

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:

Вплив температури гумових віброопор на технологічні параметри
вібраційного столу

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

133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Алексєєнко О. П.

(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

**Вплив температури гумових віброопор на
технологічні параметри вібраційного столу**

Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

ГММ.601-ММ.001-00.00.000 КРМ - ЛУ

Розробив здобувач групи 601-ММ

Олександр АЛЕКСЕЄНКО

«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

«19» 01 2026 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

галузевого машинобудування та мехатроніки,

к.т.н., доц.

Олександр ОРИСЕНКО

Перш застосу		№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кільк. листів	№ екз.	Примітка
Додатк. №								
		1						
		2			Документація загальна			
		3						
		4			Вперше розроблена			
		5						
		6	A4	ГММ.601-ММ.001-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-	
		7	A4	ГММ.601-ММ.001-00.00.000А	Анотація	4	-	
		8	A4	ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	54	-	
		9						
		10			Документація наукова			
		11						
		12			Вперше розроблена			
		13						
		14	A4	ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПМ	Вплив температури гумових			
		15			вібраопор на технологічні			
		16			параметри вібраційного столу			
		17			Презентаційні матеріали	14	-	
		18						
		19						
		20						
		21						
		22						
		23						
		24						

ГММ.601-ММ.001-00.00.000ВР				
Зн	Лист	№ докум	Підп	Дата
Розроб		Алексеевко		19.01
Перевір		Коротич		23.01
Нконтр		Васильєв		12.01
Затв		Орисянко		14.01

Вплив температури гумових вібраопор на технологічні параметри вібраційного столу

Відомість кваліфікаційної роботи магістра

Котляков

Лист	Лист	Листів
1	1	1

Національний університет імені Юрія Кондратюка
 ННІТР, 2026 р.
 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)

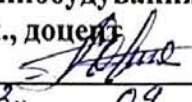
Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри галузевого
машинобудування та мехатроніки,

к.т.н., доцент


«03» 09

Олександр ОРИСЕНКО

2025 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Алексєєнку Олександрю Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: Вплив температури гумових віброопор
на технологічні параметри вібраційного столу

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
віброуцілювання.

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графік
зростання амплітуди вертикальних коливань, графік зростання температури
віброопор, графік зміни амплітуди вертикальних коливань від температури
гумових віброопор. – Презентаційні матеріали.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2	Нестеренко ТМ		
3	Скляренко Т.О		

7. Дата видачі завдання «03» вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Загальний розгляд віброформувального обладнання.	18.10.2025 р.	+
2	Огляд попередніх досліджень.	08.11.2025 р.	+
3	Проведення дослідження.	22.11.2025 р.	+
4	Побудова графіків та обґрунтування параметрів віброформувального 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)

Олександр АЛЕКСЕЄНКО
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Юрій КОРОТИЧ
(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми

(підпис)

Микола НЕСТЕРЕНКО
(прізвище та ініціали)

Анотація

О. П. Алексеєнко. Вплив температури гумових віброопор на технологічні параметри вібраційного столу. – 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 технологічних параметрів вібраційного столу для віброформування бетонних виробів. Вібраційний спосіб ущільнення бетонних сумішей є найбільш поширеним серед багатьох способів завдяки простоті обладнання та високій ефективності. Вібраційне обладнання має у своєму складі елементи, які мають суттєвий вплив на технологічний процес виготовлення та якість виготовлюємої продукції. В даній роботі досліджується вплив температури гумових віброопор на технологічні параметри вібраційного столу.

Перший розділ включає в себе загальний розгляд віброформувального обладнання: процес укладання та ущільнення бетонних сумішей, представлена будова та конструкція віброформувального обладнання. Також представлені його різновиди.

У другому розділі проводиться огляд попередніх досліджень за темою магістерської роботи. Розглянуто призначення пружних опор на віброформувальному обладнанні та конструктивні види пружних гумових віброопор. Після проведення огляду дослідного віброобладнання було здійснено вибір об'єкту дослідження.

В третьому розділі в якості обладнання для проведення досліджень було обрано вібраційний стіл для виготовлення бетонних виробів. Спочатку проведено розрахунок пружних опор. Далі виконано дослідження впливу температури

					ГММ.601-ММ.001-00.00.000А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Анотація		
Розроб.	Алексєєнко			19.01			
Перев.	Коротич			19.01	Літ.	Лист	Листів
					Н	1	4
Н.контр.	Васильєв			12.01	Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2026 р.		
Затв.	Орисенко			19.01			

гумових віброопор на величину амплітуди віброколивень згідно встановленого плану та визначено рівень цього впливу. На кінець надано рекомендації для експлуатації віброформувального обладнання з гумовими пружними віброопорами.

Об'єм магістерської роботи складає 54 сторінки пояснювальної записки формату А4 і 14 сторінки презентаційних матеріалів формату А4.

Ключові слова: гумова віброопора, амплітуда коливень, вібраційний стіл, бетонні вироби, ущільнення, віброзбуджувач.

The summary

O. P. Alekseenko. The influence of the temperature of rubber vibration mounts on the vibrating table's technological parameters. – 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 technological parameters of a vibrating table for vibroforming concrete products is conducted. The vibration method of compacting concrete mixtures is the most common among many methods due to the simplicity of the equipment and high efficiency. Vibration equipment contains elements that have a significant impact on the technological process of manufacturing and the quality of the manufactured products. This work investigates the effect of the temperature of rubber vibration mounts on the technological parameters of the vibrating table.

The first section includes a general review of vibroforming equipment: the process of placing and compacting concrete mixtures, the structure and design of vibroforming equipment are presented. Its varieties are also presented.

The second section reviews previous research on the topic of the master's thesis. The purpose of elastic supports on vibroforming equipment and the structural types of elastic rubber vibration supports are considered. After conducting an inspection of the experimental vibration equipment, the research object was selected.

In the third section, a vibrating table for the manufacture of concrete products was chosen as the equipment for conducting research. First, the calculation of elastic supports was carried out. Next, a study was carried out on the influence of the temperature of rubber vibration mounts on the amplitude of vibration oscillations according to the established plan and the level of this influence was determined. Finally, recommendations were given for the operation of vibroforming equipment with rubber elastic vibration mounts.

ГММ.601-ММ.001-00.00.000А

Лист

3

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

The volume of the master's thesis is 54 sheets of explanatory note in A4 format and 14 sheets of presentation materials in A4 format.

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

ГММ.601-ММ.001-00.00.000А

Лист

4

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

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

**Вплив температури гумових віброопор на технологічні параметри
вібраційного столу**

**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра**

ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПЗ

Полтава – 2026 року

Зміст

Вступ.....	4
1. Огляд та аналіз параметрів і режимів віброформувального обладнання.....	6
1.1 Розгляд процесу укладання та ущільнення бетонних сумішей.....	6
1.2 Огляд будови конструкцій віброформувального обладнання.....	12
2. Огляд попередніх досліджень.....	22
2.1 Призначення пружних опор на віброформувальному обладнанні.....	22
2.2 Конструктивні види пружних гумових віброопор.....	23
2.2.1 Пружна опора ОУ-4.....	23
2.2.2 Конічна пружна опора.....	24
2.2.3 Циліндрична пружна опора.....	26
2.2.4 Вібраційна опора з підвищеною несучою здатністю.....	28
2.2.5 Пружна віброізоляційна опора з регульованою жорсткістю.....	29
2.3 Вибір об'єкту дослідження.....	31
3. Дослідження гумових віброопор.....	33
3.1 Вибір обладнання для дослідження.....	33
3.2 Розрахунок пружних опор.....	35
3.3 Дослідження впливу температури гумових віброопор на величину амплітуди віброколивень.....	40
3.3.1 Вимірювальне обладнання.....	40
3.3.2 Проведення вимірювань.....	41
3.4 Опис віброграми вібраційного столу.....	43
3.5 Визначення рівня впливу температури гумових віброопор на величину амплітуди віброколивень.....	45
3.6 Рекомендації для віброформувального обладнання з гумовими	

ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПЗ

Зм.	Лис.	Іде бокун.	Підп.	Дат.	Зміст		
Розроб.	Александро						
Голов.	Каратич				Національний університет імені Юрія Кондратюка ІННІТР 2028 р.		
Н.контр.	Васильєв						
Витв.	Орлов						

пружними віброопорами.....	48
Висновки.....	50
Список літератури.....	52
Презентаційні матеріали	

Вступ

В магістерській роботі представлено розгляд вібраційного обладнання для віброформування бетонних виробів з використанням пружних гумових вібраційних опор. Вібраційний спосіб ущільнення бетонних сумішей на обладнанні подібного типу є доволі поширеним завдяки простоті та високій ефективності. Але використання в якості вібраційних опор саме гумових елементів має свою специфіку застосування, яка потребує розгляду, дослідження та обґрунтування. В даній роботі пропонується дослідити віброформувальне обладнання з гумовими віброопорами та обґрунтувати доцільність їх використання.

Мета дослідження. Мета роботи полягає в дослідженні робочого процесу віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів з метою виявлення впливу температури гумових віброопор на технологічні параметри даного процесу виготовлення.

Для досягнення зазначеної мети дослідження сформульовані та виконані наступні задачі:

- проведення огляду будови конструкцій віброформувального обладнання різних типів;
- проведення огляду та аналізу процесу віброущільнення бетонних сумішей;
- здійснення огляду різноманітних конструкцій гумових віброопор для віброформувального обладнання;
- проведення експериментальних досліджень із визначенням температури гумових віброопор та амплітуди коливань на дослідному вібраційному обладнанні;

ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПЗ

Вступ

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Алексеев		05.01
Перев.		Коротич		09.01
Н.контр.		Васильев		12.01
Затв.		Орисенко		19.01

Літ.	Лист	Листів
Н	2	2
Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІІТР, 2026 р.		

– проведення аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень;

– розроблення рекомендацій для віброформувального обладнання з гумовими пружними віброопорами.

Методи дослідження. При виконанні роботи при проведенні досліджень щодо виявлення впливу температури гумових віброопор на технологічні параметри віброформувального обладнання були використані [8] як загальні, так і спеціальні методи наукових досліджень. Серед загальних методів використовувались емпіричні і теоретичні методи досліджень. Серед спеціальних – економіко-статистичний метод, методи прогнозування та моделювання.

Об'єктом досліджень є технологічний процес дослідного віброформувального обладнання.

Предметом дослідження є параметри технологічного процесу дослідного віброформувального обладнання.

					ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		5

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ВІБРОФОРМУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.

1.1 Розгляд процесу укладання та ущільнення бетонних сумішей.

Бетонна суміш складається із піску, щебню, цементу та води, які перемішуються в змішувачі і надалі попадають в бункер бетоноукладача. В такому стані суміш представляє являє собою структуру з великою кількістю повітря, яке перебуває у вигляді замкнених бульбашок. Ця стадія є проміжною і характеризує процес укладання суміші. Далі бетоноукладач вивантажує суміш у форму, яка встановлена на вібромайданчик або віброустановку, які здійснюють процес ущільнення. Інколи на верхній шар суміші укладають металевий щит, який своєю статичною або динамічною, завдяки установлення на ньому вібратора, дією ущільнює верхній шар. При ущільненні бетонна суміш отримує властивості текучості внаслідок порушення зв'язків між частинками, як отримують підвищену рухливість. При вібрації бетонної суміші відбувається її ущільнення і формування. Вібраційна машина, форма з бетонною сумішшю та металевий щит за умови, що на ньому закріплений вібратор і утворюють вібраційне формувальне обладнання. Технологічний процес ущільнення складний і різноманітний. Зазначена складність обумовлена цілою низкою чинників. По-перше, значною зміною реологічних властивостей бетонної суміші в процесі віброущільнення. Для моделювання цих змін можна виділити три типи руху частинок бетонної суміші: індивідуальне (тут відбувається рух окремих частинок заповнювача по об'єму бетонної суміші), загальне (спільне) коливальний рух бетонної суміші, як суцільний системи і рівномірне переміщення частинок від одного положення рівноваги в інше, що відбувається

				ГММ.601-ММ.001-00.00.000 ПЗ				
Зм. Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Огляд віброформувального обладнання		Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Алексєєнко		05.04				6	
Перев.	Коротич		09.06					
Н. контр.	Орисенко		12.01					
Зам.						Національний університет Н імені Юрія Кондратюка ННІТР 2026		

переважно в поверхневому шарі. У зв'язку з цим в процесі віброущільнення виділяють три тимчасових стадії: I - переукладання складових, II - зближення складових, III - компресійний ущільнення (рис. 1.1).

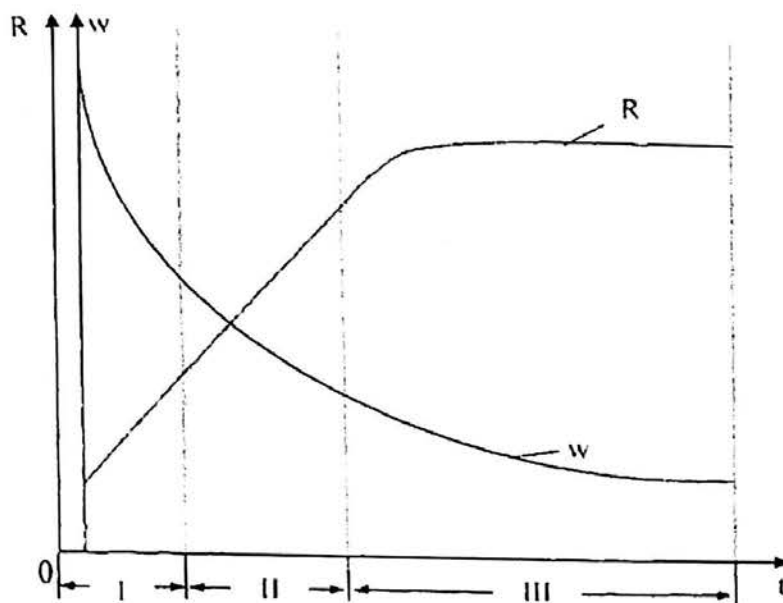


Рис. 1.1 Зменшення пористості W і збільшення міцності R бетонної суміші в процесі її ущільнення.

На першій стадії здійснюється перекомпонування зерен заповнювача, що прагнуть зайняти більш стійке положення відносно один одного, тому відбувається зміна обсягу суміші. Тривалість цієї стадії (20–30 с) залежить від жорсткості бетонної суміші. Стадія характеризується різким збільшенням щільності бетонної суміші.

На другій стадії відбувається зближення частинок суміші і їх обволікання цементним тестом. Тривалість стадії при стандартних ущільнюючих пристроях характеризується появою великої кількості контактів між зернами, значним видаленням повітря, переміщенням цементного тесту і порівняно малою зміною щільності. Однак саме ця стадія віброущільнення зумовлює необхідні властивості бетону. Третя стадія компресійного до ущільнення в технології збірного залізобетону використовується лише при підвищенні статичного тиску,

наприклад, застосуванням поверхневого привантаження. Застосування високих тисків дозволяє заповнити цементним тестом порожнечі в заповнювачі, більш рівномірно розподілити повітря та воду і спонукає до вирівнювання поверхневого шару.

При формоутворенні, що протікає одночасно з ущільненням, надається виготовленому виробу певну конфігурацію і заданий геометричний розмір. З вищевикладеного видно, що процес віброущільнення бетонної суміші на різних стадіях підпорядковується різним закономірностям, що супроводжується значною зміною її реологічних властивостей в процесі віброущільнення. При цьому пористість бетонної суміші знижується (див. рис. 1.1), а міцність зростає. При розгляді процесу ущільнення необхідно знати основну частоту і амплітуди коливань, їх амплітудний і фазовий спектр, форму траєкторій коливальних точок і орієнтацію траєкторій в просторі.

Завдання зазначених факторів має виходити із складу і властивостей бетонної суміші, розміру і конфігурації формованого виробу, необхідної міцності готового виробу, його водонепроникності, морозостійкості, якості поверхонь, а також тривалості вібрування, наявності режиму подальшої термічної вологої обробки, необхідної міцності свіжесформованого виробу і ряду інших обставин. Встановлення кількісних залежностей між перерахованими факторами вимагає виразного розуміння сутності вібраційного формування. На жаль, все ще відсутнім є повний і ясний комплекс результатів теоретичних і експериментальних досліджень вібраційного ущільнення бетонної суміші і вібраційного формування залізобетонних і бетонних виробів.

В роботах [12, 13] зазначається, що частинки бетонної суміші під дією вібрації отримують імпульси, внаслідок чого вони коливаються в положеннях нестійкої рівноваги. Бетонна суміш при цьому набуває властивості «важкої» рідини. Під впливом імпульсів частинки бетонної суміші знаходяться в безперервному коливальному руху близько осереднених положень нестійкої рівноваги. Внаслідок зміщення окремих частинок утворюється порожнеча;

частинка внаслідок дії сили тяжіння заповнює її та продовжує коливатися вже в новому положенні нестійкої рівноваги. Тому послідовний рух частинок проходить переважно вниз. Для бетону на легкому заповненні (туфі, пемзі) має місце зворотне явище - спливання крупного заповнювача. Крім вертикальних переміщень вниз частинки бетонної суміші можуть володіти і іншими переміщеннями: в гору, до вібратора і від нього (при внутрішній вібрації). З неї виділяється повітря у вигляді бульбашок; вона може прийняти будь-яку форму і створює тиск на стінки опалубки, який підкоряється законам гідростатики. Ступінь переходу бетонної суміші в стан рідини залежить від ступеня зменшення внутрішнього тертя між частинками в результаті впливу на неї вібраційних імпульсів. У деяких випадках бетонна суміш, будучи під дією вібрації не виділяє повітря у вигляді бульбашок, а засмоктує його. Загальне уявлення про поведінку бетонної суміші при вібрації можна отримати, знаючи структурну в'язкість бетонної суміші. Важливо знання граничних значень швидкості руху часток бетонної суміші різного складу і рухливості. Знаючи граничні швидкості руху, можна встановити ефективність вібрації. Врахування в'язкості безумовно є важливим фактором осмисленого розуміння фізики процесу, яка відбувається в бетонній суміші при її ущільненні.

Вібрування бетонної суміші при амплітуді коливань вище граничної не змінює густини і міцності, крім випадків великих амплітуд коливань, коли може відбутися розшарування бетонної суміші за рахунок виникнення турбулентних явищ. Дещо інший погляд на процес приведено в роботі [18], де зазначається, що при ущільненні бетонних сумішей виникають два різних процеси, що підкоряються істотно різним закономірностям. Перший з них - процес переукладання складових суміші - інтенсивно протікає тільки при відсутності яких-небудь значних зовнішніх статичних навантажень від привантажувальних пристроїв машини або від дії власної ваги вище розміщених шарів суміші, тобто практично у верхньому, вільному від навантаження шарі обмеженої товщини.

При наявності значних сил всебічного стиснення або в обмежених умовах процес переукладання розвивається слабо або не виникає зовсім.

Другий процес – це зближення складових суміші - протікає при наявності значних статичних навантажень, збільшення яких до певної межі (обумовлює оптимумом співвідношення між статичної та динамічної складової сумарного тиску на суміш) дає позитивний ефект. Автори цитованої роботи роблять висновок, що внаслідок викладеного неможливо встановити однозначної залежності між показниками ефективності ущільнення суміші, з одного боку, і параметрами передаючого на неї силового впливу, з іншого. Завдяки явищу переукладання складових в процесі ущільнення сам об'єкт вивчення - бетонна суміш - безперервно змінюється, що практично виключає можливість побудови строгої теорії вібраційного ущільнення. Тобто, в даний час не існує не тільки загальноприйнятих методів оцінки цієї властивості, але навіть і єдиного погляду на її природу. Причину такого становища потрібно бачити в складності процесу формозміни (течії) суміші, яке залежить від двох зовсім різнорідних факторів - істинних характеристик механічних властивостей суміші (граничного опору зрушенню, в'язкості) і характеристик виду та інтенсивності динамічного впливу на бетонну суміш. Іншими словами, при вібраційному формуванні залізобетонних виробів ми маємо справу не з істинною, а з ефективною або вібраційної в'язкістю суміші. Отже, вже вдруге акцентується увага на необхідності оцінки і врахування в'язкості суміші.

В роботі [14] також робиться акцент, що для того щоб ущільнити бетонну суміш, необхідно створити такі умови, при яких величина початкового зсуву і в'язкість цементного тіста будуть відповідно зменшені. В іншій роботі [16] наступним чином описують механізм вібраційного ущільнення бетонної суміші: «У бетонної суміші зерна заповнювачів знаходяться у вільному стані. В результаті механічного впливу певної інтенсивності створюються умови, при яких внаслідок порушення структурних зв'язків цементного тіста зерна заповнювачів набувають свободу переміщення, у зв'язку з чим відбувається

більш тісна їх упаковка. Таким чином, незалежно від крупності заповнювачів параметри вібраційного впливу повинні підбиратися так, щоб викликати тиксотропне розрідження цементного тіста, оскільки в пружно-пластичному середовищі переміщення зерен заповнювача вкрай утруднене. В бетонній суміші з пласти часто - в'язкими властивостями цементного тіста, тобто при відносно високих значеннях водо цементного відношення, структурні зв'язки руйнуються при низьких частотах вібрації, і виникаючи амплітудні деформації суміші виявляються здатними створити необхідні умови для перегрупування і компактної упаковки зерен заповнювачів».

В роботі [18] робиться акцент на те, що механізм ущільнення бетонної суміші під дією вібрації вивчений недостатньо. Зазначається, що під дією вібрації бетонна суміш набуває рухливості, що забезпечує хороше заповнення форми. При цьому щільність бетонної суміші збільшується за рахунок більш компактного укладання частинок заповнювача, так і виділення з суміші бульбашок повітря. При надмірно тривалій вібрації починається її розшарування. Тому поряд з параметрами вібрації повинна бути визначена і тривалість віброущільнення. Взагалі, це є відомим і не заперечним фактом.

Таким чином, аналіз ряду робіт показав, що за різними тлумаченнями ні амплітуда коливання, ні швидкість, ні прискорення, взяті окремо, не характеризують ефект віброущільнення бетонної суміші, тобто досягається міцність і щільність або необхідну тривалість вібрування. Очевидно, що вирішальним фактором, який впливає на процес ущільнення бетонної суміші є не амплітуда або частота коливань, взяті окремо, а функція їх, яка визначає енергію у часі, швидкість або прискорення бетонної суміші.

Наведений аналіз досліджень щодо виявлення фізичної природи процесу ущільнення засвідчує наступне. Процес ущільнення на стадії є умовним, оскільки звичайно всі стадії протікають певною мірою одночасно і взагалі перебіг процесу вібраційного ущільнення залежить від чималої кількості факторів: складу суміші, її рухомості, режимів руху, параметрів вібрації та інших

факторів. Виходячи із загального погляду на процес ущільнення, можна зазначити, що бетонна суміш на різних стадіях підпорядковується різним закономірностям зміни свого стану. Спочатку вона може бути представлена як сипке середовище, де відбувається вібраційне переміщення її частинок, тобто переважно впливають сили сухого тертя. З подальшим ущільненням суміш стає більш рухомою і текучою і проявляє себе як пружне в'язко пластичне тіло. Тому на процес ущільнення впливає також характер навантаження з боку робочого органу машини. Тому при вдосконаленні режимів та параметрів, створенні ефективних установок для віброущільнення, важливим є огляд будови віброплощадок і віброустановок для ущільнення бетонних сумішей.

1.2 Огляд будови конструкцій віброформувального обладнання.

За будовою віброформувальне обладнання складається із вібраційної машини, форми з бетонною сумішшю та металевого щита на ньому закріплений вібратор (рис.1.2).

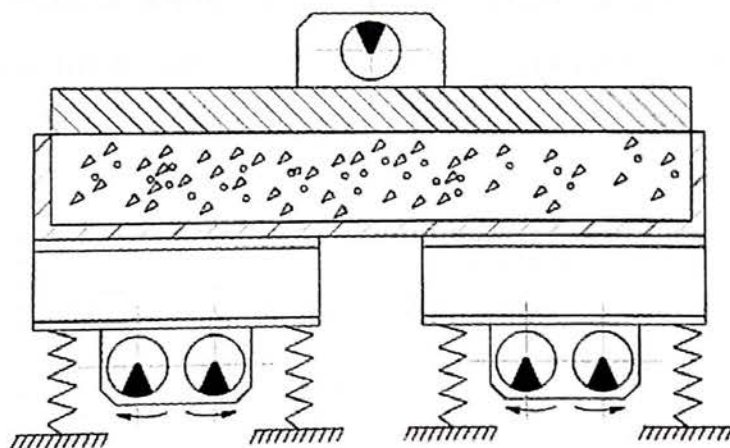


Рис. 1.2 Схема будови конструкції віброформувального обладнання.

Основним елементом віброформувального обладнання являється вібраційна машина, яка складаються з двох елементів — робочого органу та вібратора. Вібратор збуджує коливання робочого органу, який призначений для передачі коливань суміші. Розглянемо докладніше основні конструктивні схеми

віброплощадок та віброустановок. Найперші конструкції вібромайданчиків являли собою зварну раму, що спиралась на фундамент пружними зв'язками (рис.1.3,а). Знизу до рами закріплено вал з дебалансами. Рух вала створюється клинопасовою передачею за допомогою електродвигуна. Віброплощадки з вертикально направленим (рис.1.3,б) рухом стали подальшим розвитком конструкцій об'ємного ущільнення бетонних сумішей.

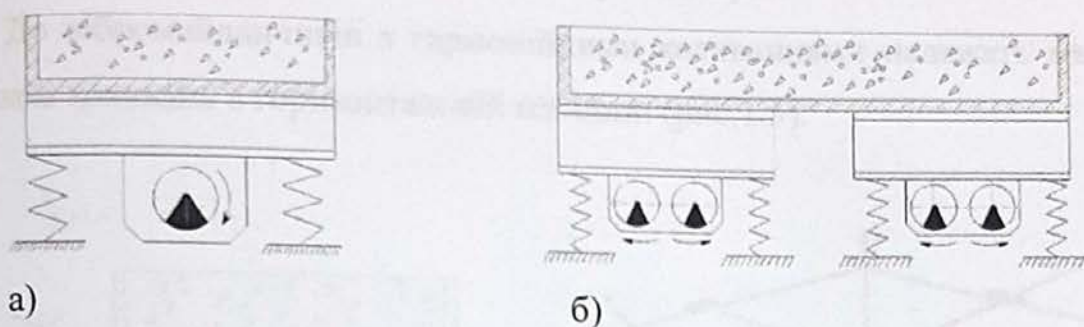


Рис.1. 3 Основні схеми гармонійних вібромайданчиків: а) – з круговими вертикальними коливаннями; б) – з направленими вертикальними коливаннями.

Найбільше розповсюдження серед цих вібромайданчиків отримало обладнання з направленими вертикальними коливаннями, конструкція якої приведена на рисунку 1.4.

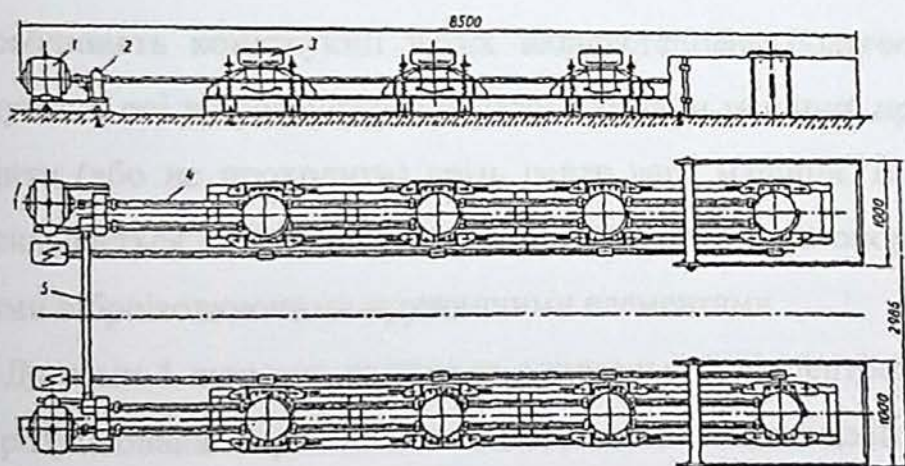


Рис.1.4 Конструкція вібромайданчика з вертикально – направленими коливаннями.

Вібромайданчик (рис.1.4) складається з окремих блоків, з'єднаних між собою карданными валами 4. Направлені коливання забезпечуються обертанням від двигунів 1 кожної пари валів віброблоків в різні напрями. Синхронізація обертання валів в кожному ряду віброблоків і між рядами забезпечувалася синхронізаторами 2 і з'єднувальним валом 5. Таким чином, вібромайданчик здійснював вертикально-направлені коливання і складається з уніфікованих вузлів і віброблоків, карданных валів і синхронізаторів.

До вібромайданчиків з гармонійними коливаннями належать машини із збудником коливань в горизонтальній площині (рис.1.5).

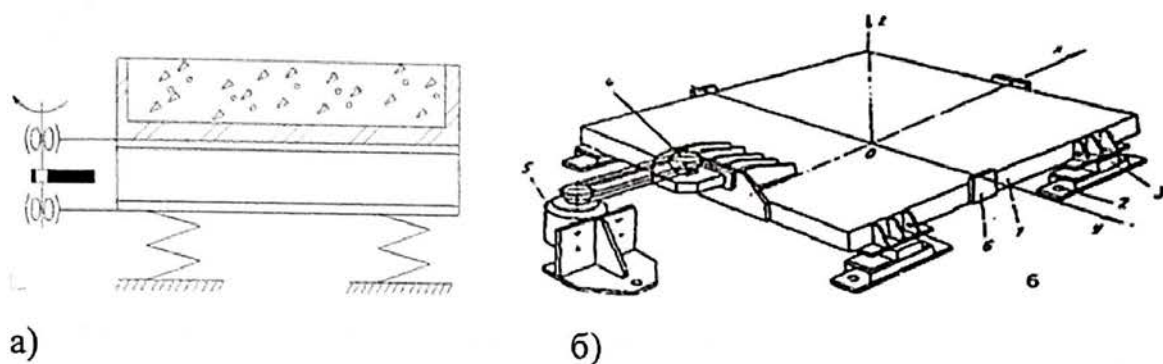


Рис.1.5 Гармонійна віброустановка з круговими горизонтальними коливаннями:

а – схема ; б – конструкція.

Особливість конструкції таких віброустановок полягає у вертикальному розташуванні осі вібробуджувача стосовно рами машини, при цьому вісь може проходити (або не проходити) крізь центр ваги машини. Віброустановка (рис. 1.5,б) складається із зварної рами 1, яка спирається на опорну раму 2 м'якими гумовими віброізолюючими пружинними елементами.

До рами 1 жорстко кріпиться одновальний відцентровий вібратор 4, вісь якого розташована вертикально і відповідно з цим дебаланс обертається в горизонтальній площині. Приведення в дію вібратора здійснюється від електродвигуна 5 за допомогою клинопасової передачі. При роботі вібромайданчика форму з бетонною сумішшю встановлюють без кріплення на

раму 1. Для того щоб запобігти зсуву форми в горизонтальній площині, до рами приварені упори 6. У вібромайданчику вісь OZ, на якій знаходиться центр ваги системи, не збігається з віссю вібратора і, крім того, центр ваги не знаходиться на площині обертання дебаланса. Таке розташування вібратора забезпечує складний просторовий рух усіх точок форми, яку встановлюють на раму 1.

Віброустановка (рис.1.6) відрізняється режимом роботи та будовою.

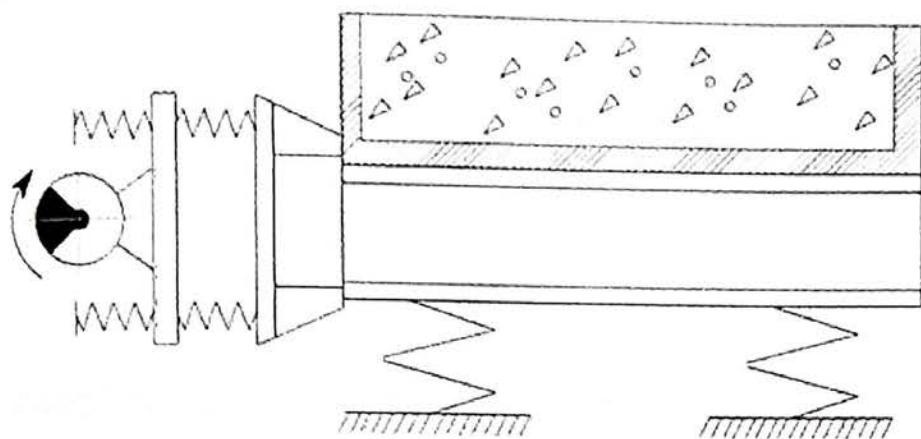


Рис.1.6 Віброустановка з направленими горизонтальними коливаннями

Режим представляє собою направлені резонансні коливання в горизонтальній площині завдяки спеціально розрахованому жорсткості пакету пружин, які встановлені на спеціальній допоміжній рамі. Тобто така установка є двомасовою резонансною машиною з горизонтально-направленими коливаннями.

Експериментальні зразки дали обнадійливі результати і за розробками проектувальників було виготовлено серію машин. Однак їх робота в заводських умовах засвідчила, що резонансний режим лінійних вібромашин є вельми нестійким. Невеликі зміни маси або жорсткості приводили до виходу машини з розрахункового режиму, що в врешті-решт негативно позначалося на якості виробу та призводило до виходу з ладу електродвигунів. З часом машини такої конструкції були зняті з серійного виробництва.

Поряд із вібромайданчиками, що працюють у гармонійному режимі, застосовуються ударно-вібраційні машини, які засновані на використанні ефекту удару, що виникає в результаті взаємодії робочого органу машини або форми з обмежником коливань (рис.1.7).

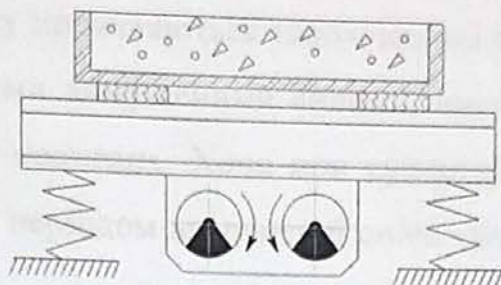


Рис.1.7 Схема ударно-вібраційної машини.

У якості обмежника коливань застосовуються металеві та гумові опори. Характеристика пружних сил такої системи має злом на ділянці контакту і, як результат, маса в своєму русі різко гальмується і її рух визначається двома частинами – відривний рух маси у певному періоді часу і рух в контакті з обмежником коливань з відмінними значеннями по переміщенню маси робочого органу вібраційної машини. амплітуді коливань. Відповідно і прискорення, як другі похідні від переміщення, будуть мати суттєву відмінність між собою. При ударі реалізується асиметрія зміни переміщення x , швидкості v і прискорення a . Амплітудно-частотна внаслідок не лінійності стає більш пологою у зоні, що близька до резонансної у порівняно з такою самою характеристикою лінійної вібромашини. А відтак ударно - вібраційні машини менш чутливі до зовнішніх дій, забезпечуючи таким чином стабільний режим роботи. В цілому нелінійна динамічна система з кусочно - лінійними характеристиками – це система, в якій можуть виникати не тільки один, а і декілька стійких періодичних режимів. Такі режими прийнято вважати багато режимними. В нелінійних системах багато режимність проявляється у вигляді субгармонійних і супергармонійних

коливань, які формуються на основі вільних коливань системи, які підтримуються зовнішньою вимушеною силою.

У випадку субгармонійного резонансу в системі виникають великі квазілінійні коливання, які підтримуються зовнішніми вимушеними силами, частота яких в ціле число раз більше частоти вільних коливань. У випадку супергармонійного резонансу проявляються також великі квазілінійні коливання, які підтримуються зовнішніми вимушеними силами, частота яких в ціле число раз менше частоти вільних коливань. Хоча при супергармонійних коливаннях період коливань співпадає з періодом вимушеної сили, внесок вищих гармонік в рішення є вельми суттєвим.

На рисунку 1.8 наведені схеми ударно – вібраційних вібромайданчиків рамної конструкції (рис.1.8,а) та блокової конструкції (рис.1.8, б).

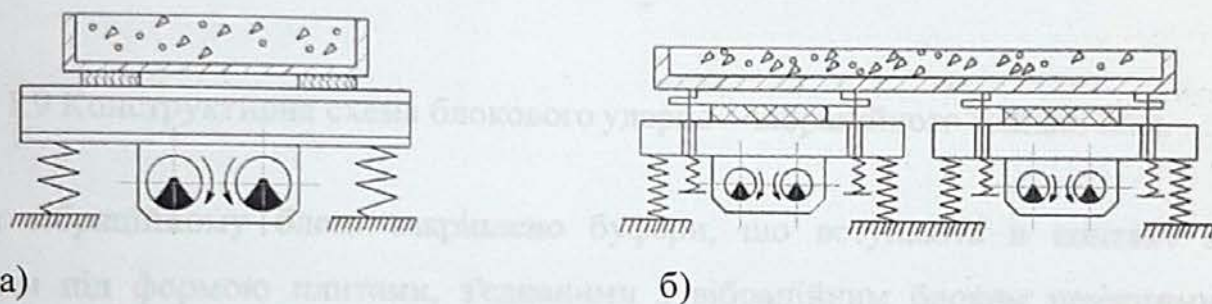


Рис.1.8 Схеми ударно – вібраційних вібромайданчиків:

а – рамної конструкції; б – блокової конструкції.

Найбільш поширені ударно-вібраційні машини, що складаються з блоків. Розроблено і впроваджено кілька конструкцій, які розрізняються за відсутністю (або наявністю) синхронізації вібраторів.

Вібромайданчик із синхронізованими вібраторами має схему, подібну до двовального вібромайданчика з вертикально напрямленими коливаннями (див. рис.1.3,б). Відмінність полягає в тому, що в конструкції ударно-вібраційної машини між магнітом і блоком встановлено гумові елементи, які виконують роль

обмежників коливань, а сам магніт підтискується до блока пружинами. До ударно-вібраційних майданчиків відносять конструкцію машини, яка (рис. 1.9) складається з чотирьох віброблоків 3, кожен з яких встановлено на опори 1.

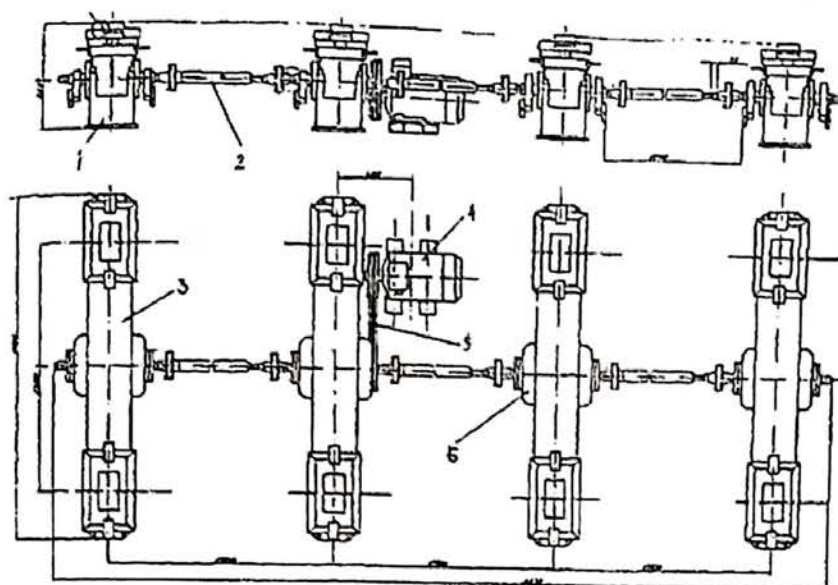


Рис. 1.9 Конструктивна схема блокового ударно – вібраційного майданчика.

На вібраційному блоці закріплено буфери, що вступають в контакт з опорними під формою плитами, з'єднаними з вібраційним блоком пружними зв'язками. На кожному вібраційному блоці закріплено одновальний дебалансний вібратор. До обертального руху вал вібратора приводиться електродвигуном 4 за допомогою клинної пасової передачі 5 і карданних валів 2. Такі вібромайданчики мають вантажопідйомність 10...20 тон, вони працюють на частоті 27 Гц, напіврозмах коливань 0,8...1,0 мм, а потужність двигунів 10 кВт (вантажопідйомність 10 т) і 18,5 кВт (вантажопідйомність 20 т).

Намагання пошуків методів підвищення ефективності процесів спонукало інженерів до розробки конструктивних схем із змінними параметрами вібраційної дії (рис.1.10). Сутність приведених схем полягає у різних підходах до розгляду можливостей реалізації ефективних режимів ущільнення бетонних

сумішей. Обумовлено такий різний підхід відсутністю загальноприйнятої моделі бетонної суміші, яка підлягає ущільненню.

Двочастотний вібромайданчик із вертикальними коливаннями (рис.1.10,а) складається із декількох блоків, на кожному із них генеруються дві частоти.

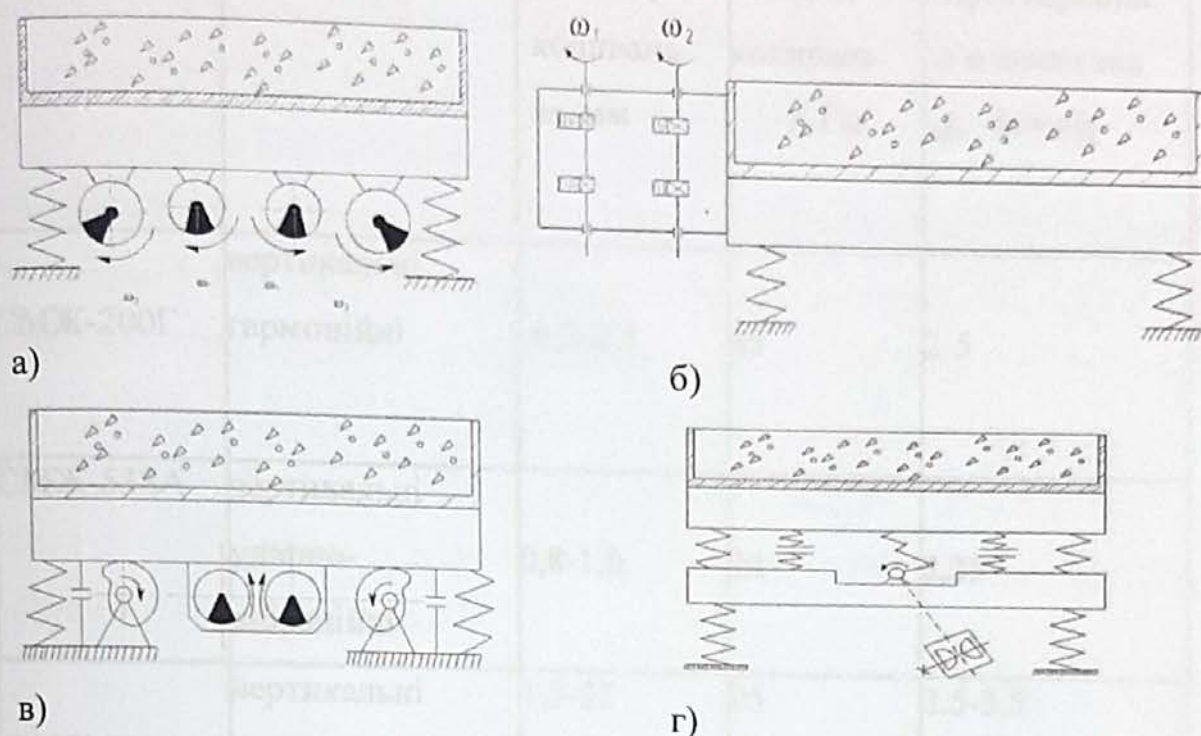


Рис.1.10. Схеми вібромайданчиків із змінними параметрами коливань форми з бетонною сумішшю: а- двочастотна у вертикальній площині; б- двочастотна у горизонтальній площині; в – поєднання вібрації і удару; г - віброударна з кривошипно – шатунним приводом.

Необхідний за технології закон зміни параметрів здійснюються спеціальними управляючими блоками , які задають необхідний кут та частоту обертання двигуна. Практична реалізація такої схеми утруднена внаслідок не тільки складності конструкції, а і оцінки реальних параметрів вібромайданчика. Простішою конструкцією двочастотного вібромайданчика є схема (рис.1.10,б) із горизонтальними коливаннями. Вона складається із рами коробчастого перерізу у трапецеїдальному гнізді якої закріплений двочастотний збудник коливань.

Пружні опори, на які спирається рама, встановлені під кутом $7-15^0$ до горизонту, що дає можливість отримувати не тільки горизонтальні, а і вертикальні

Таблиця 1.1 Основні технічні характеристики вібраційних майданчиків

№	Тип машини	Вид коливань	Амплітуда коливань x_0 , мм	Частота коливань f , Гц	Прискорення a в долях від g , $k_a = a/g$
1	СМЖ-200Г	вертикальні гармонійні	0,2-0,5	45	2-5
2	СМЖ-538А	вертикальні ударно- вібраційні	0,8-1,0	24	2,25
3	СМЖ-773	вертикальні ударно- вібраційні	1,5-25	25	2.5-3,5
4	ВБ-20	вертикальні ударно- вібраційні	1,0	27	2.25
5	ВПГ-3х7-30	Просторові гармонійні	0,8-1,0 (горизонта льні) 0,2- 0,3 – (вертикаль ні)	24	0,5-1,0
6	SV-5	вертикальні гармонійні	0,2-0,3	58	2,3

коливання рами. За умови, що такий вібромайданчик працює в зарезонансному режимі, вклад вищих гармонік не може проявитися, оскільки пружні опори розраховані за такою схемою із умови віброізоляції від фундаменту і не впливають на загальний рух. Схема вібромайданчика (рис.1.7,в) реалізовує складний рух за рахунок поєднання вібрації та удару. Запропоновані режими для вантажопідйомності 2000 кг мають частоту коливань $63 - 350$ рад/с, а частоту ударів $1,5 - 8,2$ уд/с з напіврозмахом $0,2 - 1,4$ мм.

Використання змінних режимів було запропоновано в двомасній конструкції (рис.1.10, г), яка реалізує як симетричний так і асиметричний режим руху. Такий режим виникає внаслідок установки спеціальних обмежників коливань (буферів). Досвід використання подібних схем показав нестійку їх роботу із відсутності єдиного зазору в буферах, внаслідок чого порушувався необхідний для ущільнення режим. Основні технічні характеристики вібраційних майданчиків наведені в таблиці 1.1.

					ГММ.601-ММ.001-00.00.000 ПЗ		Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			21

2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

2.1 Призначення пружних опор на віброформувальному обладнанні.

Основне призначення пружних опор - це зменшення передачі вібрацій від вібростолу на фундамент, раму або робочу платформу.

В цілому вони забезпечують наступне:

- зниження вібраційного навантаження на всю конструкції робочого місця;
- зменшення шуму та динамічних впливів на робоче середовище;
- можливість роботи обладнання без додаткового масивного фундаменту.

Пружні опори разом із масою вібростолу утворюють пружно-масову систему, яка визначає:

1. Власну частоту системи

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \quad (2.1)$$

де k – коефіцієнт жорсткості пружної опори;

m – маса рухомих частин вібраційного столу.

2. Амплітуду коливань при заданій частоті

$$A = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2\omega^2}} \quad (2.2)$$

де A – амплітуда коливань робочого органу;

$$f_0 = F_0 / m;$$

ω – циклічна частота коливань робочого органу;

$$\beta = b / 2m;$$

b – коефіцієнт дисипативного в'язкого опору.

Із вищенаведеного слідує, що пружні опори:

Зм. Лист				ГММ.601-ММ.001-00.00.000 ПЗ							
На докум.		Підп.		Дат		Лім.		Лист		Листів	
Алексеев		[підпис]		08.01				22			
Перев.		Коротич		09.01							
Н. контр.		Васильев		12.01							
Затв.		Орисенко		13.01							
Огляд попередніх досліджень						Національний університет імені Юрія Кондратюка					
						ННІІТР 2026					

- задають жорсткість системи;
- впливають на амплітуду;
- визначають, наскільки близька робоча частота до резонансної.

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

1. Ізоляція вібрацій — зменшення передачі коливань на конструкцію.
2. Забезпечення необхідних параметрів коливань — впливають на амплітуду та частотні властивості.
3. Демпфування — поглинання частини енергії для стабільної і безпечної роботи.

2.2 Конструктивні види пружних гумових віброопор.

2.2.1 Пружна опора ОУ-4.

Надійність і продуктивність вібраційного обладнання значною мірою визначаються станом та довговічністю його пружних віброопор. Саме вони сприймають основні динамічні навантаження та ізолюють фундамент і робочу зону від небажаних коливань. Тому під час проектування вібраційних машин вибору та конструкції віброопор приділяють особливу увагу.

У вібраційних установках із просторовими коливаннями робочого органу широко застосовують гумо-металеві опори типів ОУ-1, ОУ-4, ВПС-24 та інші. Вони мають подібну конструкцію, але різняться за вантажопідйомністю. На рисунку 2.1 показано конструкцію опори ОУ-4. Вона складається з верхньої та нижньої опорних плит, до яких приварені вертикальні ребра з отворами під кріпильні болти. До цих ребер за допомогою болтів фіксуються чотири плоскі прямокутні гумові елементи.

Гумо-металеві опори типів ОУ-1, ОУ-4, ВПС-24 мають досить масивну конструкцію, характеризуються значною металоємністю та є складними в

ГММ.601-ММ.001-00.00.000 ПЗ

Лист

23

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

монтажі. Плоскі гумові елементи прямокутної форми недостатньо ефективно працюють при просторових коливаннях, що часто призводить до їх передчасного руйнування. Крім того, така конструкція не забезпечує належного тепловідведення від гумових пластин. В означених опорах верхня і нижня опорні плити з'єднані двома вертикальними ребрами, а шість прямокутних гумових елементів закріплюються до них за допомогою притискних планок і болтів.

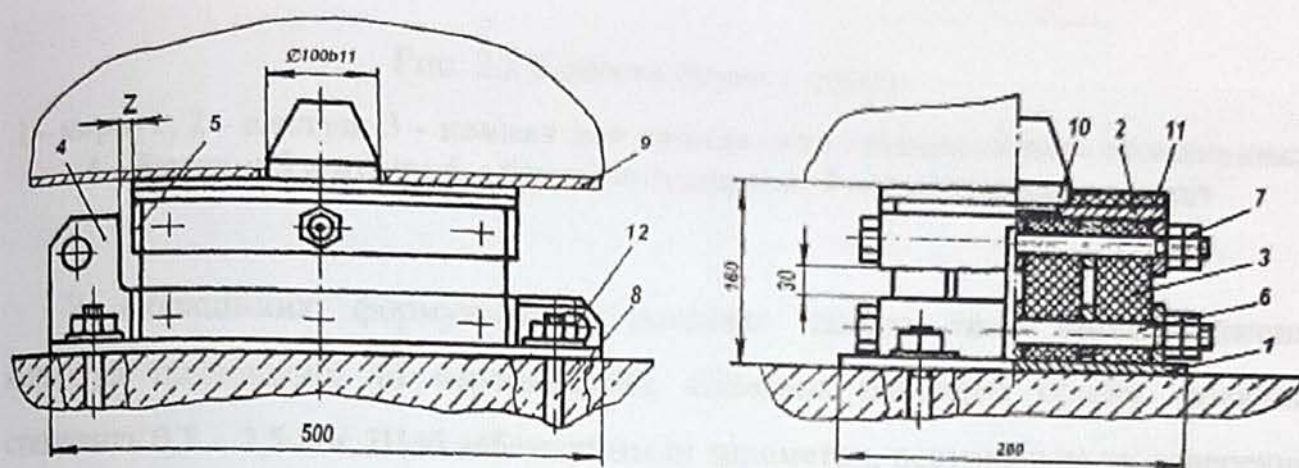


Рис. 2.1 Пружна опора ОУ-4:

1 – нижня основа; 2 – верхня основа; 3 – пружний гумовий елемент;
4 – подовжнє ребро нижньої основи; 5 – поперечне ребро; 6 – болт;
7 – гайка; 8 – фундаментний болт; 9 – рухлива рама віброплощини;
10 – виступ; 11 – демпфірувальна прокладка; 12 – отвір для строповки

2.2.2 Конічна пружна опора.

Також існує високоефективна пружна опора зі зменшеною витратою металу.

Пружна опора для вібраційних пристроїв [6] (рис. 2.2) складається з суцільного корпусу 1, виготовленого з еластичного матеріалу. Її виступ 2 закритий металевим ковпаком 3 і слугує для приєднання технологічного обладнання. Кріплення опори до фундаменту здійснюється за допомогою болтів 6 і притискного елемента 7.

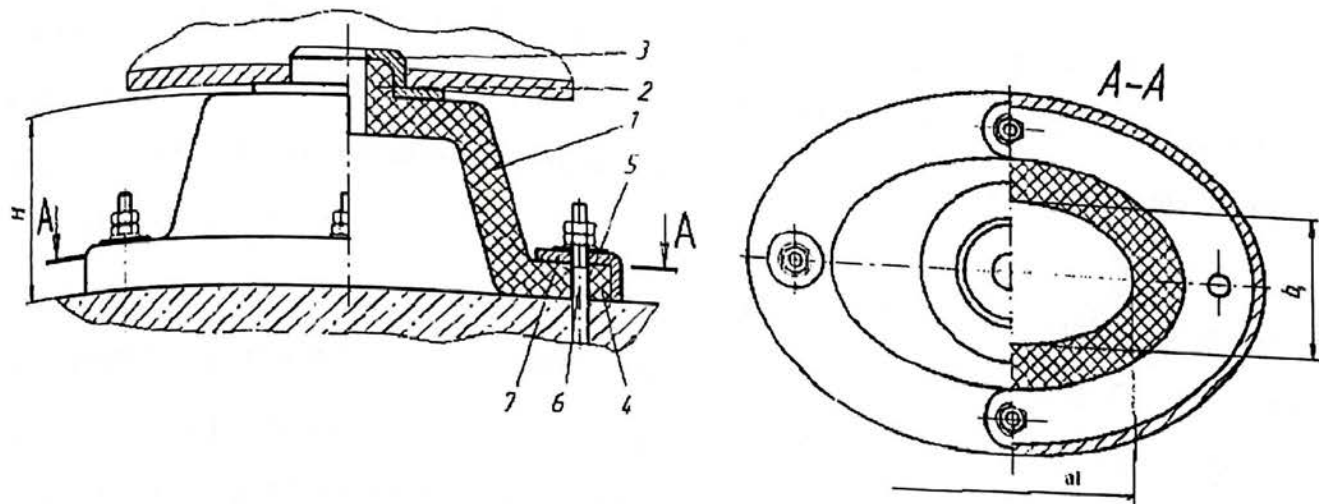


Рис. 2.2 Конічна пружна опора:

1 – корпус; 2 – виступ; 3 – ковпак для приєднання технологічного обладнання;
4 – буртик; 5 – отвір; 6 – болтове з'єднання; 7 – притисний елемент

У вібраційних формувальних машинах такого типу співвідношення амплітуд поздовжніх та вертикальних коливань робочого органу зазвичай становить 0,5...2,5 мм. Щоб забезпечити ці параметри, вертикальна та поперечна жорсткість опори мають відповідати зазначеним співвідношенням. Тому опору виготовлено з бічними стінками постійної товщини у формі усіченого еліптичного конуса з отвором на вертикальній осі, сполученим із атмосферою. Нахил стінок до вертикалі становить 15–30°. При менших кутах зменшується поперечна стійкість опори, а при більших — її вертикальна стійкість.

Вимушена сила кругового характеру, що виникає через обертання дебаланса в горизонтальній площині, зумовлює просторові коливання робочого органу переважно по горизонталі. Цей рух складається з еліптичної траєкторії центра мас та обертання навколо нього. Такий тип коливань твердого тіла на пружній підвісці є класичним у теоретичній механіці. Через особливості роботи одиночного віброзбуджувача з вертикальним валом амплітуди горизонтальних і вертикальних зміщень пов'язані між собою та розподіляються нерівномірно по площі рами: мінімальні в центрі мас і максимальні на краях. Лінії однакових вертикальних амплітуд утворюють групу концентричних еліпсів, витягнутих уздовж поздовжньої осі робочого органу; їхній центр лежить на вертикальній осі,

що проходить через центр мас системи. Якщо габарити рами по ширині й довжині однакові, еліпси перетворюються на кола. Тому розміри поперечного перерізу конуса на будь-якій висоті прямо відповідають габаритам опорної площини обладнання.

Монтаж пружної опори здійснюється так: корпус 1 встановлюють отворами в кріпильному елементі на болти, закладені у фундамент. На буртик опори накладають притискний елемент — еліптичне кільце з кутовим профілем у перерізі. Після затягування гайок буртик щільно прилягає до фундаменту, болтів і притискного елемента. Робочий орган вібраційного пристрою встановлюють на горизонтальну верхню ділянку опори таким чином, щоб його посадочна частина розмістилася на виступі. Утримання робочого органу забезпечується тим, що амплітуда його коливань значно менша за осідання опори під власною вагою органу. Металевий ковпак захищає виступ під час монтажу і сприяє передаванню вібрацій на опору. Виступ із ковпаком та затиснений кріпильний елемент працюють як жорстка деталь, тоді як корпус за рахунок пружних деформацій може здійснювати коливання у вертикальній та горизонтальній площинах, забезпечуючи віброізоляцію фундаменту. Отвір у вертикальній осі опори сполучається з атмосферою та сприяє відведенню тепла від внутрішньої поверхні.

2.2.3 Циліндрична пружна опора.

Більш простою за конструкцією є пружна опора [6] (рис. 2.3), виконана з бічними стінками однакової товщини у формі циліндра з отвором на вертикальній осі, що сполучається з атмосферою. Вона складається із суцільного корпусу 1 з еластичного матеріалу та втулок 2, до яких за допомогою різьби приєднуються верхня основа 3 і нижня основа 4. Верхня основа слугує для монтажу технологічного обладнання, а нижня — для кріплення опори до фундаменту. Фіксація опори на фундаменті здійснюється болтовим з'єднанням 5.

Виступ 6 призначений для встановлення технологічного обладнання, а отвори 7 у ньому забезпечують можливість його закручування у втулку 2.

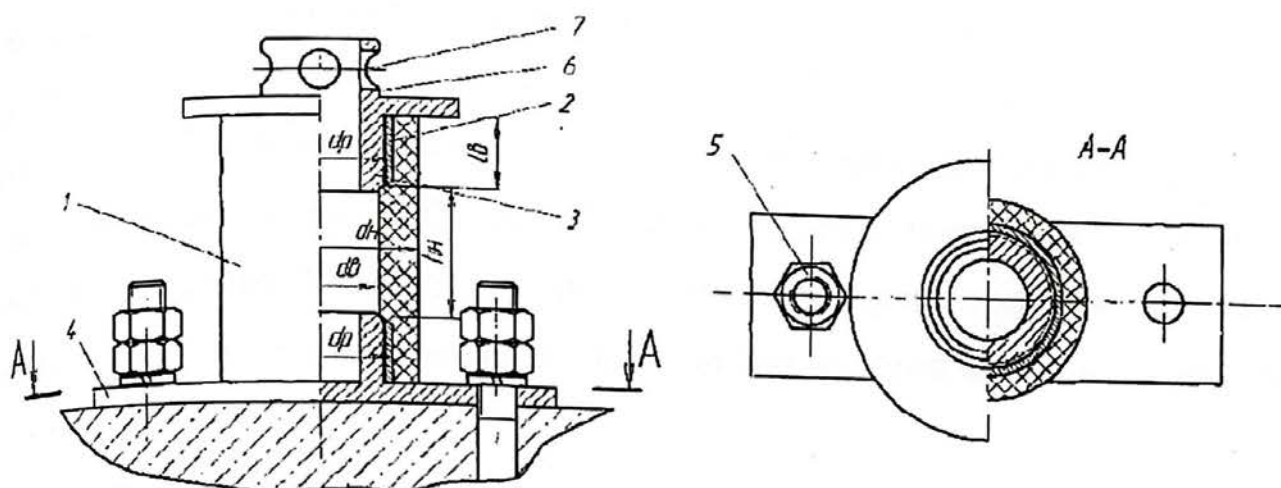


Рис. 2.3 Циліндрична пружна опора:

1 – корпус; 2 – втулка; 3 – верхня основа; 4 – нижня основа;
5 – болтове з'єднання; 6 – виступ; 7 – технологічний отвір;
 d_p – діаметр різьби втулки; d_b – діаметр втулки; d_n – зовнішній діаметр
суцільного корпусу; d_v – внутрішній діаметр суцільного корпусу;
 h_n – робоча висота суцільного корпусу

Із збільшенням робочої висоти суцільного корпусу h_n порівняно з його внутрішнім діаметром d_v вертикальна стійкість пружної опори зменшується.

Пружну опору встановлюють на болти, замонолічені у фундамент, через отвори в кріпильному елементі корпусу. Після затягування гайок кріпильний елемент щільно притискається до фундаменту, болтів і притискного елемента. Робочий орган вібраційного пристрою розміщується на горизонтальній верхній поверхні опори таким чином, щоб її виступ увійшов у посадочне гніздо. Виступ разом із кріпильним елементом працюють як жорстка деталь, у той час як корпус завдяки пружним деформаціям може виконувати коливальні рухи у вертикальній та горизонтальній площинах, забезпечуючи віброізоляцію фундаменту. Отвір, розташований по вертикальній осі опори та сполучений із атмосферою, сприяє тепловідведенню з її внутрішньої поверхні.

2.2.4 Вібраційна опора з підвищеною несучою здатністю.

Для віброплощадок із великою вантажопідйомністю застосовують пружну опору [6] (рис. 2.4), яка складається з верхньої 1 та нижньої 2 основ із внутрішніми ввігнутими поверхнями. Між ними розміщено пружний елемент 3, виконаний у формі двоопуклої лінзи, що дозволяє знизити чутливість опори до статичних навантажень. Радіус опуклостей пружного елемента менший за радіус ввігнутостей основ. У центрі пружного елемента є вертикальний циліндричний отвір, а сам він встановлюється на циліндричні виступи верхньої та нижньої основ.

Нижня основа кріпиться до фундаменту за допомогою чотирьох фундаментних болтів 4. Циліндричний виступ 5, що переходить у конус 6, входить у спеціальний отвір рухомої рами віброплощадки. Між рамою та верхньою основою опори розміщується демпфувальна прокладка 7.

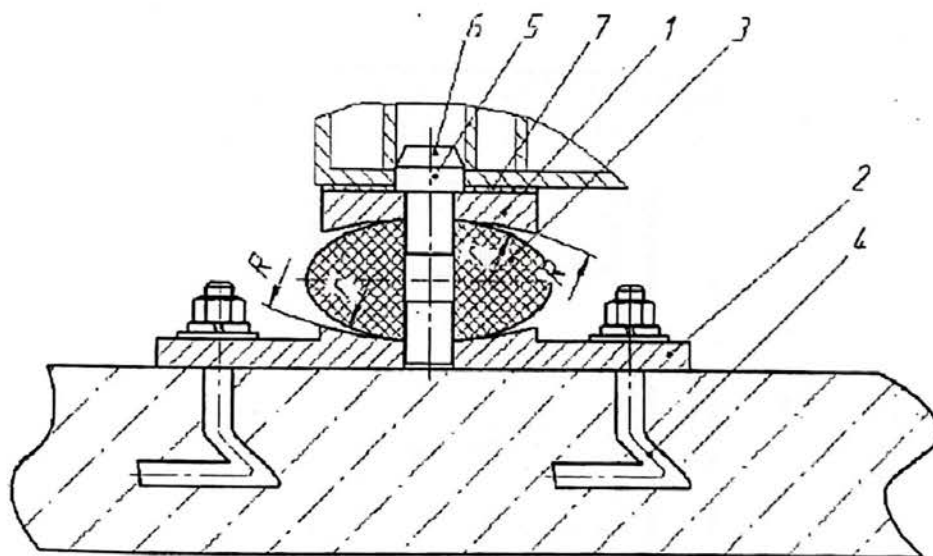


Рис. 2.4 Вібраційна опора з підвищеною несучою здатністю:

- 1 – верхня основа; 2 – нижня основа; 3 – пружний елемент;
- 4 – фундаментний болт; 5 – циліндричний виступ;
- 6 – конус; 7 – демпфіруюча прокладка

Жорсткість цієї пружної опори при зсуві вздовж подовжньої та поперечної осей є однаковою і визначається модулем зсуву гуми, площею зсуву та висотою

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-ММ.001-00.00.000 ПЗ

Лист

28

пружного елемента. Вертикальна жорсткість опори залежить від модуля пружності гумового елемента при стиску та тих самих геометричних параметрів. Оскільки модуль пружності гуми на стиск значно перевищує модуль її пружності на зсув, така опора здатна витримувати великі навантаження, залишається достатньо гнучкою щодо горизонтальних зсувів і ефективно ізолює фундамент від вібрацій.

2.2.5 Пружна віброізоляційна опора з регульованою жорсткістю.

Конструкція віброізоляційної опори [7] (див. рис. 2.5) складається з двох основ — верхньої та нижньої, які виконані у вигляді металевих прямокутних пластин 1 однакового розміру. До кожної пластини симетрично відносно їхніх геометричних центрів присьднано зварюванням штуцери 2 — відрізки металевих труб довжиною 40 мм і зовнішнім діаметром 50 мм.

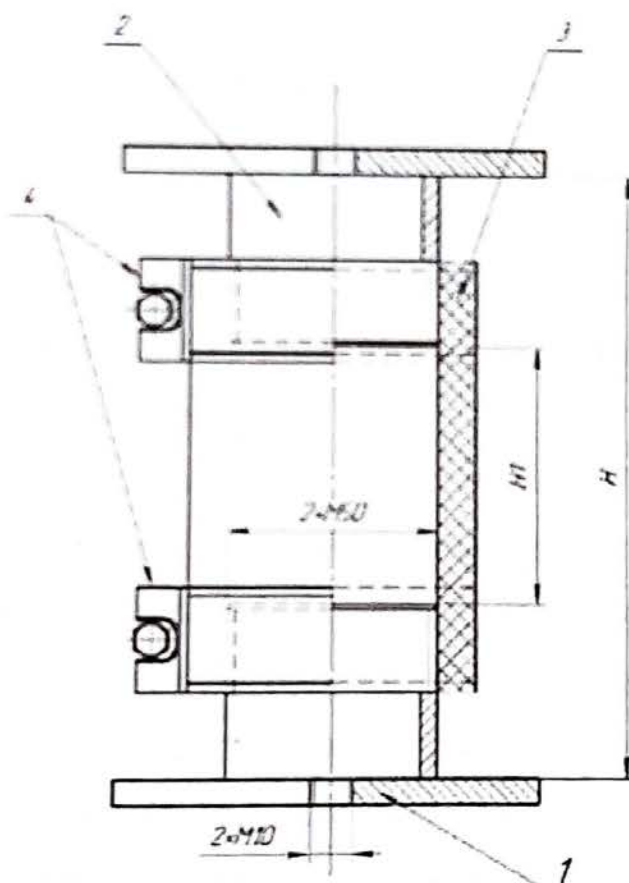


Рис. 2.5 Пружна віброізоляційна опора змінної жорсткості: H — висота віброопори; $H1$ — робоча висота пружного елемента.

За допомогою болтових з'єднань чотири пластини зі штуцерами закріплюються зверху на рухомій рамі у чотирьох кутових точках, рівновіддалених від її геометричного центра. Інші чотири пластини аналогічно кріпляться знизу до нерухомої основи віброплощадки таким чином, щоб центри кожної пари штуцерів лежали на одній вертикальній осі.

На вільних кінцях штуцерів нарізано метричну різьбу М50 довжиною 20 мм: на верхніх — праву, на нижніх — ліву. У проміжку між співвісними парами штуцерів встановлюють пружні елементи — порожнисті гумокордові циліндри висотою 100 мм, із внутрішнім діаметром 48 мм та зовнішнім 68 мм. Регулювання їхньої висоти здійснюється шляхом одночасного загвинчування або вигвинчування кінців елементів по різьбових поверхнях штуцерів.

Для забезпечення надійного з'єднання гумокордових циліндрів із металевими штуцерами застосовуються силові сталеві хомути 4.

Рухома частина вібраційної площадки утримується на чотирьох віброізоляційних опорах завдяки тому, що амплітуда її коливань значно менша за осадку пружних елементів під дією ваги робочого органу. У процесі роботи віброплощадки гумовокордові елементи зазнають допустимих комбінованих деформацій — стиску та згину, що виникають під дією сил збудження від віброзбуджувача, який впливає на рухому раму. При цьому вони забезпечують ефективну віброізоляцію фундаменту.

При найменшій жорсткості пружних елементів віброізоляційної опори величина амплітуд вертикальних вібропереміщень є найменшими.

Принцип роботи такої вібраційної опори базується на залежності її жорсткості від пружних деформацій та геометричних параметрів гумокордового елемента. Зокрема, за сталої деформуючої сили та незмінної площі поперечного перерізу жорсткість пружного елемента зменшується зі збільшенням його довжини та зростає зі зменшенням цієї довжини. Оскільки елемент протидіє відхиленню від положення рівноваги, то, відповідно до закону Гука, збільшення

його жорсткості приводить до зменшення амплітуди вібропереміщень, а зменшення жорсткості — до її зростання [11].

Під час роботи вібраційної площадки гумовокордові елементи опор зазнають циклічних динамічних навантажень. У режимі холостого ходу на них діє лише вага рухомої рами з порожньою формою. У робочому режимі навантаження збільшується за рахунок маси рами разом із формою та бетонною сумішшю, а також додаткових сил, створених віброзбуджувачем. Крім того, після запуску віброплощадка проходить три частотні стани: дорезонансний (під час розгону), резонансний (коли частота вимушених коливань від дебалансу збігається з власною частотою системи) та зарезонансний, який є номінальним робочим режимом для віброустаткування з дебалансним приводом.

Параметри жорсткості пружних елементів опор добирають з урахуванням умов роботи віброплощадки та номенклатури виготовляємих бетонних виробів саме в її основному, робочому зарезонансному режимі.

2.3 Вибір об'єкту дослідження.

Вібраційні пристрої працюють у різних кліматичних умовах та в різні пори року, тому вдосконалені пружні опори мають бути стійкими до природних умов і в той же час мати підвищену довговічність та зносостійкість. Тому пружні елементи опори можуть бути виготовлені з технічної гуми відповідної твердості, але нині краще використовувати нові полімерні матеріали, наприклад поліуретан, який містить уретанову групу $-NH-COO-$. Кисень у молекулярному ланцюзі надає полімерам гнучкість, еластичність, їм властива атмосферостійкість і морозостійкість (від $-60^{\circ}C$) при відносній вологості до 95%. Залежно від вихідних речовин, які використовуються при отриманні поліуретанів, вони можуть мати різні властивості: бути твердими, еластичними і навіть термореактивними.

Довговічна експлуатація запропонованих ефективних пружних опор зменшує витрати на їхнє оновлення, знижує пов'язані з простоями для їхньої

заміни втрати часу, сприяє підвищенню безпечності експлуатації вібраційної машини в цілому.

Температура в виробничому цеху (або на відкритому майданчику) по виготовленню бетонних виробів в залежності від пори року може коливатися від мінус 20°C взимку до плюс 30°C влітку. Припускається, що температура гуми, з якої виготовлено віброопору, буде впливати на технологічні параметри обладнання, насамперед на величину амплітуди віброколиваний робочого органу вібростолу.

Сформульоване завдання досліджень виглядає наступним чином:

- на існуючій дослідній моделі віброформуального обладнання (вібростіл) потрібно провести вимірювання амплітуди вертикальних коливань робочого органу обладнання.

- метою даного дослідження є виявлення існування залежності амплітуди віброколиваний від зміни температури гумових вібраційних опор.

В якості об'єкта досліджень обираємо технологічний процес дослідного віброформуального обладнання.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ГУМОВИХ ВІБРООПОР.

3.1 Вибір обладнання для дослідження.

В якості обладнання для проведення досліджень обираємо вібраційний стіл для виготовлення бетонних виробів (рис. 3.1).

Даний тип віброформуального обладнання має широке застосування для виробництва тротуарної плитки, поребрика, бетонних перекриттів невеликих розмірів тощо.

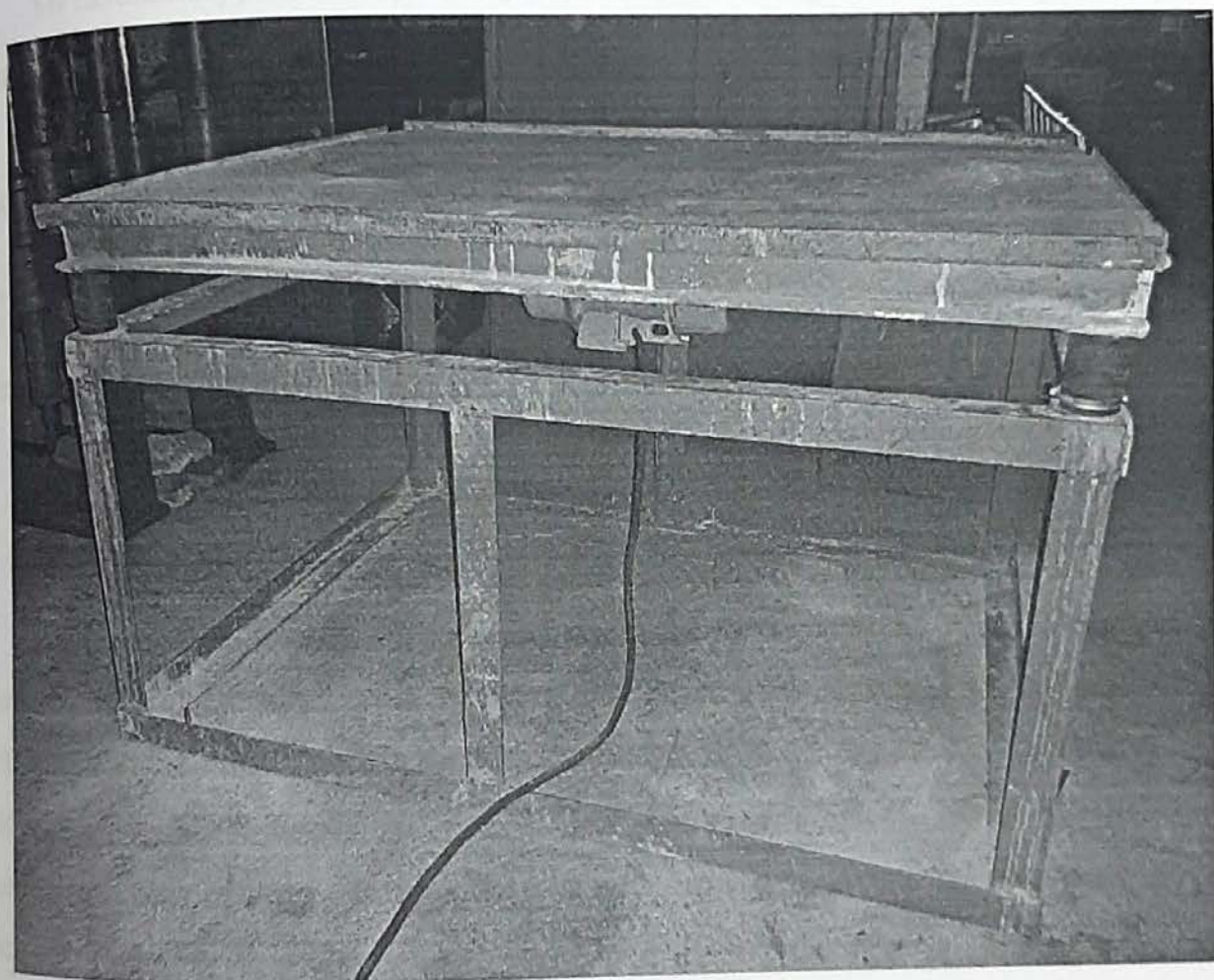


Рис. 3.1 Вібраційний стіл.

				ГММ.601-ММ.001-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.		
Розроб.		Алексєєнко		05.01	Лист		
Перев.		Коротич		09.01	Листів		
Н. контр.		Васильєв		12.01	Н	33	
Затв.		Орисенко		19.01	Національний університет імені Юрія Кондратюка ННІТР 2026		

Вібраційний стіл складається з наступних елементів:

- нерухома частина (рама), жорстко прикріплена до бетонної підлоги (фундаменту);
- рухома частина – робочий орган (віброплита), на якій відбувається віброущільнення виробу у формі;
- електричний дебалансний віброзбуджувач коливань змінного струму частотою 50 Гц, напругою 380 В, потужністю 0,9 кВт, частотою обертання 3000 об/хв;
- пружні вібраційні опори в кількості 4-х штук.

Металоконструкція вібростолу виготовлена з прокатних профілів: кутик, швелер та листове залізо.

Маса коливальної частини обладнання (віброплита + бетонний виріб) складає близько 389 кг.

Габаритні розміри: довжина – 2 м, ширина – 1,6 м, висота – 1,2 м.

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

- амплітуда вертикальних коливань – 0,5-1,0 мм (при діючій циклічній частоті коливань 314 c^{-1});
- тривалість віброущільнення – близько 45 с.

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

3.2 Розрахунок пружних опор.

Перед безпосереднім проведенням вимірювань проведемо розрахунок пружних опор.

Метою розрахунку пружних опор є визначення розмірів гумових елементів, що забезпечують опорі задану жорсткість в горизонтальному і вертикальному напрямі і достатню довговічність. Основними результатними даними є статична вантажопідйомність Q , жорсткість на зсув і стиснення C_{xy} і C_z розрахункова динамічна деформація зсуву.

Вантажопідйомність однієї пружної опори Q , кН,

$$Q = \frac{(1 + K_m) \cdot Q_y}{Z}, \quad (3.1)$$

де K_m – коефіцієнт динамічності, для віброзбуджувача $K_m = 0$;

Z – число пружних опор, шт., приймаємо $Z = 4$;

Q_y – вага установки, кН

$$Q_y = M \cdot g, \quad (3.2)$$

де M – маса коливальної частини (віброплита + бетонний виріб), кг,

$M = 389$;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 , $g = 9,81$,

$$Q_y = 389 \cdot 9,81 = 3,82.$$

Тоді

$$Q = \frac{(1 + 0) \cdot 3,82}{4} = 0,96.$$

Жорсткість пружної опори в горизонтальному напрямі C_{xy} , кН/м, повинна забезпечувати стійкий режим зарезонансних коливань в горизонтальній площині не завантаженої віброустановкою і визначитися із співвідношення.

$$\frac{\omega}{\omega_0} \geq 3,5, \quad (3.3)$$

де ω_0^r – максимальна кутова частота власних горизонтальних коливань віброустановки;

ω – кутова частота, с^{-1} , $\omega=314$.

З цього співвідношення маємо

$$C_{xy} \leq \frac{\frac{M}{Z} \cdot \omega^2}{3,5^2}, \quad (3.4)$$

$$C_{xy} \leq \frac{\frac{389 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot 314^2}{12} = 799.$$

Жорсткість пружної опори у вертикальному напрямі C_z , кН/м , повинна задовольняти аналогічному співвідношенню.

$$\frac{\omega}{\omega_0^B} \geq 1,5, \quad (3.5)$$

де ω_0^B – максимальна кутова частота власних вертикальних коливань, с^{-1} .

Для підрахунку, C_z , кН/м , маємо формулу аналогічну наведеної вище

$$C_z \leq \frac{M \cdot \omega^2}{z \cdot 1,5^2}, \quad (3.6)$$

$$C_z \leq \frac{389 \cdot 10^{-3} \cdot 314^2}{4 \cdot 2,25} = 4262.$$

Максимальну розрахункову динамічну деформацію зрушення Δh , мм , що виникає під час розгону (вибігу) віброприводу можна приймати рівну 3-4 кратній амплітуді вібропереміщень в горизонтальній площині.

$$\Delta h = 4 \cdot a, \quad (3.7)$$

де a – амплітуда вібропереміщень в горизонтальній площині, мм , згідно проведених вимірювань $a = 0,25$.

$$\Delta h = 4 \cdot 0,25 = 1.$$

Рис. 3.3 Пружина опори

Розрахунок пружної опори проводиться згідно порядку запропонованому по розрахункових формулах і довідкових даних [16]. Схема пружної опори показано на рисунку 3.2.

Спочатку вибираємо як матеріал гумовий елемент – рукав Б(І) – 2,5 – 50 – 62 У по ГОСТ 18698-79, завтовшки 6 мм., висотою $h=100$ мм, діаметром $d=62$ мм.

Розрахункову твердість приймаємо рівною 50 умовним одиницям.

Модуль зрушення, G , МПа, при цій твердості, $G = 0,6 \dots 0,7$. В розрахунок приймаємо середнє значення $G = 0,65$.

Необхідна площа зсуву, F , m^2 , пружної опори

$$F = \frac{C_{xy} \cdot h}{G}, \quad (3.8)$$

$$F = \frac{799 \cdot 0,1}{0,65 \cdot 10^3} = 0,122$$

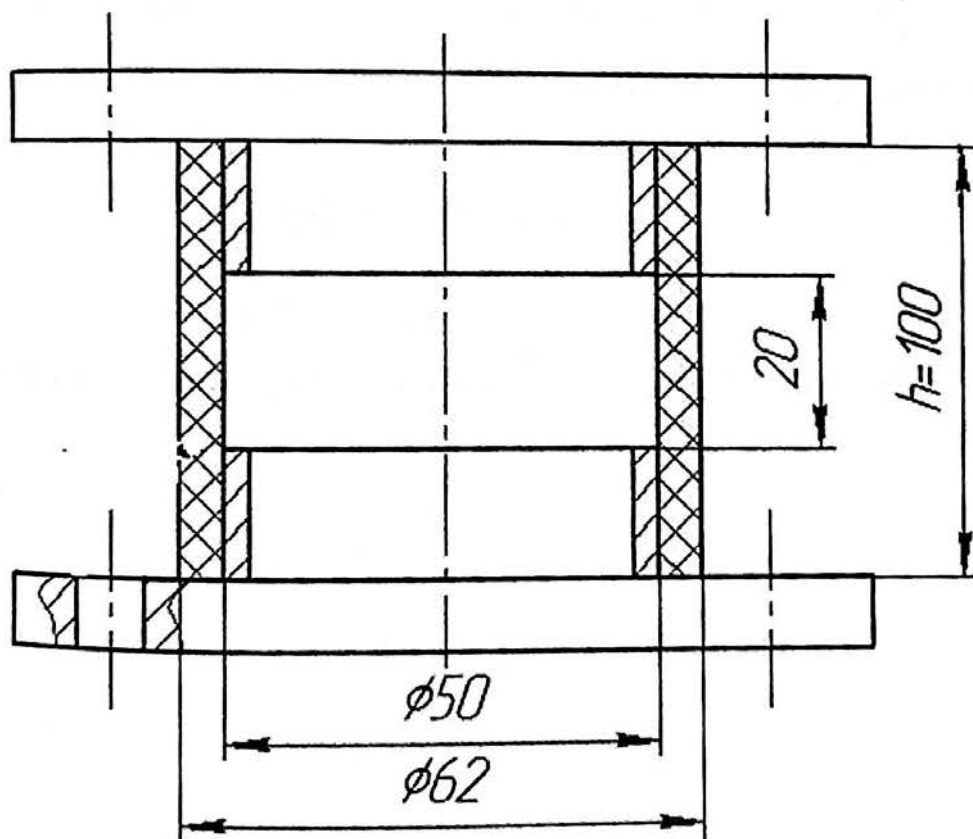


Рис. 3.2 Пружна опора.

Напруження стиснення від статичного навантаження σ , Па:

$$\sigma = \frac{Q}{a \cdot b}, \quad (3.9)$$

де Q – вантажопідйомність опори, Н, $Q = 960$ Н;

a – ширина опори, м, приймаємо конструктивно $a = 0,1$;

b – висота опори, м, приймаємо конструктивно $b = 0,11$.

Тоді

$$\sigma = \frac{960}{0,1 \cdot 0,11} = 87272.$$

В порівнянні з допустимим $[\sigma]$, вибраним з урахуванням чинника форми і жорсткості гумового елемента.

Чинник форми Φ , визначається з виразу

$$\Phi = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b) \cdot h} = \frac{0,1 \cdot 0,11}{2 \cdot (0,1 + 0,11) \cdot 0,1} = 0,26 \quad (3.10)$$

По найближчому значенню чинника форми $\Phi = 0,3$ і твердість гумового елемента рівною 50 умовним одиницям по Шору А допустиме напруження стиснення визначається як

$$[\sigma] = 1,8 \text{ МПа} > \sigma = 0,872 \text{ МПа}. \quad (3.11)$$

Для перевірки жорсткості опори у вертикальному напрямі визначуваний допоміжний коефіцієнт σ_u , м^{-1} , необхідний для обчислення осідання пружної опори:

$$\sigma_u = \frac{1}{b} \sqrt{\frac{48 \cdot (1 + \eta^2 - \eta)}{\eta^2 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 + (1 - \eta)^2}}, \quad (3.12)$$

де η – параметр залежний від співвідношення розмірів a , b і h в гумового елемента.

Для обчислення σ_u він може прийматися в деяких межах по графіку. При співвідношенні, знаходиться по графіку параметр $\eta = 0,03$. Тоді коефіцієнт σ_u буде рівний

$$\sigma_u = \frac{1}{0,66} \cdot \sqrt{\frac{48 \cdot (1 + 0,03^2 - 0,03)}{0,03^2 \cdot \left(\frac{0,66}{0,1}\right)^2 + (1 - 0,03)^2}} = 10,45.$$

Осідання гумового елемента f , м, під дією статичного навантаження

$$f = \frac{Q \cdot h}{G \cdot a \cdot b} \cdot \frac{1}{4 \cdot (1 + \eta^2 - \eta)} \cdot \left(1 - \frac{2 \ln \frac{\sigma_u \cdot h}{2}}{\sigma_u \cdot h} \right) =$$

$$= \frac{960 \cdot 0,05}{0,65 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,11} \cdot \frac{1}{4 \cdot (1 + 0,003^2 - 0,03)} \cdot \left(1 - \frac{2 \ln \frac{10,45 \cdot 0,05}{2}}{10,45 \cdot 0,05} \right) = 0,003 \quad (3.13)$$

Жорсткість пружної опори у вертикальній площині C_z , кН/м, дорівнює

$$C_z = \frac{Q}{f} = \frac{960}{0,003} = 320 \quad (3.14)$$

Жорсткість пружної опори у вертикальному напрямі не перевершує заданої жорсткості рівної 4262 кН/м.

Відносна статична деформація пружної опори ε у вертикальній площині

$$\varepsilon = \frac{f}{h} = \frac{0,003}{0,1} = 0,03 \quad (3.15)$$

Ця величина не перевершує допустимих значень $[\varepsilon] = 0,15 \dots 0,2$ відносної статичної деформації.

Перевірені значення розмірів гумового елемента вібраційної опори приймаємо для подальших досліджень.

3.3 Дослідження впливу температури гумових віброопор на величину амплітуди віброколивань.

3.3.1 Вимірювальне обладнання.

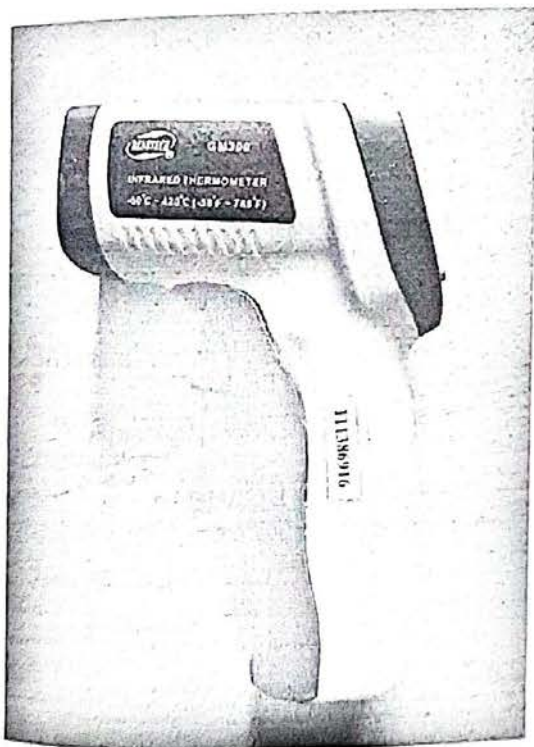
Метою даного дослідження було виявити залежність амплітуди вертикальних коливань робочого органу від нагрівання гумових віброопор під час роботи вібраційного столу.

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

Для вимірювань використовувалось наступне обладнання:

- пірметр GM300 (рис. 3.3,а), який вимірює температуру в межах від -50 до $+420^{\circ}\text{C}$;
- віброметр GM63A (рис. 3.3,б), з межами вимірювання для вібропереміщення $0,001-1,999$ мм.

а)



б)



Рис. 3.3 Вимірювальне обладнання: а) вимірювач температури; б) віброметр.

3.3.2 Проведення вимірювань.

План проведення вимірювань:

1. Підготовка до роботи дослідного та вимірювального обладнання.
2. Забір температури гумової віброопори (приблизно повинна збігатися з температурою повітря в робочому приміщенні).
3. Після початку роботи вібраційного столу проводимо одночасне вимірювання температури і амплітуди з інтервалом у 10 секунд.

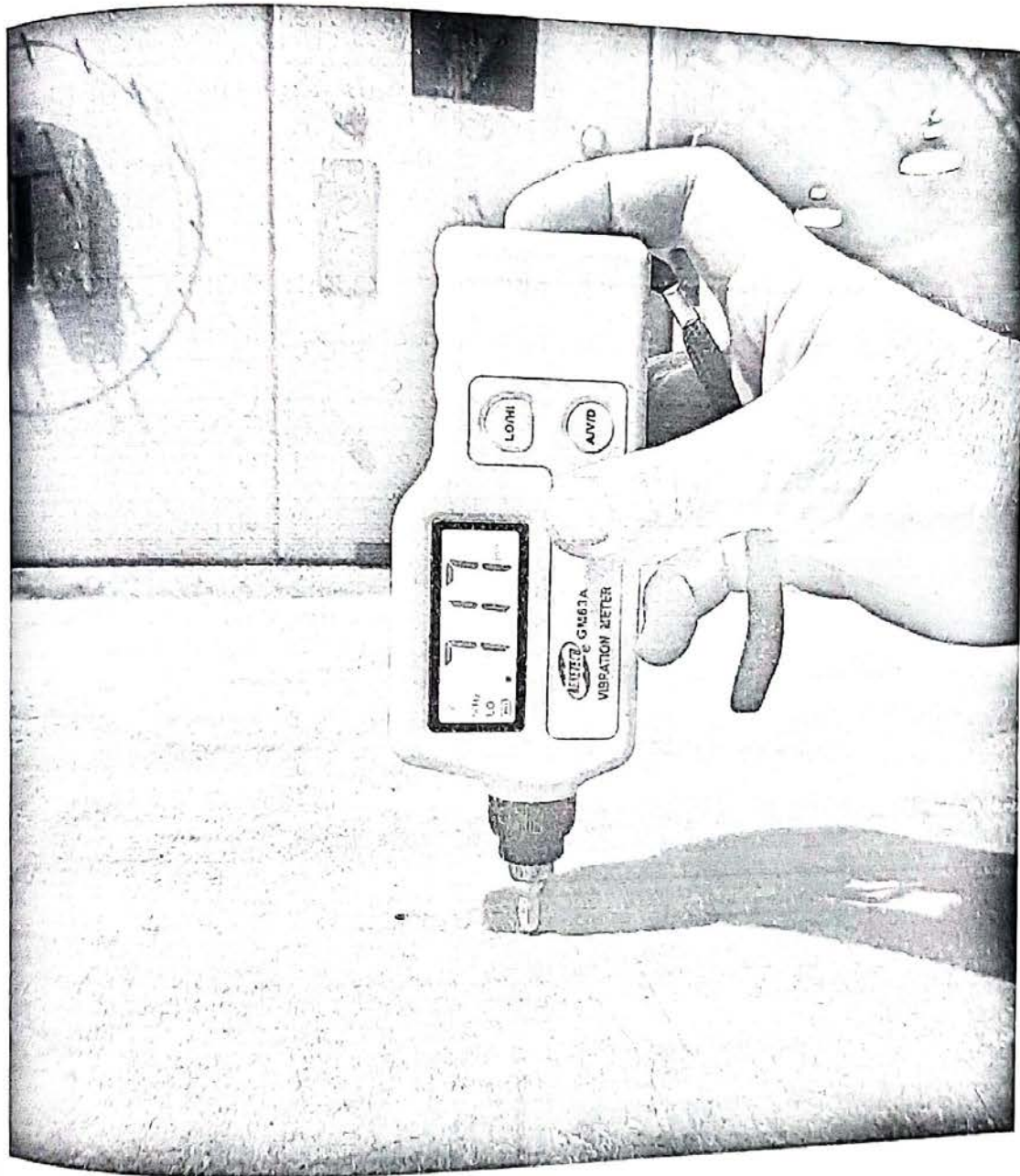


Рис. 3.4 Процес виміру амплітуди віброколивань.

4. Точка, в якій вимірюється показник, під час дослідів не змінюється.
5. Процес вимірювання продовжуємо до тих пір, поки температура і амплітуда не стабілізують свої значення.

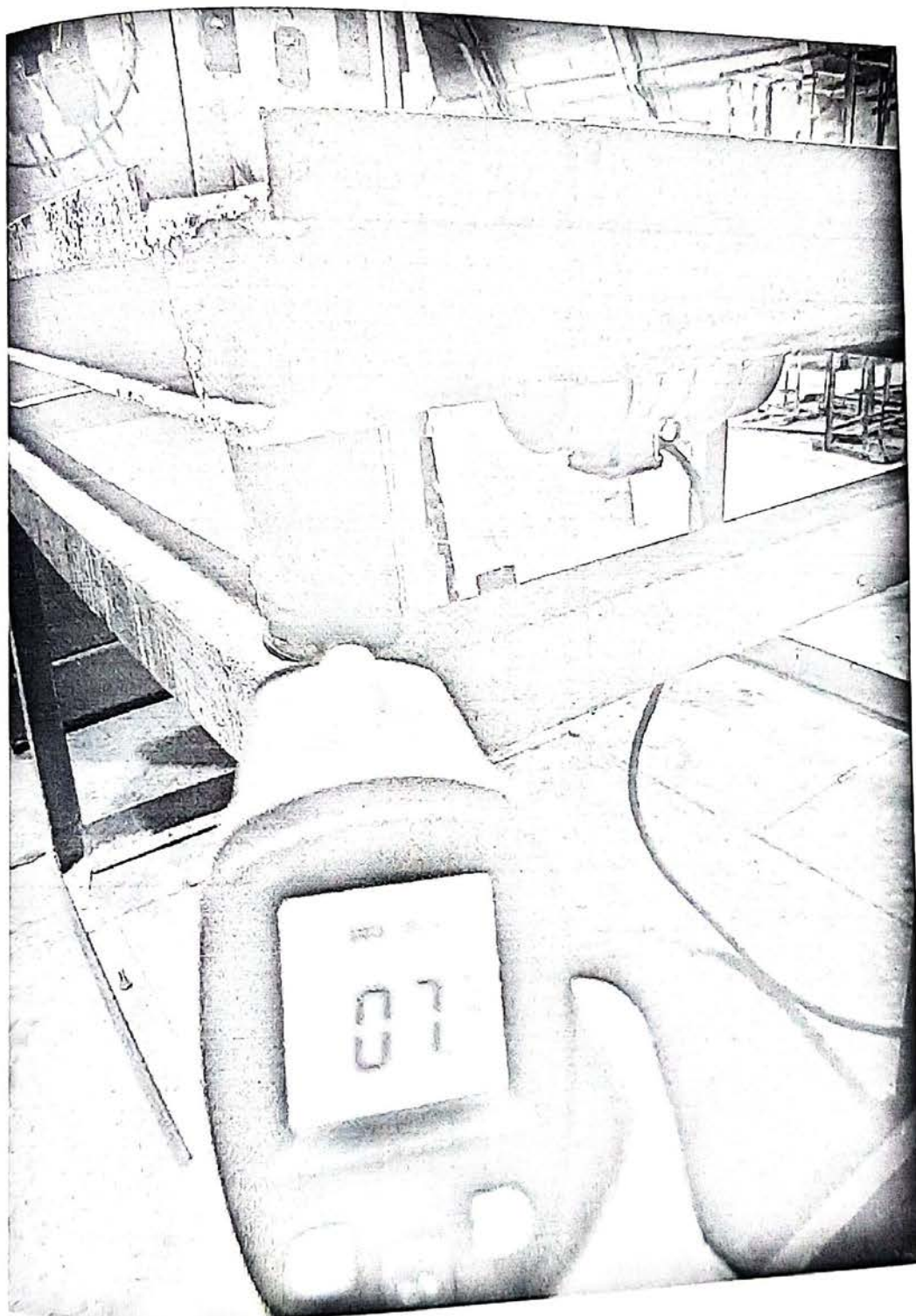


Рис. 3.5 Процес виміру температури віброопори.

Результати вимірювань представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Залежність амплітуди вертикальних коливань від температури гумових віброопор

№ п/п	Час, с, (хв)	Температура, °C	Амплітуда, мм	№ п/п	Час, с, (хв)	Температура, °C	Амплітуда, мм
1	2	4,6	0,66	26	4-10	22,9	0,89
2	10	4,8	0,68	27	4-20	23,1	0,89
3	20	5,3	0,69	28	4-30	23,1	0,89
4	30	5,6	0,69	29	4-40	23,4	0,9
5	40	6,2	0,7	30	4-50	23,5	0,9
6	50	6,8	0,71	31	5	23,6	0,9
7	1 хв	7,2	0,71	32	5-10	23,7	0,9
8	1-10	7,7	0,72	33	5-20	23,8	0,9
9	1-20	8,0	0,74	34	5-30	24,0	0,9
10	1-30	8,7	0,76	35	5-40	24,1	0,9
11	1-40	10,1	0,78	36	5-50	24,3	0,91
12	1-50	10,9	0,8	37	6	24,4	0,91
13	2	12,0	0,82	38	6-10	24,5	0,91
14	2-10	13,2	0,83	39	6-20	24,5	0,91
15	2-20	14,5	0,83	40	6-30	24,7	0,91
16	2-30	16,1	0,84	41	6-40	24,9	0,91
17	2-40	17,2	0,85	42	6-50	25,0	0,91
18	2-50	18,2	0,86	43	7	25,1	0,91
19	3	19,1	0,86	44	7-10	25,1	0,91
20	3-10	20,1	0,87	45	7-20	25,1	0,91
21	3-20	20,5	0,87	46	7-30	25,1	0,91
22	3-30	20,9	0,88	47	7-40	25,1	0,91
23	3-40	21,6	0,88	48	7-50	25,1	0,91
24	3-50	22,3	0,88	49	8	25,1	0,91
25	4	22,8	0,89	50	8-10	25,1	0,91

3.4. Опис віброграми вібраційного столу.

Температура гумових віброопор – це не єдиний і не головний фактор, який впливає на величину амплітуди віброколивань віброформувального обладнання.

ГММ.601-ММ.001-00.00.000 ПЗ

Лист

43

№ докум.

Підп.

Дата

Вимірювальна амплітуда також залежить від багатьох чинників. Насамперед, від частоти коливань, величини збурюючої сили та загальної маси коливальної системи. В нашому випадку ми розглядали функцію залежності амплітуди від температури віброопор $A = f(T_B)$ при сталих величинах інших впливових чинників.

На рисунку 3.6 представлена віброграма роботи вібраційного столу від моменту пуску і до повної зупинки через 7 секунд. З неї видно, що на короткій першій ділянці 1 відбувається перехід роботи обладнання з дорезонансного режиму в зарезонансний. Друга частина віброграми 2 – стабільний зарезонансний режим, під час якого проводиться віброущільнення бетонних виробів. Третя ділянка 3 – знову перехід через резонанс до повної зупинки вібростолу.

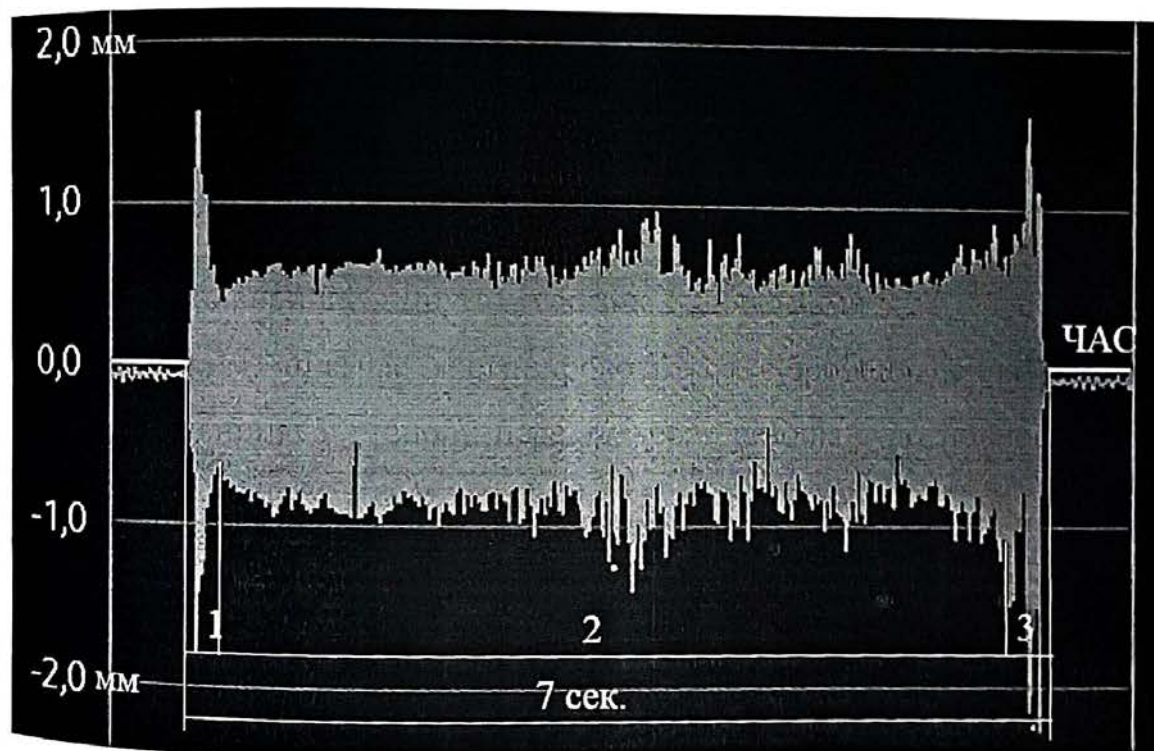


Рис. 3.6 Віброграма роботи вібраційного столу.

Слід зауважити, що вимірювання проводились у сталому робочому резонансному режимі. Але при цьому ми фіксували зростання амплітуди від збільшення температури віброопор з 0,66 мм до кінцевого стабільного значення 0,91 мм.

3.5 Визначення рівня впливу температури гумових віброопор на величину амплітуди віброколивань.

Наглядно зміна температури віброопор та амплітуди вертикальних коливань з плином часу представлена на рис. 3.7, 3.8 у вигляді графіків.

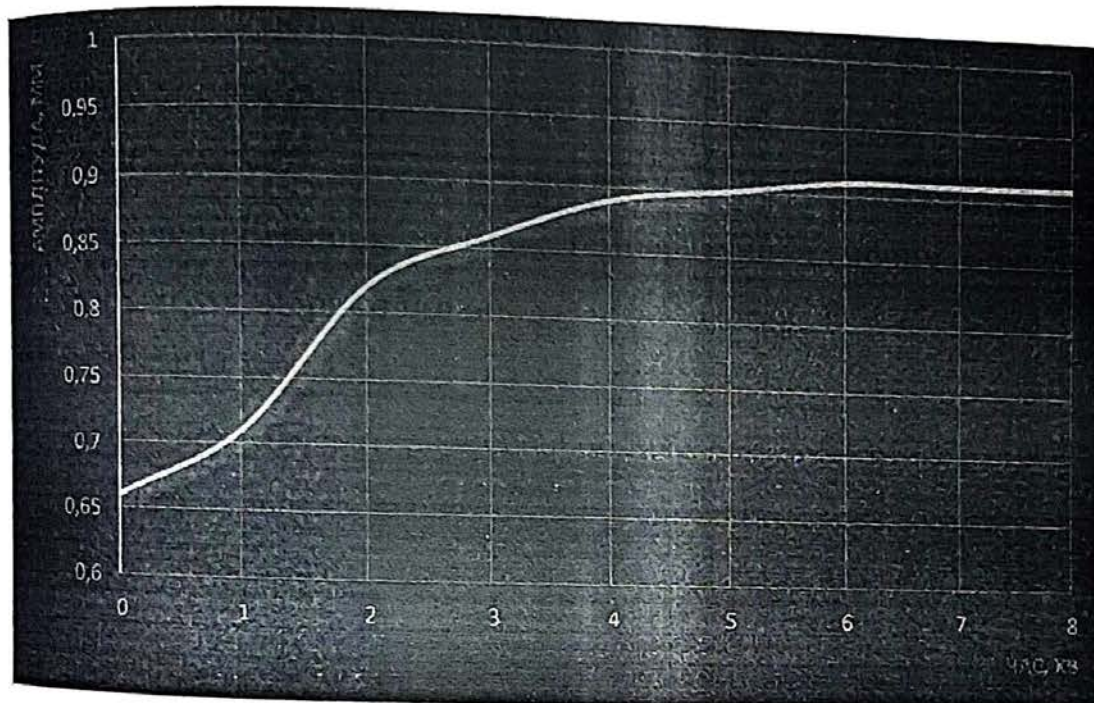


Рис. 3.7 Графік зростання амплітуди вертикальних коливань.

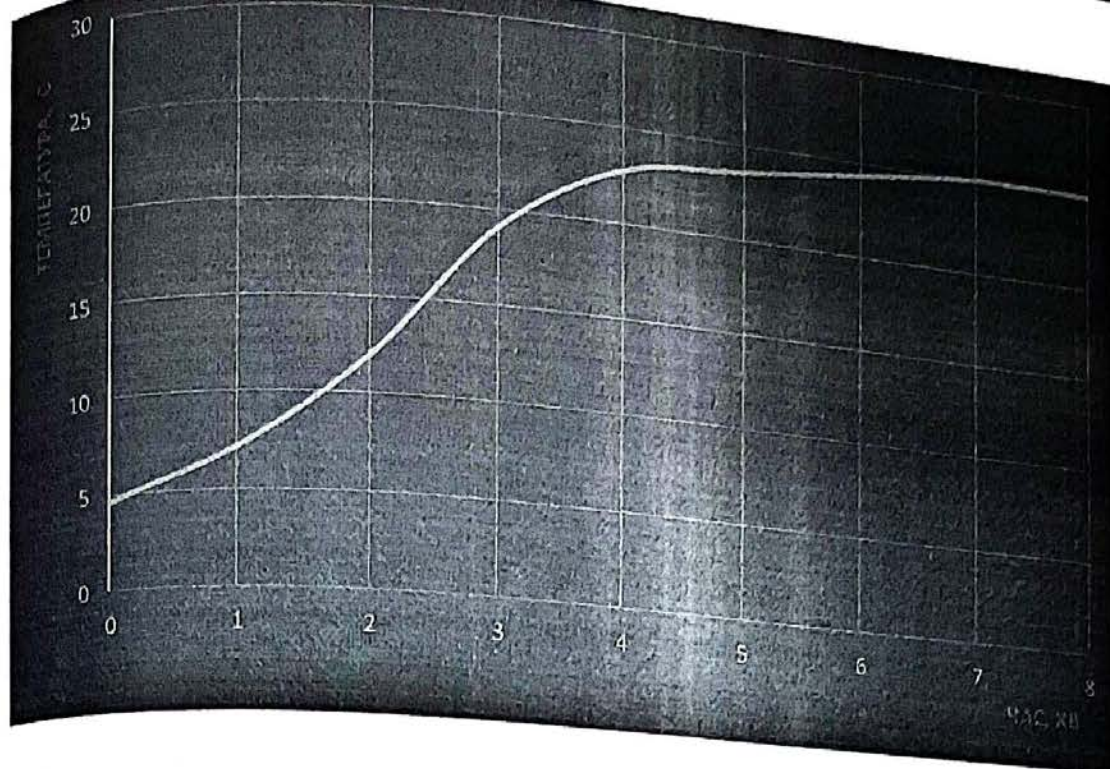


Рис. 3.8 Графік зростання температури віброопор.

З аналізу побудованих графіків можемо зробити наступні висновки:

- з плином часу і температура і амплітуда збільшують свої показники;
- максимальне збільшення температури відбувається на протязі двох хвилин в проміжку часу після першої і до четвертої хвилини;
- максимальне збільшення амплітуди відбувається на протязі однієї хвилини в проміжку часу після першої і до третьої хвилини;
- починаючи з четвертої хвилини величини амплітуди та температури практично не змінюють свого значення і набувають сталої величини наприкінці вимірювального періоду.

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

Гума втрачає жорсткість при нагріванні через особливості її молекулярної структури та фізико-механічних властивостей. Основні причини цього явища наступні:

1. Зростання рухливості макромолекул.

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

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

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

2. Зменшення модуля зсуву та стиску.

Жорсткість гумових елементів безпосередньо залежить від:

- модуля пружності;
- модуля зсуву.

При нагріванні ці модулі зменшуються, тому за однакової сили деформація стає більшою, а отже жорсткість опори падає.

3. Вплив температури на в'язкопружні властивості.

Гума є в'язкопружним матеріалом, тобто її поведінка залежить:

- і від навантаження;
- і від температури.

З підвищенням температури зростає в'язка складова деформації, що призводить до:

- зменшення опору деформаціям;
- збільшення амплітуди коливань у віброізоляційних опорах.

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

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

Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.601-ММ.001-00.00.000 ПЗ	Лист
					47

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

3.6 Рекомендації для віброформувального обладнання з гумовими пружними віброопорами.

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

1. Використання гумових вібраційних опор є цілком прийнятним для виготовлення бетонних виробів на віброформувальному обладнанні.
2. Гумові віброопори доцільно використовувати при високій частоті коливань (більше 50 Гц) і порівняно невеликій амплітуді коливань (до 1,2 мм).
3. Доцільно користуватися подібним видом обладнання у теплу пору року або в приміщеннях з обігрівом при температурі навколишнього повітря від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+28^{\circ}\text{C}$.
4. У холодну пору року потрібно проводити попередній «прогрів» обладнання, щоб температура гуми досягла необхідних значень, при яких величина амплітуди вібропереміщень буде оптимальною.
5. Для конкретного зразка обладнання рекомендується побудувати графік зміни амплітуди вертикальних коливань від температури гумових віброопор (див. рис.3.9), з якого можна визначити оптимальну амплітуду коливань для віброущільнення.
6. Самим оптимальним часом для робочого процесу буде час, коли значення амплітуди коливань набудуть необхідної рекомендованої

величини і не будуть змінюватись на протязі процесу віброформування. Це забезпечить досягнення однакового коефіцієнту ущільнення бетонної суміші, і як наслідок – однакової міцності у всіх виробках.

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

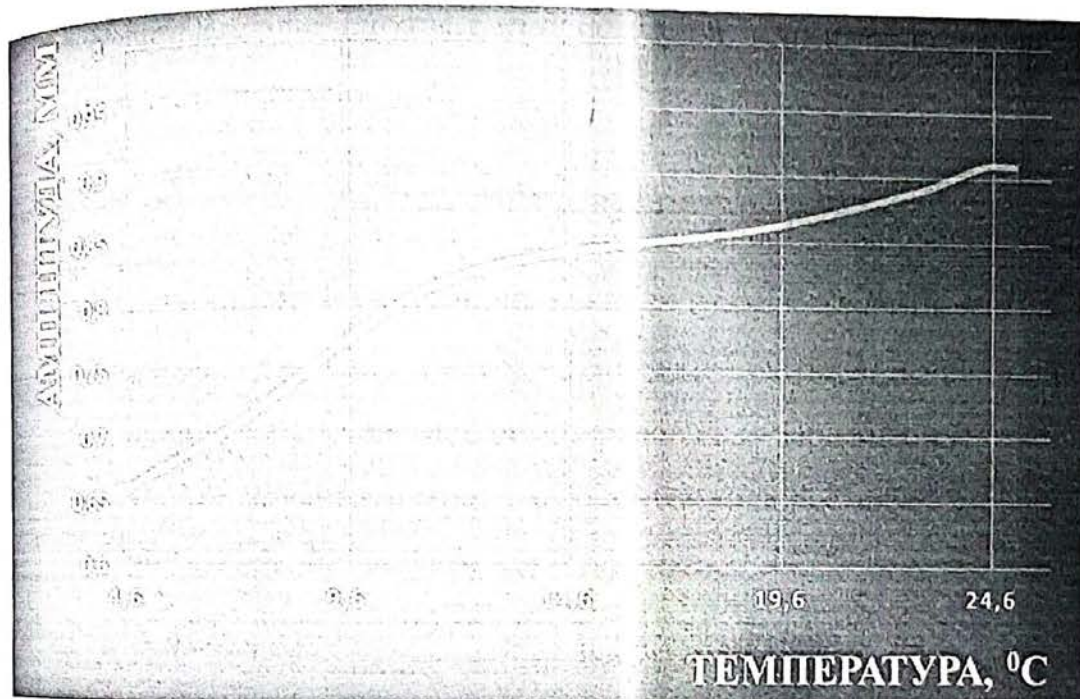


Рис. 3.9 Графік зміни амплітуди вертикальних коливань від температури гумових віброопор.

Висновки

Магістерська робота присвячена розгляду віброформувального обладнання для виробництва бетонних виробів з використанням пружних гумових вібраційних опор.

Актуальність даної теми підтверджується постійним використанням подібного типу обладнання невеликими підприємствами при виготовленні малогабаритних бетонних виробів, які використовуються в сучасному будівництві.

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

Визначивши мету роботи, яка полягала в дослідженні робочого процесу віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів з метою виявлення впливу температури гумових віброопор на технологічні параметри даного процесу виготовлення, були сформульовані та вирішені наступні задачі.

1. Здійснено детальний огляд конструктивних особливостей віброформувального обладнання різних типів із урахуванням їх будови, принципів роботи та сфер застосування.
2. Виконано аналіз технологічного процесу віброущільнення бетонних сумішей, зокрема розглянуто вплив вібраційних параметрів на якість ущільнення та формування виробів.
3. Проведено дослідження різноманітних конструкцій гумових вібраційних опор, що використовуються у віброформувальному

ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПЗ

Висновки

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Алексеев		05.01	Н	50	2
Перев.		Коротич		09.01	Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІТР, 2026 р.		
Н.контр.		Васильев		12.01			
Затв.		Орисенко		19.01			

обладнанні, з оцінкою їхніх конструктивних та експлуатаційних особливостей.

4. Здійснено експериментальні дослідження на дослідному вібраційному обладнанні з визначенням температурних режимів роботи гумових віброопор та вимірюванням амплітуди коливань.
5. Виконано детальний аналіз результатів експериментальних досліджень з метою оцінки впливу досліджуваних параметрів на ефективність роботи обладнання.
6. Розроблено практичні рекомендації щодо застосування та удосконалення віброформуального обладнання з гумовими пружними віброопорами з урахуванням отриманих результатів.

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.001-00.00.000ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
		Алексєєнко		05.01
		Коротич		09.01
		Васильєв		12.01
		Орисенко		19.01

Список літератури

Літ.	Лист	Листів
Н	52	2

Національний університет
імені Юрія Кондратюка,
ННІІТР, 2026 р.

10. Гусев Б. В., Зазимко В. Г. Вібраційна технологія бетону. Київ : Будівельник, 1991. 230 с.
11. Pinto 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., Ruchynskyi 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>

ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПЗ

Лист

53

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

20. Cannon R. W. Compaction of Mass Concrete with Vibratory Roller. *ACI Journal*. 1974. Proceeding v. 71. № 10. P. 506–513
21. Ратушняк Г. С., Слободян Н. М. Вібросилова технологія формування декоративних бетонних виробів : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. 161с.
22. 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.
23. ДСТУ-Н Б А.3.1-34:2016. Настанова з виробництва бетонних і залізобетонних виробів. Чинний від 01.04.2017. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2017. 34 с.
24. ДСТУ Б В.2.7-96-2000. Суміші бетонні. Технічні умови. Чинний від 2000-07-01. Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ, 2000. 20 с.
25. Назаренко І. І., Туманська О. В. Машини і устаткування підприємств будівельних матеріалів: конструкції та основи експлуатації : підручник. Київ : Вища шк., 2004. 590 с.
26. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://docs.cntd.ua/document/1200031406>

Вплив температури гумових віброопор на технологічні параметри вібраційного столу

Презентаційні матеріали

ГММ.601-ММ.001-00.00.000ПМ

Вплив температури гумових віброопор на технологічні параметри вібраційного столу

здобувач вищої освіти групи 601-ММ

Алексєєнко Олександр Павлович

- В запропонованій магістерській роботі представлено розгляд вібраційного обладнання для віброформування бетонних виробів з використанням пружних гумових вібраційних опор. Використання в якості вібраційних опор саме гумових елементів має свою специфіку застосування, яка потребує розгляду, дослідження та обґрунтування. В даній роботі пропонується дослідити віброформувальне обладнання з гумовими віброопорами та обґрунтувати доцільність їх використання.
- **Мета дослідження.** Мета роботи полягає в дослідженні робочого процесу віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів з метою виявлення впливу температури гумових віброопор на технологічні параметри даного процесу виготовлення.
- **Об'єктом досліджень** є технологічний процес дослідного віброформувального обладнання.
- **Предметом дослідження** є параметри технологічного процесу дослідного віброформувального обладнання.



- Для досягнення зазначеної мети дослідження сформульовані та виконані **наступні задачі**:
- — проведення огляду будови конструкцій віброформувального обладнання різних типів;
- — проведення огляду та аналізу процесу віброущільнення бетонних сумішей;
- — здійснення огляду різноманітних конструкцій гумових віброопор для віброформувального обладнання;
- — проведення експериментальних досліджень із визначенням температури гумових віброопор та амплітуди коливань на дослідному вібраційному обладнанні;
- — проведення аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень;
- — розроблення рекомендацій для віброформувального обладнання з гумовими пружними віброопорами.

Розділи

- 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ ВІБРОФОРМУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.
- 2. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ.
- 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ГУМОВИХ ВІБРООПОР.

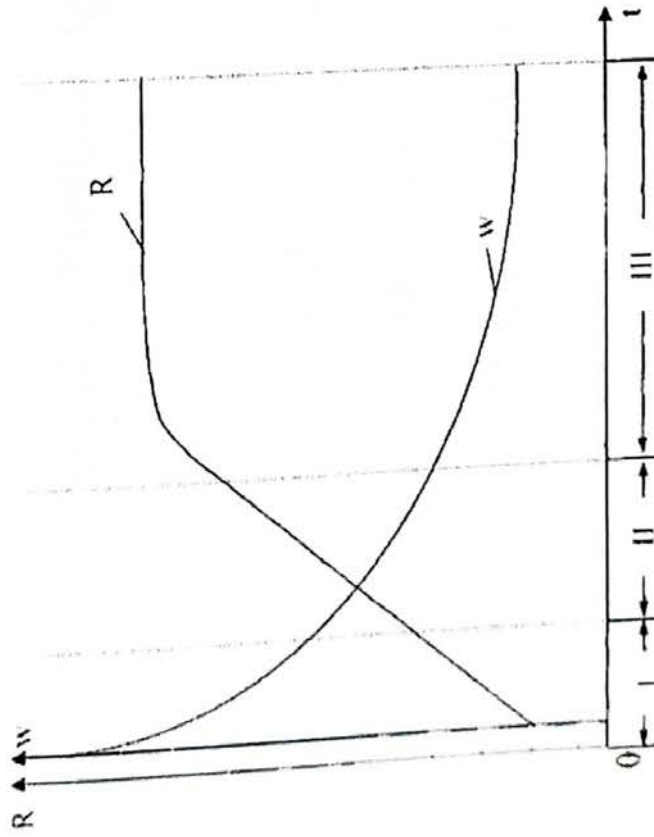


Рис. 1.1 Зменшення пористості W і збільшення міцності R бетонної суміші в процесі її ущільнення

В процесі віброущільнення виділяють три тимчасових стадії:

- I - переукладання складових,
- II - зближення складових,
- III - компресійний ущільнення.

Контроль ступеня ущільнення бетонної суміші здійснюється відповідно до вимог державного стандарту ДСТУ Б В.2.7-96-2000. Згідно з цим стандартом, фактичне значення середньої щільності ущільненої бетонної суміші порівнюють із теоретичним, після чого визначають коефіцієнт ущільнення:

$$K_y = \frac{\rho_{\text{ф}}}{\rho_{\text{т}}}$$

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

Призначення пружних вібраційних опор

Пружні опори віброформувального обладнання виконують наступні функції:

1. Ізоляція вібрацій — зменшення передачі коливань на конструкцію.
2. Забезпечення необхідних параметрів коливань — впливають на амплітуду та частотні властивості.
3. Демпфування — поглинання частини енергії для стабільної і безпечної роботи.

Конструктивні види пружних гумових віброопор

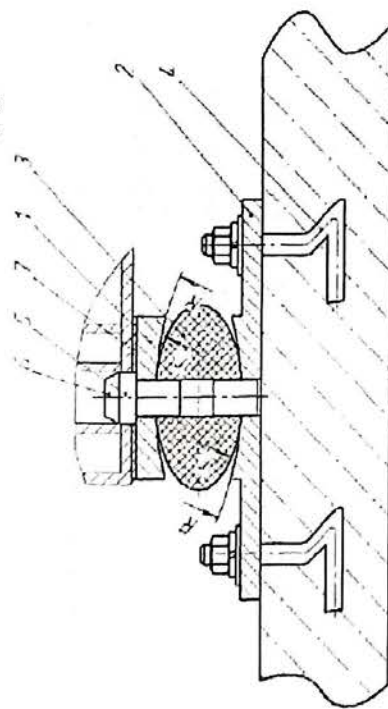


Рис. 4. Вібраційна опора з підвищеною несучою здатністю:
1 – верхня основа; 2 – нижня основа; 3 – пружний елемент;
4 – фундаментний болт; 5 – циліндричний виступ;
6 – конус; 7 – демпфіруюча прокладка

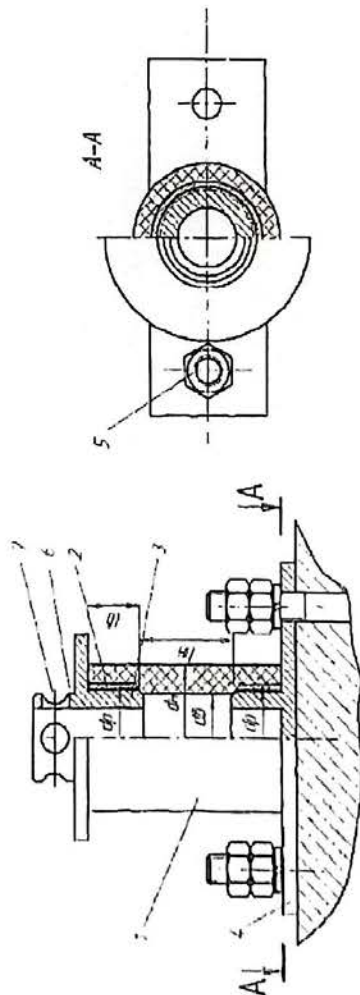


Рис. 3. Циліндрична пружна опора:

1 – корпус; 2 – втулка; 3 – верхня основа; 4 – нижня основа;
5 – болтові з'єднання; 6 – виступ; 7 – технологічний отвір;
 d_p – діаметр різби втулки; d_b – діаметр втулки; $d_{\text{вн}}$ – зовнішній діаметр
суцільного корпусу; $d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр суцільного корпусу;
 $h_{\text{вн}}$ – робоча висота суцільного корпусу

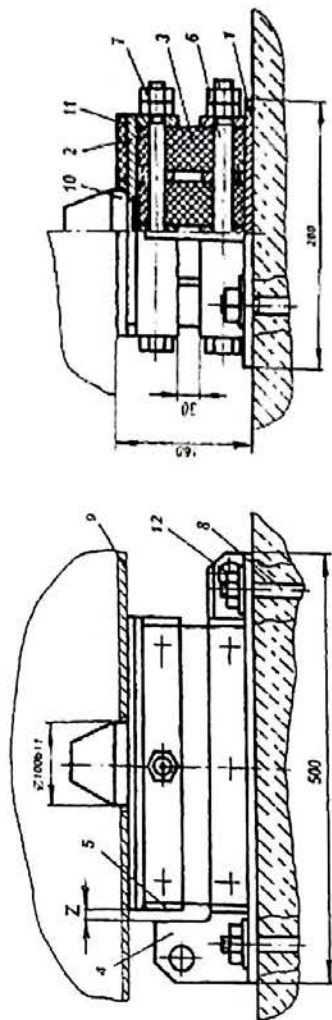


Рис. 1. Пружна опора ОУ-4:

1 – нижня основа; 2 – верхня основа; 3 – пружний гумовий елемент;
4 – подовжене ребро нижньої основи; 5 – поперечне ребро; 6 – болт;
7 – гайка; 8 – фундаментний болт; 9 – рухлива рама віброплошадки;
10 – виступ; 11 – демпфірувальна прокладка; 12 – отвір для строповки

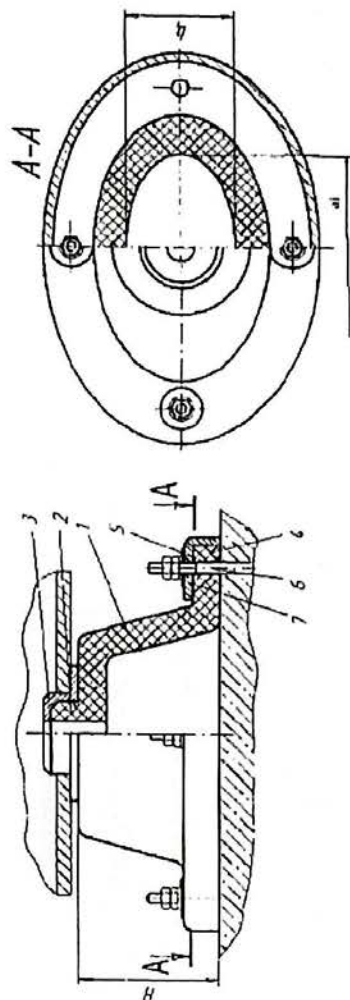


Рис. 2. Кінцева пружна опора:

1 – корпус; 2 – виступ; 3 – ковпак для приспівання технологічного обладнання;
4 – буртик; 5 – отвір; 6 – болтові з'єднання; 7 – притискний елемент

Вибір об'єкту дослідження

Сформульоване завдання досліджень виглядає наступним чином:

- на існуючій дослідній моделі віброформувального обладнання (вібростіл) потрібно провести вимірювання амплітуди вертикальних коливань робочого органу обладнання.
- метою даного дослідження є виявлення існування залежності амплітуди віброколивань від зміни температури гумових вібраційних опор.

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

Параметри жорсткості пружних елементів опор добирають з урахуванням умов роботи віброплощадки та номенклатури виготовляємих бетонних виробів.

Температура в виробничому цеху (або на відкритому майданчику) по виготовленню бетонних виробів в залежності від пори року може коливатися від мінус 20° С взимку до плюс 30° С влітку. Припускається, що температура гуми, з якої виготовлено віброопору, буде впливати на технологічні параметри обладнання, насамперед на величину амплітуди віброколивань робочого органу вібростолу.

Матеріал гумовий елемент – рукав Б(І) – 2,5 – 50 – 62 У по ГОСТ 18698-79, завтовшки 6 мм., висотою = 100 мм, діаметром $d=62$ мм.

В якості обладнання для проведення досліджень обираємо вібраційний стіл для виготовлення бетонних виробів.

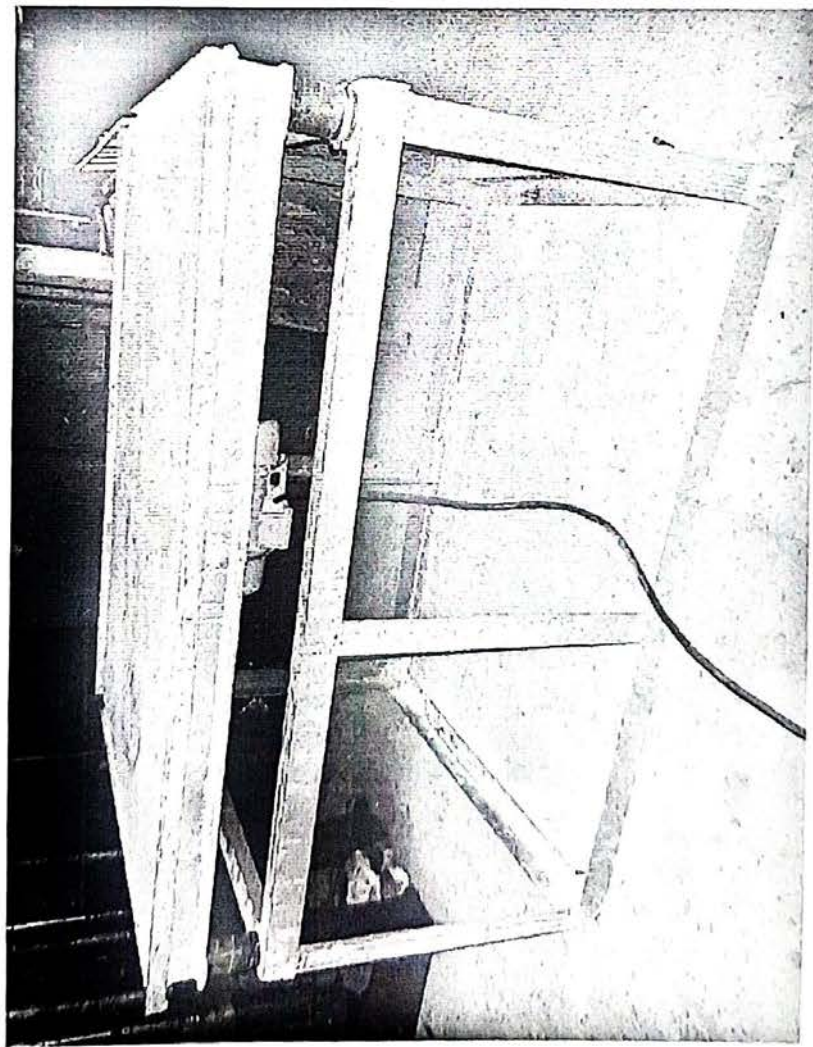


Рис. 3.1 Вібраційний стіл.

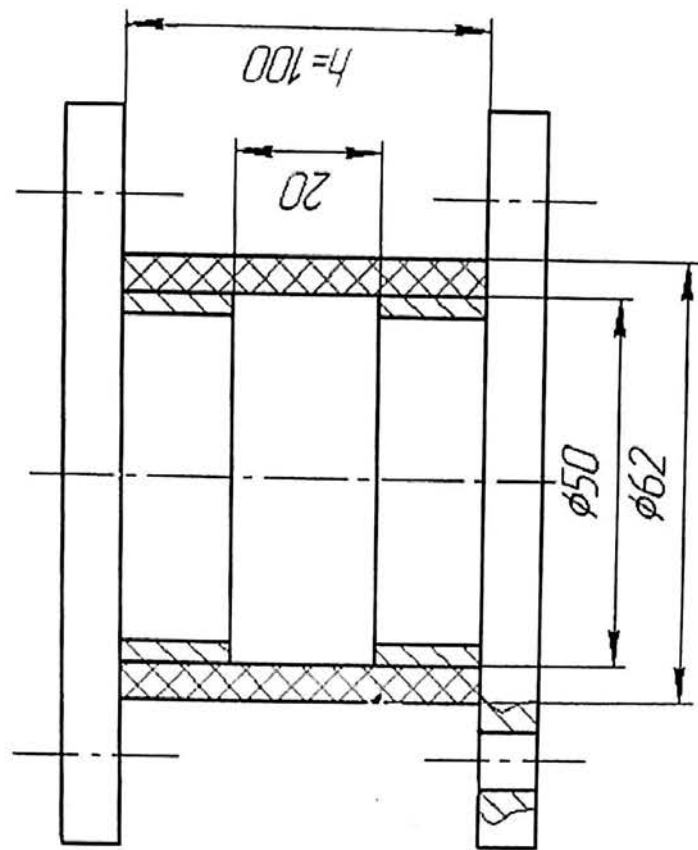
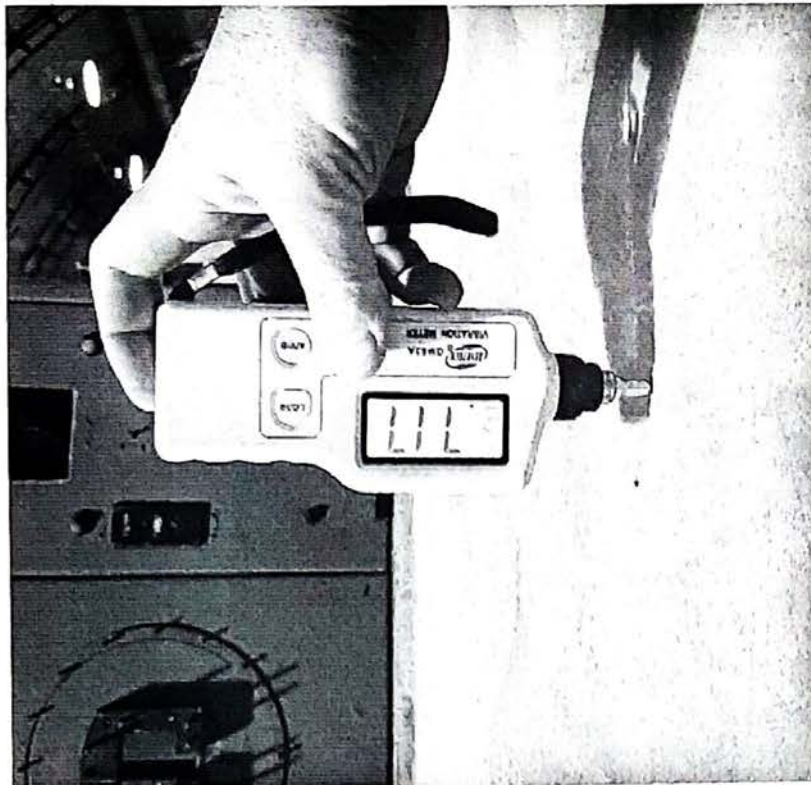
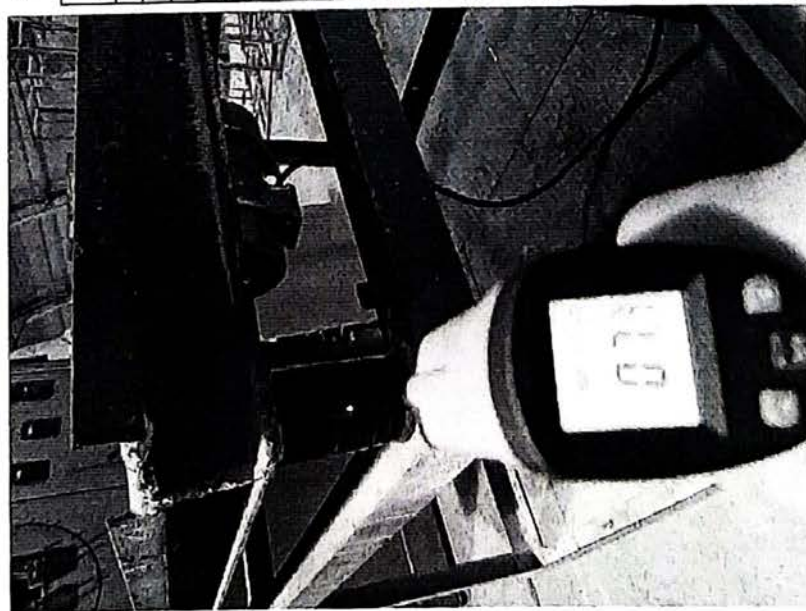


Рис. 3.2 Пружна опора.

Дослідження впливу температури гумових віброопор на величину амплітуди віброколивань.

Таблиця 3.1. Залежність амплітуди вертикальних коливань від температури гумових віброопор

№ п/п	Час, с. (хв)	Температура, °C	Амплітуда, мм	№ п/п	Час, с. (хв)	Температура, °C	Амплітуда, мм
1	2	4,6	0,66	26	4-10	22,9	0,89
2	10	4,8	0,68	27	4-20	23,1	0,89
3	20	5,3	0,69	28	4-30	23,1	0,89
4	30	5,6	0,69	29	4-40	23,4	0,9
5	40	6,2	0,7	30	4-50	23,5	0,9
6	50	6,8	0,71	31	5	23,6	0,9
7	1 хв	7,2	0,71	32	5-10	23,7	0,9
8	1-10	7,7	0,72	33	5-20	23,8	0,9
9	1-20	8,0	0,74	34	5-30	24,0	0,9
10	1-30	8,7	0,76	35	5-40	24,1	0,9
11	1-40	10,1	0,78	36	5-50	24,3	0,91
12	1-50	10,9	0,8	37	6	24,4	0,91
13	2	12,0	0,82	38	6-10	24,5	0,91
14	2-10	13,2	0,83	39	6-20	24,5	0,91
15	2-20	14,5	0,83	40	6-30	24,7	0,91
16	2-30	16,1	0,84	41	6-40	24,9	0,91
17	2-40	17,2	0,85	42	6-50	25,0	0,91
18	2-50	18,2	0,86	43	7	25,1	0,91
19	3	19,1	0,86	44	7-10	25,1	0,91
20	3-10	20,1	0,87	45	7-20	25,1	0,91
21	3-20	20,5	0,87	46	7-30	25,1	0,91
22	3-30	20,9	0,88	47	7-40	25,1	0,91
23	3-40	21,6	0,88	48	7-50	25,1	0,91
24	3-50	22,3	0,88	49	8	25,1	0,91
25	4	22,8	0,89	50	8-10	25,1	0,91



Визначення рівня впливу температури гумових віброопор на величину амплітуди віброколивань

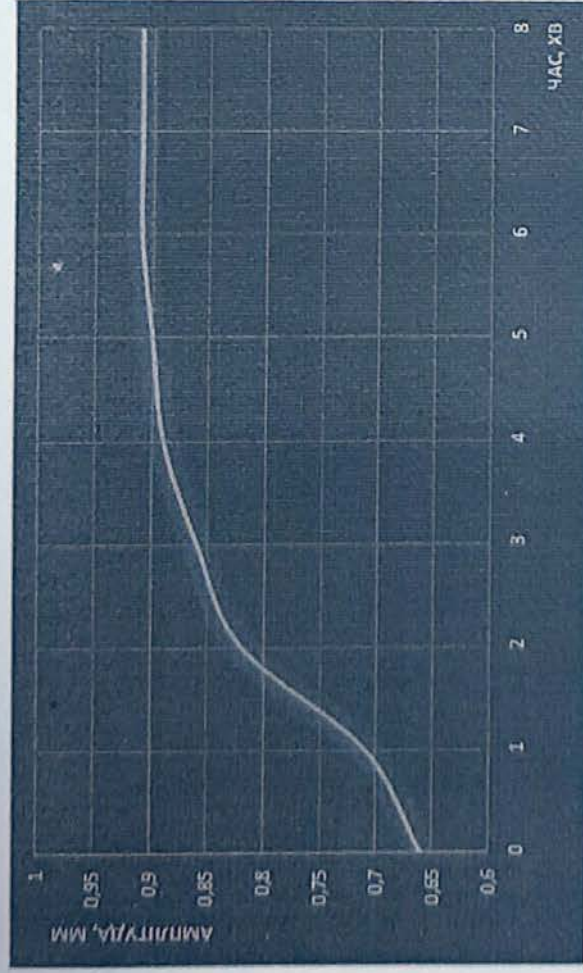


Рис. 3.7 Графік зростання амплітуди вертикальних коливань.

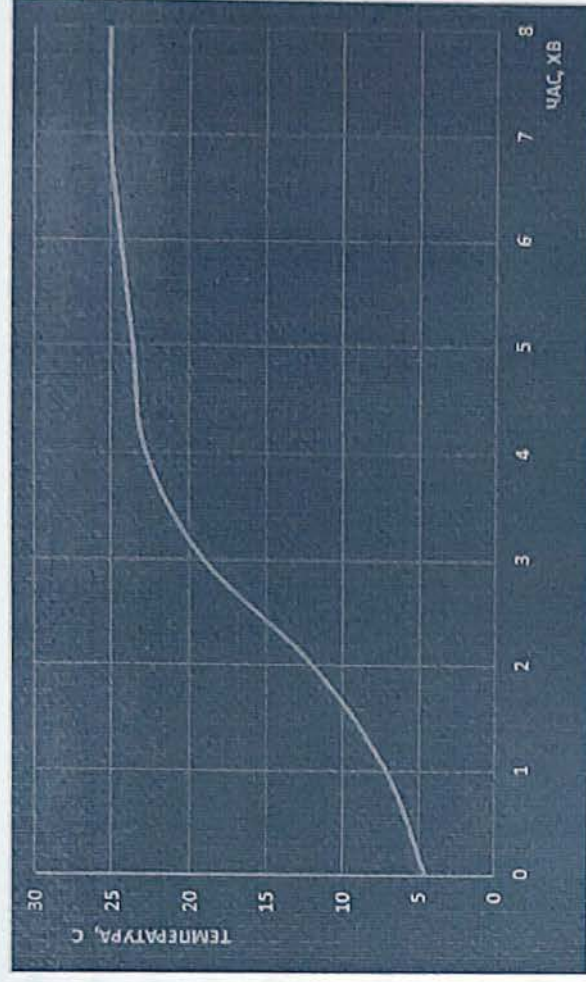


Рис. 3.8 Графік зростання температури віброопор.

З аналізу побудованих графіків можемо зробити наступні висновки:

- з плином часу і температура і амплітуда збільшують свої показники;
- максимальне збільшення температури відбувається на протязі двох хвилин в проміжку часу після першої і до четвертої хвилини;
- максимальне збільшення амплітуди відбувається на протязі однієї хвилини в проміжку часу після першої і до третьої хвилини;
- починаючи з четвертої хвилини величини амплітуди та температури практично не змінюють свого значення і набувають сталої величини наприкінці вимірювального періоду.

Рекомендації для віброформування з гумовими пружними віброопорами.

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

1. Використання гумових вібраційних опор є цілком прийнятним для виготовлення бетонних виробів на віброформувальному обладнанні.
2. Гумові віброопори доцільно використовувати при високій частоті коливань (більше 50 Гц) і порівняно невеликій амплітуді коливань (до 1,2 мм).
3. Доцільно користуватися подібним видом обладнання у теплу пору року або в приміщеннях з обігрівом при температурі навколишнього повітря від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+28^{\circ}\text{C}$.

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

5. Для конкретного зразка обладнання рекомендується побудувати графік зміни амплітуди вертикальних коливань від температури гумових віброопор (див. рис. 3.9), з якого можна визначити оптимальну амплітуду коливань для віброуцільнення.

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

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

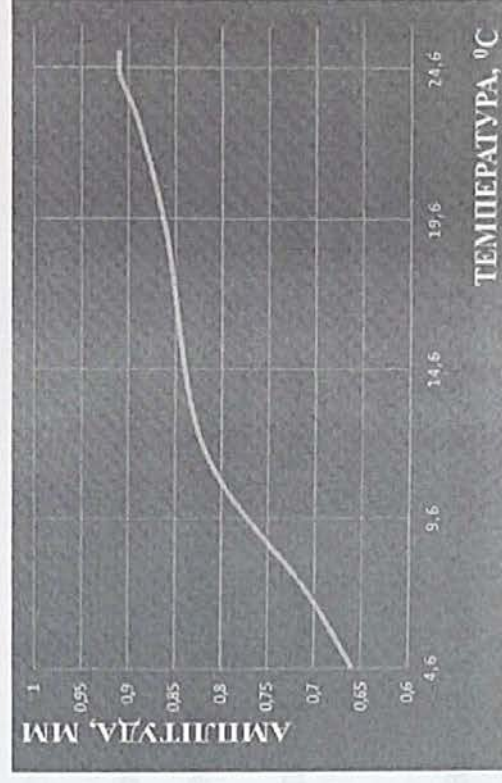


Рис. 3.9 Графік зміни амплітуди вертикальних коливань від температури гумових віброопор.

Висновки

1. Здійснено детальний огляд конструктивних особливостей віброформувального обладнання різних типів із урахуванням їх будови, принципів роботи та сфер застосування.
2. Виконано аналіз технологічного процесу віброущільнення бетонних сумішей, зокрема розглянуто вплив вібраційних параметрів на якість ущільнення та формування виробів.
3. Проведено дослідження різноманітних конструкцій гумових вібраційних опор, що використовуються у віброформувальному обладнанні, з оцінкою їхніх конструктивних та експлуатаційних особливостей.
4. Здійснено експериментальні дослідження на дослідному вібраційному обладнанні з визначенням температурних режимів роботи гумових віброопор та вимірюванням амплітуди коливань.
5. Виконано детальний аналіз результатів експериментальних досліджень з метою оцінки впливу досліджуваних параметрів на ефективність роботи обладнання.
6. Розроблено практичні рекомендації щодо застосування та удосконалення віброформувального обладнання з гумовими пружними віброопорами з урахуванням отриманих результатів.

Доповідь закінчено

Дякую за увагу!