

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

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

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

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Віброплощадка для формування безнапірних залізобетонних труб

Виконав: студент III курсу, групи 301пММ
напряму підготовки (спеціальності)

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Куцерубов Є.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник Васильєв Є.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Панфілов О.І.
(прізвище та ініціали)

Полтава – 2026 року

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

Віброплощадка для формування безнапірних
залізобетонних труб

Кваліфікаційна робота бакалавра

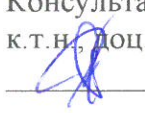
Лист затвердження

ГММ.301-пММ.019-00.00.000 КРБ - ЛУ

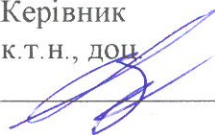
Розробив здобувач групи 301-пММ

 Євгеній КУЦЕРУБОВ
«20» серпня 2026 р.

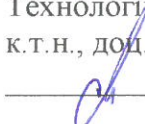
Консультант із технологічної частини
к.т.н., доц.

 Іван РОГОЗІН
«20» 06 2026 р.

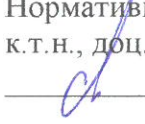
Керівник
к.т.н., доц.

 Євген ВАСИЛЬЄВ
«__» ____ 2026 р.

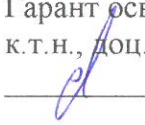
Технологічний контроль
к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 06 2026 р.

Нормативний контроль
к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 06 2026 р.

Гарант освітньо-професійної програми
к.т.н., доц.

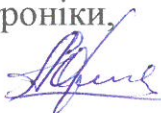
 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 06 2026 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

галузевого машинобудування та мехатроніки,

к.т.н., доц.

 Олександр ОРИСЕНКО

№ рядок	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1					
2			<u>Документація загальна</u>		
3			<i>Вперше розроблена</i>		
4					
5	A4	ГММ.301пММ.019-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	
6	A4	ГММ.301пММ.019-00.00.000А	Анотація	2	
7	A1	ГММ.301пММ.019-00.00.000ВЗ	Вібраційна площадка для		
8			формування залізо бетонних		
9			труб		
10			Вигляд загальний	1	
11	A4	ГММ.301пММ.019-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	57	
12					
13			<u>Документація по</u>		
14			<u>складальних одиницях</u>		
15			<i>Вперше розроблена</i>		
16					
17	A1	ГММ.301пММ.019-01.00.000СК	Рама нижня	1	
18			Складальне креслення		
19	A4	ГММ.301пММ.019-01.00.000	Рама нижня	1	
20		ГММ.301пММ.019-02.00.000СК	Рама верхня	1	
21			Складальне креслення		
22		ГММ.301пММ.019-02.00.000	Рама верхня	1	
23		ГММ.301пММ.019-04.00.000СК	Вібробуджувач	1	
24			Складальне креслення		
25		ГММ.301пММ.019-04.00.000	Вібробуджувач	1	
26					
27			<u>Документація по деталях</u>		
28			<i>Вперше розроблена</i>		
29					
30	A2	ГММ.301пММ.019-04.00.003	Вал		

					ГММ.301пММ.019-00.00.000ВБ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Куцербов		20.06					
Перев.		Васильєв Є		20.06					
Н.контр.		Васильєв О		20.06					
Затв.		Орисенко		20.06					
					Віброплощадка для формування безпаярних залізобетонних труб				
					<u>Відомість бакалаврської роботи</u>				
					Літ.	Лист	Листів		
					Н		1	1	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»				
					2026				

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл.	№вкз.	Прим.
28						
29			<u>Документація технологічна</u>			
30			Вперше розроблена			
31						
32	A1	ГММ.301пММ.019-00.00.000ТП	Технологічний процес			
33			Виготовлення вала	1		
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
			ГММ.301пММ.019-00.00.000ВБ			Лист
						2

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

Кафедра, циклова комісія галузевого машинобудування та мехатроніки

Рівень вищої освіти Бакалавр

Напрямок підготовки _____

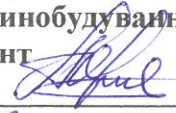
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

 **Олександр ОРИСЕНКО**
« 03 » 03 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Куцерубова Євгенія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Віброплощадка для формування безнапірних залізобетонних труб»

керівник роботи (проекту) Васильєв Є.А., к.т.н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 03 » 03 2026 року
№ 273 - ф, а.

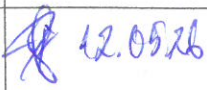
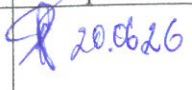
2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи: «19» червня 2026 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: тип обладнання – віброплощадка для формування безнапірних залізобетонних труб; вантажопідйомність – 10 т; зовнішній діаметр труби – 1,40 м; внутрішній діаметр – 1,20 м; довжина – 3,0 м; маса коливальної системи – 7800 кг; кількість пружних опор – 8; кількість дебалансних віброзбуджувачів – 2; деталь для розроблення технологічного процесу – дебалансний вал віброзбуджувача.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Зміст. Вступ. 1. Аналіз стану питання та завдання дослідження. 2. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції 3. технологічний процес виготовлення вала 4. Безпека життєдіяльності

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Технологічна лінія (1 лист А1) 2. Вигляд загальний (1 лист А1). 3. Складальне креслення (2 лист А1). 4. Технологічний процес виготовлення вала (1 лист А1). 5. Деталювання (1 лист А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3. Технологічний процес виготовлення вала	Рогозін І.А. доцент	 12.05.26	 20.06.26

7. Дата видачі завдання « 03 » 03 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Огляд конструкцій	05.05.2026 р.	
2	Конструкторські проробки	12.05.2026 р.	
3	Розрахунки обладнання	19.05.2026 р.	
4	Виконання креслень складальних одиниць та деталей, специфікацій	26.05.2026 р.	
5	Техніка безпеки	02.06.2026 р.	
6	Компонування пояснювальної записки	09.06.2026 р.	
7	Здача готового проекту	14.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

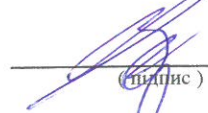
(підпис)

 Євгеній КУЦЕРУБОВ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

 Євген ВАСИЛЬСВ

(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми

(підпис)

 Олексій ВАСИЛЬСВ

(прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Віброплощадка для формування безнапірних залізобетонних труб».

Бакалаврська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» – Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2026.

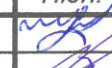
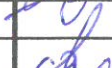
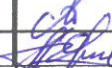
Кваліфікаційна робота включає розрахунково-пояснювальну записку на 57 аркушах формату А4 та 5 аркушів графічної частини формату А1.

Кваліфікаційну роботу присвячено розробленню віброплощадки вантажопідйомністю 10 т для формування безнапірних залізобетонних труб. Проведено аналіз конструкцій труб, способів їх формування та методів ущільнення бетонних сумішей. Обґрунтовано доцільність застосування об'ємного вібраційного ущільнення.

Розроблено конструктивну схему віброплощадки з рухомою і нижньою рамами, пружними опорами та двома дебалансними віброзбуджувачами. Для коливальної системи масою 7800 кг прийнято частоту обертання 1500 об/хв та амплітуду коливань 1,1 мм. Розраховано віброприскорення $27,1 \text{ м/с}^2$, загальну збурювальну силу 211,7 кН і встановлену потужність приводу 11 кВт. Виконано перевірку міцності рам, вала, підшипникових вузлів і пружних опор.

Розроблено технологічний процес виготовлення дебалансного вала, обґрунтовано вибір матеріалу, заготовки, обладнання та режимів механічної обробки. Розглянуто вимоги безпеки під час виготовлення труб і експлуатації вібраційного обладнання. Результати роботи можуть бути використані під час проєктування та модернізації обладнання підприємств збірного залізобетону.

Ключові слова: віброплощадка, безнапірна залізобетонна труба, бетонна суміш, віброущільнення, віброзбуджувач, дебалансний вал, пружна опора.

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Куцербов			20.06	Анотація		
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівн.							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06			
					Літ.	Лист	Листів
					Н		
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Annotation

Bachelor's qualification thesis entitled: "Vibrating Platform for Forming Non-Pressure Reinforced Concrete Pipes."

The bachelor's thesis is submitted for the Bachelor's degree in Specialty 133 "Industrial Engineering" at the National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, 2026.

The qualification thesis comprises a 57-page A4 calculation and explanatory report and five A1 sheets of graphical materials.

The thesis focuses on developing a vibrating platform with a load capacity of 10 tonnes for forming non-pressure reinforced concrete pipes. Pipe designs, forming techniques, and concrete mixture compaction methods were analysed. The feasibility of using volumetric vibration compaction was substantiated.

A structural configuration of the vibrating platform was developed, comprising a movable frame, a lower frame, elastic supports, and two unbalanced vibration exciters. For the oscillating system weighing 7,800 kg, a rotational speed of 1,500 rpm and a vibration amplitude of 1.1 mm were adopted. The calculated vibration acceleration is 27.1 m/s^2 , the total excitation force is 211.7 kN, and the installed drive power is 11 kW. The strength of the frames, shaft, bearing assemblies, and elastic supports was verified.

A manufacturing process for the unbalanced shaft was developed, and the selection of the material, workpiece, equipment, and machining parameters was substantiated. Safety requirements for pipe manufacturing and vibration equipment operation were considered. The results can be used in designing and modernising equipment for precast reinforced concrete plants.

Keywords: vibrating platform, non-pressure reinforced concrete pipe, concrete mixture, vibration compaction, vibration exciter, unbalanced shaft, elastic support.

						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ	

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

ВІБРОПЛОЩАДКА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БЕЗНАПІРНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ТРУБ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
ГММ.301-пММ.019-00.00.000 ПЗ

Зміст

Вступ	3
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	5
1.1 Призначення та особливості безнапірних залізобетонних труб.....	5
1.2 Аналіз способів формування залізобетонних труб	7
1.3 Природа віброуцільнення бетонної суміші	10
1.4 Різновиди віброуцільнення та їх оцінка.....	12
1.5 Аналіз віброплощадок вантажопідйомністю 10 т для формування безнапірних труб.....	15
1.6 Вибір раціонального режиму вібраційного уцільнення.....	17
1.7 Висновки до розділу та завдання дослідження	18
2 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ	21
3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕБАЛАНСНОГО ВАЛА	33
3.1 Призначення деталі та технічні вимоги.....	33
3.2 Вибір матеріалу та заготовки	34
3.3 Вибір технологічних баз.....	35
3.4 Призначення припусків на механічну обробку	36
3.5 Удосконалений маршрут виготовлення вала	37
3.6 Вибір обладнання, інструменту та оснащення.....	39
3.7 Розрахунок режимів різання.....	39
3.8 Нормування часу	41

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Зміст		
Розроб.	Куцербов			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06			
					Лім.	Лист	Листів
					Н	1	

3.9 Контроль якості та вимоги до готової деталі	43
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	44
4.1 Характеристика умов праці при роботі віброплощадки	44
4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори	45
4.3 Вимоги безпеки до конструкції та експлуатації обладнання	47
4.4 Захист від виробничої вібрації та шуму	48
4.5 Електробезпека.....	48
4.6 Безпека вантажно-розвантажувальних робіт.....	49
4.7 Санітарно-гігієнічні вимоги до робочої зони	50
4.8 Засоби індивідуального захисту	50
4.9 Пожежна безпека та дії в аварійних ситуаціях.....	51
4.10 Висновки до розділу	52
Висновки	53
Список літератури	56

Вступ

Сучасне будівництво інженерних мереж неможливе без широкого застосування залізобетонних труб, які використовуються для влаштування водовідвідних, дренажних, каналізаційних, меліоративних та інших підземних комунікацій. Особливе місце серед таких виробів займають безнапірні залізобетонні труби, які працюють в умовах транспортування рідин самопливом і не розраховані на сприйняття значного внутрішнього тиску. До таких труб висуваються високі вимоги щодо міцності, геометричної точності, водонепроникності, морозостійкості, довговічності та якості внутрішньої і зовнішньої поверхонь.

Якість безнапірних залізобетонних труб значною мірою залежить від технології їх формування та ефективності ущільнення бетонної суміші. Недостатнє ущільнення призводить до появи пор, раковин, неоднорідності структури бетону, зниження міцності та водонепроникності виробу. Надмірний або неправильно підібраний вібраційний вплив, навпаки, може спричинити розшарування бетонної суміші, порушення геометрії виробу та зниження його експлуатаційних властивостей. Тому важливим завданням є обґрунтування конструкції та параметрів вібраційного обладнання, яке забезпечує рівномірне ущільнення бетонної суміші під час формування труб.

Одним із найбільш поширених і ефективних способів формування залізобетонних виробів є вібраційне ущільнення. У процесі вібраційного впливу бетонна суміш переходить у стан підвищеної рухливості, краще заповнює форму, з неї видаляється надлишкове повітря, а частинки заповнювача розташовуються більш щільно. Для формування безнапірних залізобетонних труб можуть застосовуватися різні види обладнання: віброплощадки, віброформи, установки з внутрішніми віброзбудниками,

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Вступ	Лім.	Лист	Листів	
Розроб.		Куцербов		10.06		Н		3	
Перев.		Васильєв		10.06		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			
Керівник									
Н. контр.		Васильєв		20.06					
Затв.		Орисенко		20.06					

центрифуги та комбіновані формувальні машини. Серед них віброплощини мають відносно просту конструкцію, зручні в експлуатації та можуть бути використані для виготовлення труб різних типорозмірів.

Актуальність теми бакалаврської роботи полягає у необхідності розроблення ефективної віброплощини для формування безнапірних залізобетонних труб, яка забезпечуватиме необхідні параметри коливань, якісне ущільнення бетонної суміші, зниження енерговитрат і підвищення надійності технологічного процесу. Удосконалення такого обладнання є важливим для підприємств збірного залізобетону, оскільки дозволяє підвищити продуктивність виробництва, покращити якість готової продукції та зменшити кількість дефектних виробів.

Метою роботи є розроблення конструкції віброплощини для формування безнапірних залізобетонних труб та обґрунтування її основних конструктивних і технологічних параметрів.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Призначення та особливості безнапірних залізобетонних труб

Безнапірні залізобетонні труби застосовують для будівництва підземних трубопроводів, у яких рідина переміщується самотією без створення значного внутрішнього тиску. Такі вироби використовують у системах дощової та побутової каналізації, водовідведення, дренажу, меліорації, а також для транспортування виробничих рідин, які не є агресивними до бетону та арматури. Основними вимогами до труб є достатня несуча здатність, водонепроникність, морозостійкість, геометрична точність стикових частин і довговічність у ґрунтових умовах експлуатації [1, 4].

Труби можуть виготовлятися розтрубними або фальцевими, з круглим внутрішнім отвором, з використанням важкого бетону та просторового арматурного каркаса. Стикові зони виробу повинні забезпечувати герметичне з'єднання труб у трубопроводі. Для цього у конструкції передбачають розтрубну або втулкову частину, гумові ущільнювальні кільця, а також монтажні елементи для безпечного транспортування та укладання.

Особливістю безнапірних труб є значна довжина виробу при порівняно тонкій стінці. Саме тому під час формування необхідно забезпечити рівномірне ущільнення бетонної суміші по всій довжині та по периметру труби. Недостатня щільність бетону призводить до появи раковин, пор, місцевих ослаблень, зниження водонепроникності та зменшення несучої здатності виробу. Загальний вигляд безнапірної залізобетонної труби подано на рисунку 1.1.

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Куцербов			20.06		Н		5
Перев.	Васильєв			20.06		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Керівник								
Н. контр.	Васильєв			20.06				
Затв.	Отисенко							

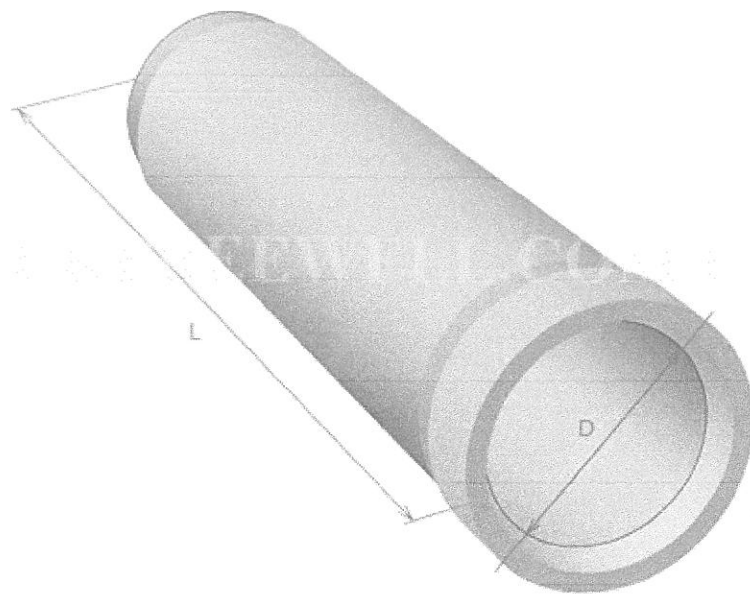


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд залізобетонної безнапірної труби

Якість готової труби значною мірою залежить не лише від складу бетонної суміші, а й від способу її ущільнення. Після приготування суміш має пористу структуру: між зернами заповнювача залишається повітря, вільна вода і цементне тісто. Якщо ці пори не усунути під час формування, вони залишаються в затверділому бетоні та погіршують міцність, морозостійкість і водонепроникність виробу [2, 5].

Вироби повинні мати достатню міцність у свіжовідформованому стані, щоб зберігати форму під час розпалублення, переміщення та подальшої тепловологісної обробки. Це особливо важливо для масового виробництва труб, де зменшення тривалості циклу формування без втрати якості є одним із головних резервів підвищення продуктивності.

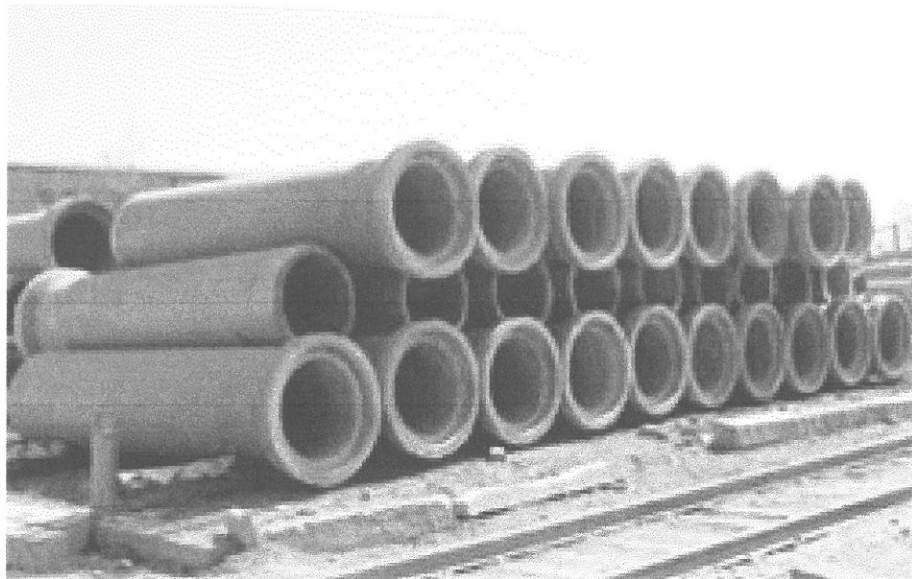


Рисунок 1.2 – Вигляд залізобетонних безнапірних труб на складі готової продукції

1.2 Аналіз способів формування залізобетонних труб

У виробництві збірних залізобетонних виробів застосовують різні способи ущільнення бетонної суміші: трамбування, пресування, прокатку, центрифугування, поверхневе, глибинне, зовнішнє та об'ємне віброущільнення. Вибір способу залежить від типорозміру виробу, жорсткості бетонної суміші, вимог до поверхні, продуктивності лінії та економічної доцільності застосування обладнання [1–3].

Трамбування є найпростішим способом механічного ущільнення, однак для виробництва залізобетонних труб воно є малоефективним. Такий спосіб складно механізувати, він може порушувати положення арматурного каркаса та не забезпечує однакової щільності бетонної суміші по всьому об'єму виробу.

Прокатка і пресування можуть застосовуватися для виробів з постійним поперечним перерізом. Проте для залізобетонних труб складної форми зі стиковими частинами ці способи мають обмежене використання. Їх застосування потребує спеціального обладнання, точного дозування суміші та жорсткого контролю форми виробу.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ

Центрифугування використовується переважно для виготовлення труб круглого перерізу діаметром приблизно 250–1500 мм. Його перевагою є формування щільної структури бетону за рахунок дії відцентрових сил. Разом із тим, цей спосіб має суттєві недоліки: високу вартість обладнання, значну енергоємність, складність обслуговування та обмежену можливість використання жорстких бетонних сумішей. Крім того, центрифугування може сприяти нерівномірному розподілу цементного тіста та крупного заповнювача по товщині стінки труби.

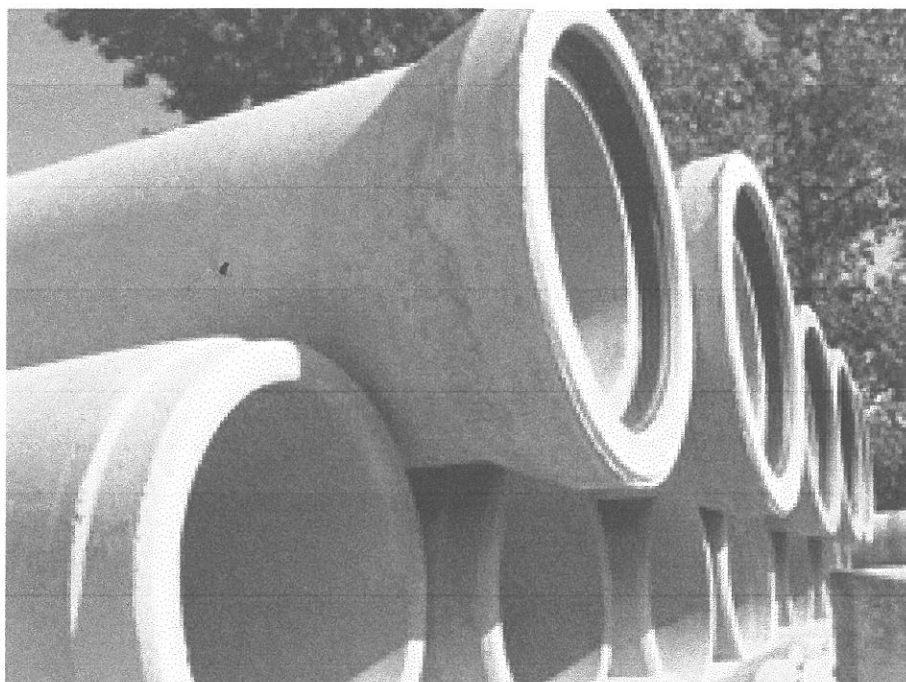


Рисунок 1.3 – Безнапірні залізобетонні труби з ущільнювальними кільцями

Вібраційне ущільнення є найбільш універсальним способом формування залізобетонних виробів. Під дією коливань бетонна суміш тимчасово переходить у стан підвищеної рухливості, краще заповнює форму, з неї видаляється повітря, а зерна заповнювача розміщуються щільніше. Для безнапірних труб найбільш перспективним є об'ємне віброущільнення на віброплощині, оскільки при цьому коливання передаються всій системі «форма – арматурний каркас – бетонна суміш» [2, 3, 5].

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ

Лист

8

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика способів формування залізобетонних труб

Спосіб формування	Переваги	Недоліки	Доцільність для безнапірних труб
Трамбування	Простота обладнання, невеликі капітальні витрати	Низька продуктивність, важка механізація, можливе зміщення арматури	Обмежена, для масового виробництва недоцільна
Пресування	Можливість отримання щільної структури при жорстких сумішах	Складність формування труб зі стиковими елементами	Доцільна лише для окремих типів виробів
Центрифугування	Добре ущільнення круглих виробів, якісна внутрішня поверхня	Висока вартість, енергоємність, обмеження щодо жорстких сумішей	Доцільна для спеціалізованих ліній
Зовнішнє вібрування	Просте встановлення вібраторів на форму	Затухання коливань у товщі суміші, нерівномірність ущільнення	Може застосовуватися для невеликих типорозмірів
Об'ємне вібрування на віброплощині	Рівномірний вплив на форму і суміш, можливість регулювання режимів, висока універсальність	Потребує розрахунку мас, пружних опор і віброзбудника	Найбільш доцільна для розроблюваної конструкції

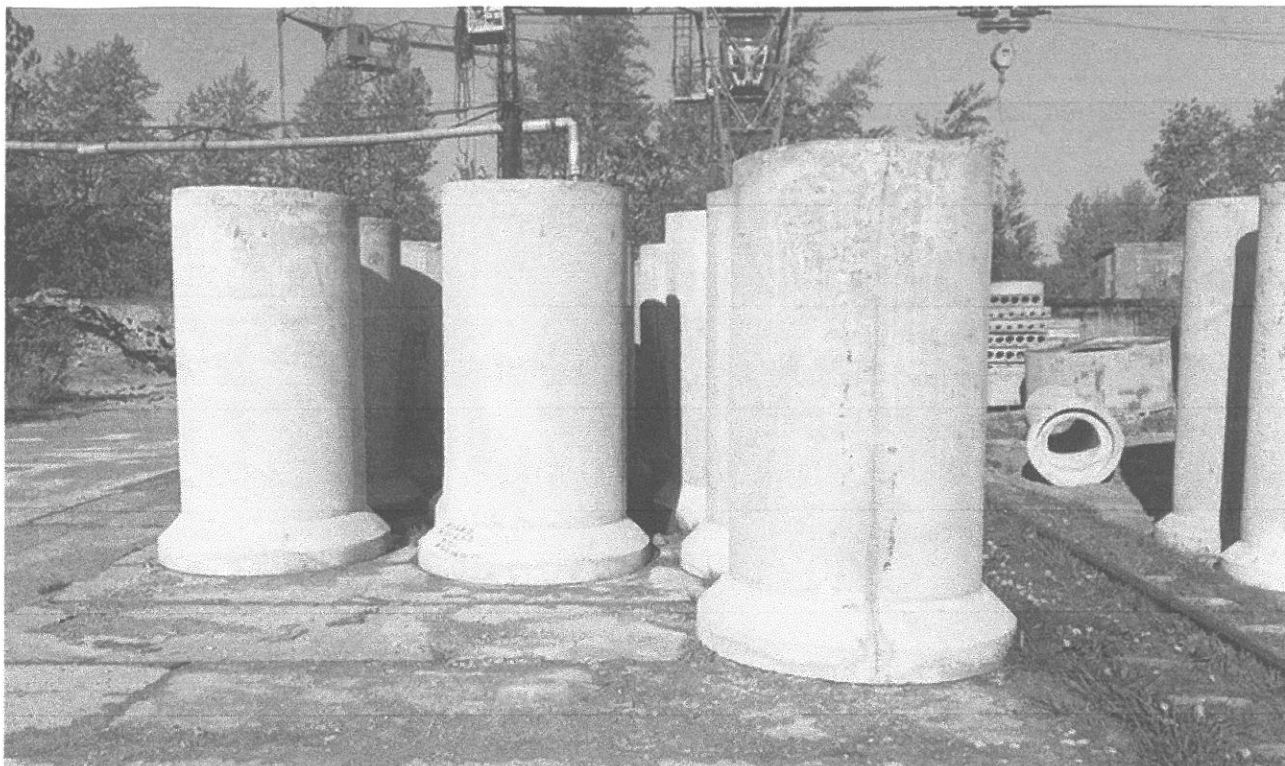


Рисунок 1.4 – Залізобетонна безнапірна труба

1.3 Природа віброущільнення бетонної суміші

Під час вібрування у бетонній суміші відбуваються складні фізико-механічні процеси. У стані спокою частинки заповнювача утримуються силами ваги, тертя та зчеплення. Після прикладання вібраційного впливу рівновага порушується, частинки починають здійснювати коливальні переміщення, слабкі контакти між ними руйнуються, а суміш тимчасово втрачає частину внутрішнього тертя. У результаті відбувається переукладання зерен заповнювача у більш щільну структуру [2, 5].

Одночасно з переукладанням твердих частинок із бетонної суміші видаляються повітряні включення та надлишкова вода. Цементне тісто заповнює проміжки між зернами піску, щебеню або гравію. Внаслідок цього зменшується пористість бетону, підвищуються його міцність, водонепроникність і довговічність.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ

Лист
10

Процес віброущільнення не повинен бути надмірним. Якщо тривалість або інтенсивність вібрування перевищує раціональні значення, може виникати розшарування суміші: крупний заповнювач осідає, а цементне тісто та вода переміщуються до поверхні. Тому для кожного складу бетонної суміші необхідно обирати такий режим коливань, який забезпечує достатнє ущільнення без погіршення однорідності структури.

Граничний боковий тиск розрідженої бетонної суміші на стінки форми з урахуванням привантаження може бути оцінений залежністю:

$$p_{гр} = \gamma_b \cdot h + p_{пр} \quad (1.1)$$

де $p_{гр}$ – граничний боковий тиск бетонної суміші, Па;

γ_b – питома вага бетонної суміші, Н/м³;

h – глибина шару від поверхні, м;

$p_{пр}$ – додатковий тиск від привантаження, Па.

Під час повного або часткового розрідження бетонної суміші на занурені в неї елементи діє виштовхувальна сила. Для тіла об'ємом V її можна подати у вигляді:

$$P_v = (\gamma_b - \gamma_0) \cdot V \quad (1.2)$$

де P_v – виштовхувальна сила, Н;

γ_0 – питома вага зануреного тіла, Н/м³;

V – об'єм тіла, зануреного в бетонну суміш, м³. Ця залежність важлива при формуванні пустотних і трубчастих виробів, оскільки серцевини, вкладиші та елементи форми можуть змінювати положення під дією розрідженої суміші.

У практиці формування труб необхідно враховувати не лише ущільнення суміші, а й стабільність положення арматурного каркаса, серцевини та зовнішньої форми. Недостатня жорсткість форми або слабке її кріплення на віброплощині призводять до втрати частини енергії коливань і погіршення якості ущільнення.

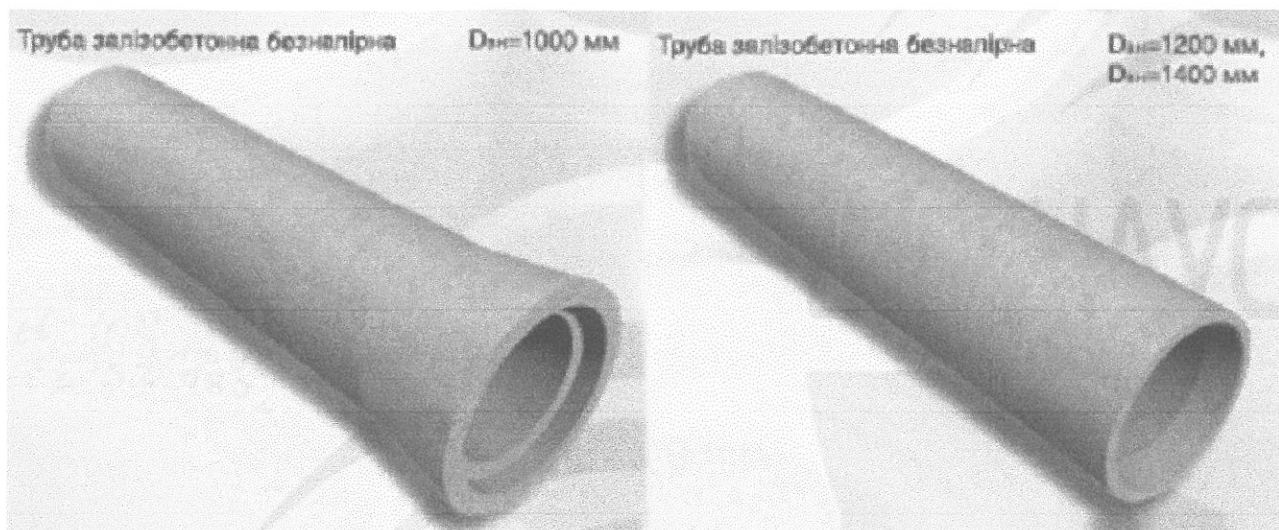


Рисунок 1.5 – Труби залізобетонні безнапірні центрифуговані

1.4 Різновиди віброуцільнення та їх оцінка

Поверхнєве віброуцільнення здійснюється за допомогою віброрейок, віброплит або віброщитів. Коливання передаються від робочого органа до поверхневого шару суміші, а далі поступово поширюються в глибину. Для масивних або трубчастих виробів ефективність цього способу знижується через затухання коливань у товщі бетонної суміші.

Глибинне віброуцільнення виконується переносними глибинними вібраторами або спеціальними вібровкладишами. Джерело коливань розміщується безпосередньо в об'ємі суміші, тому спосіб забезпечує локальне інтенсивне уцільнення. Однак для формування труб він ускладнює технологію, збільшує трудомісткість і може порушувати положення арматури.

Зовнішнє віброуцільнення здійснюється вібраторами, закріпленими на стінках форми. Таке обладнання відносно просте, але коливання нерівномірно поширюються у бетонній суміші, особливо при великій товщині виробу або значній довжині форми. Крім того, частина енергії витрачається на деформацію стінок форми.

Об'ємне віброуцільнення на віброплощині полягає в тому, що в коливальний рух приводиться вся форма разом з бетонною сумішшю та

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ

Лист
12

арматурним каркасом. Цей спосіб забезпечує найкращу керованість процесу, оскільки частоту, амплітуду та напрямок коливань можна призначати залежно від маси форми, жорсткості суміші та геометрії виробу. Для безнапірних труб об'ємне вібрування є найбільш доцільним, особливо при використанні достатньо жорстких бетонних сумішей.

Для ущільнення жорстких сумішей також застосовують вібропресування, за якого об'ємне вібрування поєднується з додатковим тиском на суміш. Привантаження сприяє швидшому зближенню частинок, підвищує щільність верхніх шарів і дозволяє отримати більш якісну поверхню виробу. У виробництві труб роль привантаження можуть виконувати конструктивні елементи форми або спеціальні притискні пристрої.

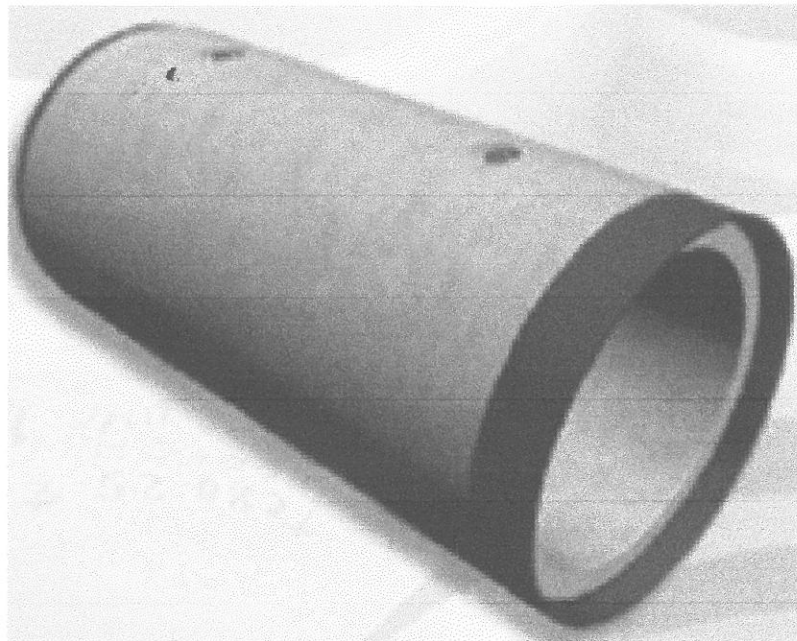


Рисунок 1.6 – Стиковий вузол безнапірної труби з ущільнювальними елементами

Таблиця 1.2 – Узагальнена оцінка різновидів віброуцільнення

Різнovid уцільнення	Характер передачі коливань	Переваги	Основні обмеження
Поверхнєве	Від робочого органа до верхнього шару суміші	Простота обладнання, зручність для плитних виробів	Низька ефективність для трубчастих виробів
Глибинне	Від зануреного віброзбудника у радіальних напрямах	Інтенсивне локальне уцільнення	Підвищена трудомісткість, ризик зміщення арматури
Зовнішнє	Від стінок форми до бетонної суміші	Можливість встановлення на форму	Затухання коливань, нерівномірність уцільнення
Об'ємне	Через форму, встановлену на віброплощадці	Рівномірність впливу, керованість режиму, універсальність	Потребує точного розрахунку вібросистеми
Вібропресування	Поєднання об'ємного вібрування з тиском	Прискорене уцільнення жорстких сумішей	Ускладнення конструкції та технологічного циклу

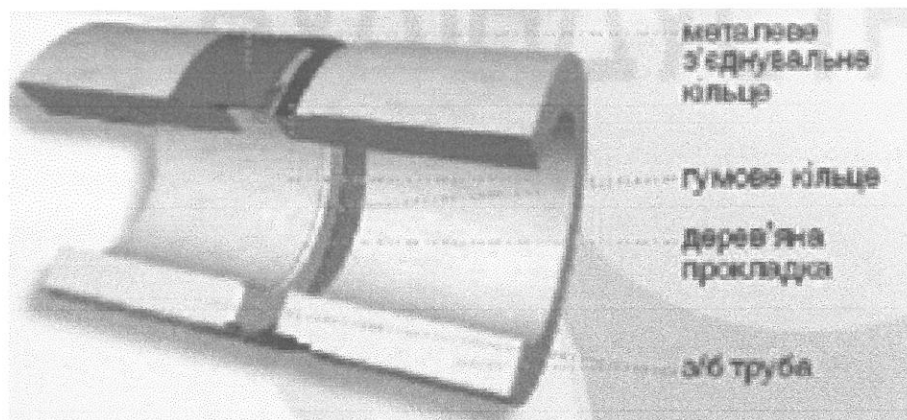


Рисунок 1.7 – Схема стикового з'єднання залізобетонних труб

1.5 Аналіз віброплощадок вантажопідйомністю 10 т для формування безнапірних труб

Віброплощадка для формування безнапірних залізобетонних труб повинна забезпечувати стійку роботу при значній масі форми, бетонної суміші та арматурного каркаса. Вантажопідйомність 10 т дозволяє використовувати обладнання для виготовлення труб середніх типорозмірів, а також забезпечує певний запас щодо маси технологічного оснащення.

Основними елементами віброплощадки є рухома рама, пружні опори, віброзбудник або група віброзбудників, привід, фундаментна рама та система фіксації форми. Рухома рама повинна мати достатню жорсткість, щоб не виникали місцеві деформації та перекоси форми під час вібрування. Пружні опори забезпечують необхідну ізоляцію коливань від фундаменту і визначають власну частоту коливальної системи.

Вібраційний режим може реалізовуватися за допомогою кругових, вертикально спрямованих або складних просторових коливань. Для трубчастих виробів доцільними є спрямовані коливання, які забезпечують інтенсивне переміщення частинок бетонної суміші та рівномірне ущільнення по довжині форми. При цьому необхідно враховувати, що недостатнє кріплення форми до віброплощадки зменшує фактичну амплітуду коливань і призводить до втрати енергії.

Важливою умовою працездатності віброплощадки є відповідність параметрів віброзбудника масі коливальної системи. Надмірна збурювальна сила викликає підвищені динамічні навантаження на раму, підшипники, фундамент і форму. Недостатня збурювальна сила не забезпечує необхідного рівня віброприскорень, унаслідок чого бетонна суміш залишається недоуцільненою.

Таблиця 1.3 – Основні вимоги до віброплощадки для формування безнапірних труб

Показник	Вимога або призначення
Вантажопідйомність	Не менше сумарної маси форми, бетонної суміші та арматурного каркаса з коефіцієнтом запасу
Напрямок коливань	Переважно вертикально спрямований або просторовий, що забезпечує рівномірне уцільнення
Амплітуда коливань	Повинна забезпечувати розрідження суміші без розшарування
Частота коливань	Підбирається залежно від жорсткості бетонної суміші та маси коливальної системи
Жорсткість рами	Достатня для передачі коливань без помітних деформацій і перекосів
Кріплення форми	Надійна фіксація або обмеження переміщення форми під час роботи
Надійність і ремонтпридатність	Мінімальна кількість складних вузлів, доступність підшипників і приводу для обслуговування

Для розроблюваної віброплощадки доцільно передбачити просту та надійну конструкцію з дебалансним віброзбудником, пружними опорами і можливістю регулювання параметрів коливань шляхом зміни частоти обертання або статичного моменту дебалансів. Такий підхід дозволяє забезпечити технологічну гнучкість і адаптувати обладнання до труб різних типорозмірів.

1.6 Вибір раціонального режиму вібраційного ущільнення

Режим віброущільнення визначається головним чином частотою коливань, амплітудою, віброприскоренням і тривалістю дії. Ці параметри пов'язані між собою і повинні відповідати властивостям бетонної суміші. Для пластичних сумішей достатньо меншої інтенсивності коливань, тоді як жорсткі суміші потребують більшої амплітуди або більшого рівня віброприскорень [2, 3].

Віброприскорення робочого органа можна визначити за залежністю:

$$a = A \cdot \omega^2 \quad (1.3)$$

де a – віброприскорення, м/с^2 ; A – амплітуда коливань, м ; ω – кутова частота коливань, с^{-1} .

Кутова частота пов'язана з частотою обертання віброзбудника залежністю:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60 \quad (1.4)$$

де n – частота обертання вала віброзбудника, об/хв .

Рівень вібраційного впливу часто оцінюють коефіцієнтом віброприскорення:

$$k = a / g = A \cdot \omega^2 / g \quad (1.5)$$

де k – коефіцієнт віброприскорення; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 . Для ефективного ущільнення жорстких бетонних сумішей значення k повинно бути достатнім для порушення стійких контактів між частинками, але не таким великим, щоб викликати розшарування суміші.

Для труб середніх типорозмірів доцільно застосовувати режим з помірною амплітудою та достатнім рівнем віброприскорення. Тривалість вібрування вибирають з урахуванням консистенції бетонної суміші, конструкції форми та вимог до якості поверхні. Надмірне збільшення тривалості ущільнення є недоцільним, оскільки після досягнення граничної щільності воно не підвищує якість виробу, а може спричинити розшарування.

Таблиця 1.4 – Орієнтовний вплив параметрів вібрування на процес формування

Параметр	Недостатнє значення	Надмірне значення	Раціональна дія
Амплітуда	Недоущільнення суміші, збереження пор	Розшарування, підвищені навантаження на форму	Забезпечує переміщення частинок і заповнення форми
Частота	Повільне ущільнення, низька інтенсивність	Зростання шуму, нагрів і навантаження вузлів	Підтримує суміш у стані часткового розрідження
Віброприскорення	Недостатнє руйнування контактів між зернами	Можливі ударні режими і нестабільність форми	Забезпечує інтенсивне переукладання частинок
Тривалість	Пористість, низька міцність і водонепроникність	Розшарування, зайві енерговитрати	Досягнення необхідної щільності без дефектів

1.7 Висновки до розділу та завдання дослідження

Проведений аналіз показує, що безнапірні залізобетонні труби є відповідальними елементами підземних інженерних мереж, які повинні мати

достатню міцність, водонепроникність, морозостійкість і точність стикових поверхонь. Основним фактором, що визначає якість таких виробів, є ефективність ущільнення бетонної суміші під час формування.

Порівняння існуючих способів формування свідчить, що для масового виробництва безнапірних труб найбільш доцільним є застосування вібраційного ущільнення. Центрифугування забезпечує високу якість труб круглого перерізу, але потребує складного та дорогого обладнання. Поверхнєве і глибинне вібрування мають обмеження щодо рівномірності ущільнення та трудомісткості. Об'ємне вібрування на віброплощадці є найбільш універсальним і технологічно обґрунтованим способом для розроблюваної конструкції.

Для забезпечення якісного формування безнапірних залізобетонних труб віброплощадка повинна мати достатню вантажопідйомність, жорстку раму, раціонально підібрані пружні опори, надійну систему фіксації форми та віброзбудник, параметри якого відповідають масі коливальної системи. Основними розрахунковими параметрами є амплітуда, частота, віброприскорення, збурювальна сила, жорсткість опор і потужність приводу.

На основі виконаного аналізу для подальшого проєктування необхідно вирішити такі завдання:

- обґрунтувати конструктивну схему віброплощадки вантажопідйомністю 10 т для формування безнапірних залізобетонних труб;
- визначити масу коливальної системи з урахуванням форми, бетонної суміші, арматурного каркаса і рухомої рами;
- вибрати раціональні параметри вібраційного режиму: частоту, амплітуду та віброприскорення;
- розрахувати параметри дебалансного віброзбудника та необхідну збурювальну силу;
- визначити жорсткість пружних опор і перевірити умови віброізоляції;
- підібрати електродвигун і виконати розрахунок приводу;

- перевірити основні елементи віброплощадки на міцність і працездатність;
- розглянути питання безпеки експлуатації обладнання під час виготовлення залізобетонних труб.

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		20

2 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ

У даному розділі виконано інженерні розрахунки віброплощини, призначеної для формування безнапірних залізобетонних труб. На відміну від спрощеного підходу, розрахунок побудовано як послідовне визначення технологічного режиму ущільнення бетонної суміші, параметрів коливальної системи, збудовальної сили, пружних опор, потужності приводу, навантаження на рухому та нижню рами, а також основних елементів віброзбуджувача. Методична основа прийнята за працями І. І. Назаренка щодо теорії вібраційних систем та прикладного розрахунку вібромашин, а також за рекомендаціями О. Г. Маслова щодо вібраційного ущільнення бетонних сумішей і розрахунку машин будівельної індустрії [1-6].

Конструкція, що розробляється, складається з нижньої нерухомої рами, рухомої рами, пружних опор, віброзбуджувачів направлених коливань, форми для труби та приводу. Вихідними параметрами для розрахунку прийнято: тип виробу - безнапірна залізобетонна труба; зовнішній діаметр орієнтовно $D_z = 1,40$ м; внутрішній діаметр $D_v = 1,20$ м; довжина труби $L = 3,0$ м; маса коливальної системи з формою і бетонною сумішшю $m_\Sigma = 7800$ кг; кількість пружних опор $z = 8$; кількість віброзбуджувачів - 2 шт.; частота обертання валів віброзбуджувачів $n = 1500$ об/хв.

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ		
Розроб.	Куцербов			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06	Лім. Лист Листів Н 21 Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

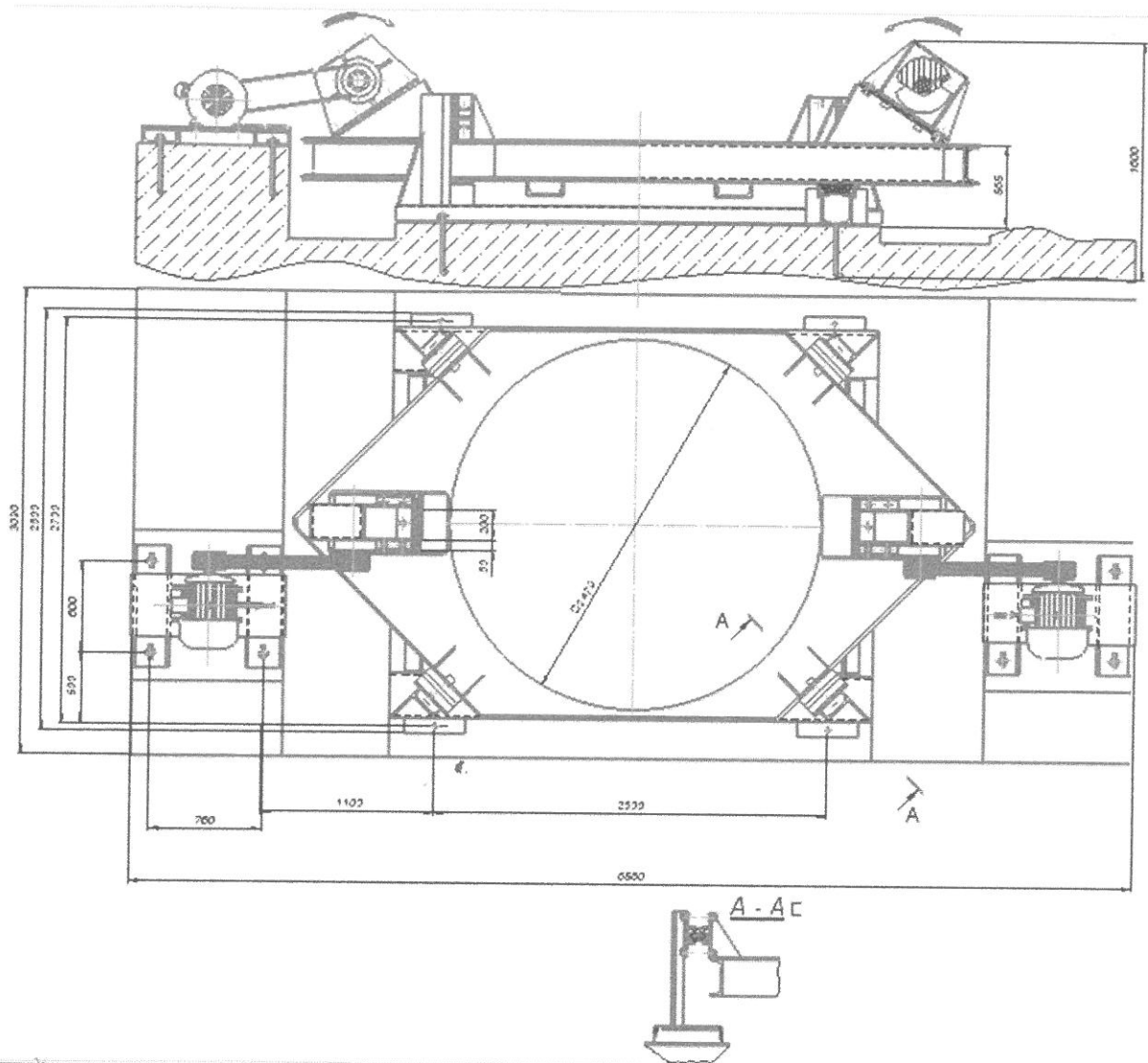


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд вібраційної площадки для формування безнапірних залізобетонних труб

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ

Лист

22

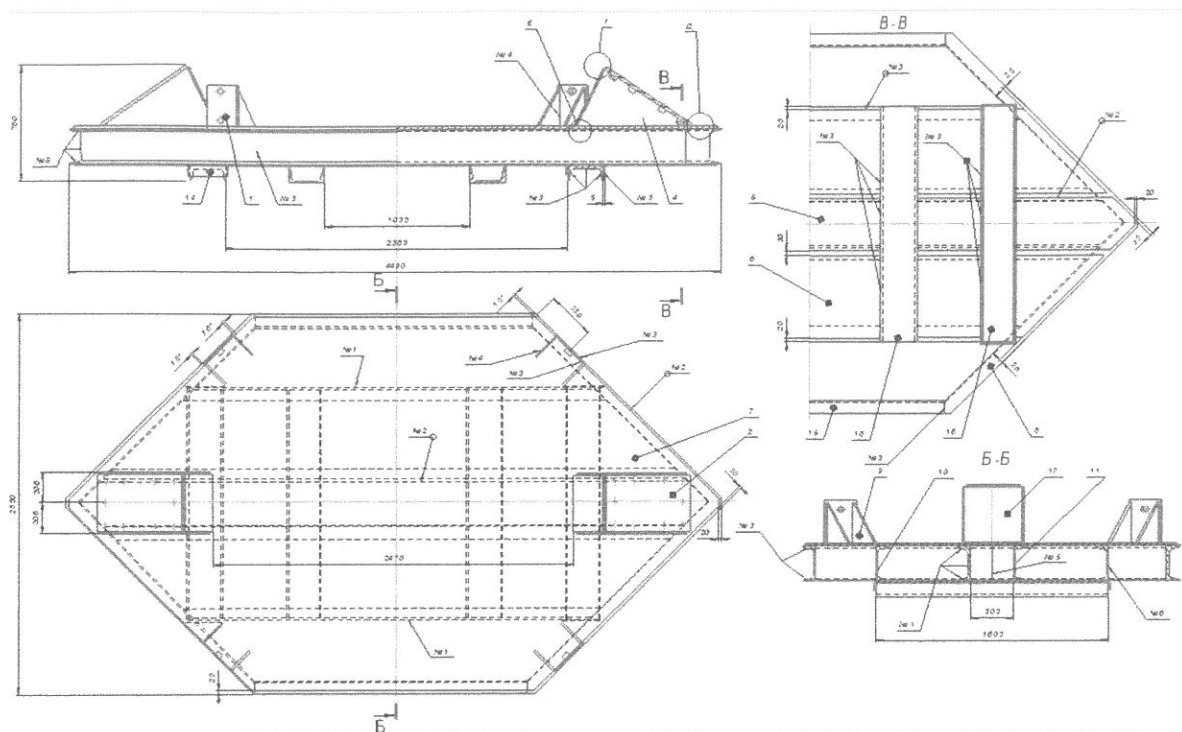


Рисунок 2.2 – Рама рухома віброплощинки

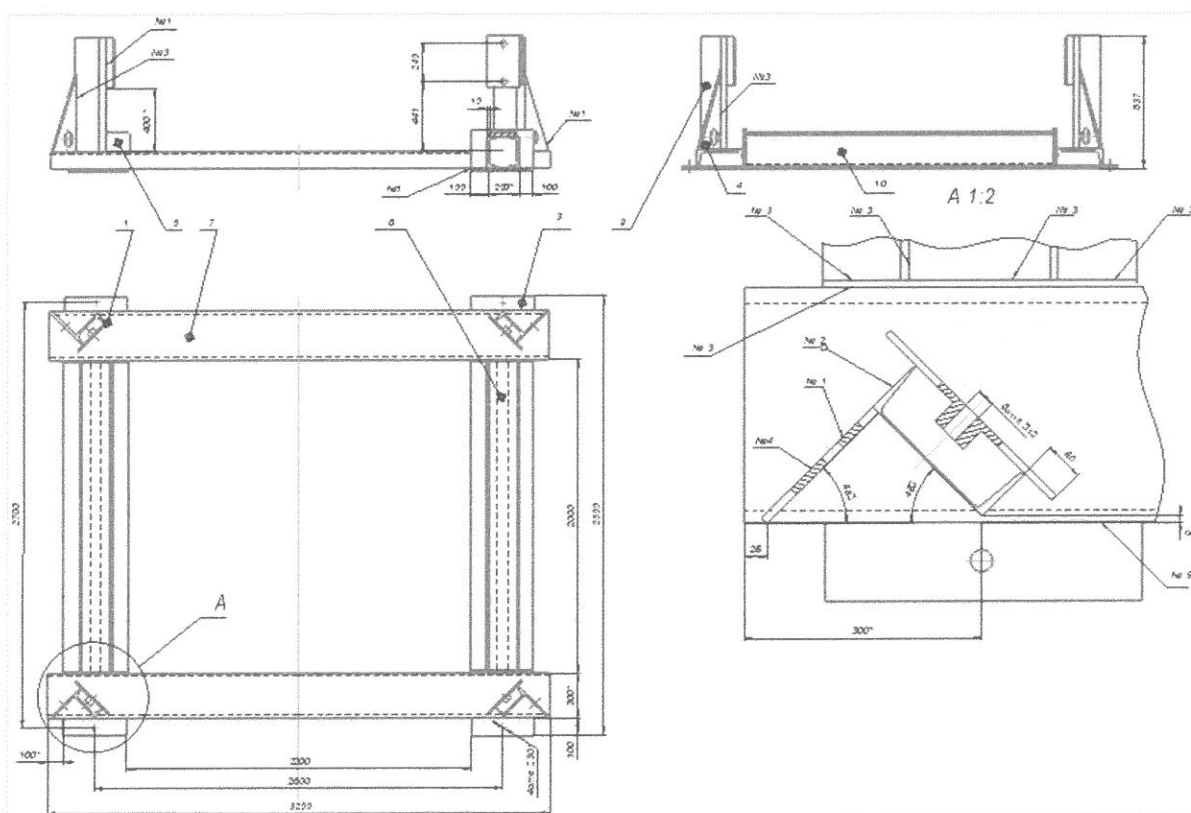


Рисунок 2.3 – Рама нижня віброплощинки

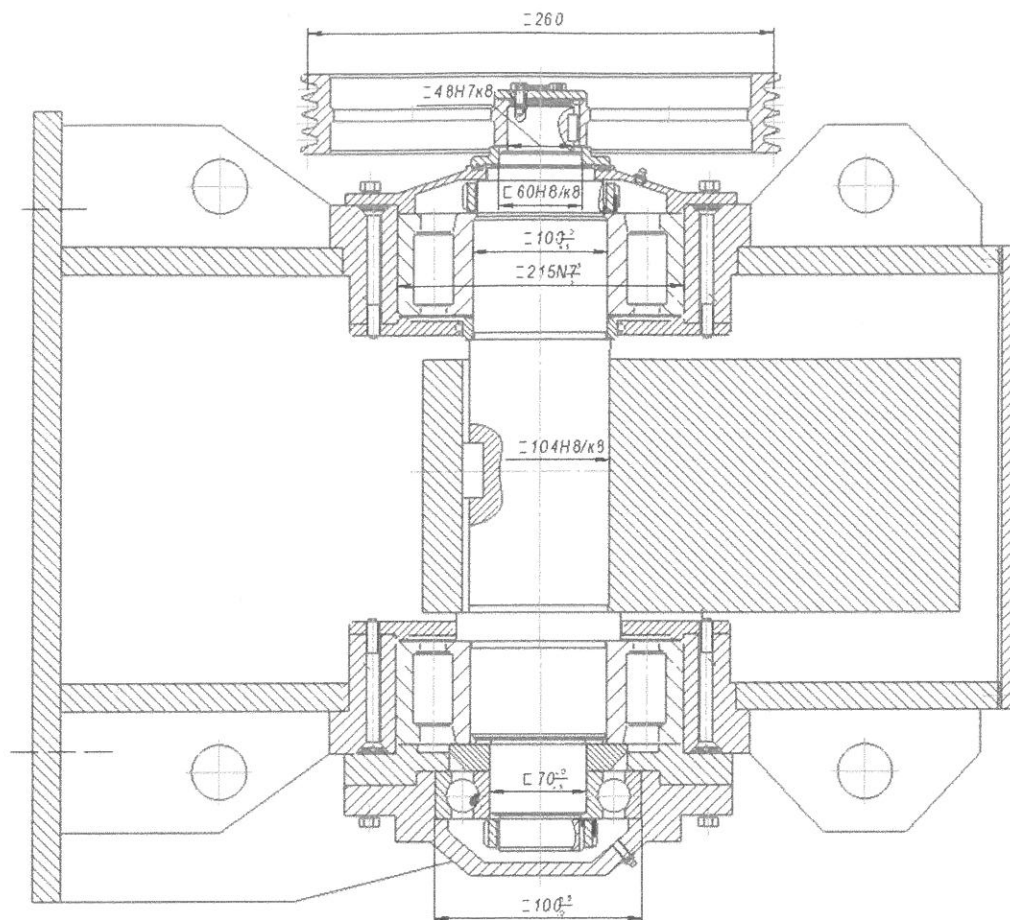


Рисунок 2.4 – Конструкція віброзбудувача направлених коливань

2.1 Визначення маси бетонної суміші та коливальної системи

Для оцінки навантаження на віброплощадку спочатку визначаємо об'єм бетонної суміші у стінці труби. Трубу розглядаємо як порожнистий циліндр. Такий підхід дає змогу наближено оцінити масу бетонної суміші, яка бере участь у коливальному русі разом із формою.

$$V_{\text{б}} = \pi/4 \cdot (D_{\text{з}}^2 - D_{\text{в}}^2) \cdot L \quad (2.1)$$

де $V_{\text{б}}$ - об'єм бетону в тілі труби, м^3 ; $D_{\text{з}}$ - зовнішній діаметр труби, м; $D_{\text{в}}$ - внутрішній діаметр труби, м; L - довжина труби, м.

$$V_{\text{б}} = 3,14/4 \cdot (1.40^2 - 1.20^2) \cdot 3.1 \quad (2.2)$$

$$m_{\text{б}} = \rho_{\text{б}} \cdot V_{\text{б}} \quad (2.3)$$

$$m_{\text{б}} = 2500 \cdot 1.23 = 3063 \text{ кг} \quad (2.4)$$

З урахуванням маси рухомої рами, форми, арматурного каркаса, бетонної суміші та частини маси вібробудувачів приймаємо розрахункову масу коливальної системи $m_{\Sigma} = 7800$ кг. У подальших розрахунках ця величина використовується як приведена маса системи «рухома рама - форма - бетонна суміш».

Параметр	Позначення	Значення
Зовнішній діаметр труби, м	Dз	1,40
Внутрішній діаметр труби, м	Dв	1,20
Довжина труби, м	L	3,00
Густина важкого бетону, кг/м ³	ρ_b	2500
Прийнята приведена маса коливальної системи, кг	m_{Σ}	7800

2.2 Вибір технологічного режиму віброуцільнення

За рекомендаціями Назаренка і Маслова для ущільнення жорстких та малорухомих бетонних сумішей доцільно застосовувати режим направлених коливань з віброприскоренням, що перевищує прискорення вільного падіння у 2,5...4 рази. Для формування безнапірних труб приймаємо помірний режим, який забезпечує ущільнення суміші без надмірного розшарування: амплітуда $A = 1,1$ мм, частота $n = 1500$ об/хв.

$$\omega = 2\pi n/60 \quad (2.5)$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 1500/60 = 157.1 \text{ с}^{(-1)} \quad (2.6)$$

$$a_b = A \cdot \omega^2 \quad (2.7)$$

$$a_b = 0.0011 \cdot 157.1^2 = 27.1 \text{ м/с}^2 \quad (2.8)$$

$$K_b = a_b / g \quad (2.9)$$

$$K_b = 27.1/9,81 = 2.77 \quad (2.10)$$

Отримане значення $K_b = 2.77g$ відповідає раціональному діапазону для об'ємного ущільнення бетонної суміші у формі. Тому прийняті параметри $A =$

1,1 мм і $n = 1500$ об/хв є придатними для подальшого конструкторського розрахунку.

$$I_v = A^2 \cdot \omega^3 \quad (2.11)$$

$$I_v = (0.0011)^2 \cdot 157.1^3 = 4.69 \text{ м}^2/\text{с}^3 \quad (2.12)$$

Показник I_v є енергетичним критерієм інтенсивності вібраційного впливу. Його використання зручне для порівняння режимів, оскільки одночасно враховує амплітуду і частоту коливань.

2.3 Розрахунок збурювальної сили та параметрів віброзбуджувачів

Збурювальна сила визначається з умови забезпечення заданої амплітуди коливань приведеної маси системи. Для першого наближення використовується інерційна залежність, яка застосовується у розрахунках зарезонансних вібраційних машин.

$$F_0 = m_\Sigma \cdot A \cdot \omega^2 \quad (2.13)$$

$$F_0 = 7800 \cdot 0.0011 \cdot 157.1^2 = 211.7 \text{ кН} \quad (2.14)$$

Оскільки на віброплощині встановлюються два однакові віброзбуджувачі направлених коливань, розрахункова збурювальна сила одного віброзбуджувача становить:

$$F_1 = F_0 / 2 \quad (2.15)$$

$$F_1 = 211.7/2 = 105.9 \text{ кН} \quad (2.16)$$

$$S_\Sigma = m_d \cdot r = F_0 / \omega^2 \quad (2.17)$$

$$S_\Sigma = 211703/157.1^2 = 8.58 \text{ кг} \cdot \text{м} \quad (2.18)$$

$$S_1 = S_\Sigma / 2 \quad (2.19)$$

$$S_1 = 8.58/2 = 4.29 \text{ кг} \cdot \text{м} \quad (2.20)$$

Для кожного віброзбуджувача передбачено два синхронно обертові дебаланси. При радіусі розташування центра маси дебалансу $r_d = 0,12$ м масу одного дебалансу визначаємо за залежністю:

$$m_d = S_1 / (2r_d) \quad (2.21)$$

$$m_d = 4.29 / (2 \cdot 0.12) = 17.9 \text{ кг} \quad (2.22)$$

Отже, для забезпечення заданого режиму коливань необхідно застосувати два віброзбуджувачі з парними дебалансами масою приблизно 18 кг кожний або передбачити регульовані дебаланси з еквівалентним статичним моментом $S_1 = 4,29 \text{ кг} \cdot \text{м}$.

2.4 Розрахунок пружної системи віброплощадки

Пружні опори повинні забезпечувати стійкий зарезонансний режим роботи, зменшувати передачу динамічних навантажень на фундамент і водночас не допускати надмірних переміщень рухомої рами. За методикою розрахунку вібраційних машин робочу частоту приймають у 2,5...4 рази більшою за власну частоту системи.

$$z_p = \omega / \omega_0 \quad (2.23)$$

Приймаємо коефіцієнт відстроювання $z_p = 3$. Тоді власна кутова частота системи:

$$\omega_0 = \omega / z_p \quad (2.24)$$

$$\omega_0 = 157.1 / 3 = 52.4 \text{ с}^{(-1)} \quad (2.25)$$

$$c_\Sigma = m_\Sigma \cdot \omega_0^2 \quad (2.26)$$

$$c_\Sigma = 7800 \cdot 52.4^2 = 21.38 \cdot 10^6 \text{ Н/м} \quad (2.27)$$

$$c_1 = c_\Sigma / z \quad (2.28)$$

$$c_1 = 21.38 \cdot 10^6 / 8 = 2.67 \cdot 10^6 \text{ Н/м} \quad (2.29)$$

$$\delta_{ст} = m_\Sigma \cdot g / c_\Sigma \quad (2.30)$$

$$\delta_{ст} = 7800 \cdot 9,81 / (21.38 \cdot 10^6) = 3.58 \text{ мм} \quad (2.31)$$

Розрахована статична деформація опор становить близько 3,6 мм. Це значення є прийнятним для гумометалевих або пружинно-гумових опор

віброплощини, оскільки забезпечує достатню пружність системи і знижує передачу коливань на фундамент.

2.5 Потужність приводу вібробудувачів

Потужність приводу визначаємо за енергетичним підходом, у якому враховано втрати на непружний опір бетонної суміші, внутрішнє демпфування пружної системи, тертя в підшипникових вузлах і механічні втрати передачі. Для попереднього розрахунку приймаємо коефіцієнт відносного демпфування $\xi = 0,08$, ККД приводу $\eta = 0,92$.

$$N = 2\xi \cdot m\Sigma \cdot A^2 \cdot \omega^3 / \eta \quad (2.32)$$

$$N = 2 \cdot 0,08 \cdot 7800 \cdot (0.0011)^2 \cdot 157 \quad (2.33)$$

$$N_{\text{дв}} = k^3 \cdot N \quad (2.34)$$

$$N_{\text{дв}} = 1,4 \cdot 6.36 = 8.91 \text{ кВт} \quad (2.35)$$

З урахуванням пускових режимів, нерівномірності ущільнення бетонної суміші та можливих відхилень маси форми приймаємо два електродвигуни потужністю по 5,5 кВт або один привід сумарною встановленою потужністю 11 кВт. Такий вибір забезпечує запас за потужністю та стабільний пуск вібробудувачів.

2.6 Перевірка рухомої рами на міцність

Рухома рама сприймає вагу форми з бетонною сумішшю та змінну збурювальну силу від вібробудувачів. Для перевірного розрахунку раму розглядаємо як систему двох основних поздовжніх балок, на які передається половина сумарного вертикального навантаження. Розрахунок має наближений характер і використовується для оцінки достатності прийнятого перерізу.

$$q = (m\Sigma \cdot g + F_0) / (2L_p) \quad (2.36)$$

$$q = (7800 \cdot 9,81 + 211.7 \cdot 10^3) / (2 \cdot 5.2) = 27.7 \text{ кН/м} \quad (2.37)$$

$$M_{\text{max}} = q \cdot L_p^2 / 8 \quad (2.38)$$

$$M_{\max} = 27.7 \cdot 5.2^2 / 8 = 93.7 \text{ кН}\cdot\text{м} \quad (2.39)$$

$$W_{\text{потр}} = M_{\max} / [\sigma] \quad (2.40)$$

$$W_{\text{потр}} = 93.7 \cdot 10^3 / (160 \cdot 10^6) = 585 \text{ см}^3 \quad (2.41)$$

Для рухомої рами приймаємо зварний коробчастий переріз із моментом опору $W = 680 \text{ см}^3$. Напруження у небезпечному перерізі становитиме:

$$\sigma = M_{\max} / W \quad (2.42)$$

$$\sigma = 93.7 \cdot 10^3 / (6.8 \cdot 10^{-4}) = 137.8 \text{ МПа} < [\sigma] = 160 \text{ МПа} \quad (2.43)$$

Умова міцності виконується. Запас міцності рухомої рами достатній для сприйняття статичних і динамічних навантажень у процесі формування труби.

2.7 Перевірка нижньої рами та опорних вузлів

Нижня рама працює як опорна частина віброплощадки і передає навантаження на фундамент. Основними небезпечними ділянками є місця кріплення пружних опор, зони встановлення обмежувачів переміщення та вузли приварювання ребер жорсткості. Максимальне розрахункове навантаження на одну опору приймаємо як суму частини ваги та частини збурювальної сили.

$$R_{\text{оп}} = m \Sigma \cdot g / z + F_0 / z \quad (2.44)$$

$$R_{\text{оп}} = 7800 \cdot 9.81 / 8 + 211.7 \cdot 10^3 / 8 = 36.0 \text{ кН} \quad (2.45)$$

Для зварних швів кріплення опорних косинок виконуємо перевірку за дотичними напруженнями. При довжині шва $l_{\text{ш}} = 180 \text{ мм}$ і катеті шва $k_{\text{ш}} = 6 \text{ мм}$ отримаємо:

$$\tau_{\text{ш}} = R_{\text{оп}} / (0.7 \cdot k_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}}) \quad (2.46)$$

$$\tau_{\text{ш}} = 26.5 \cdot 10^3 / (0.7 \cdot 0.006 \cdot 0.18) \quad (2.47)$$

Отримані напруження не перевищують допустимих для зварних з'єднань конструкційних сталей. Для підвищення надійності нижньої рами доцільно передбачити суцільне проварювання опорних косинок та встановлення додаткових ребер у місцях концентрації навантаження.

2.8 Розрахунок вала вібробуджувача

Вал вібробуджувача навантажується силами інерції дебалансів, власною вагою, крутним моментом від приводу та реакціями підшипникових опор. Для спрощеного перевірного розрахунку визначаємо зведений момент за енергетичною теорією міцності.

$$P_{in} = m_d \cdot r_d \cdot \omega^2 \quad (2.48)$$

$$P_{in} = 17.9 \cdot 0.12 \cdot 157.1^2 = 52.9 \text{ кН} \quad (2.49)$$

$$M_{кр} = 9550 \cdot N_1 / n \quad (2.50)$$

$$M_{кр} = 9550 \cdot 5.5 / 1500 = 35.0 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.51)$$

Згинальний момент у небезпечному перерізі при плечі $l = 0.12 \text{ м}$ становить:

$$M_{зг} = P_{in} \cdot l \quad (2.52)$$

$$M_{зг} = 52.9 \cdot 10^3 \cdot 0.12 = 6.4 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2.53)$$

$$M_{екв} = \sqrt{(M_{зг}^2 + 0.75 M_{кр}^2)} \quad (2.54)$$

$$M_{екв} = \sqrt{(6351^2 + 0.75 \cdot 35.0^2)} = 63 \quad (2.55)$$

$$d = \sqrt[3]{(M_{екв} / (0.1 \cdot [\sigma]))} \quad (2.56)$$

$$d = \sqrt[3]{(6351 / (0.1 \cdot 140 \cdot 10^6))} = 76.8 \quad (2.57)$$

З урахуванням динамічного характеру навантаження, посадок підшипників і концентрації напружень приймаємо діаметр вала у небезпечному перерізі $d = 60 \text{ мм}$, а у місцях встановлення дебалансів - відповідно до конструкції вібробуджувача. Прийняте значення забезпечує необхідний запас міцності.

2.9 Підбір підшипників віброзбуджувача

Підшипники віброзбуджувача працюють при значних змінних радіальних навантаженнях. Розрахункове навантаження на один підшипник приймаємо з урахуванням частини збурювальної сили і ваги рухомої системи, що передається через корпус віброзбуджувача.

$$Fr = F_0/4 + m\Sigma \cdot g/8 \quad (2.58)$$

$$Fr = 211.7 \cdot 10^3/4 + 7800 \cdot 9,81/8 = 62.5 \text{ кН} \quad (2.59)$$

$$\text{Спотр} = Fr \cdot (Lh \cdot 60n / 10^6)^{1/3} \quad (2.60)$$

$$\text{Спотр} = 62.5 \cdot (8000 \cdot 60 \cdot 1500 / 10^6)^{(1/3)} = 560.1 \text{ кН} \quad (2.61)$$

За результатом розрахунку необхідно застосувати підшипники з динамічною вантажопідйомністю не меншою за отримане значення. Остаточний тип підшипника уточнюють за посадочними розмірами вала, частотою обертання, умовами змащування та конструкцією корпусу віброзбуджувача.

2.10 Розрахунок передачі коливань на фундамент

Для оцінки ефективності ізоляції коливань визначаємо коефіцієнт передачі динамічної сили на фундамент. Для зарезонансної системи при коефіцієнті відстроювання $z_p = 3$ і коефіцієнті демпфування $\xi = 0,08$ коефіцієнт передачі можна оцінити за залежністю:

$$K_p = \sqrt{\frac{1 + (2\xi z_p)^2}{(1 - z_p^2)^2 + (2\xi z_p)^2}} \quad (2.62)$$

$$K_p = \frac{\sqrt{(1 + (2 \cdot 0,08 \cdot 3)^2)}}{\sqrt{((1 - 3^2)^2 + (2 \cdot 0,08 \cdot 3)^2)}} = 0.14 \quad (2.63)$$

Отримане значення $K_p = 0.14$ свідчить, що на фундамент передається лише близько 14% змінної збурювальної сили. Це підтверджує доцільність прийнятої пружної системи нижньої рами.

2.11 Узагальнення результатів розрахунку

Показник	Позначення	Розрахункове значення
Приведена маса коливальної системи	m_{Σ}	7800 кг
Частота обертання віброзбуджувачів	n	1500 об/хв
Кутова частота	ω	157.1 c^{-1}
Амплітуда коливань	A	1,1 мм
Віброприскорення	a_v	27.1 м/с^2
Коефіцієнт віброприскорення	K_v	$2.77g$
Загальна збурювальна сила	F_0	211.7 кН
Статичний момент одного віброзбуджувача	S_1	$4.29 \text{ кг}\cdot\text{м}$
Маса одного дебалансу	m_d	17.9 кг
Жорсткість однієї пружної опори	c_1	2.67 МН/м
Орієнтовна потужність приводу з запасом	$N_{дв}$	8.91 кВт
Прийнята встановлена потужність	$N_{уст}$	11 кВт

Проведені розрахунки підтверджують працездатність запропонованої віброплощадки для формування безнапірних залізобетонних труб. Прийняті параметри коливань забезпечують достатню інтенсивність ущільнення бетонної суміші, а розрахована пружна система дозволяє працювати у зарезонансному режимі з обмеженою передачею коливань на фундамент. Перевірка рухомої та нижньої рам, віброзбуджувача, вала і підшипникових вузлів показує, що конструкція має необхідний запас міцності та може бути використана як основа для подальшого робочого проєктування.

3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕБАЛАНСНОГО ВАЛА

Дебалансний вал є відповідальною деталлю віброзбуджувача віброплощадки для формування безнапірних залізобетонних труб. Він забезпечує встановлення дебалансів, передавання крутного моменту від приводу та створення збурювальної сили, необхідної для вібраційного ущільнення бетонної суміші. Під час роботи вал сприймає знакозмінні згинальні та крутні навантаження, тому технологічний процес його виготовлення повинен забезпечувати достатню точність посадкових поверхонь, співвісність шийок, якість поверхні та стабільність механічних властивостей матеріалу.

Удосконалення технологічного процесу виконано за рахунок уточнення послідовності операцій, раціонального вибору базування, заміни застарілих нормативних посилань на сучасні стандарти ДСТУ та ISO, введення контрольних операцій після відповідальних переходів, застосування прогресивнішого різального інструменту з твердосплавними пластинами та використання розрахунку режимів різання за єдиною методикою. Такий підхід дозволяє зменшити кількість переналагоджень, підвищити точність обробки й знизити ймовірність браку.

3.1 Призначення деталі та технічні вимоги

Дебалансний вал працює у складі віброзбуджувача направлених коливань. Основними функціональними поверхнями деталі є посадкові шийки під підшипники, поверхні під встановлення дебалансів, різьбові або кріпильні ділянки, торцеві поверхні та шпонкові пази. До цих поверхонь висуваються підвищені вимоги щодо точності розмірів, циліндричності, співвісності та шорсткості.

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕБАЛАНСНОГО ВАЛА		
Розроб.	Куцербов			20.06			
Перев.	Рогозін			20.06			
Керівник	Васильєв						
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Отисенко			20.06	Лім.	Лист	Листів
					Н	33	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Найбільш відповідальними є шийки під підшипники та посадкові поверхні дебалансів. Для них приймається обробка з остаточним шліфуванням, що забезпечує необхідну точність посадки, зменшує рівень вібрацій у вузлі та підвищує довговічність підшипників. Менш відповідальні поверхні обробляються точінням із забезпеченням конструктивних розмірів та плавних переходів між діаметрами.

3.2 Вибір матеріалу та заготовки

Для виготовлення вала приймається конструкційна якісна вуглецева сталь 45, яка широко застосовується для валів, осей, втулок та інших деталей машин, що працюють при змінних навантаженнях. Як сучасний аналог для позначення матеріалу може використовуватися сталь С45 відповідно до європейської системи позначень. Для підвищення експлуатаційної надійності після попередньої механічної обробки доцільно передбачити нормалізацію або поліпшення з подальшим контролем твердості.

Основні характеристики матеріалу наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика матеріалу для виготовлення дебалансного вала

Матеріал	Орієнтовна границя міцності, МПа	Твердість після термообробки	Призначення
Сталь 45 / С45	600...750	170...220 НВ	Вали, осі, деталі з підвищеними вимогами до міцності

З урахуванням найбільшого діаметра деталі, припусків на чорнову й чистову обробку, а також припуску на підрізання торців приймається кругла гарячекатана заготовка діаметром 120 мм і довжиною 445 мм. Така заготовка

забезпечує достатній запас металу для одержання всіх ступінчастих поверхонь вала та дозволяє застосувати обробку в центрах.

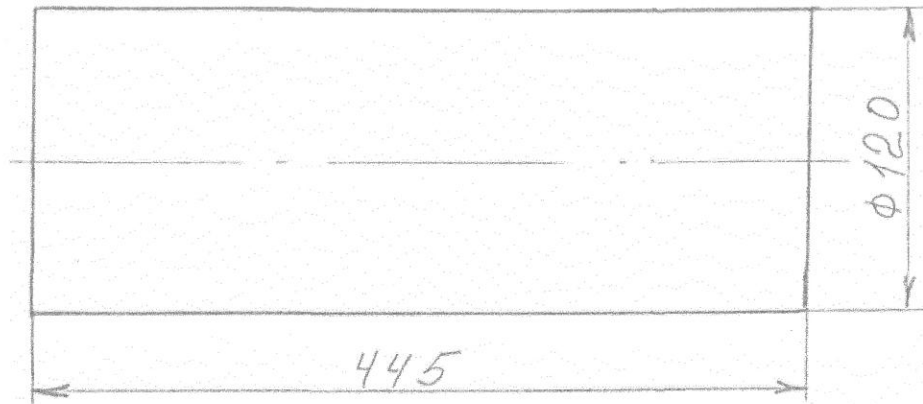


Рисунок 3.1 – Заготовка дебалансного вала

$$m_z = (\pi \cdot D_z^2 \cdot l_z \cdot \rho) / 4 \quad (3.1)$$

де m_z – маса заготовки, кг; D_z – діаметр заготовки, м; l_z – довжина заготовки, м; ρ – густина сталі, кг/м³.

$$m_z = (3,14 \cdot 0,12^2 \cdot 0,445 \cdot 7800) / 4 = 39,3 \text{ кг} \quad (3.2)$$

Одержана маса використовується для оцінювання витрати матеріалу та вибору вантажопідіймального оснащення під час транспортування заготовок у межах ділянки.

3.3 Вибір технологічних баз

Для забезпечення співвісності ступінчастих поверхонь основною технологічною базою приймається вісь заготовки. На початкових операціях заготовка встановлюється у трикулачковому патроні з підтисканням заднім центром, після підрізання торців і центрування подальша обробка виконується в центрах. Така схема базування зменшує радіальне биття шийок, підвищує точність взаємного розташування поверхонь та забезпечує стабільність розмірів при багатоопераційній обробці.

Удосконалений процес передбачає обробку більшості циліндричних поверхонь за один установ після попереднього центрування. Після термічної

обробки обов'язково виконується правка або контроль биття, оскільки залишкові деформації можуть впливати на балансування вузла вібробуджувача.

3.4 Призначення припусків на механічну обробку

Припуски на механічну обробку призначаються з урахуванням виду заготовки, точності прокату, довжини деталі, вимог до якості поверхонь і можливих похибок базування. Удосконалений технологічний процес передбачає розподіл загального припуску між чорновим, напівчистовим, чистовим точінням та шліфуванням. Це дозволяє стабілізувати розмір після термічної обробки й забезпечити необхідну якість відповідальних шийок.

$$2Z_{min}=2\cdot\left(R_z+T+\sqrt{\rho^2+\varepsilon^2}\right) \quad (3.3)$$

де Z_{min} – мінімальний припуск на сторону; R_z – висота мікронерівностей після попередньої обробки; T – глибина дефектного поверхневого шару; ρ – просторове відхилення поверхні; ε – похибка установлення заготовки.

$$t=(D_0-D_1)/2 \quad (3.4)$$

де t – глибина різання, мм; D_0 – діаметр поверхні до обробки, мм; D_1 – діаметр поверхні після обробки, мм.

Розподіл припусків для основних поверхонь наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Призначення припусків на обробку

Перехід	Вид обробки	Припуск на діаметр, мм	Мета переходу	Якість поверхні
1	Чорнове точіння	7,5	Зняття основного шару металу, формування ступенів	Ra 6,3...12,5
2	Напівчистове точіння	1,5...2,0	Вирівнювання поверхонь після чорнової обробки	Ra 3,2...6,3
3	Чистове точіння	0,8...1,0	Підготовка посадкових поверхонь під шліфування	Ra 1,6...3,2
4	Шліфування	0,3...0,6	Отримання точності посадок і низької шорсткості	Ra 0,63...1,25

3.5 Удосконалений маршрут виготовлення вала

У порівнянні з базовим варіантом технологічний процес доцільно доповнити операціями контролю биття, проміжного зняття внутрішніх напружень та балансування вузла після складання з дебалансами. Для серійного виробництва рекомендовано замінити частину токарних переходів на обробку

на токарному верстаті з числовим програмним керуванням, що зменшує допоміжний час і підвищує повторюваність розмірів.

Таблиця 3.3 – Удосконалений маршрутний технологічний процес виготовлення дебалансного вала

№ операції	Назва операції	Обладнання	Базування	Інструмент	Контроль
005	Відрізання заготовки Ø120×445	Стрічкопильний або відрізний верстат	По зовнішній поверхні прокату	Стрічкова пилка / диск	Довжина заготовки
010	Підрізання торця, свердління центрального отвору	Токарний верстат 16K20 або ЧПК	Патрон, задній центр	Підрізний різець, центрувальне свердло	Перпендикулярність торця
015	Переустановлення, підрізання другого торця, центрування	Токарний верстат	Патрон, центр	Підрізний різець, центрувальне свердло	Загальна довжина
020	Чорнове точіння ступенів	Токарний верстат / ЧПК	У центрах	Твердосплавний прохідний різець	Діаметри після чорнкової обробки
025	Напівчистове точіння	Токарний верстат / ЧПК	У центрах	Прохідний та упорний різці	Припуск під чистову обробку
030	Термічна обробка: нормалізація або поліпшення	Піч термічна	Партіями	-	Твердість, відсутність викривлення
035	Чистове точіння посадкових поверхонь	Токарний верстат / ЧПК	У центрах	Чистовий різець	Биття, діаметри
040	Фрезерування шпонкових пазів	Вертикально-фрезерний верстат	Призми, упори	Шпонкова фреза	Ширина і глибина пазів
045	Свердління і нарізання різьбових отворів	Свердлильний верстат	Кондуктор / призма	Свердло, мітчик	Розташування отворів, різьба

№ операції	Назва операції	Обладнання	Базування	Інструмент	Контроль
050	Шліфування шийок	Круглошліфувальний верстат	У центрах	Шліфувальний круг	Діаметри, Ra, биття
055	Динамічне балансування після встановлення дебалансів	Балансувальний стенд	По посадкових шийках	Балансувальні вантажі / зняття металу	Залишковий дисбаланс
060	Остаточний контроль і консервація	Контрольна дільниця	На призмах	Мікрометр, індикатор, шаблони	Карта контролю

3.6 Вибір обладнання, інструменту та оснащення

Для одиничного або дрібносерійного виробництва допускається застосування універсального токарного верстата 16К20, вертикально-фрезерного верстата, свердільного верстата та круглошліфувального верстата. Для серійного виготовлення доцільно використовувати токарний верстат з ЧПК, оскільки одна програма обробки забезпечує стабільність розмірів усіх ступінчастих поверхонь і скорочує допоміжний час.

Як різальний інструмент приймаються твердосплавні різці з механічним кріпленням пластин, шпонкові фрези, центрувальні свердла, спіральні свердла, мітчики та шліфувальні круги середньої зернистості. Для базування використовуються центри, трикулачковий патрон, призми, упори та, за потреби, спеціальний кондуктор для свердління отворів.

3.7 Розрахунок режимів різання

Режими різання визначаються залежно від матеріалу заготовки, виду обробки, діаметра поверхні, глибини різання, подачі та стійкості інструменту. Основними параметрами є швидкість різання, частота обертання шпинделя, подача, глибина різання, сила різання, потужність різання та основний технологічний час.

$$n = (1000 \cdot v) / (\pi \cdot D) \quad (3.5)$$

де n – частота обертання шпинделя, об/хв; v – швидкість різання, м/хв; D – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

$$n = (1000 \cdot 51) / (3,14 \cdot 120) = 135 \text{ об / хв} \quad (3.6)$$

За паспортом верстата приймається найближче стандартне значення $n = 160$ об/хв.

$$v_f = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000 \quad (3.7)$$

$$v_f = (3,14 \cdot 120 \cdot 160) / 1000 = 60,3 \text{ м / хв} \quad (3.8)$$

Фактична швидкість різання відповідає допустимому діапазону для чорнового точіння сталі 45 твердосплавним інструментом.

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p \quad (3.9)$$

де P_z – головна складова сили різання, Н; C_p , x , y , n – емпіричні коефіцієнти, що залежать від виду обробки та матеріалу; K_p – поправочний коефіцієнт на умови обробки.

$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 1000 \cdot \eta} \quad (3.10)$$

де N_p – потрібна потужність різання, кВт; η – коефіцієнт корисної дії приводу верстата. Для прийнятого режиму потужність різання не перевищує паспортної потужності головного приводу верстата, тому режим є допустимим.

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} \quad (3.11)$$

де T_o – основний час переходу, хв; L – довжина робочого ходу з урахуванням врізання і перебігу, мм; i – кількість проходів; S – подача, мм/об.

$$T_o = \frac{(235 + 8) \cdot 1}{160 \cdot 1,0} = 1,52 \text{ хв} \quad (3.12)$$

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{обсл} + T_{відп} \quad (3.13)$$

де $T_{шт}$ – штучний час; T_d – допоміжний час; $T_{обсл}$ – час організаційно-технічного обслуговування; $T_{відп}$ – час на відпочинок і особисті потреби.

Уточнені режими обробки за основними операціями наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Рекомендовані режими обробки дебалансного вала

Операція	D, мм	L, мм	t, мм	S, мм/об	v, м/хв	n, об/хв
Чорнове точіння	120...100	до 235	3,0...4,0	0,5...1,0	50...65	125...200
Напівчистов е точіння	100...70	до 160	1,0...1,5	0,25...0,40	80...105	250...500
Чистове точіння	100...48	до 160	0,3...0,8	0,10...0,20	100...140	400...900
Фрезеруванн я пазів	14; 28	за креслення м	за глибино ю паза	0,08...0,16 на зуб	20...30	за верстато м
Шліфування шийок	100; 70	за креслення м	0,02...0,05	поздовжн я 8...12	25...35	за верстато м

3.8 Нормування часу

Для визначення тривалості виготовлення деталі враховується основний технологічний час, допоміжний час на встановлення і зняття заготовки, час на вимірювання, зміну інструменту та обслуговування робочого місця. Удосконалення технологічного процесу дає можливість частину допоміжного часу скоротити за рахунок обробки декількох поверхонь за один установ і використання попередньо налаштованого інструментального блока.

$$T_{\text{парт}} = T_{\text{п-з}} + n_{\text{д}} \cdot T_{\text{шт}} \quad (3.14)$$

де $T_{\text{парт}}$ – час на партію деталей; $T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заклучний час; $n_{\text{д}}$ – кількість деталей у партії; $T_{\text{шт}}$ – штучний час на одну деталь.

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{T_{\text{шт}} + T_{\text{п-з}}}{n_{\text{д}}} \quad (3.15)$$

Нормування основних операцій наведено в таблиці 3.5. Значення часу прийняті з урахуванням удосконаленої організації робіт, зменшення кількості переустановлень і застосування сучаснішого різального інструменту.

Таблиця 3.5 – Орієнтовне нормування часу за удосконаленим процесом

Операція	Основний час, хв	Допоміжний час, хв	Штучний час, хв
Відрізання заготовки	1,33	3,00	4,33
Підрізання торців і центрування	3,23	3,50	6,73
Чорнове та напівчистове точіння	8,50	4,00	12,50
Чистове точіння	5,80	3,00	8,80
Фрезерування шпонкових пазів	0,85	3,50	4,35
Свердління та нарізання різьби	0,45	3,00	3,45
Шліфування шийок	3,70	3,50	7,20
Контроль, балансування, консервація	-	4,00	4,00

$$T\Sigma = 4,33 + 6,73 + 12,50 + 8,80 + 4,35 + 3,45 + 7,20 + 4,00 = 51,36 \text{ хв} \quad (3.16)$$

Збільшення сумарного часу порівняно з базовим варіантом пояснюється введенням обов'язкових контрольних, балансувальних і підготовчих переходів, які підвищують надійність роботи вібророзбуджувача. У разі застосування

токарного верстата з ЧПК та групової обробки партії деталей штучно-калькуляційний час може бути зменшений за рахунок скорочення допоміжного часу.

3.9 Контроль якості та вимоги до готової деталі

Після завершення механічної обробки виконують контроль діаметрів мікрометрами, контроль довжин штангенінструментом, перевірку биття індикатором на призмах, контроль шорсткості робочих шийок, перевірку шпонкових пазів калібрами та контроль різьбових з'єднань різьбовими калібрами. Особливу увагу приділяють співвісності посадкових поверхонь, оскільки її порушення призводить до підвищення рівня вібрації, нерівномірного навантаження підшипників та зменшення ресурсу віброзбуджувача.

$$\Delta r \leq [\Delta r] \quad (3.17)$$

де Δr – фактичне радіальне биття посадкової поверхні; $[\Delta r]$ – допустиме значення биття за технічними вимогами креслення.

$$Ra \leq [Ra] \quad (3.18)$$

де Ra – фактична шорсткість поверхні; $[Ra]$ – допустима шорсткість відповідальної поверхні.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Безпека життєдіяльності під час виготовлення безнапірних залізобетонних труб є важливою складовою проектування та експлуатації віброплощадки. Формування труб пов'язане з роботою важкого вібраційного обладнання, переміщенням металевих форм і арматурних каркасів, використанням бетонної суміші, електроприводів, вантажопідіймальних механізмів та інструменту для обслуговування технологічної лінії. Тому під час розроблення конструкції й організації виробничого процесу необхідно передбачити комплекс заходів, спрямованих на захист працівників, зниження рівня виробничого травматизму, запобігання аварійним ситуаціям і забезпечення стабільної роботи обладнання.

У даному розділі розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть виникати під час роботи віброплощадки для формування безнапірних залізобетонних труб, а також наведено організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та протипожежні заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.

4.1 Характеристика умов праці при роботі віброплощадки

Віброплощадка для формування безнапірних залізобетонних труб призначена для передавання коливань формі з бетонною сумішшю з метою її ущільнення. До складу обладнання входять нижня нерухома рама, рухома рама, пружні опори, віброзбуджувачі, електропривод, елементи кріплення форми та системи керування. Під час роботи обладнання вся коливальна система здійснює періодичні переміщення, що супроводжуються появою динамічних навантажень, шуму та вібрації.

ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ					БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Куцербов			20.06	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Отисенко			20.06			
					Лім.		
					Лист		
					Листів		
					44		

Технологічний процес формування залізобетонних труб включає підготовку форми, установлення арматурного каркаса, подавання бетонної суміші, її ущільнення на віброплощадці, витримування виробу, розпалублення, переміщення готової труби та очищення робочої зони. Кожна з цих операцій має свої потенційні небезпеки, пов'язані з рухомими частинами обладнання, можливістю защемлення рук, падінням вантажів, ураженням електричним струмом, дією цементного пилу та підвищеним рівнем шуму.

Особливу увагу необхідно приділяти операціям завантаження форми бетонною сумішшю та запуску віброплощадки. Перед увімкненням обладнання форма повинна бути надійно встановлена та зафіксована на рухомій рамі, а працівники мають перебувати поза небезпечною зоною. Під час роботи віброплощадки забороняється виконувати регулювання кріплень, очищення форми, усунення несправностей або перебувати поблизу рухомих вузлів без необхідності.

4.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час експлуатації віброплощадки на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори механічного, фізичного, хімічного й організаційного характеру. Їх своєчасне виявлення дозволяє правильно підібрати засоби захисту і розробити безпечний порядок виконання робіт.

Найбільш характерними факторами для даного обладнання є вібрація та шум, оскільки віброплощадка працює за рахунок динамічного впливу дебалансних віброзбуджувачів. Для зменшення передачі коливань на фундамент і навколишні конструкції необхідно застосовувати пружні опори, правильно підбирати жорсткість амортизаторів, забезпечувати балансування рухомих частин і періодично контролювати стан кріпильних з'єднань.

Таблиця 4.1 – Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори при роботі віброплощадки

Виробничий фактор	Можливі наслідки	Основні заходи захисту
Рухомі частини віброплощадки, муфти, вал і дебалансний вузол	Травмування, защемлення, удар рухомими елементами	Захисні кожухи, блокування, огороження небезпечної зони
Підвищений рівень вібрації	Вібраційне навантаження на організм, втома, зниження працездатності	Пружна ізоляція, дистанційне керування, обмеження часу перебування біля обладнання
Підвищений рівень шуму	Погіршення слуху, нервові напруження, зниження уваги	Шумопоглинальні екрани, технічне обслуговування, протишумові навушники
Електричний струм	Електротравми, опіки, ураження при пошкодженні ізоляції	Заземлення, захисне вимкнення, справна електроапаратура
Цементний пил і аерозолі бетонної суміші	Подразнення органів дихання, очей і шкіри	Місцева вентиляція, респіратори, окуляри, рукавиці
Переміщення важких форм і труб	Падіння вантажів, удари, травмування стропами	Справні вантажопідіймальні механізми, стропування за схемою, навчений персонал
Слизькі та забруднені робочі поверхні	Падіння, забої, травми опорно-рухового апарату	Регулярне прибирання, неслизьке покриття, організовані проходи

4.3 Вимоги безпеки до конструкції та експлуатації обладнання

Конструкція віброплощадки повинна забезпечувати безпечну роботу персоналу на всіх етапах технологічного процесу. Рухома рама має працювати без перекосів, а форма для залізобетонної труби повинна надійно фіксуватися на опорній поверхні. Недостатнє кріплення форми може призвести до її зміщення під час вібрування, пошкодження обладнання та травмування працівників.

Дебалансні віброзбуджувачі, муфти, пасові або зубчасті передачі, відкриті обертові вали та інші рухомі елементи повинні бути закриті міцними металевими кожухами. Огородження мають виключати випадковий контакт працівника з рухомими частинами, але при цьому забезпечувати можливість огляду та технічного обслуговування після повної зупинки обладнання.

Пускові пристрої віброплощадки необхідно розміщувати в доступному для оператора місці, але за межами небезпечної зони. Пульт керування повинен мати кнопку аварійної зупинки, світлову індикацію режиму роботи, захист від самовільного повторного пуску після зникнення напруги та чітке маркування органів керування.

Перед початком роботи оператор зобов'язаний перевірити справність огорожень, надійність кріплення форми, стан електрокабелів, відсутність сторонніх предметів на рухомій рамі, справність заземлення та готовність вантажопідіймальних механізмів. У разі появи стороннього шуму, надмірної вібрації, нагрівання підшипників або ослаблення кріплень роботу віброплощадки необхідно негайно припинити.

Технічне обслуговування, регулювання дебалансів, підтягування болтових з'єднань, очищення та ремонт обладнання дозволяється виконувати тільки після повної зупинки віброплощадки, вимкнення електроживлення та вивішування попереджувального плаката про заборону ввімкнення.

4.4 Захист від виробничої вібрації та шуму

Вібрація є основним робочим фактором віброплощадки, однак її неконтрольоване поширення може негативно впливати на працівників, обладнання та будівельні конструкції цеху. Для зменшення шкідливої дії вібрації в конструкції передбачаються пружні опори, які відокремлюють коливальну систему від фундаменту. Нижня рама повинна мати достатню жорсткість і спиратися на підготовлену основу, здатну сприймати динамічні навантаження.

У процесі експлуатації необхідно контролювати рівномірність роботи віброзбуджувачів, ступінь зношування підшипників, стан амортизаторів і затягування різьбових з'єднань. Поява несиметричних коливань або ударного режиму роботи свідчить про несправність обладнання і потребує зупинки для огляду.

Зниження рівня шуму забезпечується застосуванням справних підшипників, балансуванням дебалансів, установленням захисних кожухів, використанням шумопоглинальних екранів і своєчасним змащуванням вузлів тертя. Працівники, які перебувають у зоні підвищеного шуму, повинні використовувати протишумові навушники або вкладиші.

4.5 Електробезпека

Електропривод віброплощадки належить до обладнання підвищеної небезпеки, оскільки працює у виробничому приміщенні, де можливі підвищена вологість, наявність цементного пилу та механічне пошкодження кабелів. Для запобігання ураженню електричним струмом усі металеві частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути надійно заземлені.

Електрична апаратура керування повинна розміщуватися в закритій шафі з відповідним ступенем захисту від пилу та вологи. Кабелі необхідно прокладати так, щоб виключити їх перетирання, натягування, контакт з

гострими кромками та потрапляння під колеса транспортних засобів. Підключення і ремонт електрообладнання дозволяється виконувати тільки електротехнічному персоналу з відповідною групою допуску.

Для підвищення рівня електробезпеки необхідно застосовувати автоматичні вимикачі, пристрої захисного вимкнення, тепловий захист електродвигуна, блокування дверцят електрошафи та періодичну перевірку опору ізоляції. Забороняється експлуатація віброплощадки при пошкодженій ізоляції кабелів, відсутності заземлення або несправності пускової апаратури.

4.6 Безпека вантажно-розвантажувальних робіт

Під час виготовлення безнапірних залізобетонних труб значна частина операцій пов'язана з переміщенням важких металевих форм, арматурних каркасів і готових виробів. Для цього застосовують мостові крани, тельфери, траверси, стропи та інші вантажозахоплювальні пристрої. Неправильне стропування або використання несправного оснащення може призвести до падіння вантажу.

Стропування форм і труб необхідно виконувати за затвердженими схемами з урахуванням маси, центра ваги та наявних монтажних петель. Перед підйомом вантажу слід переконатися у справності стропів, відсутності тріщин у монтажних петлях, надійності зачеплення гаків і відсутності людей під вантажем. Переміщення вантажу над робочими місцями не допускається.

Робітники, які виконують вантажно-розвантажувальні операції, повинні мати захисні каски, рукавиці, спецвзуття з металевим підноском і сигнальні жилети. Керування переміщенням вантажу має здійснюватися однією відповідальною особою, яка подає команди машиністу крана або оператору тельфера.

4.7 Санітарно-гігієнічні вимоги до робочої зони

Робоча зона біля віброплощадки повинна бути організована так, щоб забезпечити вільний доступ до обладнання, безпечне переміщення працівників і можливість швидкої евакуації у разі аварійної ситуації. Проходи не допускається захарашувати формами, арматурними каркасами, інструментом, залишками бетонної суміші або електрокабелями.

Під час роботи з цементом і бетонною сумішшю утворюється пил, який подразнює органи дихання, очі та шкіру. Для зменшення запиленості необхідно застосовувати місцеву витяжну вентиляцію, зволоження місць пилоутворення, закриті транспортні пристрої для сипких матеріалів та регулярне прибирання робочої зони. Працівники повинні користуватися респіраторами, захисними окулярами та рукавицями.

Освітлення робочої зони має забезпечувати чітке спостереження за процесом формування, положенням форми, роботою віброзбуджувачів і станом кріплень. Недостатнє освітлення підвищує ризик помилкових дій оператора, травмування та пошкодження обладнання. Робочі місця повинні мати природне або штучне освітлення відповідно до характеру виконуваних операцій.

4.8 Засоби індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту застосовують як додатковий елемент системи безпеки, коли повністю усунути небезпечний або шкідливий фактор технічними засобами неможливо. Працівники, які обслуговують віброплощадку, повинні бути забезпечені спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, касками, захисними окулярами, респіраторами та засобами захисту слуху.

Таблиця 4.2 – Засоби індивідуального захисту для основних операцій

Вид робіт	Рекомендовані засоби індивідуального захисту
Підготовка форми, очищення та змащування	Рукавиці, захисні окуляри, спецодяг, респіратор при наявності пилу
Завантаження бетонної суміші	Респіратор, окуляри, рукавиці, гумове або вологостійке взуття
Робота біля віброплощадки	Протишумові навушники, каска, спецвзуття, рукавиці
Стропування форми та готових труб	Каска, рукавиці, спецвзуття з металевим підноском, сигнальний жилет
Технічне обслуговування обладнання	Рукавиці, окуляри, спецодяг, інструмент з ізольованими ручками при роботі з електрообладнанням

4.9 Пожежна безпека та дії в аварійних ситуаціях

Виробництво залізобетонних труб не належить до особливо пожежонебезпечних процесів, однак джерелами пожежної небезпеки можуть бути електрообладнання, пошкоджені кабелі, мастильні матеріали, дерев'яні підкладки, тара та інші горючі матеріали. У виробничому приміщенні повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння, вільний доступ до евакуаційних виходів і чітке позначення пожежних щитів.

Забороняється зберігати легкозаймисті матеріали біля електродвигунів, пультів керування, кабельних трас і місць з можливим нагріванням. Мастильні матеріали необхідно зберігати у спеціально відведеному місці в закритій тарі. Після закінчення зміни слід вимкнути обладнання, прибрати робочу зону та перевірити відсутність перегріву електроапаратури.

У разі аварійної ситуації оператор повинен негайно натиснути кнопку аварійної зупинки, вимкнути електроживлення, повідомити відповідальну особу та не допускати сторонніх осіб до небезпечної зони. При ураженні працівника електричним струмом необхідно насамперед звільнити його від дії струму, викликати медичну допомогу та надати домедичну допомогу відповідно до інструкції.

4.10 Висновки до розділу

Під час експлуатації віброплощадки для формування безнапірних залізобетонних труб основними небезпечними та шкідливими факторами є вібрація, шум, рухомі частини обладнання, електричний струм, цементний пил, переміщення важких вантажів і забруднення робочої зони. Для забезпечення безпечної роботи необхідно передбачити огороження рухомих вузлів, надійне кріплення форми, заземлення електрообладнання, справну систему керування з аварійною зупинкою, технічне обслуговування віброзбуджувачів і пружних опор, а також використання засобів індивідуального захисту.

Запропоновані заходи дозволяють зменшити ризик виробничого травматизму, забезпечити безпечні умови праці оператора і допоміжного персоналу, підвищити надійність роботи обладнання та створити умови для стабільного технологічного процесу виготовлення безнапірних залізобетонних труб.

Висновки

Проведено аналіз призначення, конструктивних особливостей та умов експлуатації безнапірних залізобетонних труб. Встановлено, що такі вироби широко застосовуються для влаштування підземних водовідвідних, каналізаційних, дренажних та інших інженерних мереж, які працюють у самопливному режимі. Якість труб значною мірою залежить від щільності бетону, геометричної точності виробу, якості стикових поверхонь, водонепроникності, морозостійкості та довговічності.

Розглянуто основні способи формування та ущільнення бетонних сумішей при виготовленні залізобетонних труб. Проаналізовано трамбування, пресування, прокатку, центрифугування, глибинне, зовнішнє та об'ємне віброущільнення. Встановлено, що для формування безнапірних залізобетонних труб доцільним є використання віброплощадки, оскільки вона забезпечує передавання коливань на форму з бетонною сумішшю, сприяє рівномірному ущільненню виробу та може застосовуватися у виробничих умовах підприємств збірного залізобетону.

Обґрунтовано конструктивну схему віброплощадки для формування безнапірних залізобетонних труб. До складу установки входять рухома рама, нижня опорна рама, пружні опори, вібробуджувач, механізми закріплення форми та привід. Запропонована конструкція забезпечує створення спрямованих коливань, необхідних для ущільнення бетонної суміші у формі труби, а також дозволяє підвищити стабільність процесу формування.

Виконано розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції віброплощадки. Визначено основні параметри вібраційного процесу: частоту коливань, амплітуду, віброприскорення, збурювальну силу, момент дебалансів

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Висновки		
Розроб.	Куцерубов			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівн.							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06			
					Літ.	Лист	Листів
					Н		
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

та потужність приводу. Розрахунки виконано з урахуванням методичних підходів до проектування вібраційних машин і процесів ущільнення бетонних сумішей. Отримані параметри підтверджують можливість забезпечення необхідного режиму вібраційного ущільнення.

Проведено розрахунок основних конструктивних елементів віброплощадки, зокрема вібробуджувача, дебалансного вузла, вала, підшипникових опор, рухомої та нижньої рам. Визначено навантаження, що діють на елементи конструкції, виконано перевірку міцності та працездатності відповідальних деталей. Прийняті конструктивні рішення забезпечують достатню жорсткість, стійкість і надійність роботи віброплощадки в умовах динамічних навантажень.

Розроблено удосконалений технологічний процес виготовлення дебалансного вала. Обґрунтовано вибір матеріалу та заготовки, визначено припуски на механічну обробку, підібрано технологічне обладнання, інструмент і пристосування. Складено послідовність операцій, що включає відрізання заготовки, токарну обробку, свердління, фрезерування пазів, шліфування та контроль якості. Запропонований технологічний процес забезпечує виготовлення деталі з необхідною точністю, якістю поверхонь і надійністю в експлуатації.

У розділі безпеки життєдіяльності розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які виникають під час роботи віброплощадки. До них належать підвищений рівень шуму й вібрації, рухомі частини механізмів, електрична небезпека, пил цементу, можливість травмування під час монтажу форм і переміщення залізобетонних виробів. Запропоновано заходи щодо безпечної експлуатації обладнання, захисту працівників, заземлення електрообладнання, огороження небезпечних зон, використання засобів індивідуального захисту та дотримання правил охорони праці.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована конструкція віброплощадки та результати виконаних розрахунків можуть бути

використані при проектуванні, виготовленні або модернізації обладнання для формування безнапірних залізобетонних труб. Реалізація запропонованих технічних рішень дозволяє підвищити якість ущільнення бетонної суміші, зменшити кількість дефектів, покращити експлуатаційні властивості труб і забезпечити більш стабільну роботу виробничої ділянки.

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		55

Список літератури

1. Назаренко І. І. Машина для виробництва будівельних матеріалів : підручник. Київ : КНУБА, 1999. 488 с.
2. Назаренко І. І. Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії : навчальний посібник. Київ : КНУБА, 2007. 230 с.
3. Назаренко І. І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем : навчальний посібник. 2-ге вид. Київ : Видавничий дім «Слово», 2010. 440 с.
4. Назаренко І. І., Берник І. М. Основи проектування і конструювання машин та обладнання переробних виробництв : навчальний посібник. Київ : Аграр Медіа Груп, 2013. 544 с.
5. Маслов О. Г. Вібраційні машини для приготування та ущільнення бетонних сумішей : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2014. 324 с.
6. Маслов О. Г., Саленко Ю. С. Вібраційні машини і процеси в дорожньому будівництві : навчальний посібник. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2014. 264 с.
7. Кузенко Л. М., Кузенко Д. В., Вантух З. З., Панюра Я. Й. Дорожньо-будівельні машини : навчальний посібник. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2021. 236 с.
8. Онищенко В. О., Онищенко О. Г., Коробко Б. О., Вірченко В. В. Будівельна техніка : навчальний посібник. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ : Кондор, 2017. 424 с.
9. Волянський О. А. Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій. Ч. 1. Технологія бетону : навчальний посібник. Київ : Вища школа, 1994. 271 с.
10. Рунова Р. Ф. Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів : навчальний посібник. Київ : Основа, 2017. 528 с.
11. Виробництво залізобетонних конструкцій і виробів : довідник /

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Список літератури		
Розроб.	Куцербов			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06			
					Літ.	Лист	Листів
					Н		
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Н.О.Амеліна, В. П. Азутов, О. Ю. Бердник, О. Г. Гелевера та ін. Київ : Основа.

12. Сліпецький В. В. Обґрунтування параметрів віброформувального обладнання для виготовлення бетонних виробів : дис. доктора філософії : 133 Галузеве машинобудування. Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2022.

13. Хмара Л. А., Шипілов О. С., Онищенко О. Г. Дробильно-сортувальні заводи і устаткування : навчальний посібник. Полтава : ПолтНТУ, 2009. 209 с.

14. Федоренко О. І., Бондар О. І., Кудін А. В. Основи екології : підручник. Київ : Знання, 2006. 543 с.

15. Охорона праці в будівництві. Інженерні рішення : довідник / В. І. Русин, Г.Г.Орлов, Н. М. Недельников та ін. Київ : Будівельник, 1990. 208 с.

					ГММ.301пММ.019-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			ГММ301пММ.019-00.00.000ВЗ	Вигляд загальний		
A1			ГММ301пММ.019-00.00.000МК	Монтажне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A1	1		ГММ301пММ.019-01.00.000	Рама нижня	1	
A1	2		ГММ301пММ.019-02.00.000	Рама верхня	1	
A2	3		ГММ301пММ.019-03.00.000	Опора пружна	4	
	4		ГММ301пММ.019-04.00.000	Вібротоп	2	
A2	5		ГММ301пММ.019-05.00.000	Рама електро двигунна	2	
				<u>Деталі</u>		
A4	6		ГММ301пММ.019-00.00.001	Болт фундаментний	12	
A4	7		ГММ301пММ.019-00.00.002	Прокладка	2	
A4	8		ГММ301пММ.019-00.00.003	Шків	2	
A4	9		ГММ301пММ.019-00.00.004	Гума технічна 1970x180x30	2	
A4	10		ГММ301пММ.019-00.00.005	Планка опорна 200x10x10	4	
				<u>Стандартні вироби</u>		
	11			Болт М30x80.58.019	20	
	12			Болт М30x50.58.019	16	
	13			Болт М14x50.58.019	8	
ГММ301пММ.019-00.00.000				Віброплощадка для формування Ж/Б труб		
Зм. Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Куцерубов		20.06	Н		1
Перев.	Васильєв		20.06	2026		
Н.контр.	Васильєв		20.06			
Затв.	Орисенко		20.06			

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			ГММ301пММ.019-02.00.000В3	Вигляд загальний		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A4	1		ГММ301пММ.019-02.01.000	Пластина опорна	4	
A4	2		ГММ301пММ.019-02.02.000	Плита кріплення	2	
				<u>Деталі</u>		
A4	4		ГММ301пММ.019-02.00.001	Косинка	4	
A4	5		ГММ301пММ.019-02.00.002	Лист нижній	1	
A4	6		ГММ301пММ.019-02.00.003	Лист нижній	2	
A4	7		ГММ301пММ.019-02.00.004	Лист верхній	1	
A4	8		ГММ301пММ.019-02.00.005	Швелер	4	
A4	9		ГММ301пММ.019-02.00.006	Косинка	8	
A4	10		ГММ301пММ.019-02.00.007	Швелер	2	
A4	11		ГММ301пММ.019-02.00.008	Швелер	2	
A4	12		ГММ301пММ.019-02.00.009	Лист $\frac{10}{\text{Ст.3}}$ 250x50	4	
A4	13		ГММ301пММ.019-02.00.010	Швелер $\frac{9}{\text{Ст.3}}$ L=1290	2	
A4	14		ГММ301пММ.019-02.00.011	Швелер $\frac{9}{\text{Ст.3}}$ L=1600	4	
A4	15		ГММ301пММ.019-02.00.012	Лист $\frac{10}{\text{Ст.3}}$ 450x400	2	

ГММ301пММ.019-02.00.000							
Зм. Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Рама верхня	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Куцербов		20.06		Н	1	1
Перев.	Васильєв		20.06				
Н.контр.	Васильєв		20.06				
Затв.	Орисенко		20.06				

[illegible]

[illegible]

[illegible]