- здійснено аналіз існуючих конструкцій віброформувального обладнання, а також розглянуто сучасні підходи до підвищення їх ефективності, зокрема енергоефективності;
- проведено оцінку процесу віброуцільнення бетонних сумішей та визначено можливі напрями його вдосконалення;
- розглянуто вплив параметрів вібрації на якість уцільнення бетонних сумішей;
- виконано експериментальні дослідження на діючому віброформувальному обладнанні;

ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Мар'єнко		09.01	Н	4	2
Перев.		Коротич		09.01	Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2026 р.		
Н.контр.		Васильєв		12.01			
Затв.		Орисенко		19.01			

– здійснено аналіз отриманих експериментальних результатів та узагальнено основні висновки;

– розроблено практичні рекомендації щодо вибору оптимальних технологічних параметрів роботи обладнання.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи, спрямованої на дослідження конструкції віброформуального обладнання для виготовлення бетонних виробів, застосовувались як загальні, так і спеціальні методи наукових досліджень [8].

До загальних методів належать теоретичні та емпіричні підходи, що забезпечили комплексний аналіз процесів віброущільнення.

Серед спеціальних методів використано економіко-статистичний аналіз, функціонально-вартісний метод, а також методи прогнозування і моделювання.

Об'єктом досліджень є робочий процес дослідного віброформуального обладнання.

Предметом дослідження є параметри робочого процесу дослідного віброформуального обладнання.

					ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		5

1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ВІБРОФОРМУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Принцип і етапи віброущільнення бетонних сумішей.

Процеси віброущільнення відіграють важливу роль у будівництві та під час виготовлення будівельних і конструкційних матеріалів. Їх широко застосовують для ущільнення бетонних сумішей під час формування різних бетонних і залізобетонних виробів — плит перекриття, тротуарної бруківки, перегородок, бордюрів, палей тощо [1]. Використання цієї технології суттєво підвищує продуктивність і якість будівельних робіт. На сучасному етапі віброущільнення бетонних виробів є обов'язковим етапом у процесі будівництва, що детально вивчався багатьма дослідниками [2–4, 9]. Під час виробництва бетонних і залізобетонних елементів ця операція є однією з найвідповідальніших технологічних стадій, адже виготовлення бетонних виробів без віброущільнення фактично не застосовується.

Широке використання бетонних виробів зумовлене їхньою довговічністю, високою точністю геометричних параметрів, міцністю та можливістю гнучкого переобладнання виробництва для випуску продукції різних форм і розмірів. Після монтажу бетонні конструкції одразу готові до експлуатації, тобто можуть відразу приймати робочі навантаження. Така властивість є важливою перевагою цих виробів порівняно з іншими будівельними та конструкційними матеріалами.

Процес віброущільнення відбувається завдяки здатності бетонних сумішей розріджуватися та рівномірно заповнювати форму під впливом вібраційних коливань.

ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Мар'єнко	<i>МР</i>	09.01	Н	6	
Перев.		Коротич	<i>КР</i>	09.01			
Н. контр.		Орисенко	<i>Ор</i>	12.01			
Затв.		Орисенко	<i>Ор</i>	19.01			

Огляд віброформуального обладнання

Національний університет імені Юрія Кондратюка
ННІТР 2026

Сучасний підхід до впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій у виробництво бетонних виробів передбачає розроблення й застосування найбільш ефективних та економних методів ущільнення бетонної суміші. Кожен із таких методів [10], окрім енергоощадності, повинен також відповідати таким вимогам:

1) Частинки бетонної суміші під час ущільнення мають максимально зблизитися між собою без розшарування суміші та без механічного руйнування зерен заповнювача.

2) У процесі подальшого твердіння суміші необхідна кількість води затвору повинна залишатися в зразку сформованого бетонного виробу.

3) За умови дотримання оптимальної технології ущільнення твердих сумішей слід використовувати склади бетону з таким вмістом цементу, який забезпечує отримання якісних і довговічних виробів із заданими характеристиками.

4) Технологічний процес виготовлення бетонних виробів має постійно вдосконалюватися з урахуванням можливостей сучасних в'язучих речовин і пластифікаторів для підвищення якості готової продукції.

Окрім наведених вище вимог, важливо, щоб для кожного типу бетонних сумішей застосовувалася відповідна технологія ущільнення згідно з державними стандартами. Для сумішей із мінімальним вмістом води, тобто для важких бетонів, доцільно використовувати вібрування з притисканням або механічне трамбування. З появою високоякісних цементів почали застосовувати так звані литі суміші з підвищеним вмістом води, які ущільнюються звичайним вібруванням — процес при цьому відбувається під дією власної ваги заповнювача.

Найпоширенішими у сучасному будівництві є малопластичні бетонні суміші, які ущільнюються під дією вібрації. Такий метод забезпечує повне заповнення форми будь-якої складності та отримання якісного бетонного виробу. Сьогодні вібраційна технологія ущільнення бетонних сумішей є

					ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

найпоширенішою і зберігатиме своє значення в майбутньому. Тому питання вдосконалення вібраційних режимів, правильного вибору та ефективного застосування технологій залишаються надзвичайно актуальними.

Головним завданням теорії вібрування цементобетонних сумішей є формулювання робочої гіпотези, що описує процес деформування ущільнюваного середовища, а також обґрунтування вибору технологічного обладнання та вібраційних режимів із мінімальними енерговитратами.

Основна гіпотеза вібраційного ущільнення передбачає перехід бетонної суміші під дією вібрації у тиксотропний стан. У цьому стані суміш набуває підвищеної плинності, що призводить до зменшення сил в'язкого опору й сприяє зближенню частинок під впливом сил тяжіння та динамічних коливань.

Загалом процес ущільнення бетонної суміші [16] умовно поділяють на кілька послідовних стадій.

На **першій стадії** відбувається формування суцільного середовища з рихло-насіпаної бетонної маси. У цей період частинки заповнювачів — як дрібні, так і великі — взаємно переміщуються, утворюючи структурний каркас бетону, тобто його макроструктуру. Тривалість першої стадії залежить від початкової жорсткості суміші: для литих бетонів (P4) вона становить 3–5 секунд, а для жорстких — приблизно (0,5...1,0) Ж, де Ж — жорсткість бетонної суміші, визначена за ДСТУ Б В.2.7-96-2000.

Друга стадія характеризується подальшим зближенням частинок заповнювача та виходом залишкового повітря. Тривалість цього етапу зазвичай складає (1,0...4,0) Ж.

Жорсткі бетонні суміші можуть ущільнюватися додатково шляхом статичного або динамічного обтискання, яке здійснюють після завершення перших двох стадій. Для рухливих сумішей (P2...P4) чіткий поділ на стадії практично відсутній через швидке протікання процесу ущільнення.

В залежності від жорсткості бетонні суміші класифікуються наступним чином (таблиця 1.1).

					ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		8

Таблиця 1.1. – Класифікація бетонних сумішей за легкоукладальністю.

Марка жорсткості	Позначення	Показник легкоукладальності	
		Жорсткість Ж, с	Рухомість Р, см
Жорсткі	Ж4	31 – 60	–
	Ж3	21 – 30	–
	Ж2	11 – 20	–
	Ж1	5 – 10	–
Рухомі	P1	–	1 – 4
	P2	–	5 – 9
	P3	–	10 – 15
	P4	–	16 – 20
	P5	–	21 та більше

Для здійснення процесу вібраційного ущільнення застосовують обладнання, яке створює вібраційні, ударно-вібраційні або ударні дії. Робочі елементи вібраційно-формувальних машин без наявності бетонної суміші виконують гармонійні коливання відносно положення рівноваги. При цьому технологічні параметри — вібропереміщення, віброшвидкість і віброприскорення — залишаються симетричними відносно цієї рівноваги.

Тривалість віброформування залежить від форми та розмірів виробу, наявності арматури, типу обладнання, інтенсивності вібраційного впливу та жорсткості бетонної суміші.

Зазвичай час віброущільнення приймають орієнтовно рівним подвоєному показнику жорсткості суміші, після чого його уточнюють експериментально.

Контроль відповідності фактичних параметрів вібрації стандартним слід проводити щотижня у шести–семи характерних точках за номінального навантаження обладнання. Для вимірювання параметрів коливань дозволяється використовувати будь-яку апаратуру, здатну реєструвати відповідні характеристики вібрації.

Контроль ступеня ущільнення бетонної суміші здійснюється відповідно до вимог державного стандарту ДСТУ Б В.2.7-96-2000 [24]. Згідно з цим

ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ

Лист

9

Зм. Лист № докум. Підп. Дата

стандартом, фактичне значення середньої щільності ущільненої бетонної суміші порівнюють із теоретичним, після чого визначають коефіцієнт ущільнення:

$$K_y = \frac{\rho_{\Phi}}{\rho_T}; \quad (1.1)$$

Рекомендоване значення коефіцієнта ущільнення становить $K_y = 0,98$.

Однорідність ущільнення бетонної суміші у готовому виробі рекомендується перевіряти за допомогою методів неруйнівного контролю бетону згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-226:2010. Для цього може застосовуватися, зокрема, ультразвуковий метод контролю.

Оцінювання якості ущільнення бетонної суміші при заданих виробничих режимах здійснюють шляхом випробувань на міцність спеціально виготовлених зразків-кубів, відповідно до ДСТУ Б В.2.7-214:2010. Форми із зразками необхідно ущільнювати на тому ж обладнанні, яке підлягає перевірці.

Час ущільнення визначають до моменту появи на поверхні бетонної суміші так званого цементного молочка, після чого вібрацію припиняють через 10–15 секунд.

Отримані зразки випробовують на межу міцності при стисканні згідно з вимогами до відповідної марки бетону.

1.2 Класифікація віброформувального обладнання.

Вібраційний метод ущільнення є основним під час виготовлення бетонних і залізобетонних виробів та належить до найвідповідальніших операцій у технологічному процесі. Тому до обладнання, призначеного для ущільнення цементобетонних сумішей, висуваються підвищені вимоги.

Таке обладнання має відзначатися простою конструкцією, високою надійністю, помірною металоємністю та низькою енергоємністю. Сукупність цих характеристик повинна забезпечувати ефективне ущільнення бетонної суміші.

					ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		10

У серійному та масовому виробництві бетонних і залізобетонних виробів віброформувальне обладнання повинно забезпечувати формування виробів із жорстких і малорухливих цементобетонних сумішей. Це сприяє зниженню витрат цементу та підвищенню міцності готових виробів під час їх віброформування.

Для забезпечення ефективної та стабільної роботи віброформувальних машин, що відповідають зазначеним вимогам, необхідно точно визначити їх основні параметри та встановити оптимальні вібраційні режими. Вони залежать від таких факторів, як тривалість ущільнення, форма і розміри виробу, якість поверхні, а також механічні властивості бетонної суміші.

Побудова аналітичних залежностей між цими показниками та параметрами вібраційного обладнання можлива на основі теорії вібраційного ущільнення цементобетонних сумішей, яка має бути математично обґрунтованою та експериментально перевіреною. Однак на сьогодні жодна з існуючих гіпотез вібраційного ущільнення не набула статусу повноцінної теорії, що свідчить про відсутність єдиної загальноприйнятої методики розрахунку параметрів вібраційних формувальних машин.

Розроблення такої теорії, а також вивчення взаємодії вібраційної машини з ущільнюваним цементобетонним середовищем, представленим як система з розподіленими параметрами, створює підґрунтя для розробки конструкцій та методик розрахунку параметрів енергозберігаючого й високоефективного обладнання для формування бетонних і залізобетонних виробів.

Вібраційне обладнання класифікують за кількома основними ознаками: типом вібратора, характером і напрямком вібраційних коливань, способом формування, кількістю коливальних мас, а також співвідношенням між вимушеними та власними частотами коливань.

1. За характером і напрямком коливань виділяють такі типи обладнання:

- з гармонійними коливаннями — круговими, а також з напрямом коливань у вертикальній або горизонтальній площинах;

- з негармонійними коливаннями (ударно-вібраційними або ударними), у яких ущільнюючі дії спрямовані горизонтально чи вертикально;
- з просторовими та багатоконпонентними коливаннями, що поєднують кілька напрямків одночасно.

2. За способом вібраційного формування обладнання поділяється на:

- вібраційні майданчики;
- установки з горизонтальними коливаннями;
- вібраційні штампи;
- ковзні вібропротяжні пристрої;
- глибинні вібраційні машини;
- формувальні установки комбінованих типів.

3. За співвідношенням між вимушеними та власними частотами коливань розрізняють:

- дорезонансне,
- резонансне,
- зарезонансне обладнання.

4. За типом вібратора обладнання може бути оснащене:

- дебалансним,
- електромагнітним,
- кривошипно-шатунним,
- комбінованим вібробудувачем коливань.

5. За кількістю коливальних мас розрізняють:

- одномасові,
- двомасові,
- трьохмасові системи вібраційного обладнання.

ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ

Лист

12

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

1.3 Типи та конструктивні особливості віброформувального обладнання.

Серед усіх існуючих способів ущільнення бетонних сумішей найбільш поширеним у підприємствах будівельної індустрії є метод об'ємного вібраційного ущільнення. При цьому способі виготовлення бетонних і залізобетонних виробів для ущільнення суміші використовують вібраційні установки (майданчики) або віброформувальне обладнання. Таке обладнання повинне забезпечувати високу продуктивність і якість продукції, а також мати можливість швидкого переналагодження виробничих ліній залежно від номенклатури виготовлюваних виробів.

Одним із найпоширеніших способів віброформування є віброущільнення на верстаті. У цьому випадку [25] форма з бетонною сумішшю встановлюється на вібраційний стіл, який піддається коливанням, створюваним вібратором. Для верстатного ущільнення застосовують вібростоли різних типів, що і становить технологічну особливість даного методу.

Вібраційні столи класифікують за:

- компонованням стола і вібратора;
- вантажопідйомністю;
- технологічними параметрами вібрації.

Розрізняють вібростоли з вертикально спрямованими коливаннями, які мають один стіл із приєднаним до нього знизу вібратором, а також вібростоли блочного типу, що складаються з окремих блоків, під кожним із яких розташовано окремий вібратор.

Основна перевага верстатного віброущільнення полягає у високій технологічній універсальності за переліком виробів, які можуть бути сформовані. Головними параметрами вібраційного процесу є амплітуда вібропереміщення A (мм) і частота вібрації f (Гц); усі інші параметри є їх похідними.

У виробничій практиці при вібруванні бетонних сумішей використовують вібростоли з частотою коливань 20–80 Гц, причому найбільш ефективним режимом є 25–50 Гц при амплітуді вібропереміщення 0,25–0,8 мм.

Вібраційні установки, призначені для ущільнення тротуарних плиток, блоків, бетонної цегли, перегородок та фігурних елементів мощення, належать до малогабаритного вібраційного обладнання. У них відбувається процес віброформування, який характеризується зазначеними параметрами — амплітудою та частотою коливань.

Завдяки інтенсивній дії на бетонну суміш цей спосіб отримав загальну назву вібраційного ущільнення. Очевидно, що основними характеристиками процесу є амплітуда, частота, швидкість і прискорення коливань, а також тривалість ущільнення.

На рисунку 1.1 наведені типові схеми конструкцій вібраційних столів за способом приводу:

- з одним навісним вібратором;
- з двома навісними вібраторами;
- з приводом від окремого електродвигуна.

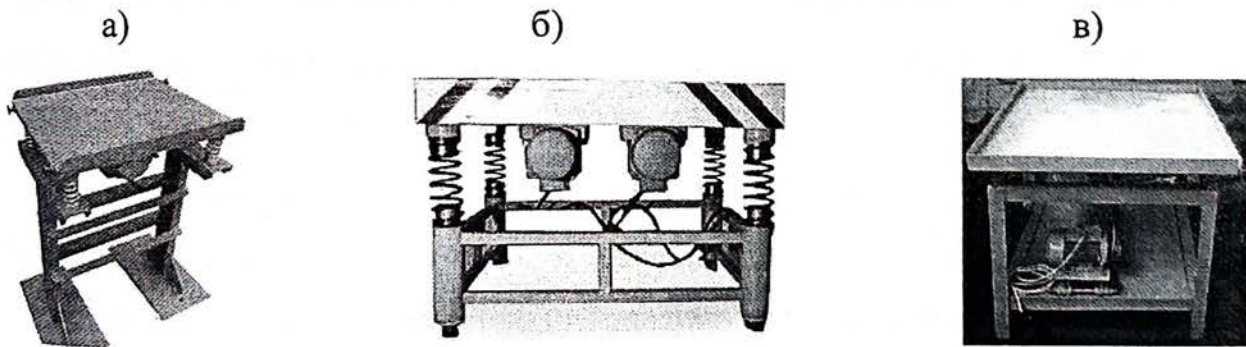


Рис.1.1 Типові конструкції вібростолів для формування: а – із одним навісним вібратором; б – із двома навісними вібраторами; в– із приводом від електродвигуна.

Малогабаритне віброформувальне обладнання, залежно від типу вібраційних коливань, поділяється на установки з круговими коливаннями (рис. 1.1, а, в) та з напрямленими коливаннями (рис. 1.1, б).

Під час віброуцільнення бетонних сумішей на таких установках зазвичай застосовується лінійний (гармонійний, синусоїдальний) режим роботи.



Рис. 1.2 Схема віброустановки з гармонійним режимом.

У гармонійному режимі роботи (рис. 1.2) основними технологічними параметрами, що визначають хід робочого процесу, є амплітуда та частота віброколивань. Їх вибір здійснюється залежно від складу бетонної суміші, а також від габаритів або маси виробу, який формується. Саме ці параметри забезпечують досягнення необхідного ступеня щільності та однорідності бетонних виробів під час віброформування.

Для прикладу, зменшення ступеня ущільнення бетонної суміші лише на 1 % призводить до зниження міцності готового бетону на 5...7 %.

У технічній літературі [23] наведено рекомендовані співвідношення між амплітудою та частотою коливань для лінійного вібраційного обладнання, які подані в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Рекомендовані значення амплітуди та частоти віброколивань для лінійного віброобладнання.

Частота коливань, c^{-1}	Амплітуда коливань, мм
157	0,8...1,2
250	0,6...0,8
314	0,6...0,8

Серед вібраційного обладнання з вертикальними коливаннями найбільше поширення у виробництві будівельних виробів отримали установки, які за кількістю коливальних мас поділяються на одномасові та двохмасові системи. Схематичне зображення таких вібраційних систем наведено на рисунку 1.3.

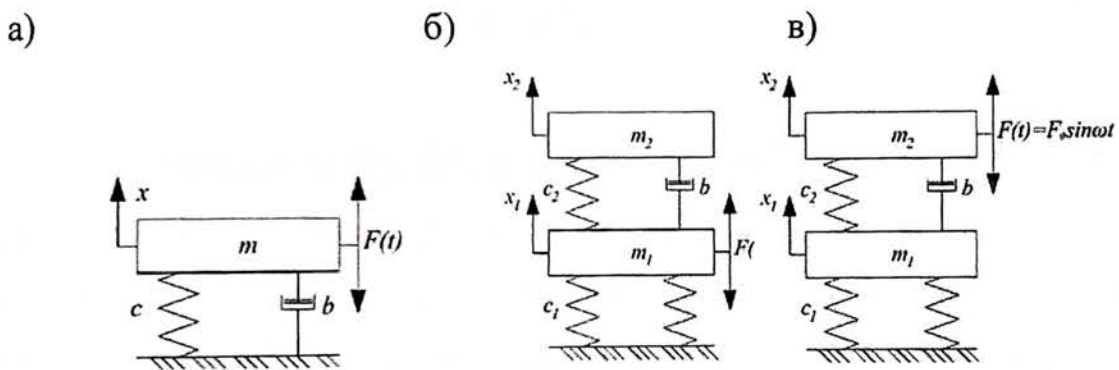


Рис.1.3 Схеми, за якими побудовані вібраційні майданчики з вертикальними коливаннями: а) одномасова; б) двохмасова з прикладенням змушуючої сили до нижньої маси; в) двохмасова з прикладенням змушуючої сили до верхньої маси.

Кожен із зазначених типів вібраційних систем має свої переваги та недоліки.

Вібраційні столи, виконані за одномасовою схемою, відзначаються простотою конструкції та високою надійністю у роботі. Вони функціонують у стійкому зарезонансному режимі, який характеризується співвідношенням між частотою вимушених коливань ω та вільних ω_0 коливань:

$$\omega / \omega_0 = 7 \dots 10.$$

(1.2)

У цьому випадку забезпечується віброізоляція фундаменту обладнання та, відповідно, захист персоналу, який працює на ньому, від шкідливого впливу вібрацій.

Разом з тим, недоліком такої схеми є підвищене енергоспоживання: хоча робота у зарезонансному режимі є стабільною, вона супроводжується значними втратами енергії, необхідної для підтримання коливань.

Цю проблему можна усунути, застосувавши резонансний режим віброколивань, за якого вимушена частота коливань ω збудуючої сили наближається до власної частоти коливань ω_0 віброобладнання:

$$\omega / \omega_0 \approx 1.$$

(1.3)

У цьому випадку відбувається врівноваження пружних та інерційних сил у вібраційній системі. Вимушуюча сила компенсується лише силами опору, величина яких порівняно невелика. Завдяки цьому для досягнення необхідної амплітуди коливань у резонансному режимі потрібна менша збудуюча сила, ніж у зарезонансному режимі роботи.

Однак на практиці резонансний режим віброколивань одномасових систем майже не застосовується, оскільки для забезпечення високої власної частоти коливань віброобладнання, яка визначається за формулою:

$$\omega_0 = \sqrt{c/m};$$

(1.4)

потрібно, при незмінній масі всієї вібраційної системи m , застосовувати жорсткіші віброопори, що, у свою чергу, призводить до майже повної передачі вібраційних коливань на фундамент, на якому працює персонал, що обслуговує даний вібраційний стіл.

ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ

Лист

17

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

режим роботи віброприводу. Оптимальне поєднання цих параметрів забезпечує рівномірне розподілення частинок заповнювача, мінімізацію кількості пор у структурі бетону та досягнення максимальної щільності матеріалу.

Одним із найважливіших факторів є частота вібрації. Зі збільшенням частоти інтенсивність переміщення частинок у суміші зростає, проте надмірно висока частота може призвести до розшарування бетонної маси або утворення так званого «цементного молока» на поверхні. Для різних типів сумішей встановлено орієнтовні оптимальні діапазони: для рухомих складів — 30–50 Гц, для жорстких і малорухомих — 70–100 Гц. Ці параметри вибираються з урахуванням розміру зерен заповнювача, вологості та вмісту цементного компонента.

Другим за значенням фактором є амплітуда коливань, яка визначає величину зсувів частинок у бетонній суміші. Для ефективного ущільнення зазвичай застосовують амплітуди в межах 0,3–1,2 мм. При менших значеннях коливальна енергія недостатня для подолання внутрішнього тертя частинок, що призводить до неповного видалення повітря з маси бетону. При надто великих амплітудах, навпаки, виникає небезпека порушення однорідності суміші, осідання крупних заповнювачів і появи пустот у верхніх шарах виробу.

Велике значення має також прискорення вібраційного руху, яке визначається добутком квадрату частоти на амплітуду. Дослідження показали, що для більшості бетонних сумішей оптимальним є діапазон прискорень від 30 до 80 м/с². При таких значеннях забезпечується активне переміщення частинок і швидке витіснення повітря з пор без руйнування структури суміші.

Тривалість віброущільнення повинна бути достатньою для досягнення стану, коли з маси повністю видаляється повітря, а поверхня бетону стає блискучою та однорідною. Зазвичай час ущільнення змінюється в межах 30–120 секунд залежно від консистенції суміші та конструкції вібростолу. Надмірно тривала вібрація не підвищує щільності, але сприяє розшаруванню суміші й перевитраті енергії.

ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ

Лист

19

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

Особливу роль у забезпеченні якості ущільнення відіграє режим вібраційного впливу — гармонійний або імпульсний. Гармонійний режим характеризується стабільними параметрами коливань, що дозволяє досягти рівномірної щільності. Імпульсний або змінний режим, коли амплітуда чи частота періодично змінюються, ефективний при ущільненні складних за формою виробів і жорстких бетонів, оскільки сприяє переміщенню частинок у важкодоступних зонах форми.

Вплив параметрів вібрації на якість ущільнення бетонних сумішей

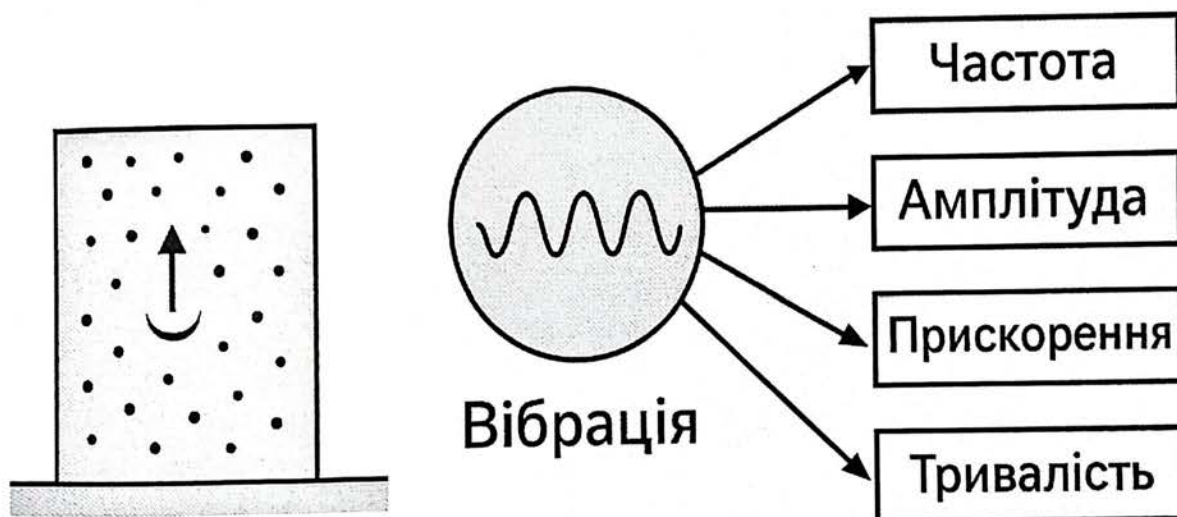


Рис.1.4 Діючі чинники вібровпливу.

На якість ущільнення впливають також властивості самої суміші — її жорсткість, вологість, вміст пластифікаторів, температура. Наприклад, застосування хімічних добавок пластифікуючого типу дає змогу зменшити енергозатрати на віброущільнення на 15–25 %, а також скоротити тривалість обробки.

Таким чином, ефективність процесу віброущільнення визначається не окремим параметром, а комплексом взаємопов'язаних факторів, що повинні бути узгоджені між собою. Правильний вибір частоти, амплітуди, тривалості та режиму вібраційного впливу забезпечує отримання бетонних виробів високої щільності, однорідності та міцності при мінімальних енергетичних витратах.

					ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		21

2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

2.1 Процес віброущільнення бетонних сумішей і шляхи підвищення його ефективності.

Під час виготовлення бетонних та залізобетонних виробів процес ущільнення бетонної суміші є однією з найвідповідальніших і найважливіших технологічних операцій. Від ефективності цього етапу безпосередньо залежать щільність, міцність, довговічність і зовнішня якість готових виробів. Віброущільнення бетонних сумішей сьогодні є найбільш поширеним методом у будівельній галузі, що підтверджується численними науковими дослідженнями та публікаціями [1–4]. Як зазначають фахівці [14], сучасне виробництво будівельних виробів практично неможливе без використання процесів вібраційного ущільнення, адже саме вони забезпечують досягнення необхідної однорідності та міцності матеріалу.

Отже, створення та впровадження у виробництво ефективних конструкцій віброущільнювальних пристроїв, які при відносно низькій металоємності здатні забезпечити високу якість ущільнення бетонних сумішей, є актуальною та важливою науково-технічною задачею [6]. Надійна конструкція такого пристрою повинна передавати бетонному виробу оптимальний рівень вібраційної енергії без надмірного ускладнення системи, що тісно пов'язано зі скороченням тривалості віброобробки. Зменшення часу ущільнення, у свою чергу, сприяє економії електроенергії, що особливо актуально в умовах зростання її вартості. Таким чином, створення енергозберігаючих віброущільнюючих систем є одним із ключових напрямів зниження собівартості бетонних виробів і підвищення загальної ефективності виробництва.

ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Мар'енко	<i>[Signature]</i>	09.01	Н	22	
Перев.		Коротич	<i>[Signature]</i>	09.01			
Н. контр.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	12.01			
Затв.		Орисенко	<i>[Signature]</i>	19.01			

Огляд попередніх досліджень

Національний університет імені Юрія Кондратюка
ННІТР 2026

Вібраційне обладнання, яке застосовується для виготовлення бетонних та залізобетонних конструкцій, повинно постійно вдосконалюватися та адаптуватися до нових технологічних вимог. Підвищення стандартів якості, необхідність зменшення витрат та впровадження сучасних енергозберігаючих технологій визначають необхідність проведення систематичних досліджень і модернізації існуючих типів вібромашин. Саме це робить даний напрям одним із найактуальніших у сучасній інженерній практиці.

Основні шляхи вдосконалення віброформувального обладнання можуть включати такі напрями:

- забезпечення якісної підготовки бетонної суміші на етапі замішування для отримання необхідних реологічних властивостей, що сприяють легшому та рівномірнішому ущільненню під час віброобробки;
- використання у конструкції вібростолів ефективних віброопор оптимальної жорсткості, які утворюють єдину динамічну систему з мінімальними втратами енергії;
- дотримання стабільних технологічних режимів і параметрів під час процесу віброформування з урахуванням характеристик суміші та типу виробу;
- впровадження новітніх, більш ефективних і раціональних способів передачі вібрації від джерела збудження до робочого органу машини;
- проведення комплексних теоретичних і практичних досліджень впливу змін щільності та об'єму бетонної суміші на динамічну поведінку вібростенду та якість ущільнення;
- застосування резонансних режимів вібрації, що дозволяє суттєво знизити енергоспоживання без втрати ефективності ущільнення;
- активне використання спеціальних пластифікаторів, модифікаторів, фібр, хімічних добавок та полімерних компонентів, які покращують технологічні властивості суміші, забезпечують рівномірне ущільнення та дозволяють використовувати цементи різних марок;

- створення інтелектуальних енергоощадних вібротришків, оснащених регульованими пристроями та сенсорами, що контролюють параметри коливань і автоматично корегують амплітуду залежно від типу бетонної суміші чи форми виробу;
- застосування частотно-регульованих електроприводів, які дають змогу змінювати режими роботи без складних механічних перебудов, шляхом простого регулювання електричного сигналу.

Таким чином, підвищення ефективності процесу віброущільнення є комплексним завданням, що включає вдосконалення конструкцій, впровадження енергозберігаючих технологій і глибоке вивчення фізико-механічних властивостей бетонних сумішей у процесі віброформування. Це створює передумови для розробки сучасного, надійного та економічного віброустаткування, яке відповідатиме вимогам будівельної галузі сьогодення.

2.2 Огляд віброобладнання-аналогів.

2.2.1 Вібростіл для виготовлення малогабаритних бетонних виробів.

Виробництво бетону та залізобетонних виробів суворо регламентується чинними технічними нормативами, державними стандартами та галузевими вимогами [13,15]. Дотримання цих регламентів гарантує отримання продукції стабільної якості, забезпечує необхідні експлуатаційні властивості та довговічність готових виробів. Особлива увага приділяється технологічним процесам, що безпосередньо впливають на міцність, щільність та рівномірність структури бетону, серед яких важливе місце займає процес ущільнення суміші шляхом вібраційної обробки.

У промисловому виробництві малогабаритних бетонних виробів, зокрема тротуарної плитки, бордюрів чи декоративних елементів, найчастіше застосовують спеціальне обладнання — вібраційний стіл для тротуарної плитки

ущільнення суміші, підвищення її щільності та однорідності, а також значне покращення фізико-механічних властивостей готових виробів.



Рис. 2.1 Вібростіл для виготовлення малогабаритних бетонних виробів.

Ефективність роботи вібраційного столу значною мірою залежить від масово-інерційних характеристик рухомої частини, а також жорсткості віброопор. Використання пружних або гумометалевих опор з правильно підібраними параметрами дозволяє досягти резонансного або наближеного до резонансного режиму, що забезпечує максимальну амплітуду при мінімальних енергозатратах. Це, у свою чергу, позитивно впливає на енергетичну ефективність обладнання та знижує навантаження на фундамент.

Для забезпечення надійності й довговічності роботи всі елементи конструкції виготовляються з міцних матеріалів: сталеві зварні рами, високоміцні болтові з'єднання, вібростійкі підшипники та ущільнення. Робоча

ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ

Лист

26

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

монолітна структура бетону з меншим вмістом мікропорожнин, що позитивно впливає на міцнісні характеристики готового виробу.

Однак, незважаючи на покращення якості ущільнення, така конструкція має й певні недоліки з точки зору енергоефективності. Зміна напрямку вібраційних коливань не зменшує енергоємність самого процесу, оскільки значна частина енергії витрачається на створення горизонтальної складової руху. Крім того, робота вібратора під кутом вимагає більш жорсткої фіксації опор і підвищеної стабільності всієї системи, що частково ускладнює конструкцію установки.

Отже, використання віброустановки з похилою віссю вібратора дає змогу покращити якість ущільнення та однорідність бетонної суміші, особливо при формуванні малих виробів складної форми. Проте така модернізація не вирішує проблему підвищеного енергоспоживання, тому в подальших розробках доцільно зосередити увагу на вдосконаленні динамічних характеристик системи з метою підвищення ККД процесу віброущільнення при збереженні високої якості формування.

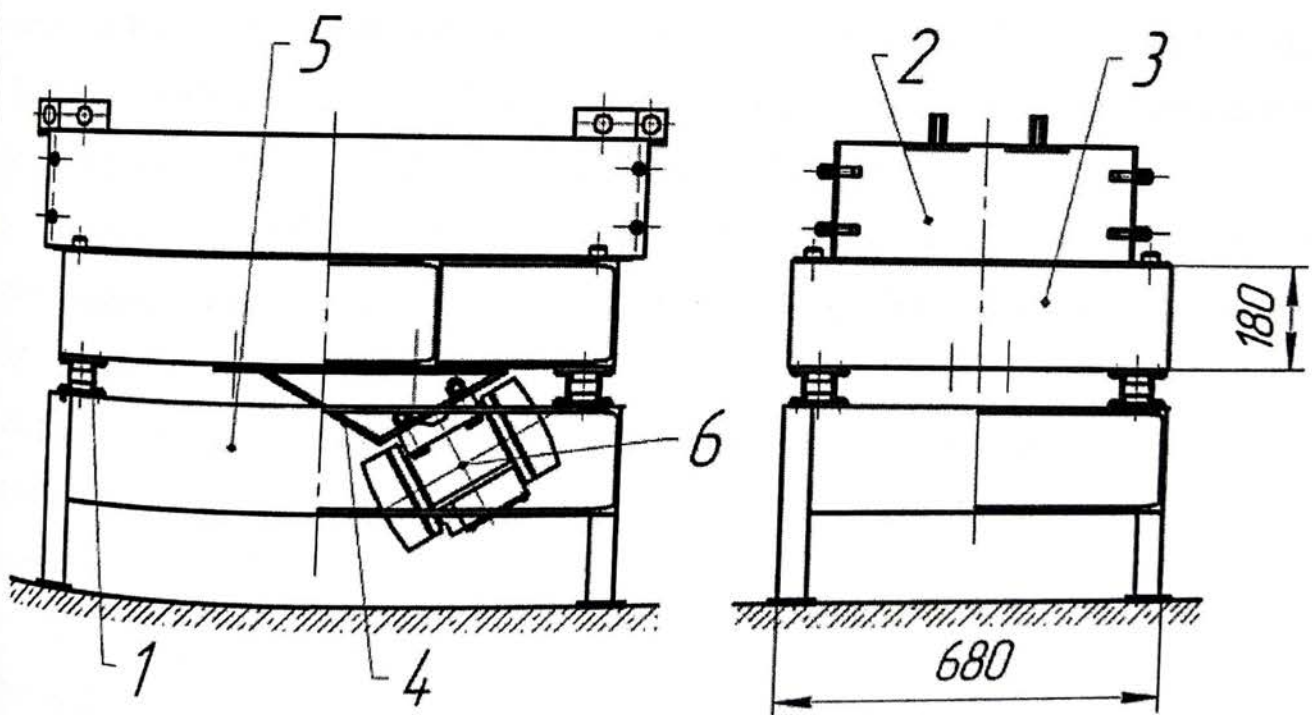


Рис. 2.2 Віброустановка для формування малогабаритних бетонних і залізобетонних виробів.

2.2.3 Вібромайданчик з похилим встановленням віброзбуджувача.

Запропонована вібраційна модель відноситься до галузі сучасного виробництва будівельних матеріалів і призначена для виготовлення різноманітних виробів зі збірного залізобетону — таких як плити перекриттів, перегородки, панелі, елементи благоустрою та інші конструкційні деталі, які потребують високої щільності та однорідності бетонної структури.

Основною метою розробки цієї моделі є підвищення технологічної ефективності роботи віброплощадки, забезпечення стабільності процесу ущільнення та суттєве скорочення часу, необхідного для досягнення потрібної щільності бетонної суміші. Це, у свою чергу, дозволяє зменшити енергоспоживання, підвищити продуктивність і покращити якість готових виробів.

Сутність технічного рішення полягає у зміні положення вібратора, який закріплюється в спеціальному нахиленому положенні таким чином, що вісь обертання його дебалансу розташована у вертикальній подовжній площині симетрії віброплощадки, але нахилена відносно вертикалі на кут від 5° до 45° . Така компоновка забезпечує більш рівномірний розподіл вібраційних коливань по всій площині форми, що заповнена бетонною сумішшю.

Площина дії збурюючої сили при цьому проходить між положеннями, що відповідають центрам мас віброплощадки з формою як у стані максимального, так і мінімального навантаження. Це дає змогу створити динамічно збалансовану систему, у якій коливальні зусилля спрямовані оптимально для ущільнення суміші по всій глибині форми, мінімізуючи втрати енергії на паразитні коливання.

Завдяки такому конструктивному рішенням досягається покращення умов взаємодії бетонної суміші з робочою поверхнею форми, підвищується рівномірність ущільнення матеріалу, зменшується ризик утворення пустот і

дефектів, а також забезпечується більш ефективно витіснення повітря з маси суміші.

На рисунку 2.3 подано схематичне зображення подовжного розрізу віброплощадки, де показано конструкцію з похилим розташуванням вібратора. Такий підхід демонструє можливість спрямування збуджуючих сил під кутом до вертикалі, що сприяє одночасному горизонтальному й вертикальному ущільненню бетонної суміші, підвищуючи ефективність у порівнянні зі стандартними горизонтально орієнтованими системами.

Таким чином, удосконалена вібраційна модель не лише покращує технологічні характеристики процесу віброущільнення, а й сприяє підвищенню якості кінцевих залізобетонних виробів, що робить її перспективною для впровадження у сучасне будівельне виробництво.

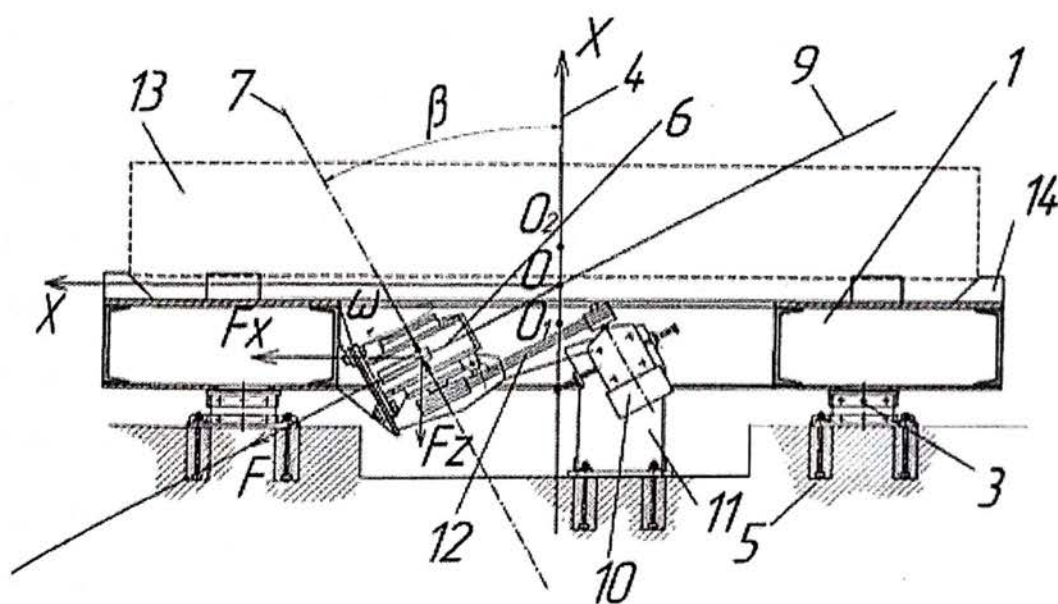


Рис. 2.3 Віброплощадка з похилим встановленням вібратора.

Удосконалена віброплощадка належить до вискоефективних технологічних систем, що застосовуються у процесі виготовлення бетонних та залізобетонних виробів різного призначення. Її конструкція передбачає наявність рухомої рами, встановленої на пружних віброопорах, які закріплюються на фундаменті та забезпечують необхідну гнучкість системи для передачі вібраційних коливань на

форму з бетонною сумішшю. Основним елементом установки є дебалансний вібробуджувач колових коливань, який створює змінну силу, необхідну для ущільнення бетонної суміші у процесі формування виробів.

Ключова конструктивна особливість цієї віброплощадки полягає у похилому розташуванні вібробуджувача, коли вісь обертання дебалансу знаходиться у вертикальній подовжній площині симетрії віброплощадки, але нахилена до вертикалі під кутом від 5° до 45° . Така орієнтація забезпечує зміну напрямку вектора дії вібраційних зусиль, завдяки чому коливання передаються не лише у вертикальній, а й у горизонтальній складовій. Це сприяє більш рівномірному ущільненню бетонної суміші у формі, особливо в зонах, віддалених від джерела вібрації, де при звичайному вертикальному збудженні можуть утворюватися зони неповного ущільнення.

Площина дії вимушуючої сили проходить через центр мас коливних частин системи та розташовується між положеннями центра мас віброплощадки при її мінімальному та максимальному навантаженнях. Така геометрія системи дозволяє забезпечити динамічну збалансованість коливань, зменшуючи паразитні вібрації та втрати енергії.

Важливою перевагою цієї моделі є те, що установка вібробуджувача з похилою віссю обертання не потребує суттєвих конструктивних змін у самому вібробуджувачі та не викликає значних додаткових фінансових витрат. Завдяки такому технічному рішенню досягається економічна ефективність, яка проявляється у скороченні тривалості циклу формування бетонних виробів, зменшенні енерговитрат та підвищенні якості ущільнення суміші.

Конструкція віброплощадки включає рухому раму (1), що має вісь симетрії відносно вертикальної подовжньої площини (2), та пружні опори, які фіксуються на фундаменті (5) симетрично відносно вертикальної осі (4), що проходить через центр мас вібробуджувача (6). Останній встановлений у центральному вікні рами так, що вісь обертання (7) дебалансу (8) знаходиться в площині (2) і нахилена до вертикалі на кут $\beta = 5-45^\circ$.

								Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ			31

Площина дії вимушуючої сили (9), перпендикулярна осі обертання (7), проходить через центр мас (O) дебалансу (8) і розташовується між точками O_1 та O_2 , які відповідають центрам мас коливної системи при мінімальному й максимальному навантаженнях.

Електродвигун (10), встановлений на підмоторній рамі (11), що закріплена на фундаменті (5), передає обертання на дебаланс (8) через клинопасову передачу (12). На верхній частині рухомої рами розміщена форма (13) з жорсткими клиновими упорами (14), які забезпечують фіксацію її положення під час роботи.

Таким чином, описана конструкція дозволяє досягти більш повного ущільнення бетонної суміші, покращити якість поверхні та структуру виробу, а також зменшити енергоємність та тривалість виробничого циклу, що є особливо важливим у масовому виробництві збірного залізобетону.

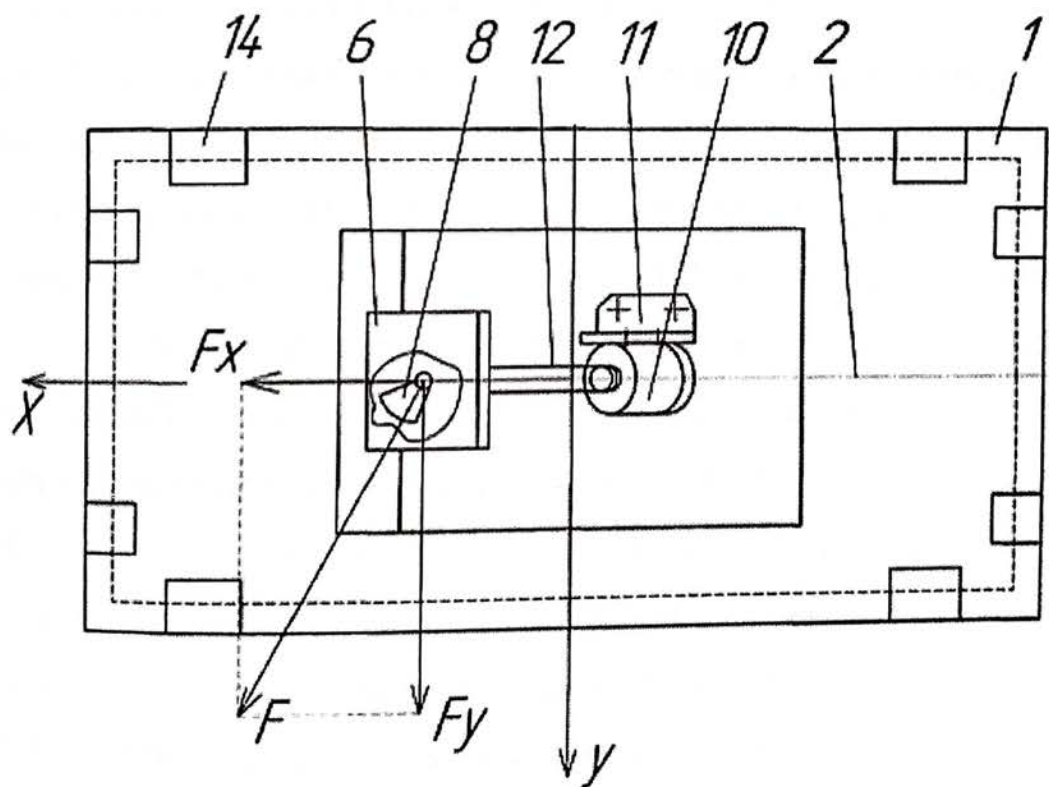


Рис. 2.4 Вид зверху віброплощадки з похилим встановленням вібробуджувача.

Робочий процес віброплощадки відбувається у кілька послідовних етапів і забезпечує ефективне ущільнення бетонної суміші завдяки поєднанню динамічних та конструктивних властивостей системи.

Спочатку форма (13) заливається бетонною сумішшю та встановлюється на рухому раму (1) між спеціальними жорсткими упорами (14), які забезпечують її фіксацію та запобігають будь-яким небажаним зміщенням під час коливального процесу. Упори забезпечують точне позиціонування форми на робочій поверхні, що дозволяє уникнути втрат енергії через паразитні рухи та гарантує рівномірну передачу вібрацій.

Після підготовки системи вмикається електродвигун (10), який за допомогою клинопасової передачі (12) передає крутний момент на дебаланс (8), розміщений на валі віброзбуджувача. У момент обертання навколо осі (7) дебаланс створює збурюючу відцентрову силу кругової дії (F), напрям якої безперервно змінюється з певною кутовою швидкістю (ω) у площині (9).

Дана збурююча сила F має складові вздовж осей прямокутної системи координат $OXYZ$, початок якої розташований у центрі мас (O) коливальної системи. Саме ці складові викликають трикомпонентні просторові коливання рухомої рами (1), на якій встановлена форма (13). Завдяки цьому форма починає коліватись одночасно у вертикальному, горизонтальному та подовжньому напрямках, що забезпечує всебічний вібраційний вплив на бетонну суміш.

Колівання передаються через дно та бокові поверхні форми безпосередньо бетонній суміші, що заповнює її внутрішній об'єм. Під дією коливань суміш переходить у тиксотропний стан розрідження — частинки заповнювача та цементного тіста тимчасово втрачають зв'язки, зменшується внутрішнє тертя, і матеріал поводить як рідина з низькою в'язкістю. Це дає змогу видалити повітряні пори, забезпечити щільне прилягання зерен заповнювача та досягти високого ступеня ущільнення по всьому об'єму виробу.

У результаті віброплощадка з похилим віброзбуджувачем створює складну систему просторових коливань, що значно покращує якість ущільнення в

№ докум.	Підп.	Дата	Лист
			33
ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ			

порівнянні з традиційними установками, які працюють лише у вертикальній площині. Такий режим забезпечує рівномірний розподіл віброенергії, скорочення тривалості ущільнення та підвищення міцності готових бетонних виробів, одночасно зменшуючи енергоємність процесу.

2.3 Методика розрахунку віброплощадки з вертикальними коливаннями.

1. Вихідні дані.

Габарити бетонного виробу: $l \times b \times h$, м.

Густина бетонної суміші ρ , кг/м³.

Амплітуда коливань U_0 , мм.

Кутова частота коливань ω , с⁻¹.

2. Визначення коливальної маси системи.

Маса виробу

$$m_b = \rho \cdot V \quad (2.1)$$

Маса форми

$$m_\phi = (0,6 \dots 1,0) m_b \quad (2.2)$$

Маса коливальної частини площадки

$$m_a = (0,6 \dots 1,0) \cdot (m_\phi + m_b); \quad (2.3)$$

Повна коливальна маса

$$m_{\text{полн}} = m + m_b \quad (2.4)$$

де $m = m_b + m_\phi$

3. Визначення сумарного статичного моменту маси дебалансу.

$$m_0 r_0 = \frac{U_0 \cdot m_{\text{полн}}}{k_\partial} \quad (2.5)$$

4. Визначення сумарної жорсткості віброопор віброплощадки.

$$C_0 = \omega_0^2 \cdot m_{\text{полн}}$$

де ω_0 – власна частота коливань (2.6)

$$\omega_0 = \omega / (7 \dots 10).$$

5. Визначення амплітудного значення вимушуючої сили.

$$F_0 = m_0 \cdot r_0 \cdot \omega^2 \quad (2.7)$$

6. Визначення потужності привода віброплощадки.

$$P = \frac{P_{\text{тр}} + P_{\text{кол}}}{\eta} \quad (2.8)$$

де $P_{\text{тр}}$ - потужність на тертя в підшипникових вузлах площадки;

Потужність на коливання віброплощадки

$$P_{\text{кол}} = 1/4 \cdot F_0 \cdot U_0' \quad (2.9)$$

де U_0 – амплітуда коливань віброплощадки

$$U_0' = \frac{m_0 r_0}{m_{\text{б}} a + m} \quad (2.10)$$

7. Визначення потужності на ущільнення бетонної суміші.

$$P_{\text{б}} = m_{\text{б}} \cdot \bar{P} = m_{\text{б}} \cdot 0,5b \cdot U_0^2 \cdot \omega^3 \quad (2.11)$$

Значення потужності приводу вібромайданчика з урахуванням усіх видів втрат визначаються після його конструктивного опрацювання.

2.4 Вибір об'єкту дослідження.

Однією з ключових і водночас постійно актуальних проблем у сучасному машинобудуванні є питання енергозбереження та підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів [7, 9]. Це особливо помітно у вібраційних технологічних системах, де значна частина витрат припадає на компенсацію втрат, що виникають під час передачі коливань. Застосування пружних

								Лист
								35
Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ				

віброопор, з одного боку, забезпечує стабільність роботи обладнання та зменшує шкідливу дію коливань на конструкції, але з іншого – призводить до зниження амплітуди робочих віброколивань у зоні ущільнення. У результаті для досягнення необхідного рівня інтенсивності вібраційного впливу виникає потреба у встановленні віброзбуджувачів підвищеної потужності, що відповідно збільшує енергоспоживання обладнання.

Тому при модернізації вібраційного обладнання основним завданням є збільшення амплітуди робочих коливань без суттєвого ускладнення конструкції та без значного зростання енерговитрат. Одним із перспективних рішень цієї проблеми є застосування конструкції вібростолу, у якій віброзбуджувач розташовано під віброплитою на важільному підвісі. Такий підхід дозволяє перетворювати частину горизонтальної складової збуджуючої сили у вертикальну складову, тим самим підвищуючи сумарну інтенсивність коливань, що передаються формі й бетонній суміші (див. рис.2.7).

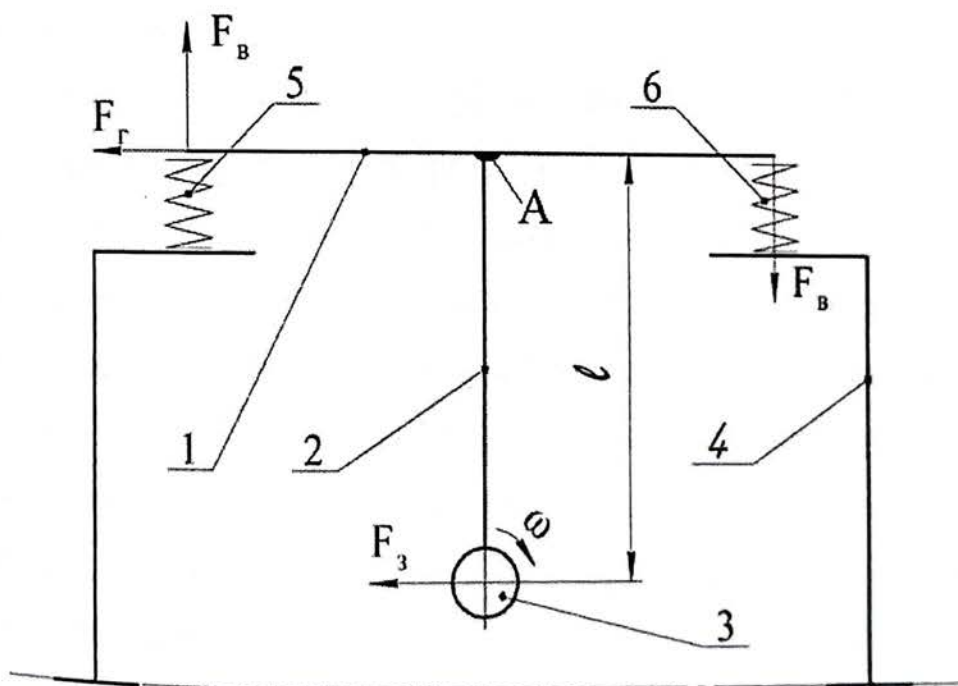


Рис. 2.7 Схема вібростолу з важільним закріпленням віброзбуджувача.

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

Запропонована конструкція працює таким чином. Віброплита 1 встановлена на пружні опори 5 та 6. Під нею, у центральній частині (точка А), жорстко закріплено важіль 2, розташований перпендикулярно до площини плити. Довжина важеля ℓ знаходиться в межах висоти нерухомої рами 4 і може змінюватися, що забезпечує можливість регулювання амплітуди коливань. На кінці важеля закріплено віброзбуджувач 3, який складається з електродвигуна з ексцентриковим вантажем.

У процесі роботи, коли вал з ексцентриком обертається, він створює бурюючу силу змінного напрямку F_z . У запропонованій моделі завдяки важільному підвісу виникає додаткова вертикальна складова F_v , що зумовлена моментом, який намагається повернути віброплиту навколо точки А. Таким чином, сила F_z розкладається на горизонтальну складову F_g та вертикальну F_v , причому величина F_v зростає із збільшенням довжини важеля ℓ . У результаті відбувається суттєве збільшення амплітуди віброколивань віброплити в усіх напрямках, що забезпечує більш ефективне ущільнення бетонних сумішей при менших енерговитратах.

Отже, вібростіл із важільним закріпленням віброзбуджувача, що включає віброплиту 1, пружні опори 5 і 6, раму 4 та віброзбуджувач 3, доповнений жорстко закріпленням важелем 2, дозволяє значно підвищити ефективність передачі коливальної енергії. Завдяки цьому забезпечується збільшення амплітуди віброколивань на практично всій площі віброплити, покращується ущільнення бетонних сумішей та зменшується споживана потужність приводу.

На існуючому дослідному вібраційному обладнанні потрібно провести дослідження та на основі результатів отриманих вимірювань оцінити ефективність запропонованого рішення.

При цьому припускається, що при використанні важеля амплітуда віброколивань буде зростати та зростання буде відбуватися від центру вібростолу до його країв.

Метою даного дослідження є визначення величини амплітуди вертикальних коливань при використанні важеля, на якому закріплений вібробуджувач, подальшого визначення номенклатури бетонних виробів, які доцільно товляти на даному типі обладнання.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОФОРМУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.

3.1 Технічна характеристика.



Рис. 3.1. Дослідне віброформувальне обладнання.

Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ		
Вироб.	Мар'єнко	<i>МВ</i>	09.01	Літ.	Лист	Листів
Коротич	<i>К</i>	<i>М</i>	09.01	Н	39	
Васильєв	<i>В</i>	<i>О</i>	12.01	Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІТР 2026		
Орисенко	<i>О</i>	<i>О</i>	19.01	Дослідження віброформувального обладнання		

3.2 Дослідження впливу важільного закріплення вібробудувача на величину амплітуди вимушених коливань.

Спираючись на отримані позитивні підтвердження попередніх припущень про вплив важеля на параметри віброущільнення, була розроблена послідовність проведення комплексу вимірювань.

Вимірювання проводились у два етапи.

На першому етапі була досліджена амплітуда вертикальних коливань, коли віброформувальне обладнання оснащувалося вібробудувачем ИВ-98Б потужністю 0,9 кВт, який безпосередньо закріплювався до віброплити без встановлення важеля (див. рис. 3.2).

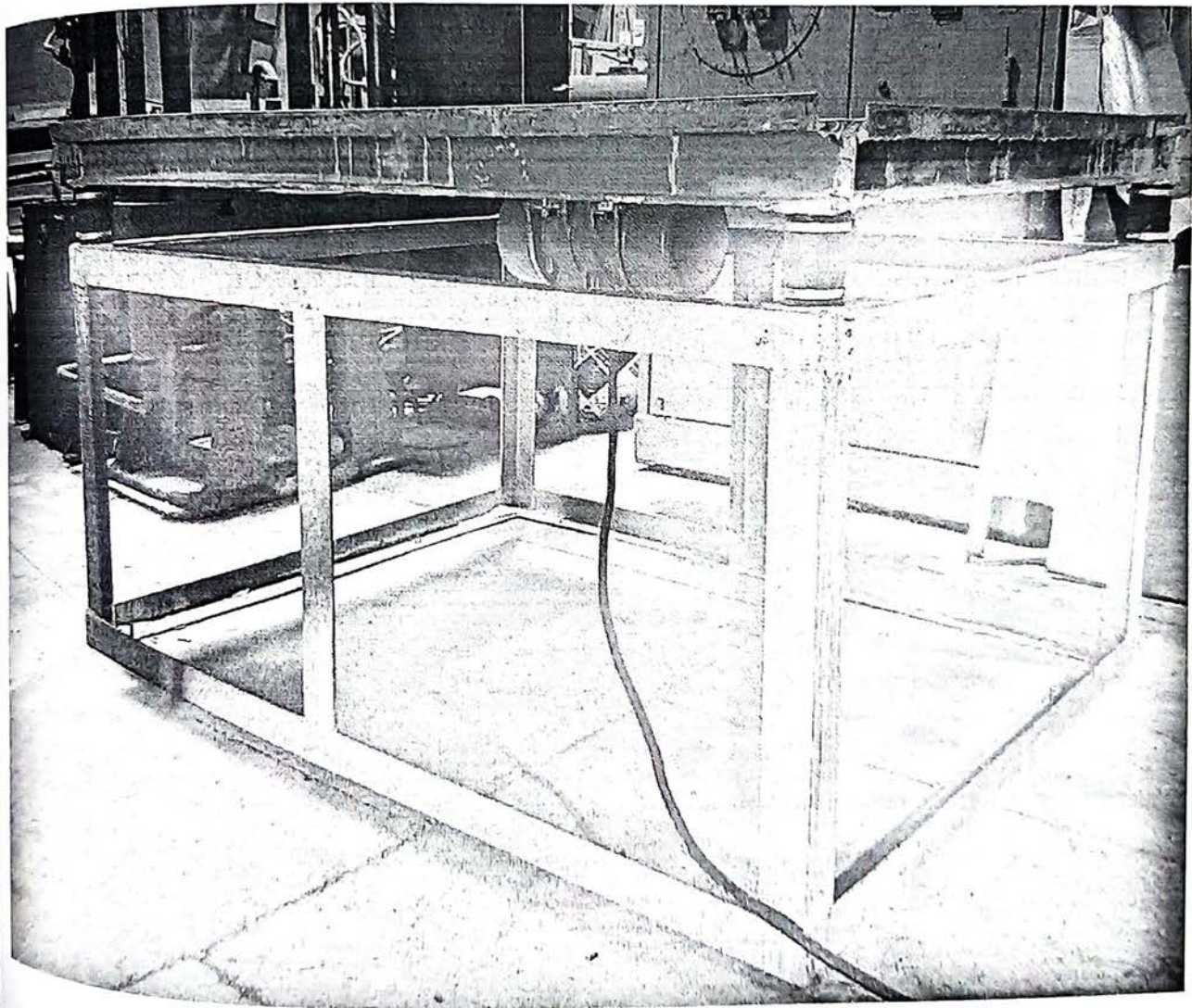




Рис. 3.2. Дослідне віброформувальне обладнання без важеля з вібробудувачем ИВ-98Б потужністю 0,9 кВт.

Для побудови «поля амплітуд» вимірювання проводились на всій робочій поверхні віброплити у заздалегідь визначених 25 точках (рис. 3.3).

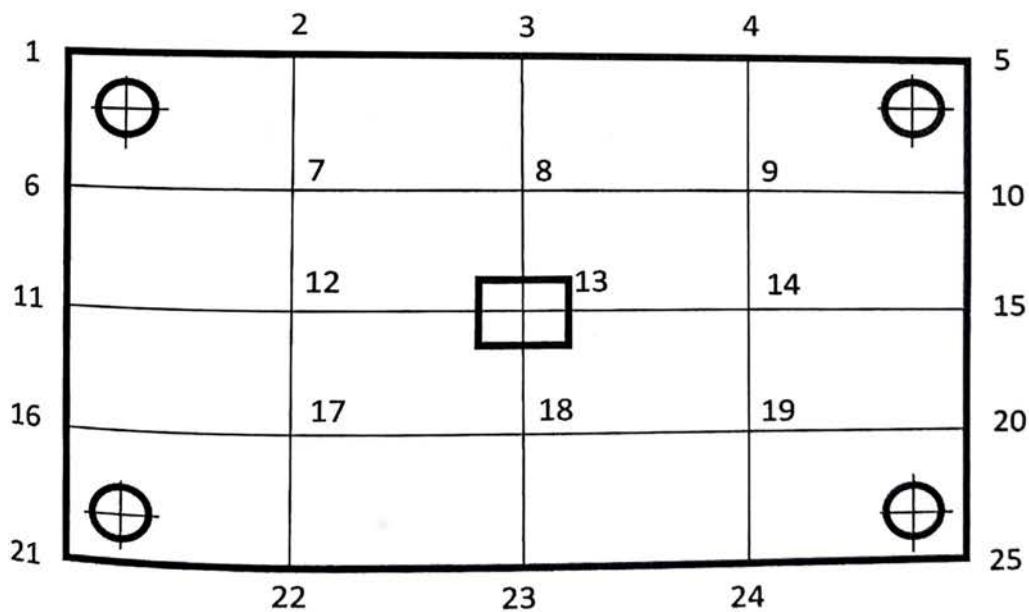


Рис. 3.3 Схема точок виміру амплітуди на віброплиті.

Отримання значень амплітуди вертикальних віброколивань віброплити здійснювалося з використанням приладу віброшумомір ВШВ-003-М2 (рис. 3.4).

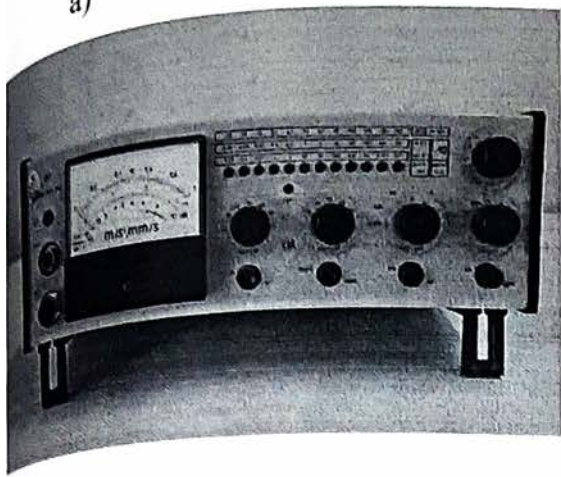
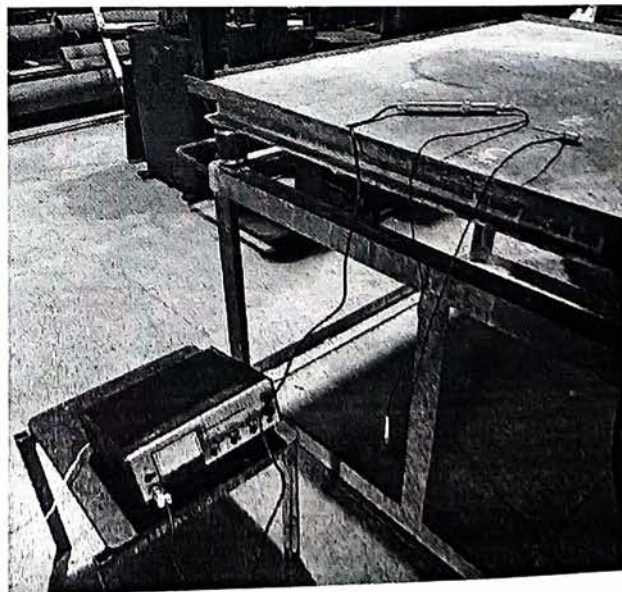
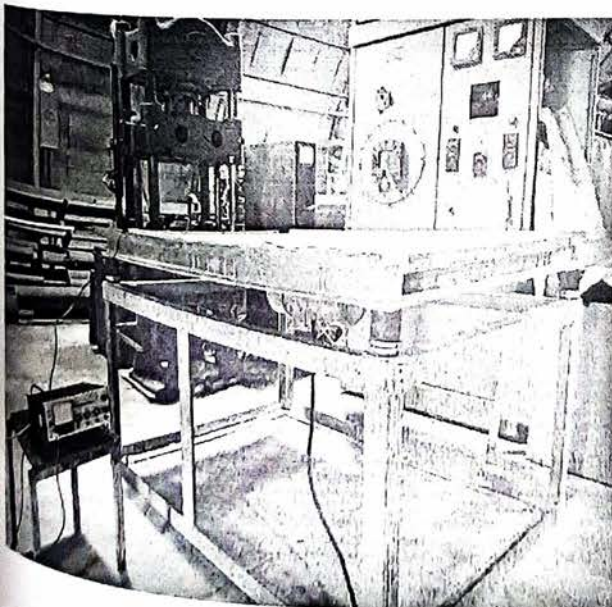


Рис. 3.4 Вимірювач шуму та вібрації ВШВ-003-М2.

Зазначений вимірювальний прилад є одним із основних засобів дослідження вібраційних явищ. Він дає можливість фіксувати ключові характеристики вібрації, зокрема віброшвидкість у м/с та віброприскорення у м/с². У проведених дослідженнях реєстрували саме значення віброшвидкості, яке надалі за відомими аналітичними формулами перетворювали на амплітуду коливань [26].

Проведення процесу виміру вібраційних параметрів представлено на рис. 3.5.



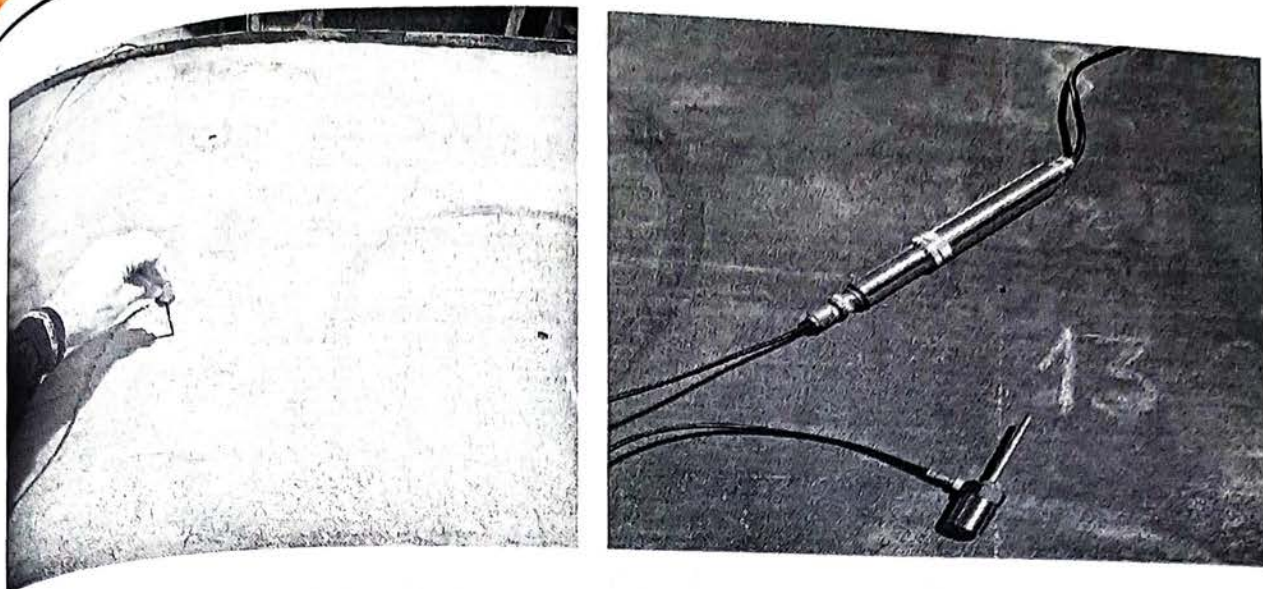


Рис. 3.6 Проведення процесу виміру вібраційних параметрів.

На другому етапі була досліджена амплітуда вертикальних коливань, коли віброформувальне обладнання оснащувалося вібробуджувачем ИВ-99БУ2 потужністю 0,5 кВт, який безпосередньо закріплювався до віброплити на металевому важелі довжиною $l_{\text{важ.}} = 150$ мм (див. рис. 3.7).

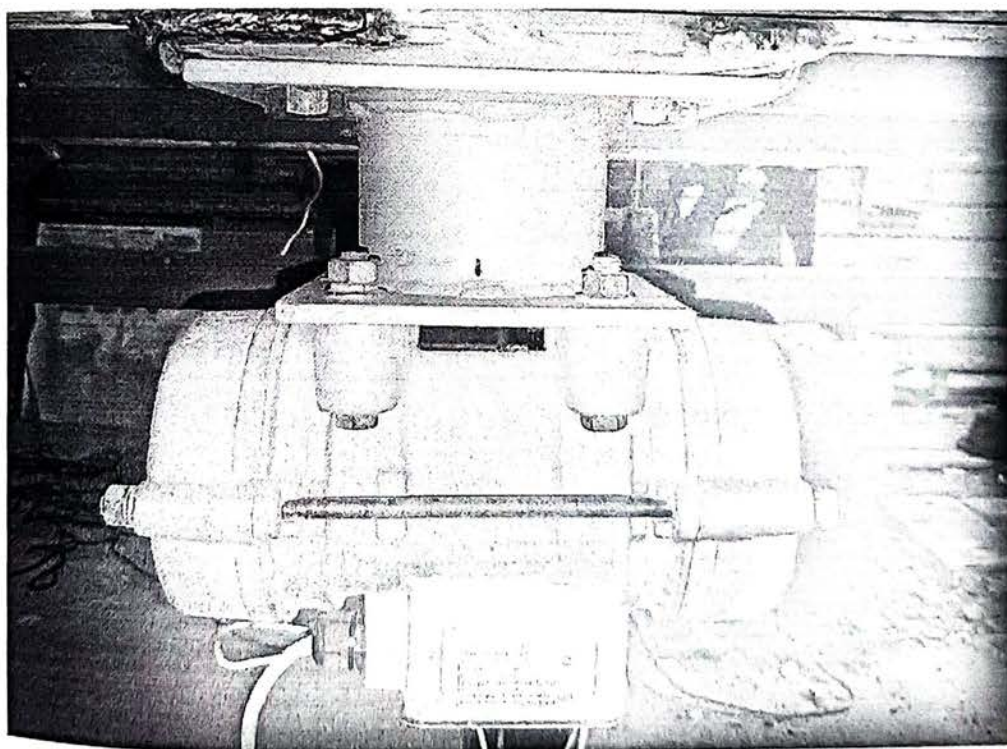


Рис. 3.7. Вібробуджувач ИВ-98Б потужністю 0,9 кВт та $l_{\text{важ.}} = 150$ мм.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ	Лист
						44

Результати отриманих значень амплітуди зводимо в таблицю 3.2.

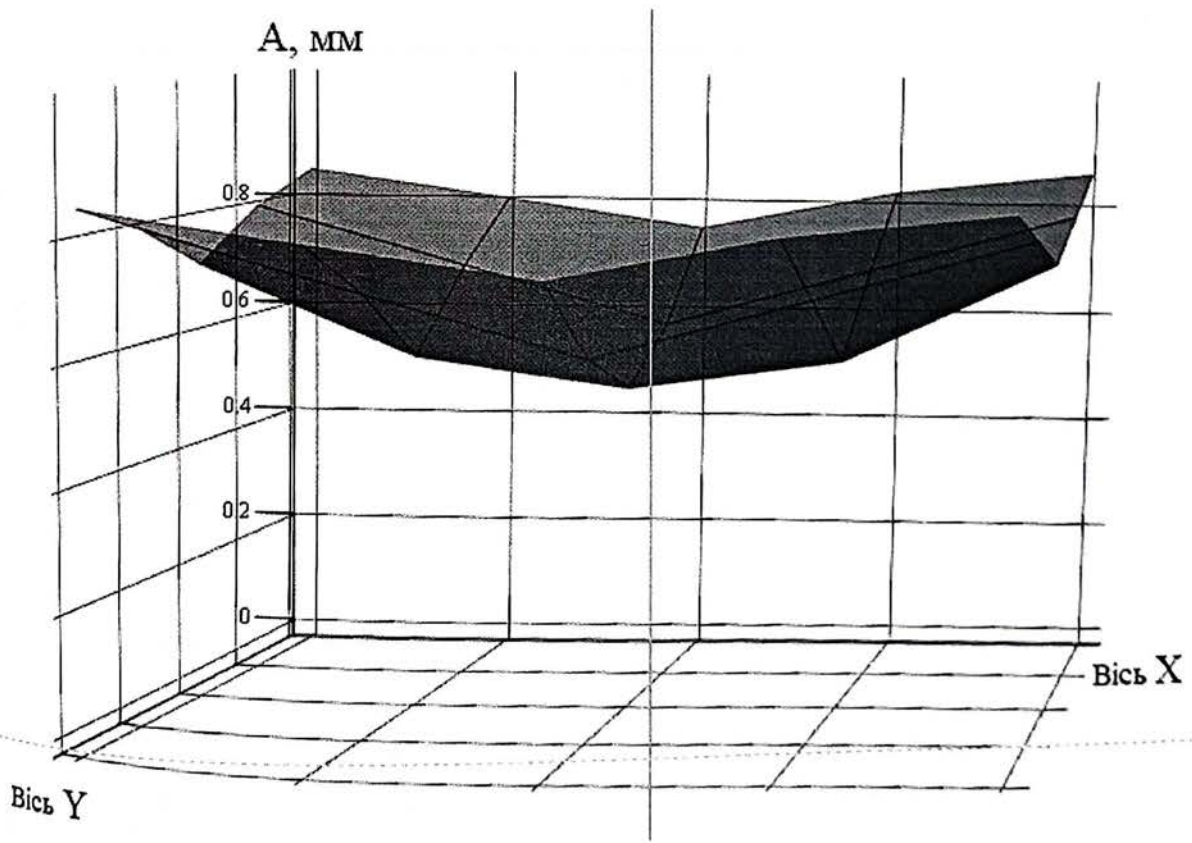
Таблиця 3.2. Значення амплітуди коливань

№ точки виміру	Значення амплітуди коливань A , мм	
	$l_{\text{важ.}} = 0$ $P = 0,9$ кВт	$l_{\text{важ.}} = 150$ мм $P = 0,5$ кВт
1.	0,85	0,95
2.	0,8	0,87
3.	0,75	0,82
4.	0,82	0,9
5.	0,86	0,96
6.	0,8	0,85
7.	0,7	0,07
8.	0,6	0,62
9.	0,7	0,7
10.	0,8	0,86
11.	0,72	0,75
12.	0,57	0,55
13.	0,52	0,45
14.	0,57	0,55
15.	0,74	0,76
16.	0,8	0,85
17.	0,7	0,7
18.	0,6	0,62
19.	0,7	0,7
20.	0,8	0,86
21.	0,85	0,95
22.	0,8	0,87
23.	0,75	0,82
24.	0,82	0,9
25.	0,86	0,96

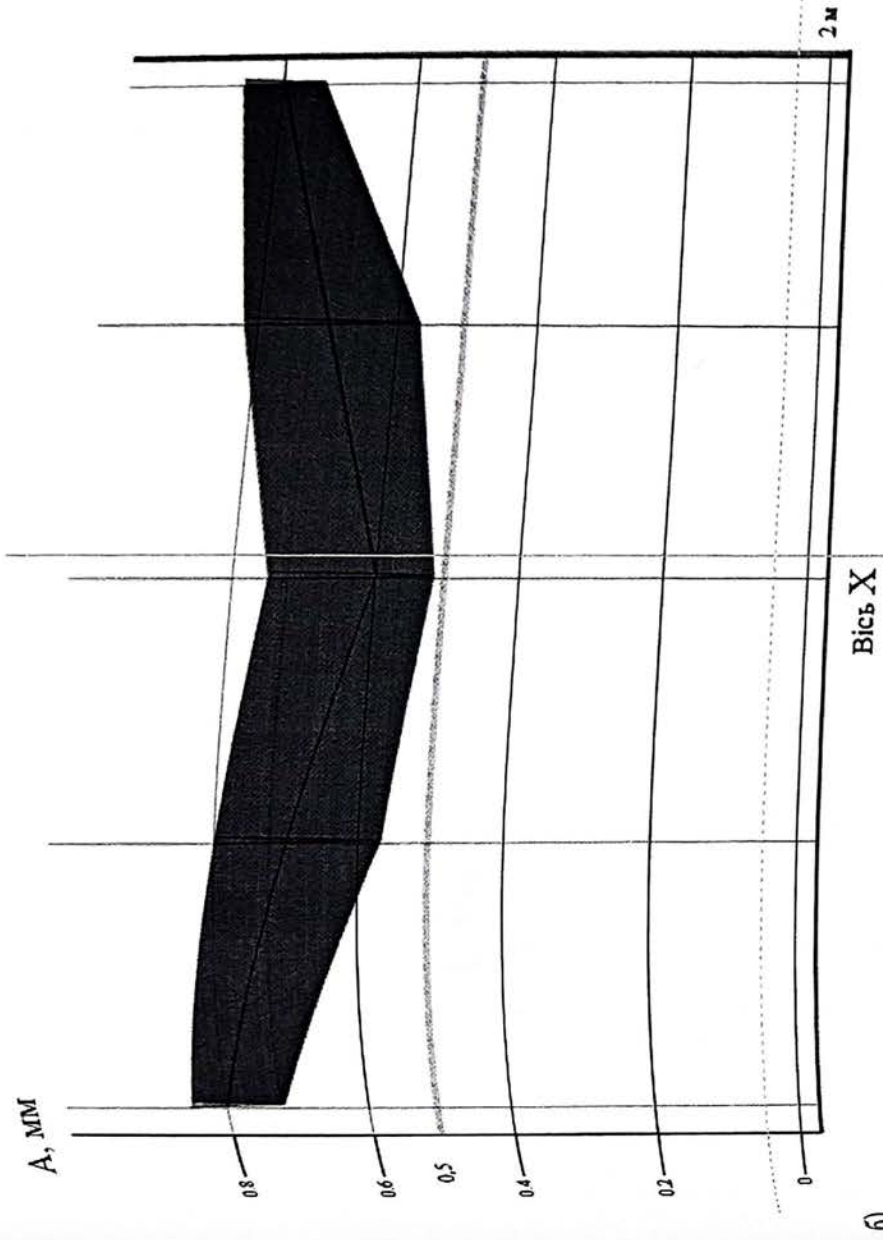
Як видно з результатів практичного дослідження, важільне розташування вібробуджувача збільшує амплітуду віброколивань на поверхні віброплити.

3.3 Визначення рівня впливу важільного закріплення вібробуджувача на величину амплітуди віброколивань.

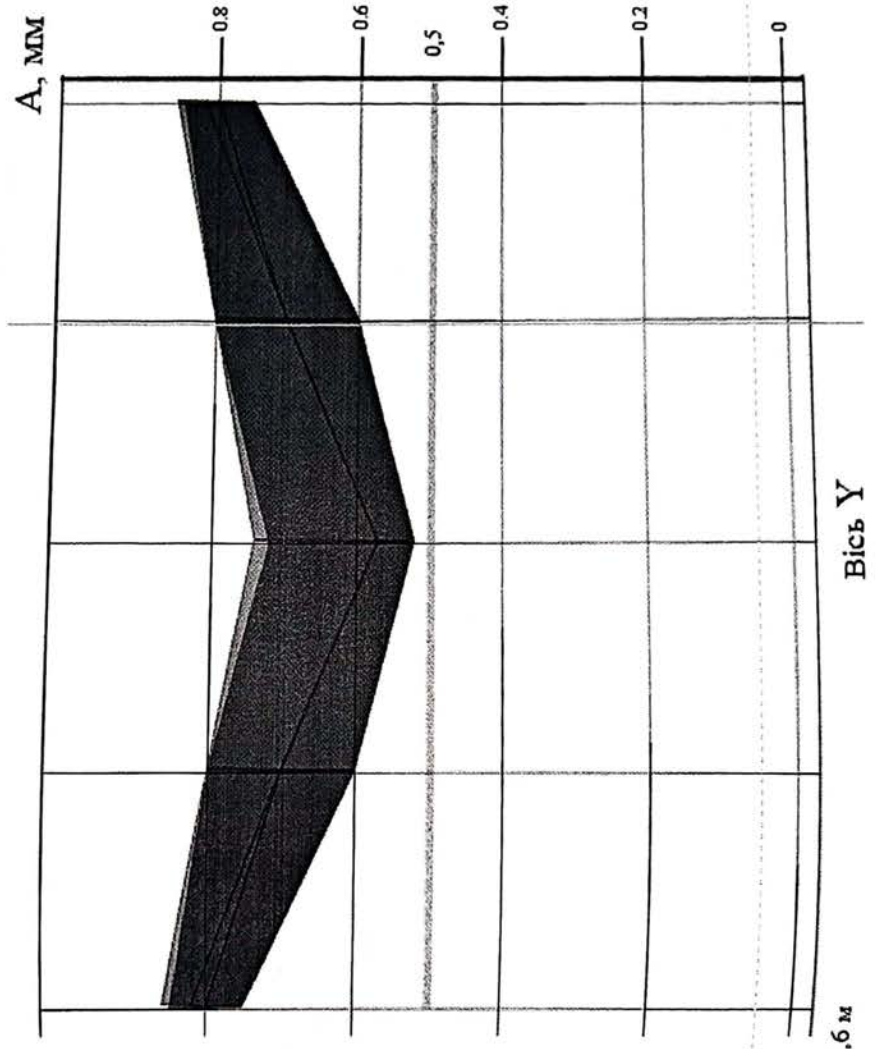
Використовуючи комп'ютерне програмування та отримані значення амплітуди віброколивань з таблиці 3.2, будемо 3-D графіки значень амплітуди вібростолу (рис. 3.8, 3.9).

$$A = \begin{matrix} & & & & X \\ & & & & \begin{pmatrix} 0.85 & 0.8 & 0.75 & 0.82 & 0.86 \\ 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.8 \\ 0.72 & 0.57 & 0.52 & 0.57 & 0.74 \\ 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.8 \\ 0.85 & 0.8 & 0.75 & 0.82 & 0.86 \end{pmatrix} \\ Y \end{matrix}$$


а)



б)

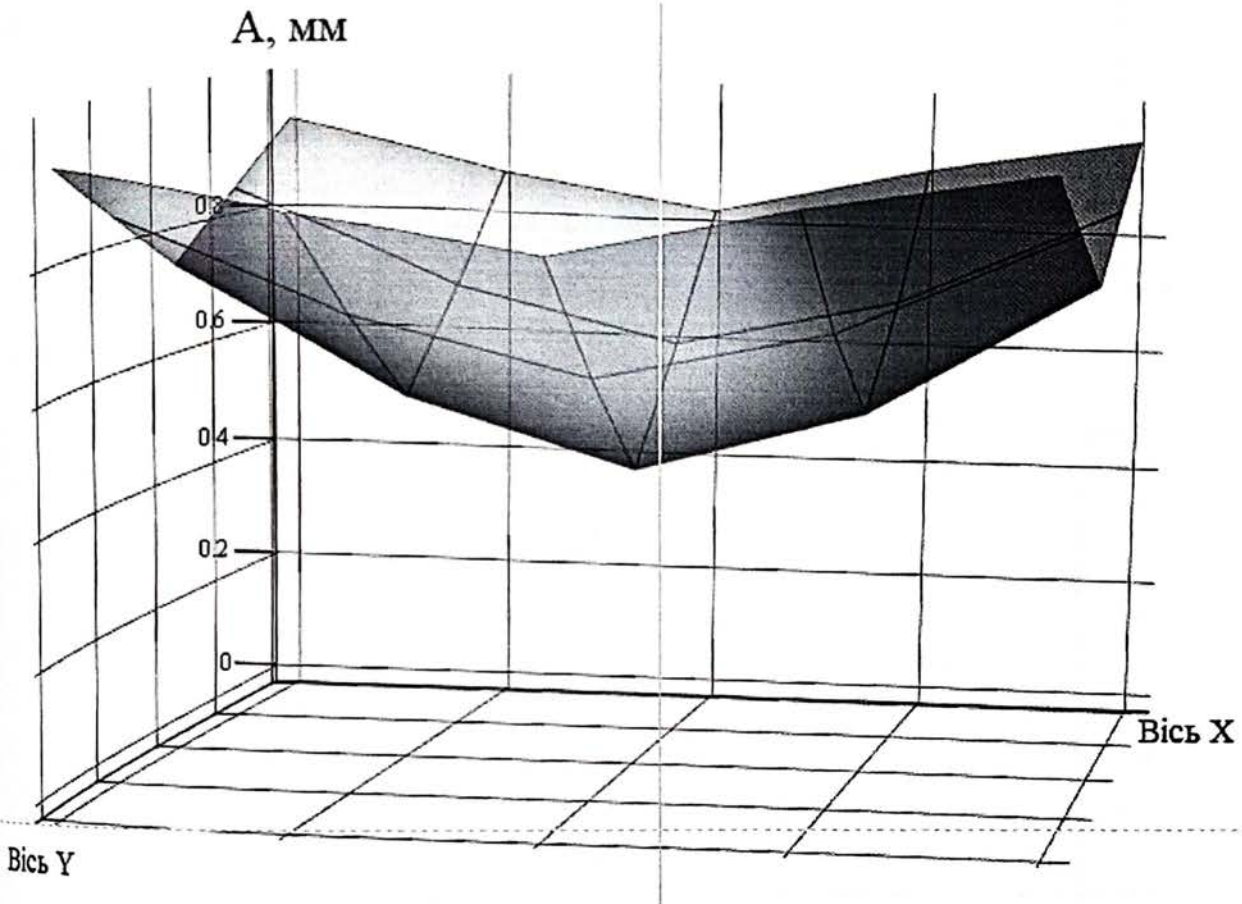


в)

Рис. 3. 8 «Поле амплітуди» вібростолу без важіля $\ell_{\text{важ.}} = 0, P = 0,9 \text{ кВт}$

Лист	47
№ докум.	ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ
Підп.	
Дата	

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} X \\ 0.95 & 0.87 & 0.82 & 0.9 & 0.96 \end{matrix} \\ \begin{matrix} Y \\ 0.85 & 0.7 & 0.62 & 0.7 & 0.86 \\ 0.75 & 0.55 & 0.45 & 0.55 & 0.76 \\ 0.85 & 0.7 & 0.62 & 0.7 & 0.86 \\ 0.95 & 0.87 & 0.82 & 0.9 & 0.96 \end{matrix} \end{matrix}$$



a)

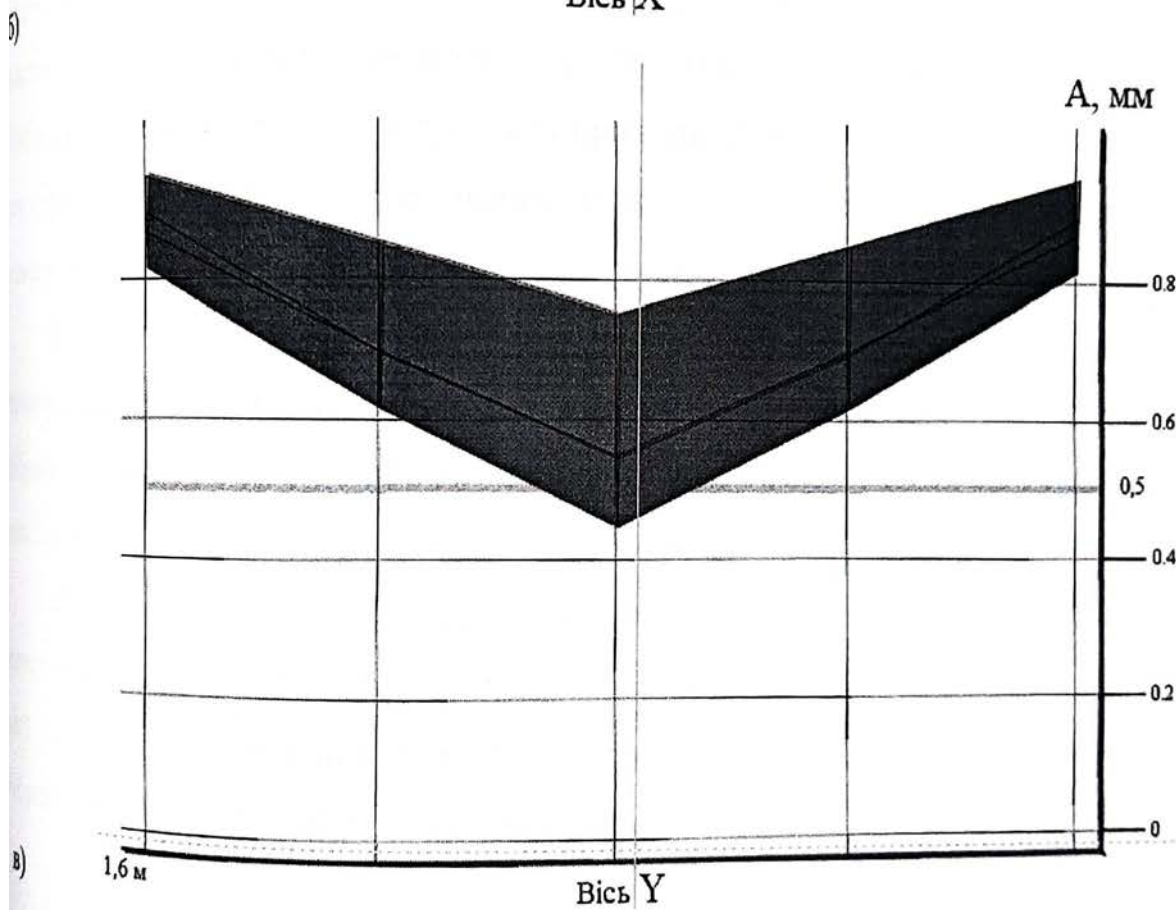
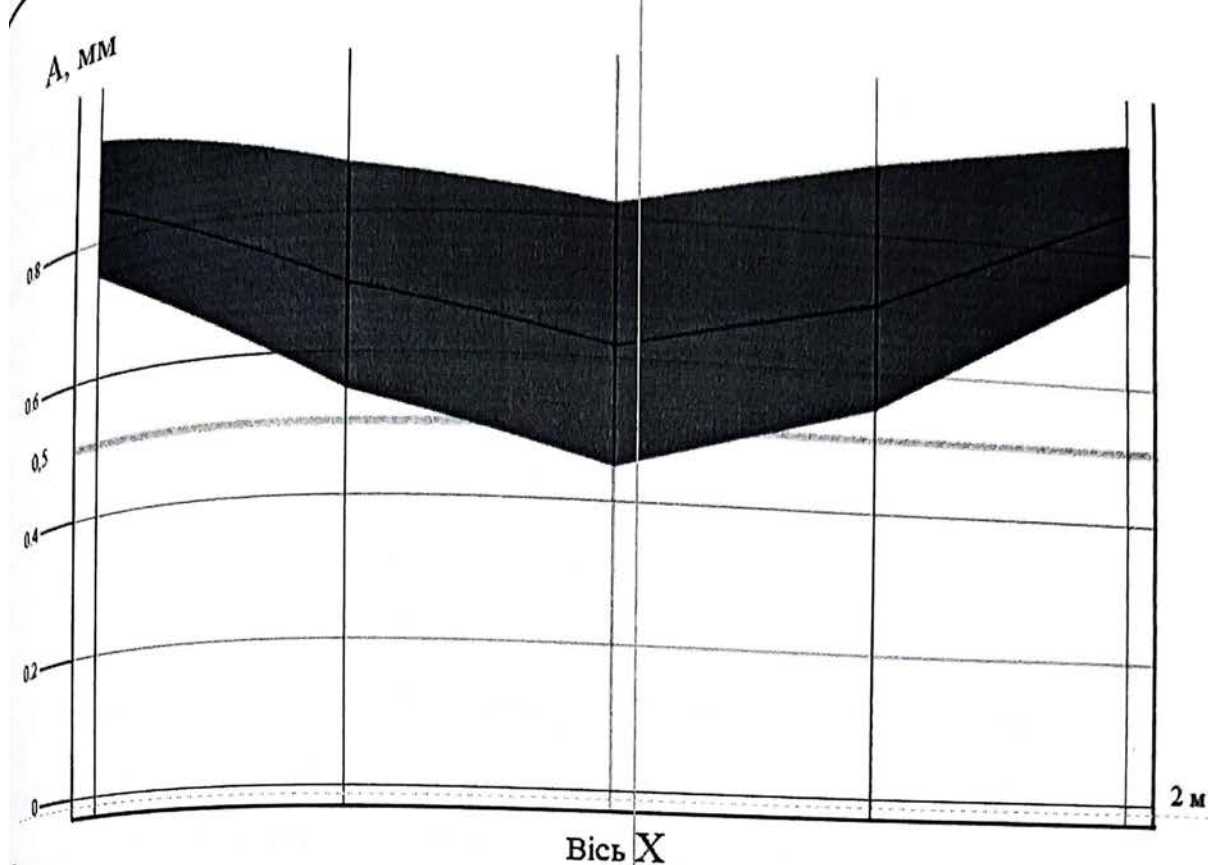


Рис. 3.9 «Поле амплітуди» вібростолу з важелем $l_{\text{важ.}} = 150 \text{ мм}$, $P = 0,5 \text{ кВт}$.

Аналізуючи побудовані 3-D поверхні, можемо стверджувати, що використання важеля навіть при зменшенні потужності віброзбуджувача, яке ми впроваджуємо для енергозаощадження в технологічному процесі, приводить до наступного:

- величина амплітуди віброколивань збільшується практично на всій поверхні віброплити, окрім центральної частини;
- максимальне збільшення амплітуди відбувається по периметру віброплити, особливо над віброопорами;
- в центральній частині, особливо в самому центрі (т. 13), відбувається мінімальне зменшення амплітуди.

Результати проведених досліджень показують, що при використанні важеля, на якому закріплюється віброзбуджувач, відповідно збільшуються значення амплітуди віброколивань. Це відбувається за рахунок перетворювання частини горизонтальної складової збурюючої сили у вертикальну складову. Тобто, навіть зменшивши потужність приводного електродвигуна на 40 відсотків, ми отримуємо збільшення величини амплітуди віброколивань практично по всій поверхні віброплити, окрім її центральної частини.

До переваг запропонованої конструкції вібростолу можна віднести те, що приріст амплітуди відбувається без збільшення (навіть зменшення) потужності віброзбуджувача. Тому робимо висновок, що дана конструкція вібростолу з важільним закріпленням віброзбуджувача є енергозаощадною.

При цьому до недоліків запропонованої конструкції можна віднести невелике падіння амплітуди у центрі вібростолу до значень менше 0,5 мм. Площа цієї центральної частини складає близько 15 відсотків від загальної площі віброплити, що робить її небажаною для використання.

виробів для їх виробництва на даному
віброформувальному обладнанні.

Виходячи з вищенаведеного, приходимо до висновку, що на даному
віброформувальному обладнанні доцільно виготовляти вироби, які мають
вступну конфігурацію:

- плоска форма однакової товщини до 150 мм;
- вигляд у плані нагадує собою квадрат, прямокутник або коло;
- своєю площею максимально займають поверхню віброплити;
- по центру виробу мають отвір, площа якого більше 15 відсотків від
площі віброплити.

Подібними виробами є типові ЗБВ (рис. 3.10, 3.11), виготовлення яких
виконується відповідно до ДСТУ БВ.2.6-106:2010.

Як матеріал використовується важкий армований бетон. Цільове
призначення цих конструкцій — це елементи заглиблених споруд, які
експлуатуються вище або нижче рівня ґрунтових вод в умовах неагресивних або
малоагресивних середовищ (колодязні перекриття з отвором для люку).

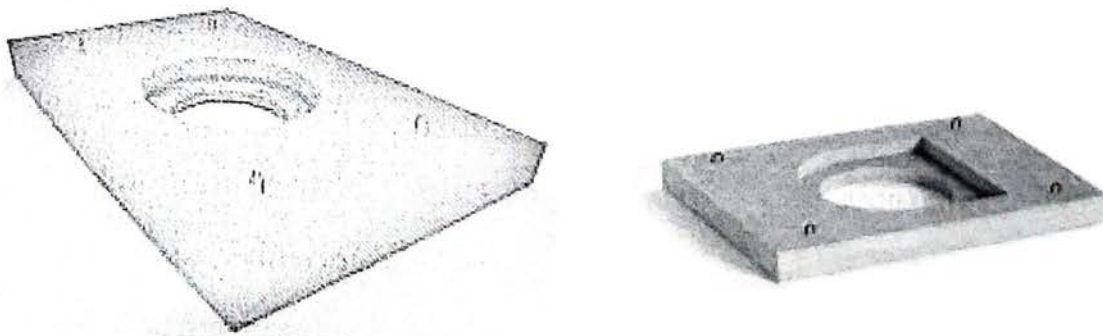


Рис. 3.10 Види плоских бетонних виробів з отвором для люку.

Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ	Лист
					51

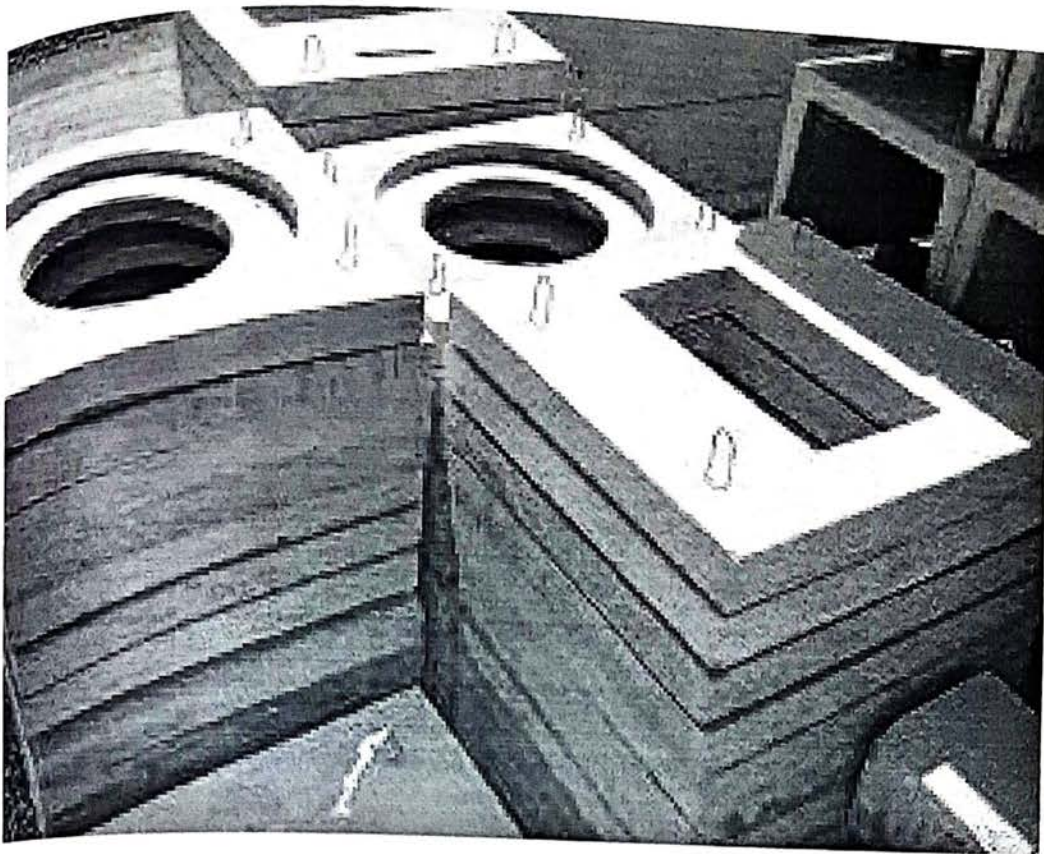


Рис. 3.11 Бетонні перекриття з отвором по центру.

Додатковою перевагою даного обладнання є також те, що використання важеля збільшує і горизонтальну амплітуду коливань. Цей параметр необхідний для вказаного типу плоских бетонних виробів.

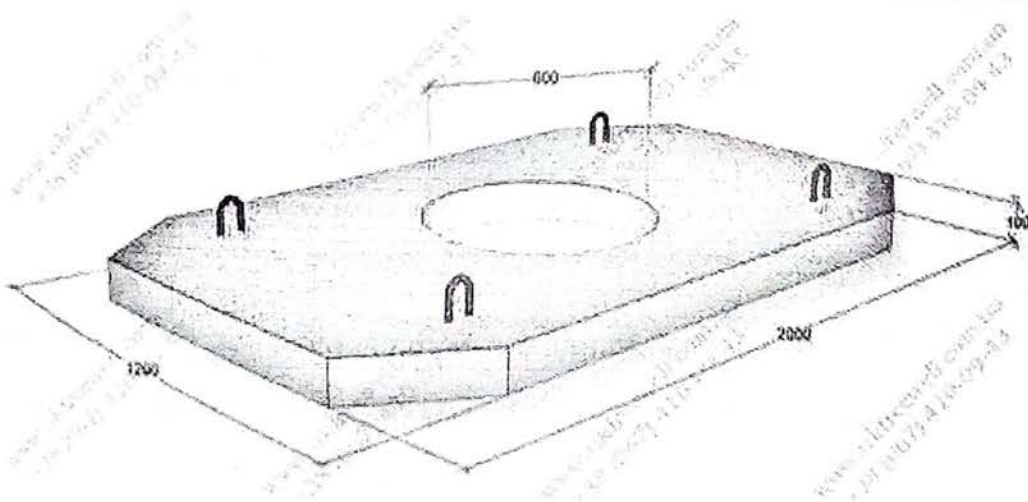


Рис. 3.12 Плита перекриття колодязів АПП-2.

Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ

Лист
52

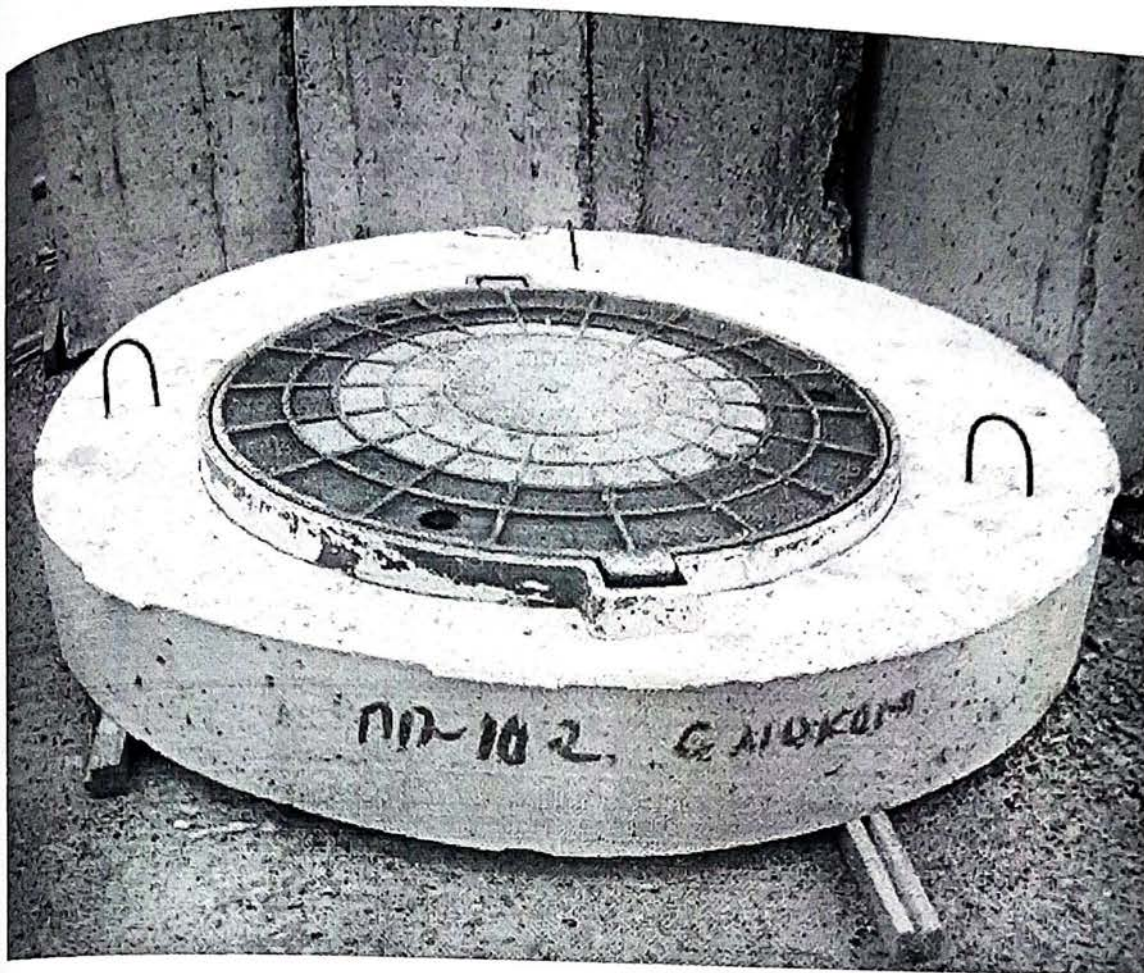


Рис. 3.13 Плита ПП 10-2 з люком.

У якості виробів пропонуються наступні:

Плита ПП 10-2

Плита АПП-2

Вага	240 кг	350 кг
Висота	150 мм	100 мм
Марка бетону	M200	M200
Зовнішній діаметр	1160 мм	2000*1200 мм

3.5 Рекомендації щодо довжини та конструкції важеля для закріплення вібробуджувача на віброформувавальному обладнанні.

В магістерській роботі виконано комплекс дослідних дій, які підтвердили ефективність закріплення вібробуджувача знизу вібростолу до точки центру мас через важіль (див. рис. 3.14).

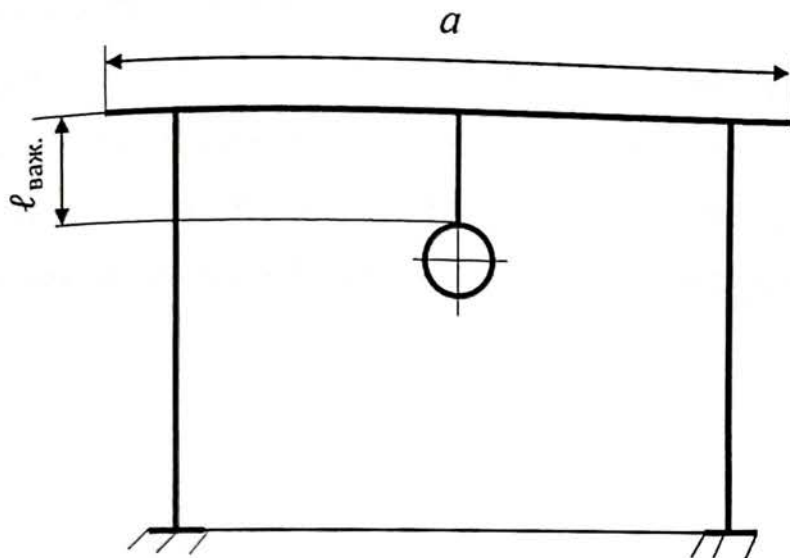


Рис. 3.14 Спосіб закріплення вібробуджувача знизу вібростолу через важіль.

Отримані експериментальним шляхом значення амплітуди віброколивань дали змогу сформувані узагальнені рекомендації щодо вибору оптимальної довжини та конструктивних особливостей важеля. Зокрема:

1. Вібробуджувач доцільно кріпити під вібростолом через важіль у зоні, що відповідає центру мас системи. При цьому слід урахувувати масу бетонних виробів так, щоб їхній центр ваги був максимально наближений до центру маси віброплити.
2. Поперечний переріз важеля повинен забезпечувати якнайбільшу жорсткість, особливо в площині дії коливань, що створює вібробуджувач. Водночас конструкція має бути мінімально металоємною. Найкраще застосовувати прокатні профілі типу двутавра або товстостінні безшовні труби круглого чи квадратного перерізу. Таке рішення дозволяє зменшити

втрати механічної енергії під час передавання вібрацій від вібробуджувача до робочої плити.

3. Довжина важеля (див. рис. 3.14) повинна відповідати висоті вібростолу. Зі збільшенням довжини важеля амплітуда коливань зростає, однак це обмежено конструктивною висотою рами. Крім того, подовження важеля без достатньої жорсткості збільшує його металоемність і знижує ефективність роботи всієї системи.

4. Надмірне збільшення довжини важеля відносно висоти вібраційного столу призводить до суттєвих втрат енергії, що генерує вібробуджувач. У результаті не лише не досягається очікуване зростання амплітуди вимушених коливань — її величина фактично зменшується.

Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.010-00.00.000 ПЗ	Лист
					55

Висновки

Магістерська робота присвячена питанням використання, експлуатації та удосконалення віброформувального обладнання для виробництва залізобетонних виробів, зокрема в напрямку енергозаощадження даного виду виробництва.

Актуальність даної теми підтверджується постійним зростанням кількості бетонних виробів, які використовуються при сучасному будівництві. А обладнання, яке в ньому задіяне, потребує удосконалення.

У процесі аналізу та експериментального дослідження роботи віброформувального обладнання в межах даної магістерської роботи були отримані науково обґрунтовані та практично значущі результати. Наведені експериментальні дані можуть слугувати основою для подальшого розвитку вібраційних технологій, сприяти підвищенню ефективності та надійності вібротехнічного обладнання, а також стати корисними при удосконаленні технологічних процесів у галузі виробництва будівельних матеріалів та залізобетонних виробів.

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

- проведено ґрунтовний огляд наявних конструкцій віброформувального обладнання та проаналізовано сучасні методи підвищення їх продуктивності, з особливим акцентом на енергоефективність;
- виконано детальне дослідження процесу віброущільнення бетонних сумішей і визначено основні шляхи його подальшого удосконалення;
- проаналізовано, як ключові параметри вібрації впливають на рівень ущільнення бетонних сумішей і формування їх структури;

				ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПЗ		
№ докум.	Підп.	Дата				
Мар'єнко	<i>МВ</i>	09.01	Лім.	Лист	Листів	
Коротич	<i>КК</i>	09.01	Н	56	2	
Васильєв		12.01	Висновки Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2026 р.			
Орисенко	<i>Ор</i>	19.01				

- проведено експериментальні дослідження на реальному зразку віброформувального обладнання для отримання практичних даних щодо технологічного процесу виробництва;

- здійснено опрацювання та систематизацію отриманих експериментальних результатів, на основі чого сформульовано узагальнені висновки;

- підготовлено практичні рекомендації щодо визначення раціональних технологічних параметрів роботи віброобладнання для забезпечення оптимальної ефективності процесу;

- виконано огляд та підбір конкретних видів залізобетонної продукції, яка може виготовлятися на даному виді обладнання.

Лист								Лист
№ докум.								57
Підп.								
Дата								

ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПЗ

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. Chap. 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. Shigeyuki 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.010-00.00.000ПЗ

Список літератури

№	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
1	1	Мар'єнко	<i>М.Є.</i>	09.01
2	1	Коротич	<i>Ю.Ю.</i>	09.01
3	1	Васильєв	<i>В.В.</i>	12.09
4	1	Орисенно	<i>О.О.</i>	19.01

Літ.	Лист	Листів
Н	58	3
Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2026 р.		

10. Гусев Б. В., Зазимко В. Г. Вібраційна технологія бетону. Київ : Будівельник, 1991. 230 с.
11. Pințoi R., Barbu A. M., Ionescu A. Vibrations influence on concrete compaction. *Applied Mechanics and Materials*. 2020. Vol. 896. P. 355–360.
12. Кондращенко О. В. Матеріалознавство : навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2007. 182 с.
13. ДБН В.2.8-3-95. Будівельна техніка, оснастка, інвентар та інструмент. Технічна експлуатація будівельних машин. Вид. офіц. Київ : Держкоммістобуд України, 1995. 42 с.
14. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво / Р. Ф. Рунова та ін. Київ : ЕксОб, 2008. 360 с.
15. ДСТУ Б В.2.7-114-2002. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань. Чинний від 2002-07-01. Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ, 2002. 16 с.
16. Назаренко І. І., Ручинський М. М. Фізичні основи механіки будівельних матеріалів. Львів : Афіша, 2002. 128 с.
17. Нестеренко М. П. Прогресивний розвиток вібраційних установок з просторовими коливаннями для формування залізобетонних виробів. *Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво*. 2015. Вип. 2 (44). С. 16–23.
18. Якименко О. В., Кондращенко О. В., Атинян А. О. Бетонні роботи : монографія. Харків : ХНУМГ, 2017. 275 с.
19. Nazarenko I., Ruchynskiy M., Delembovskyi M. (). The basic parameters of vibration settings for sealing horizontal surfaces. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7, No 3.2 (Spec. iss. 2). P. 255–259. <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14415>
20. Cannon R. W. Compaction of Mass Concrete with Vibratory Roller. *ACI Journal*. 1974. Proceeding v. 71. № 10. P. 506–513

**Дослідження амплітуди коливань
віброформувального обладнання з
важелем**

Презентаційні матеріали

ГММ.601-ММ.010-00.00.000ПМ

Кваліфікаційна робота магістра

Дослідження амплітуди коливань
віброформувального обладнання з важелем

Автор:

Мар'єнко Володимир Володимирович

Спеціальність 133 — «Галузеве машинобудування»

Загальна характеристика роботи

Мета

Дослідження та обґрунтування параметрів віброформувального обладнання для виробництва бетонних виробів для підвищення його ефективності та енергозаощадження за рахунок важільного закріплення вібробуджувача.

Задачі

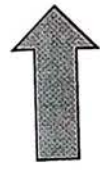
- здійснити аналіз існуючих конструкцій віброформувального обладнання, а також розглянути сучасні підходи до підвищення їх ефективності, зокрема енергоефективності;
- провести оцінку процесу віброущільнення бетонних сумішей та визначити можливі напрями його вдосконалення;
- розглянути вплив параметрів вібрації на якість ущільнення бетонних сумішей;
- виконати експериментальні дослідження на діючому віброформувальному обладнанні;
- здійснити аналіз отриманих експериментальних результатів та узагальнити основні висновки;
- розробити практичні рекомендації щодо вибору оптимальних технологічних параметрів роботи обладнання.

Об'єкт
дослідження



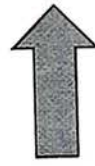
Робочій процес дослідного
віброформувального обладнання.

Предмет
дослідження



Параметри робочого процесу дослідного
віброформувального обладнання.

Методи
дослідження



Емпіричні методи збору інформації,
економіко-статистичний метод, методи
прогнозування та моделювання.

Розділ 1



Загальний огляд
віброформувального обладнання

Розділ 2

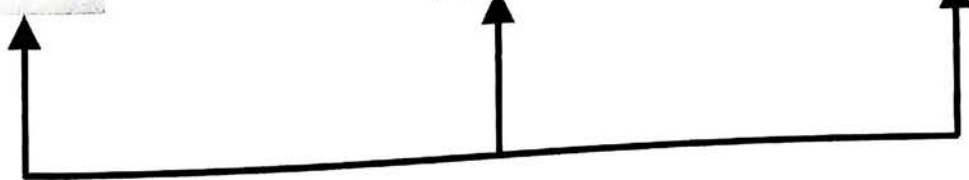


Огляд попередніх досліджень

Розділ 3



Дослідження віброформувального
обладнання



РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ВІБРОФОРМУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1. Принцип і етапи віброуцільнення бетонних сумішей.

1.2. Класифікація віброформувального обладнання.

1.3. Типи та конструктивні особливості віброформувального обладнання.

1.4. Вплив параметрів вібрації на якість уцільнення бетонних сумішей.

Характер ушільнюючих впливів

вібраційний

ударно -
вібраційний

ударний

Основні класифікаційні ознаки віброформувального обладнання

характер і
спрямованість
коливань

співвідношення
вимушуючих і власних
частот коливань

кількість мас, що
коливаються

спосіб формування

тип
вібробуджувача

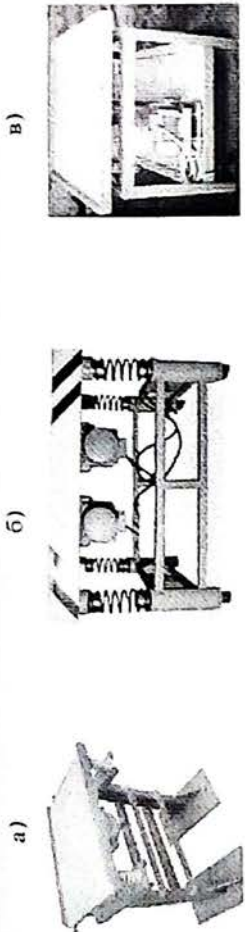


Рис. 1.1 Типові конструкції вібростолів для формування: а – із одним навісним вібратором; б – із двома навісними вібраторами; в – із приводом від електродвигуна.

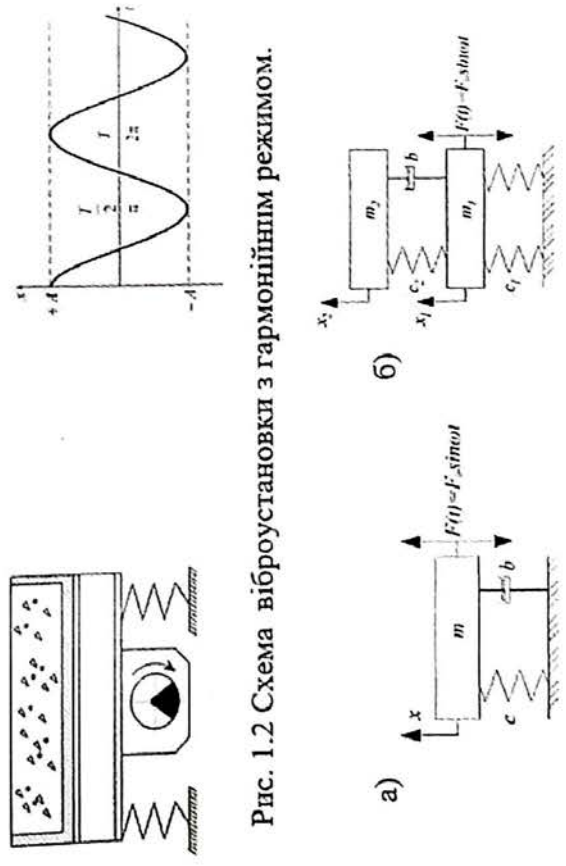


Рис. 1.2 Схеми віброустановки з гармонійним режимом.

Рис. 1.3. Схеми, за якими побудовані вібраційні майданчики з вертикальними коливаннями: а) одномасова; б) двохмасова

Таблиця 1.2. Співвідношення між амплітудою та частотою коливань для гармонійних віброустановок.

Частота коливань, с ⁻¹	Амплітуда коливань, мм
157	0,8...1,2
250	0,6...0,8
314	0,6...0,8

Вплив параметрів вібрації на якість ущільнення бетонних сумішей

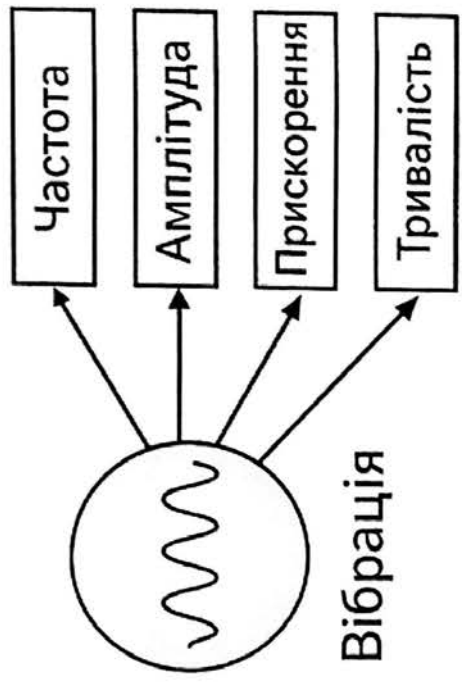
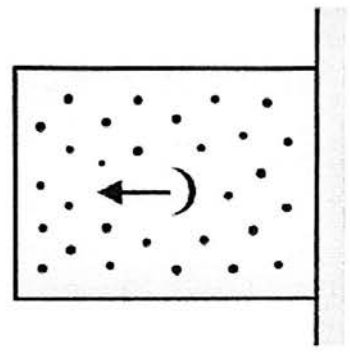


Рис. 1.4 Діючі чинники вібровпливу

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

- 2.1. Процес віброущільнення бетонних сумішей і шляхи підвищення його ефективності.
- 2.2. Огляд віброобладнання-аналогів.
- 2.3. Методика розрахунку віброплощадки з вертикальними коливаннями.
- 2.4. Вибір об'єкту дослідження.

Основні шляхи вдосконалення віброформувального обладнання

- якісна підготовка бетонної суміші на етапи перемішування, яка здатна забезпечити сприятливі умови віброущільнення при необхідних реологічних властивостях вихідної суміші бетону;
- дотримання технологічних режимів та параметрів при ущільненні;
- використання більш раціональних та перспективних методів передачі вібрації від збудника до робочого органу;
- застосування вібраційних режимів, наближених до резонансних;
- широке використання спеціальних пластифікаторів, модифікуючих хімічних добавок, фібр, полімерних компонентів, здатних покращувати якість і міцність бетону, у тому числі, враховуючи різні типи цементу;
- • використання у конструкції вібростолів ефективних віброопор оптимальної жорсткості з мінімальними втратами енергії;
- створення енергоощадних машин для ущільнення бетонних сумішей із застосуванням частотно-регульованих асинхронних електроприводів, регульованих пристроїв та датчиків, які будуть реєструвати параметри коливань для налаштування вібромайданчика на ущільнення різних виробів.

Огляд віброобладнання-аналогів

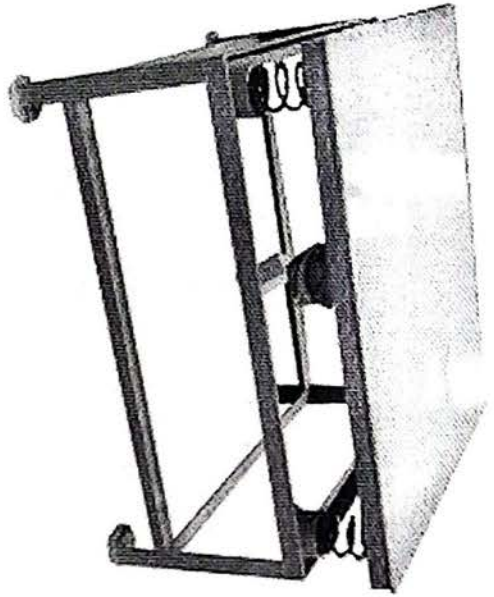


Рис. 2.1 Вібростіл для виготовлення малогабаритних бетонних виробів.

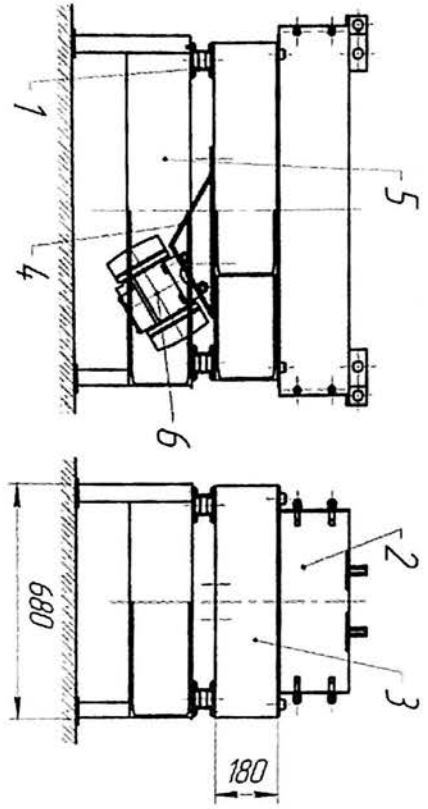


Рис. 2.2 Віброустановка для формування малогабаритних бетонних і залізобетонних виробів

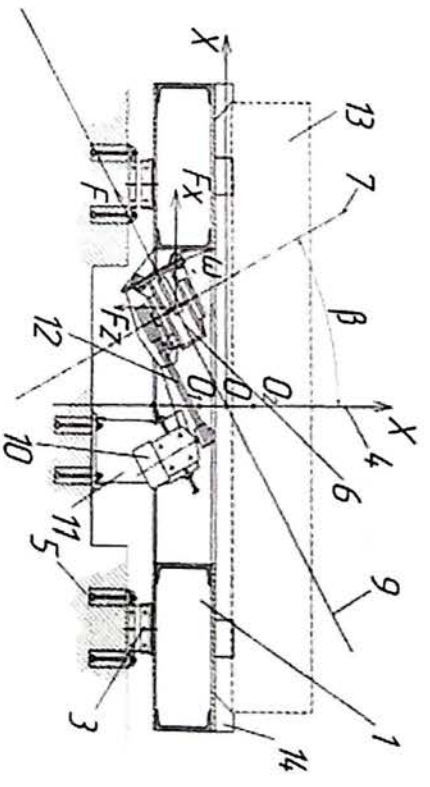
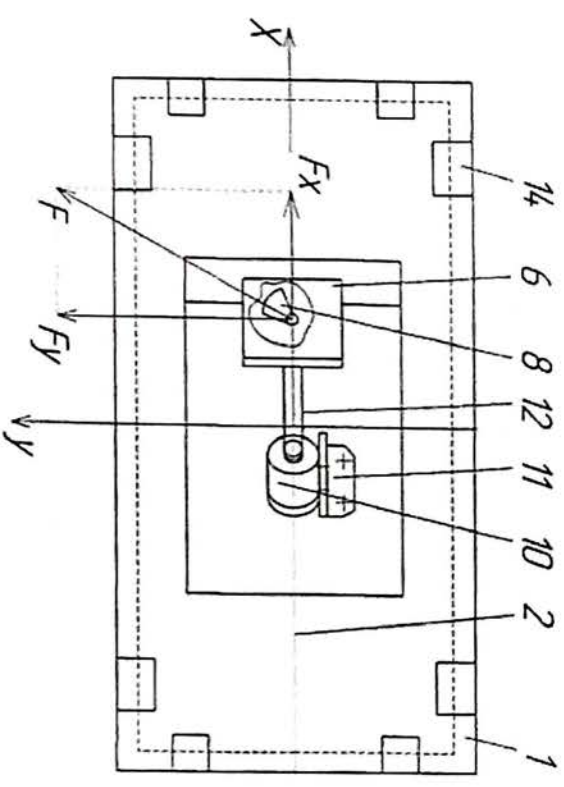


Рис. 2.3 Віброплощадка з похилім встановленням віброобладнання.

Методика розрахунку віброплощадки з вертикальними коливаннями

1. Вихідні дані.

Габарити бетонного виробу: $l \times b \times h$, м.

Густина бетонної суміші ρ , кг/м³.

Амплітуда коливань U_0 , мм.

Кутлова частота коливань ω , с⁻¹.

2. Визначення коливальної маси системи.

Маса виробу

$$m_0 = \rho \cdot V$$

Маса форми

$$m_{\phi} = (0.6 \dots 1.0) m_0$$

Маса коливальної частини площадки

$$m_e = (0.6 \dots 1.0) \cdot (m_{\phi} + m_0);$$

Повна коливальна маса

$$m_{\text{полн}} = m + m_0$$

де $m = m_2 + m_4$

3. Визначення сумарного статичного моменту маси дебалансу.

$$m_0 r_0 = \frac{U_0 \cdot m_{\text{полн}}}{k}$$

4. Визначення сумарної жорсткості віброопор віброплощадки.

$$C_0 = \omega_0^2 \cdot m_{\text{полн}}$$

де ω_0 – власна частота коливань

$$\omega_0 = \omega / (7 \dots 10)$$

5. Визначення амплітудного значення вимушуючої сили.

$$F_0 = m_0 \cdot r_0 \cdot \omega^2$$

6. Визначення потужності привода віброплощадки.

$$P = \frac{P_{\text{пр}} + P_{\text{тр.г}}}{\eta}$$

де $P_{\text{пр}}$ – потужність на тертя в підшипникових вузлах площадки.

Потужність на коливання віброплощадки

$$P_{\text{век}} = 1/4 \cdot F_0 \cdot U_0 \cdot \omega$$

де U_0 – амплітуда коливань віброплощадки

$$U_0 = \frac{m_0 \dot{u}_0}{m_0 a + m}$$

7. Визначення потужності на ущільнення бетонної суміші.

$$P_0 = m_0 \cdot \bar{P} = m_0 \cdot 0.5b \cdot U_0^2 \cdot \omega^3$$

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОФОРМУВАЛЬНОГО ОБ'ЄДНАННЯ

3.1. Терміни вжиття

3.2. Діагностика вібраційного шуму

3.3. Діагностика шуму

3.4. Діагностика шуму

3.5. Діагностика шуму

Дослідне віброформувальне обладнання

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика

№	Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
1.	Частота коливань	f	Гц	50
2.	Амплітуда коливань	A	мм	0,5...1,0
3.	Характер коливань	-	-	кругові гармонійні
4.	Вантажопідйомність	Q	т	0,3
5.	Потужність	N	кВт	0,5 – 0,9
6.	Тип вібробудувача	-	-	дебалансний
7.	Загальна маса	m_c	т	0,25
8.	Габаритні розміри: довжина ширина висота	a b h	м - -	2,0 1,6 0,9
9.	Віброопори: кількість загальна жорсткість матеріал	- - -	шт Н/м -	4 570×10^3 Гума з текстильним каркасом
10.	Спосіб кріплення форми	-	-	механічний

За співвідношенням вилітчастих і власних частот коливань обладнання відноситься до резонансних машин, за кількістю коливальних мас – до одномасних.

Сфера застосування – віброформування малогабаритних бетонних виробів.

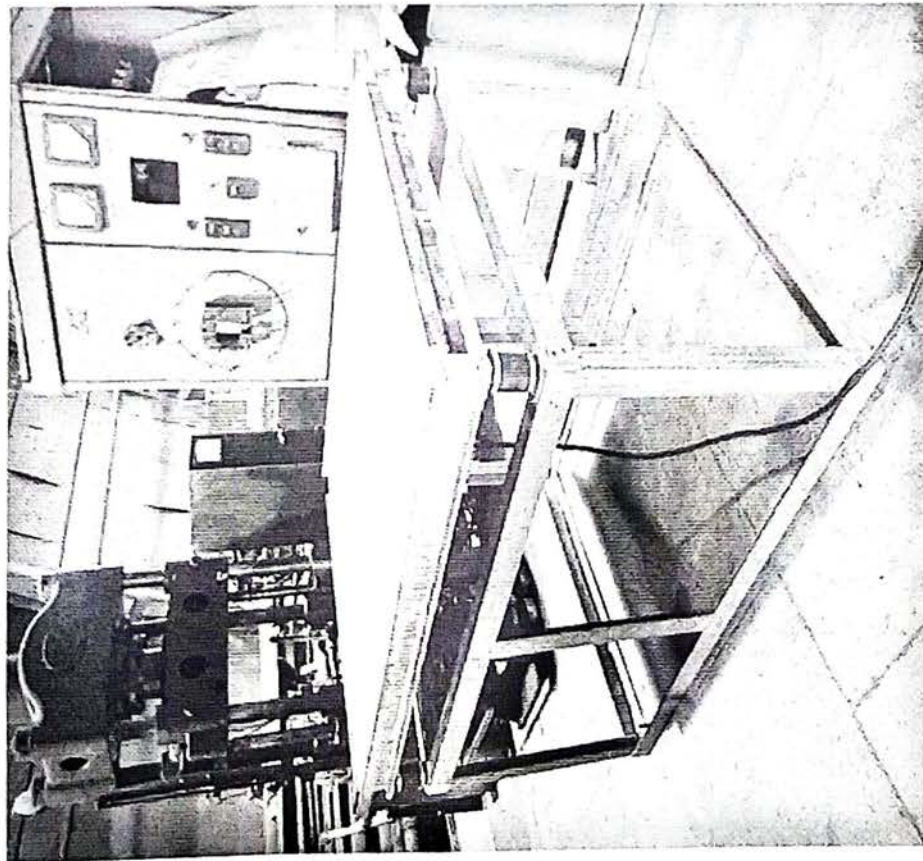


Рис. 3.1. Дослідне віброформувальне обладнання.

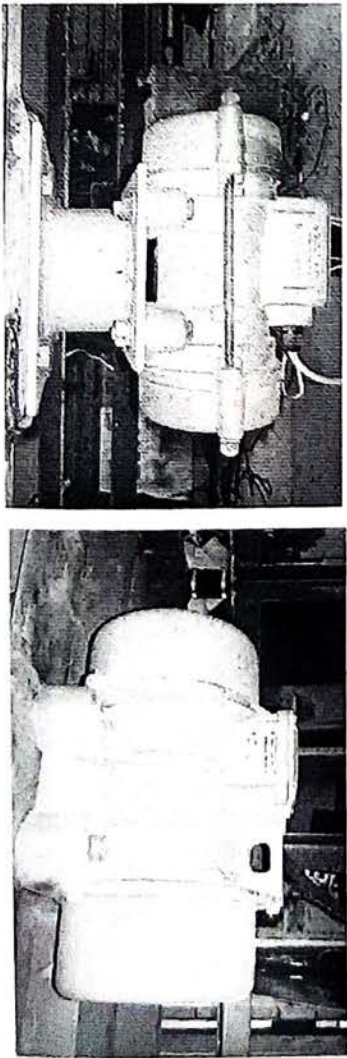


Рис. 3.7 Вібробуджувач з важелем

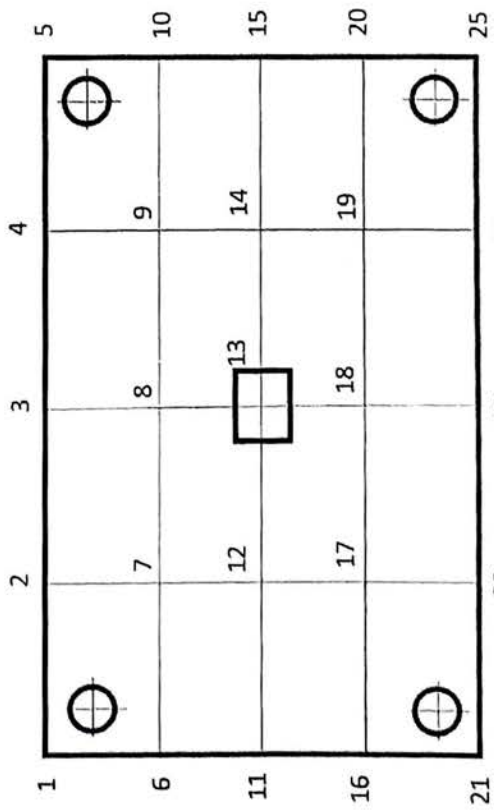
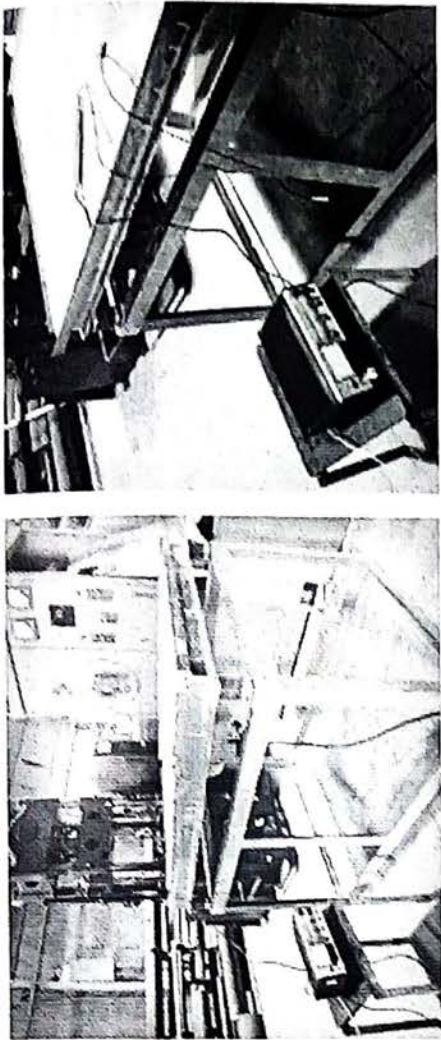


Рис. 3.3 Схема точок виміру амплітуди коливань на віброплиті

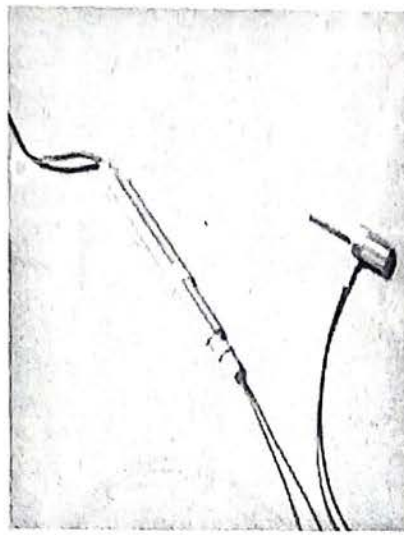
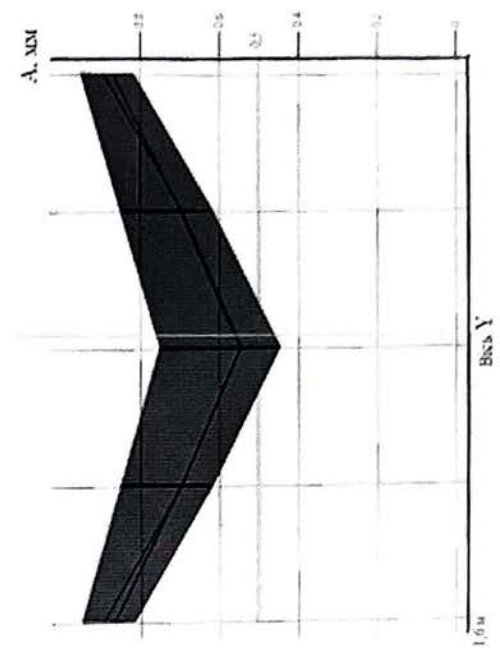
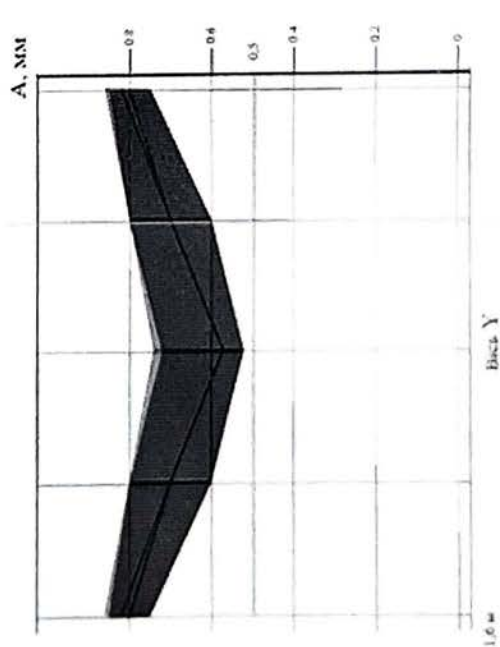
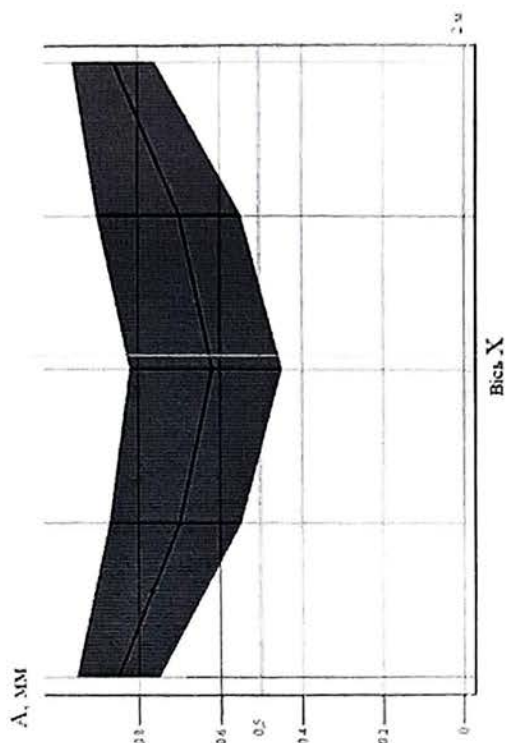
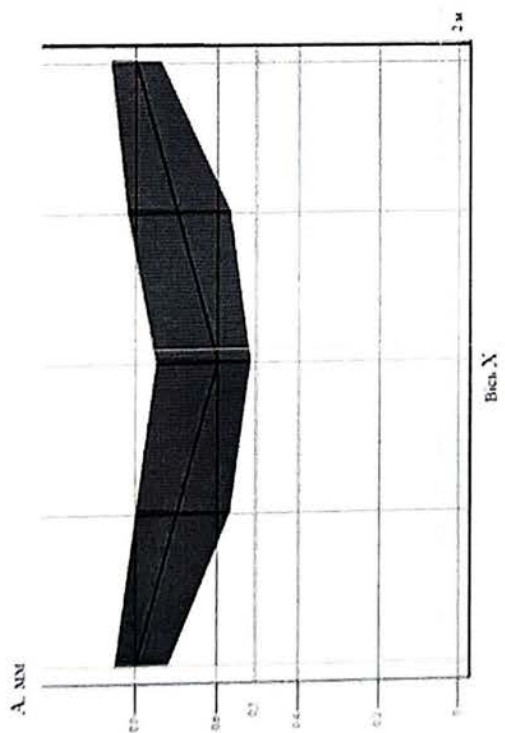


Рис. 3.6 Проведення процесу виміру вібраційних параметрів

Визначення рівня впливу важільного закріплення вібробуджувача на величину амплітуди віброколивань.



$P = 0.9 \text{ кВТ}$

$P = 0.5 \text{ кВТ}$

Номенклатура видів бетонних виробів для їх виробництва на даному віброформувальному обладнанні.

На даному віброформувальному обладнанні доцільно виготовляти вироби, які мають наступну конфігурацію:

- плоска форма однакової товщини до 150 мм;
- вигляд у плані нагадує собою квадрат, прямокутник або коло;
- своєю площею максимально займають поверхню віброплити;
- по центру виробу мають отвір, площа якого більше 15 відсотків від площі віброплити.

Подібними виробами є типові ЗВВ (рис. 3.10, 3.11), виготовлення яких виконується відповідно до ДСТУ БВ.2.6-106:2010.



Рис. 3.10 Види плоских бетонних виробів з отвором для локу.

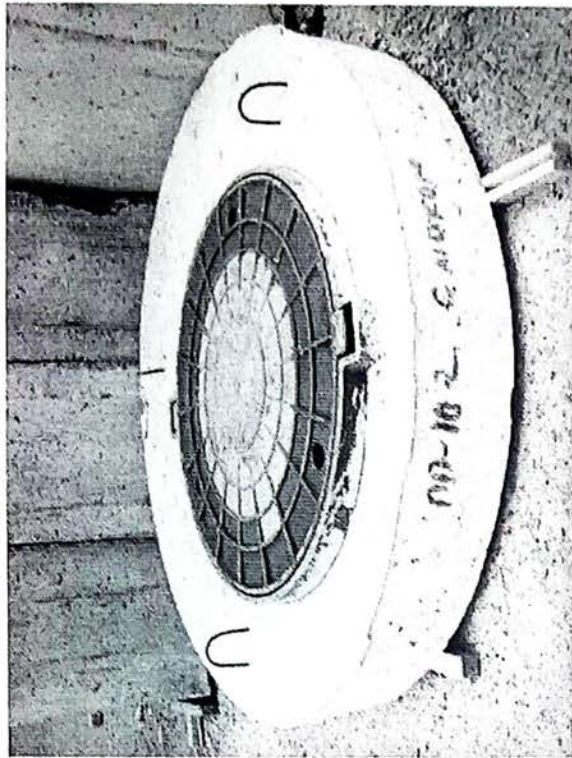


Рис. 3.13 Плита ПП 10-2 з локом

У якості виробів пропонуються наступні:

	Плита ПП 10-2	Плита АПП-2
Вага	240 кг	350 кг
Висота	150 мм	100 мм
Марка бетону	М200	М200
Зовнішній діаметр	1160 мм	2000*1200 мм

Рекомендації щодо довжини та конструкції важеля для закріплення вібробуджувача на віброформувальному обладнанні.

В рекомендаційній роботі виконано комплекс дослідних дій як підставили ефективність закріплення вібробуджувача знизу вібростолу до точки центру мас через важіль (див. рис. 3.14). Це дає можливість узагальнити отримані результати експериментальних досліджень, зробити рекомендації по прикладенню динамічної конструкції важеля, а саме:

1. Вібробуджувач через важіль закріплюється знизу вібростолу, і, як правило, у точці центра мас, враховуючи вагу бетонних виробів, центр мас яких повинен максимально збігатися з центром маси віброплити.

2. Поперечний переріз важеля повинен забезпечувати якнайбільшу жорсткість, особливо в площині дії коливань, що створює вібробуджувач. Водночас конструкція має бути мінімально металоемною. Найкраще застосовувати прокатні профілі гниу двугора або товстостінні безшовні труби круглого чи квадратного перерізу. Таке рішення дозволяє зменшити втрати механічної енергії під час передавання вібрацій від вібробуджувача до робочої плити.

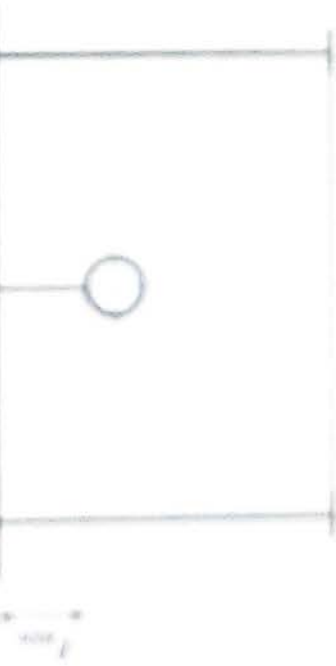


Рис. 3.14. Спосіб закріплення вібробуджувача знизу вібростолу через важіль

3.3. Довжина важеля (див. рис. 3.14) повинна відповідати висоті вібростолу. Зі збільшенням довжини важеля зменшується коливань, зростає, однак не обмежено конструктивною висотою рами. Крім того, подовження важеля без достатньої жорсткості збільшує його металоемність і знижує ефективність роботи всієї системи.

4. Неподміне збільшення довжини важеля відносно висоти вібраційного столу призводить до суттєвих втраг енергії, що генерує вібробуджувач. У результаті не лише не досягається очікуване зростання амплітуди примусових коливань — її величина фактично зменшується.

ВИСНОВКИ

У процесі аналізу та експериментального дослідження роботи віброформувального обладнання в межах даної магістерської роботи були отримані науково обґрунтовані та практично значущі результати. Наведені експериментальні дані можуть слугувати основою для подальшого розвитку вібраційних технологій, сприяти підвищенню ефективності та надійності вібротехнічного обладнання, а також стати корисними при удосконаленні технологічних процесів у галузі виробництва будівельних матеріалів та залізобетонних виробів. Визначивши мету дослідження, у ході роботи були вирішені наступні задачі.

1. Проведено ґрунтовний огляд наявних конструкцій віброформувального обладнання та проаналізовано сучасні методи підвищення їх продуктивності, з особливим акцентом на енергоефективність.

2. Виконано детальне дослідження процесу віброущільнення бетонних сумішей і визначено основні шляхи його подальшого удосконалення.

3. Проаналізовано, як ключові параметри вібрації впливають на рівень ущільнення бетонних сумішей і формування їх структури.
4. Проведено експериментальні дослідження на реальному зразку віброформувального обладнання для отримання практичних даних щодо технологічного процесу виробництва.
5. Здійснено опрацювання та систематизацію отриманих експериментальних результатів, на основі чого сформульовано узагальнені висновки.
6. Підготовлено практичні рекомендації щодо визначення раціональних технологічних параметрів роботи віброобладнання для забезпечення оптимальної ефективності процесу.
7. Виконано огляд та підбір конкретних видів залізобетонної продукції, яка може виготовлятися на даному виді обладнання.

Доповідь закінчена.

Дякую за увагу!