

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

Навчально-науковий інституту 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

**Вібраційна машина для ущільнення бетонної
суміші при формуванні залізобетонних кілець**

Виконав: студент IV курсу, групи 401MM
напряму підготовки (спеціальності)

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

Говорун Є.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Скляренко Т.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Молчанов П.О.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2026 року

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

Вібраційна машина для ущільнення бетонної суміші
при формуванні залізобетонних кілець
Кваліфікаційна робота бакалавра

Лист затвердження

ГММ.401ММ.004-00.00.000 КРБ - ЛУ

Розробив здобувач групи 401-ММ

 Євгеній ГОВОРУН
« 20 » 05 2026 р.

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

 Іван РОГОЗІН
« 17 » 06 2026 р.

Технологічний контроль

к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
« 17 » 06 2026 р.

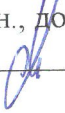
Нормативний контроль

к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
« 17 » 06 2026 р.

Гарант освітньо-професійної програми

к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
« 17 » 06 2026 р.

Керівник

к.т.н., доц.

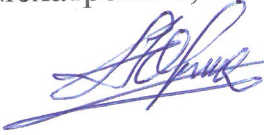
 Тарас СКЛЯРЕНКО
« 17 » 06 2026 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

галузевого машинобудування та мехатроніки,

к.т.н., доц.

 Олександр ОРИСЕНКО

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл.	№екз.	Прим.
28						
29			<u>Документація</u>			
30			Вперше розроблена			
31						
32	A1	ГММ.401ММ.004-00.00.000ТП	Технологічний процес			
33			виготовлення валу	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.401ММ.004-00.00.000ВБ			Лист
						2

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 Бакалавр

Напрямок підготовки _____

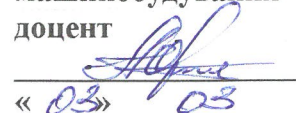
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

 **Олександр ОРИСЕНКО**
« 03 » 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Говорун Євгеній Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: **«Вібраційна машина для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець»**

керівник роботи (проекту) Скляренко Т.О., к.т.н., доц.

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

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

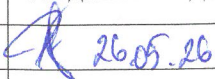
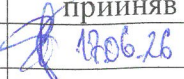
2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи: «19» червня 2026 року.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: *Тип виробу – залізобетонне кільце типу КС для оглядових, каналізаційних, водопровідних або дренажних колодязів. Основні геометричні параметри виробу: внутрішній діаметр кільця – 1000 мм; зовнішній діаметр кільця – 1160 мм; висота кільця – 900 мм; товщина стінки кільця – 80 мм. Матеріал виробу – важкий бетон. Густина бетонної суміші – 2400 кг/м³. Орієнтовний об'єм бетонної суміші для одного кільця – 0,245 м³. Орієнтовна маса бетонної суміші для одного кільця – 588 кг. Спосіб ущільнення бетонної суміші – вібраційне ущільнення. Тип формувального обладнання – вібраційна установка з віброосердям, зовнішньою опалубкою, дебалансним віброзбуджувачем, електроприводом, пружною муфтою та гумометалевими опорами.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Зміст. Вступ. 1. Огляд обладнання для машина для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець. 2. Розрахунок обладнання 3. Технологічна частина 4. Безпека життєдіяльності

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
		 26.05.26	 18.06.26

7. Дата видачі завдання «__» _____ 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

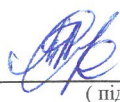
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Огляд конструкцій	05.05.2026 р.	
2	Конструкторські проробки	12.05.2026 р.	
3	Розрахунки крана	19.05.2026 р.	
4	Виконання креслень складальних одиниць та деталей, специфікацій	26.05.2026 р.	
5	Технологічний процес виготовлення валу	02.06.2026 р.	
6	Компонування пояснювальної записки	09.06.2026 р.	
7	Здача готового проекту	19.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Свгеній ГОВОРУН
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Тарас СКЛЯРЕНКО
(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми


(підпис)

Олексій ВАСИЛЬСВ
(прізвище та ініціали)

Зм.
Ро.
Пе.
Кер.
Н.
Зав.

Анотація

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Вібраційна машина для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець».

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

У дипломній роботі розглянуто питання розроблення вібраційної машини для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець. Проаналізовано призначення та конструктивні особливості залізобетонних кілець, технологічне обладнання для їх виготовлення та особливості вібраційного ущільнення бетонної суміші у кільцевій формі. Обґрунтовано технологічний процес формування виробів, виконано розрахунок основних параметрів вібраційної установки, віброзбуджувача, гумометалевих опор, приводу та елементів форми. Також розроблено технологічну частину виготовлення вала віброзбуджувача і розглянуто питання безпечної експлуатації обладнання. Запропонована конструкція вібраційної машини дозволяє підвищити якість ущільнення бетонної суміші, зменшити кількість дефектів і забезпечити виготовлення залізобетонних кілець з необхідними експлуатаційними характеристиками.

Ключові слова: залізобетонне кільце, бетонна суміш, вібраційна машина, віброосердя, віброзбуджувач, вібраційне ущільнення, формування, гумометалева опора, привантаження.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.	Говорун			20.05
Перев.	Скляренко			17.06
Керівн.				
Н. контр.	Васильєв			12.06
Затв.	Орисенко			18.06

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Анотація

Лім.	Лист	Листів
Н		

Національний університет
«Полтавська політехніка імені
Юрія Кондратюка»

Annotation

Thesis on the topic: «Vibratory Machine for Compacting Concrete Mix during the Formation of Reinforced Concrete Rings».

Bachelor's thesis for obtaining the educational qualification level of Bachelor in the specialty 133 Industrial Engineering – National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, 2026

The bachelor's thesis deals with the development of a vibratory machine for compacting concrete mix during the formation of reinforced concrete rings. The purpose and structural features of reinforced concrete rings, the technological equipment used for their manufacture, and the specific features of vibratory compaction of concrete mix in an annular mould are analyzed. The technological process of product forming is substantiated, and the main parameters of the vibratory unit, vibration exciter, rubber-metal supports, drive system, and mould elements are calculated. The technological process for manufacturing the vibration exciter shaft is also developed, and issues related to the safe operation of the equipment are considered. The proposed design of the vibratory machine makes it possible to improve the quality of concrete mix compaction, reduce the number of defects, and ensure the production of reinforced concrete rings with the required performance characteristics.

Keywords: reinforced concrete ring, concrete mix, vibratory machine, vibrating core, vibration exciter, vibratory compaction, forming, rubber-metal support, surcharge load.

						Лист
М.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ	

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

Вібраційна машина для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Зміст

Вступ.....	2
1 ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАШИНА ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КІЛЕЦЬ.....	6
1.1 Призначення та конструктивні особливості залізобетонних виробів	6
1.2 Технологічне обладнання для виготовлення залізобетонних кілець	12
2. РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ	23
2.1 Вибір технологічного процесу формування залізобетонних кілець	23
2.2 Розрахунок та конструювання вібраційної установки для формування залізобетонних кілець	33
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	41
3.1 Обґрунтування вибору заготовки для виготовлення вала вібробуджувача	41
3.2 Розроблення технологічного маршруту виготовлення вала вібробуджувача та вибір схем базування.....	41
3.3 Визначення припусків на механічну обробку поверхонь	45
3.4 Вибір обладнання, пристроїв, різального та вимірювального інструменту .	46
3.5 Визначення режимів різання	47
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	60
Висновки	63
Список літератури.....	65

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Зміст		
Розроб.	Говорун			10.05			
Перев.	Скляренко			17.06			
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			18.06			
					Лім.	Лист	Листів
					Н	1	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Вступ

Залізобетонні кільця широко застосовуються у будівництві інженерних мереж, зокрема для влаштування оглядових, каналізаційних, водопровідних, дренажних та кабельних колодязів. Такі вироби працюють у складних умовах, сприймають навантаження від ґрунту, транспорту, власної маси та впливу вологи. Тому до їх якості висуваються підвищені вимоги щодо міцності, щільності, геометричної точності, водонепроникності та довговічності.

Значний обсяг виробництва залізобетонних виробів і конструкцій, а також постійне зростання вимог до їх якості зумовлюють необхідність удосконалення формувального обладнання, впровадження нових технологічних рішень і розроблення більш ефективних машин для ущільнення бетонних сумішей. Особливо це стосується виробництва залізобетонних кілець, оскільки ці вироби мають циліндричну форму, порівняно тонкі стінки та значну висоту, що ускладнює рівномірне ущільнення бетонної суміші по всьому об'єму форми.

У виробництві бетонних і залізобетонних виробів операції приготування, транспортування, розподілення та ущільнення бетонної суміші становлять єдиний технологічний процес. Ці операції виконуються послідовно і повинні бути узгоджені між собою за часом, продуктивністю та режимами роботи обладнання. Важливе місце у цьому процесі займає ущільнення бетонної суміші, оскільки саме від його якості значною мірою залежить структура бетону, наявність порожнин і раковин, міцність виробу та якість його поверхні.

Недостатнє ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець може призводити до появи дефектів у тілі виробу, нерівномірної щільності по висоті, зниження міцності, утворення пустот біля арматури або стінок форми, а також погіршення зовнішнього вигляду. Через це формувальне

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Вступ	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Говорун			20.05		Н		2
Перев.	Скляренко			17.06				
Керівник						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.	Васильєв			22.06				
Затв.	Орисенко			18.06				

обладнання повинно забезпечувати достатню інтенсивність вібраційної дії, рівномірну передачу коливань на бетонну суміш та стабільність режиму ущільнення.

Серед відомих способів ущільнення бетонних сумішей можна виділити вібрування, пресування, центрифугування, вакуумування, вібропресування та інші комбіновані методи. Найбільшого поширення у виробництві залізобетонних виробів набуло саме вібраційне ущільнення. Це пояснюється відносною простотою обладнання, високою ефективністю процесу, можливістю застосування для виробів різної форми та розмірів, а також здатністю забезпечувати необхідну щільність бетонної суміші без значного ускладнення технології.

При вібраційному ущільненні бетонна суміш під дією коливань тимчасово зменшує внутрішнє тертя між частинками, стає більш рухомою, краще заповнює форму, а повітряні включення виходять на поверхню. Після припинення вібрації суміш знову набуває стійкої структури, а бетон після твердіння має більшу щільність і міцність. Для залізобетонних кілець це особливо важливо, оскільки бетонна суміш повинна рівномірно ущільнюватися у кільцевому просторі між зовнішньою і внутрішньою формами.

На сучасному етапі вдосконалення технології ущільнення бетонних сумішей відбувається переважно шляхом підвищення ефективності передачі коливань від робочого органу машини до бетонної суміші. До основних напрямів такого вдосконалення можна віднести зниження частоти і збільшення амплітуди коливань, застосування просторових коливань, використання віброударних режимів, регулювання параметрів вібраційної дії в процесі формування, а також комбінування дії зовнішніх і внутрішніх віброзбудувачів.

При формуванні залізобетонних кілець важливо забезпечити ущільнення не тільки в нижній частині форми, а й по всій висоті виробу. Звичайне встановлення форми на віброплощадку не завжди забезпечує однакову інтенсивність коливань у всіх зонах бетонної суміші. У верхній частині виробу інтенсивність дії може зменшуватися, що призводить до нерівномірної структури бетону. Тому актуальним є застосування вібраційних машин, які забезпечують більш ефективну передачу коливань на форму та бетонну суміш.

Існуючі машини для формування залізобетонних трубчастих і кільцевих виробів мають різні конструктивні схеми. Це можуть бути установки з зовнішніми віброзбудниками, віброплощадки, форми з навісними вібраторами, установки з внутрішнім сердечником, а також машини з комбінованим ущільненням. Разом з тим не всі такі конструкції забезпечують необхідну якість виробів при достатній продуктивності. Це пов'язано з нерівномірною передачею коливань, значною металоємністю, складністю обслуговування або недостатнім урахуванням властивостей бетонної суміші.

Для підвищення якості формування залізобетонних кілець доцільно застосовувати вібраційні машини з обґрунтованими параметрами роботи. До таких параметрів належать частота коливань, амплітуда, напрямок вібраційної дії, маса рухомих частин, жорсткість опор, збурююча сила віброзбудника та тривалість ущільнення. Правильний вибір цих параметрів дозволяє забезпечити якісне ущільнення бетонної суміші, зменшити кількість дефектів і підвищити надійність готових виробів.

Застосування вібраційних машин при формуванні залізобетонних кілець має ряд переваг. Воно дозволяє використовувати більш жорсткі бетонні суміші, скорочувати тривалість формування, покращувати якість поверхні виробу, зменшувати витрати цементу та підвищувати продуктивність виробництва.

Крім того, ефективне ущільнення сприяє швидшому набору міцності бетоном і дає можливість раціональніше використовувати металоформи.

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена необхідністю розроблення ефективної вібраційної машини для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець. Така машина повинна забезпечувати рівномірну передачу коливань на бетонну суміш, підвищувати якість готових виробів, зменшувати кількість дефектів та відповідати вимогам сучасного виробництва залізобетонних елементів інженерних мереж.

Метою роботи є розроблення та обґрунтування конструкції вібраційної машини для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати існуючі способи ущільнення бетонних сумішей; розглянути конструкції машин для формування залізобетонних кільцевих виробів; обґрунтувати вибір вібраційного способу ущільнення; розробити конструктивну схему вібраційної машини; визначити основні параметри її роботи; оцінити умови безпечної експлуатації обладнання.

Об'єктом розроблення є технологічний процес формування залізобетонних кілець.

Предметом розроблення є вібраційна машина для ущільнення бетонної суміші у формі при виготовленні залізобетонних кілець.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованої вібраційної машини на підприємствах з виготовлення залізобетонних виробів для інженерних мереж. Її застосування дозволить підвищити якість ущільнення бетонної суміші, зменшити кількість виробничих дефектів і покращити експлуатаційні характеристики готових залізобетонних кілець.

1 ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАШИНА ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КІЛЕЦЬ

1.1 Призначення та конструктивні особливості залізобетонних виробів

Залізобетонні вироби широко застосовуються у будівництві житлових, промислових, дорожніх та інженерних об'єктів. Окрему групу серед них займають трубчасті та кільцеві вироби, які використовуються при спорудженні підземних інженерних мереж, оглядових колодязів, каналізаційних і водопровідних систем, дренажних споруд, кабельних каналів та інших елементів інфраструктури. До таких виробів належать залізобетонні кільця, які є одним із найбільш поширених типів збірних залізобетонних елементів.

Залізобетонні кільця призначені для формування вертикальних шахт колодязів різного призначення. Вони можуть застосовуватися у водопровідних, каналізаційних, зливових, дренажних, газових та кабельних мережах. Основною перевагою таких виробів є простота монтажу, достатня несуча здатність, довговічність і можливість швидкого спорудження колодязя з окремих збірних елементів. На рисунку 1.1 показано загальний вигляд залізобетонних кілець, які зберігаються на відкритому складі готової продукції.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд залізобетонних кілець на складі готової продукції

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Говорун			20.05	Літ.	Лист	Листів
Перев.	Склярєнко			17.06	Н	6	
Керівник					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.	Васильєв			12.06			
Затв.	Отисенко			18.06			
ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАШИНА ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КІЛЕЦЬ							

За конструкцією залізобетонне кільце являє собою порожнистий циліндричний виріб із бетонної суміші, армований сталеву арматурою або сіткою. Внутрішній отвір кільця утворює робочий простір колодязя, а зовнішня поверхня сприймає навантаження від ґрунту та інших зовнішніх факторів. У процесі експлуатації такі вироби працюють у складних умовах, оскільки на них діють власна маса, тиск ґрунту, вплив вологи, сезонні температурні зміни, а в окремих випадках – навантаження від транспорту або будівельних конструкцій.

Основними конструктивними параметрами залізобетонних кілець є зовнішній діаметр, внутрішній діаметр, висота, товщина стінки, маса виробу, клас бетону, вид армування та наявність монтажних петель. Найчастіше кільця виготовляють висотою 890–900 мм, а їх діаметр залежить від призначення колодязя. На рисунку 1.2 наведено приклади типових геометричних розмірів залізобетонних кілець з діаметрами 1000 мм і 2000 мм.

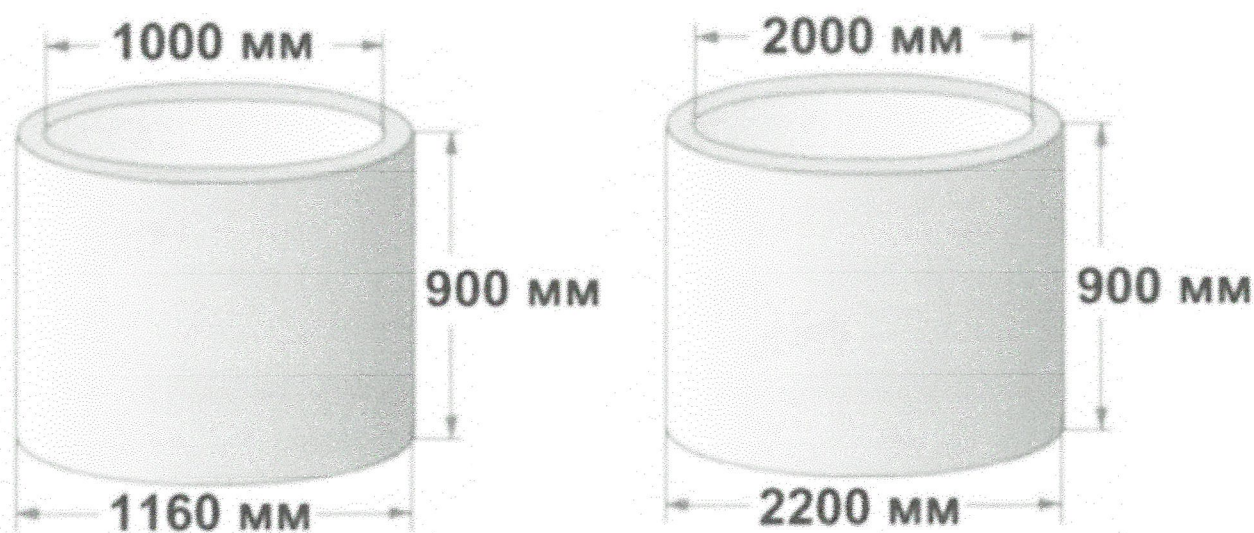


Рисунок 1.2 – Приклади геометричних розмірів залізобетонних кілець

Для колодязів невеликого діаметра застосовують кільця з внутрішнім діаметром близько 1000 мм. Такі вироби зручні для будівництва оглядових і невеликих каналізаційних колодязів. Для більших споруд використовують кільця з внутрішнім діаметром 1500 або 2000 мм, які забезпечують більший робочий простір і можуть застосовуватися у складніших інженерних системах.

Висота кілець зазвичай приймається однаковою, що спрощує їх складування, транспортування та монтаж.

Виробництво залізобетонних кілець потребує дотримання вимог до якості бетонної суміші, точності геометричних розмірів і міцності готового виробу. Як зазначається у працях з будівельного матеріалознавства, властивості бетону значною мірою залежать від складу суміші, водоцементного відношення, якості заповнювачів та умов ущільнення і твердіння [10]. Тому під час формування залізобетонних кілець важливо забезпечити не тільки правильне дозування компонентів бетонної суміші, а й ефективне її ущільнення у формі.

Однією з головних особливостей залізобетонних кілець є їхня кільцева форма. Бетонна суміш під час формування розміщується у просторі між зовнішньою і внутрішньою частинами форми. Через це ущільнення повинно відбуватися рівномірно по всій висоті та по всьому периметру виробу. Якщо вібраційна дія передається нерівномірно, у тілі кільця можуть утворюватися пори, раковини, неущільнені зони та дефекти поверхні. Особливо складним є забезпечення однакової щільності бетону в нижній, середній та верхній частинах виробу.

У роботах, присвячених вібраційним процесам у будівельній індустрії, зазначається, що якість формування залізобетонних виробів значною мірою залежить від параметрів коливань робочого органа машини, способу передачі вібрації та взаємодії бетонної суміші з формою [17, 19, 33]. Для кільцевих виробів це має особливе значення, оскільки форма має замкнений циліндричний контур, а бетонна суміш розміщується у відносно вузькому кільцевому просторі.

На рисунку 1.3 показано приклад складування залізобетонних кілець у виробничих умовах. Такий спосіб складування дозволяє раціонально використовувати площу підприємства, але потребує достатньої міцності виробів і правильного їх встановлення, щоб уникнути пошкоджень під час зберігання.

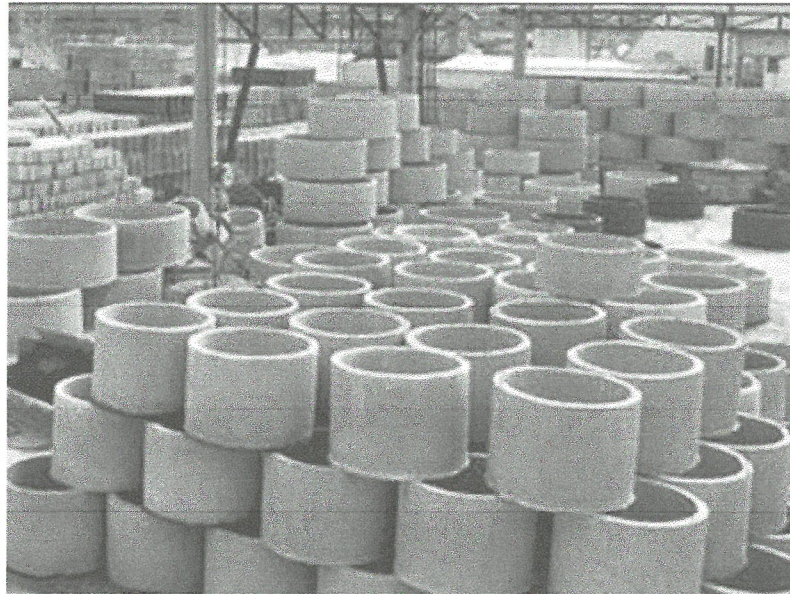


Рисунок 1.3 – Складування залізобетонних кілець у виробничих умовах

Після виготовлення залізобетонні кільця транспортують на склад готової продукції, де вони витримуються до набору необхідної міцності. На підприємствах із великим обсягом виробництва кільця розміщують на спеціальних майданчиках або технологічних лініях, що забезпечують переміщення виробів від поста формування до зони твердіння і складування. Приклад виробничого майданчика із залізобетонними кільцями наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Виробничий майданчик для виготовлення та складування залізобетонних кілець

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

При монтажі залізобетонних кілець у будівельних умовах застосовують вантажопідіймальну техніку, оскільки вироби мають значну масу. Для цього у конструкції кілець передбачають монтажні петлі або інші закладні елементи. Вони забезпечують безпечне піднімання, переміщення та встановлення виробу у проєктне положення. На рисунку 1.5 показано монтаж залізобетонного кільця за допомогою автокрана.



Рисунок 1.5 – Монтаж залізобетонного кільця за допомогою автокрана

Під час монтажу кільця встановлюють одне на одне, утворюючи вертикальну шахту колодязя. При цьому важливо забезпечити співвісність елементів, щільність стиків і стійкість усієї конструкції. У випадку оглядових, каналізаційних або водопровідних колодязів також можуть застосовуватися днища, плити перекриття, горловини та люки. Якість кожного кільця впливає на загальну надійність споруди, тому дефекти, отримані на етапі формування, можуть у подальшому призвести до зниження довговічності всієї конструкції.

На рисунку 1.6 наведено приклад установлення залізобетонного кільця у підготовлений котлован. Такий процес потребує точного позиціонування виробу та дотримання правил безпечного виконання монтажних робіт.



Рисунок 1.6 – Установлення залізобетонного кільця у підготовлений котлован

Залізобетонні кільця повинні мати достатню міцність на стиск, стійкість до дії вологи та морозу, а також рівну поверхню без значних раковин, тріщин і відколів. Особливо важливою є якість внутрішньої поверхні кільця, оскільки вона контактує з водою, стічними середовищами або обладнанням, яке може розміщуватися всередині колодязя. Якісне ущільнення бетонної суміші дозволяє зменшити кількість пор і підвищити щільність структури бетону, що позитивно впливає на довговічність виробу [4, 21].

Відомо, що при виготовленні бетонних і залізобетонних виробів значна частина дефектів виникає саме на стадії формування та ущільнення бетонної суміші. Дослідження процесів ущільнення показують, що ефективність вібраційної дії залежить від параметрів коливань, властивостей бетонної суміші, конструкції форми та характеру взаємодії суміші з робочим органом машини [2, 16, 21]. Тому під час проєктування машини для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець необхідно враховувати саме конструктивні особливості таких виробів.

Оскільки залізобетонне кільце є порожнистим циліндричним виробом, то його формування відрізняється від формування плоских плит, блоків або масивних деталей. Для такого виробу потрібно забезпечити рівномірний розподіл суміші у кільцевому просторі, її ущільнення біля зовнішньої і внутрішньої стінок форми, а також запобігти утворенню пустот у нижній частині. Це потребує застосування спеціального формувального обладнання, яке може створювати достатню вібраційну дію на форму та бетонну суміш.

У працях, присвячених просторовому руху робочих органів вібраційних машин, відзначається, що для трубчастих залізобетонних виробів перспективним є використання машин зі складним або просторовим характером коливань [22, 23, 32]. Такі коливання дають змогу активніше впливати на бетонну суміш у різних напрямках, що може підвищити рівномірність ущільнення і якість готового виробу.

Таким чином, залізобетонні кільця є відповідальними виробами для інженерних мереж, які повинні мати достатню міцність, геометричну точність, щільність і довговічність. Їхня циліндрична форма та кільцевий поперечний переріз створюють певні труднощі при формуванні, оскільки бетонна суміш повинна рівномірно ущільнюватися по всьому об'єму виробу. Тому розроблення вібраційної машини для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець є важливим завданням, яке пов'язане з підвищенням якості виробів і ефективності технологічного процесу.

1.2 Технологічне обладнання для виготовлення залізобетонних кілець

Виготовлення залізобетонних кілець виконується з використанням спеціального технологічного обладнання, яке забезпечує підготовку бетонної суміші, її подачу, розподілення у формі, ущільнення, розпалублення, транспортування та складування готових виробів. Оскільки залізобетонні кільця мають циліндричну форму і порожнистий внутрішній простір, процес їх

формування відрізняється від виготовлення плит, блоків або суцільних масивних виробів. Основна складність полягає у необхідності рівномірного заповнення кільцевого простору між зовнішньою та внутрішньою частинами форми, а також у якісному ущільненні бетонної суміші по всій висоті виробу.

Технологічне обладнання для виготовлення залізобетонних кілець можна поділити на кілька основних груп: обладнання для приготування бетонної суміші, транспортуюче обладнання, формувальне оснащення, вібраційні машини для ущільнення, вантажопідіймальне обладнання, пристрої для розпалублення та обладнання для складування готових виробів. Усі ці елементи повинні працювати узгоджено, оскільки формування залізобетонного кільця є безперервним технологічним процесом [19].

Основним елементом формувального обладнання є металева форма. Вона складається із зовнішньої обичайки, внутрішнього сердечника, елементів фіксації, замків, ручок, монтажних петель та, за потреби, кришки або верхнього притискного елемента. Форма задає геометричні параметри виробу: зовнішній і внутрішній діаметр, висоту, товщину стінки та якість поверхні. Приклад простої металевої форми для виготовлення залізобетонного кільця наведено на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Металева форма для виготовлення залізобетонного кільця

Форми для кілець можуть бути нерозбірними, розбірними або напіврозбірними. Найбільш зручними у виробничих умовах є розбірні форми, оскільки вони полегшують виймання готового виробу після твердіння бетону. Зовнішня частина форми часто виконується з кількох секторів, які з'єднуються болтами, замками або шарнірними з'єднаннями. Внутрішній сердечник також може мати розбірну конструкцію, що дозволяє зменшити зусилля під час розпалублення.

На рисунку 1.8 показано приклад форми з внутрішнім кільцем і зовнішньою обичайкою. Така конструкція дозволяє формувати порожнистий циліндричний виріб із заданою товщиною стінки.

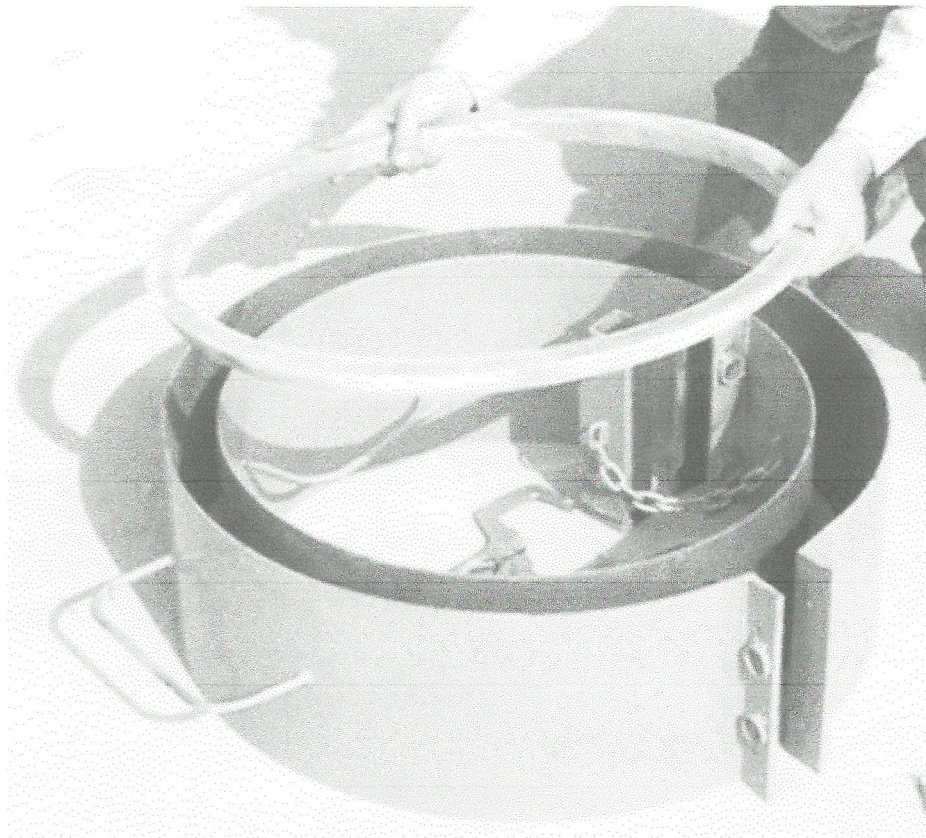


Рисунок 1.8 – Форма з внутрішнім сердечником для формування кільцевого виробу

При виготовленні кілець важливе значення має жорсткість форми. Під час ущільнення бетонної суміші форма сприймає значні динамічні навантаження, тому її стінки не повинні деформуватися. Для цього у конструкції

передбачають ребра жорсткості, пояси, стяжки та елементи кріплення. Надмірна деформація форми може призвести до порушення геометрії виробу, появи відхилень за діаметром або нерівномірної товщини стінки.

Більш складні конструкції форм мають зовнішні ребра, ручки, фіксатори та пристрої для встановлення арматурного каркаса. Приклад таких форм наведено на рисунку 1.9.

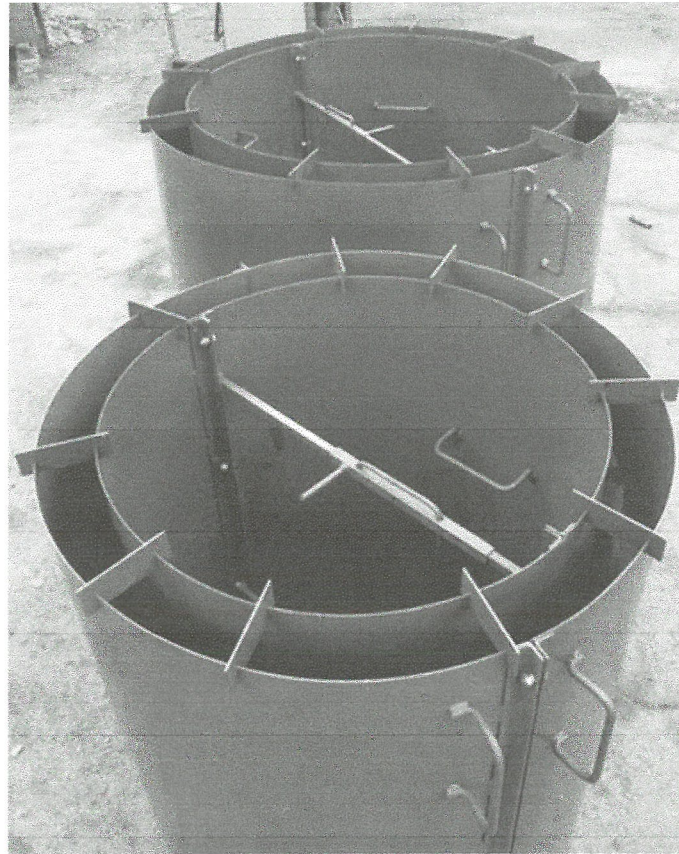


Рисунок 1.9 – Розбірні металеві форми для виготовлення залізобетонних кілець

Перед початком формування форма очищується від залишків бетону, перевіряється стан замків, стиків і поверхонь, після чого внутрішні поверхні покриваються мастилом. Це потрібно для полегшення розпалублення та покращення якості поверхні готового кільця. Якість підготовки форми впливає на зовнішній вигляд виробу, наявність раковин і пошкоджень, а також на тривалість циклу формування.

Для заповнення форми використовують бетонну суміш відповідного складу. У роботах з будівельного матеріалознавства зазначається, що якість бетонної суміші залежить від правильного підбору цементу, заповнювачів, води, добавок і режиму перемішування [10]. Для залізобетонних кілець суміш повинна мати достатню рухливість для заповнення кільцевого простору, але водночас не повинна розшаровуватися під час вібраційного ущільнення.

Подача бетонної суміші до форми може здійснюватися за допомогою бадді, бетонороздавача, стрічкового конвеєра або вручну при невеликих обсягах виробництва. У дрібному та середньому виробництві часто застосовують спрощені технологічні схеми, де форма встановлюється на майданчику або біля вібраційної установки, а бетонна суміш подається порційно. Для підвищення продуктивності доцільно застосовувати механізовану подачу суміші та спеціальні пристрої для її рівномірного розподілення у кільцевому просторі [13].

Одним із найважливіших елементів технологічного обладнання є вібраційна машина. Саме вона забезпечує ущільнення бетонної суміші, видалення повітря, зменшення пористості та підвищення щільності бетону. Вібраційне ущільнення є найбільш поширеним способом формування залізобетонних виробів, оскільки воно дозволяє отримувати вироби з достатньою міцністю і якістю поверхні при відносно простій конструкції обладнання [17, 33].

У виробництві залізобетонних кілець можуть застосовуватися різні схеми вібраційного ущільнення: зовнішнє вібрування форми, внутрішнє вібрування сердечника, встановлення форми на віброплощадку, використання навісних вібраторів або комбіноване ущільнення. Кожен із цих способів має свої переваги і недоліки. Наприклад, зовнішні віброзбудники простіші у встановленні, але не завжди забезпечують рівномірну передачу коливань по всій висоті виробу. Внутрішнє вібрування дозволяє активніше впливати на суміш з боку сердечника, але ускладнює конструкцію форми.

На рисунку 1.10 показано формувальну установку з піднімальним пристроєм і кришкою, яка використовується для роботи з формою кільцевого виробу.



Рисунок 1.10 – Формувальна установка для виготовлення залізобетонних кілець

Установки такого типу можуть оснащуватися віброзбудниками, які закріплюються на зовнішній стінці форми або на рамі. Вібраційна дія передається через металеві елементи форми до бетонної суміші. Якщо віброзбудники розміщені симетрично, це дозволяє зменшити перекося форми і забезпечити більш рівномірне ущільнення. Однак при неправильному виборі режиму роботи можуть виникати зони недостатнього ущільнення або підвищені динамічні навантаження на форму.

На рисунку 1.11 наведено приклад компактної установки для формування кільцевих виробів із навісними віброзбудниками.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист
17



Рисунок 1.11 – Установка для формування залізобетонних кілець з навісними вібробудниками

Навісні вібробудники встановлюються безпосередньо на форму. Такий варіант є відносно простим і може застосовуватися у невеликих виробництвах.

Його перевагою є можливість швидкого монтажу і демонтажу вібробудників, а також використання однієї установки для форм різних типорозмірів. Недоліком є те, що вібрація може передаватися нерівномірно, особливо при великій висоті кільця або недостатній жорсткості форми.

На рисунку 1.12 показано електромеханічний вібробудник, який може встановлюватися на форму або робочу раму вібраційної машини.

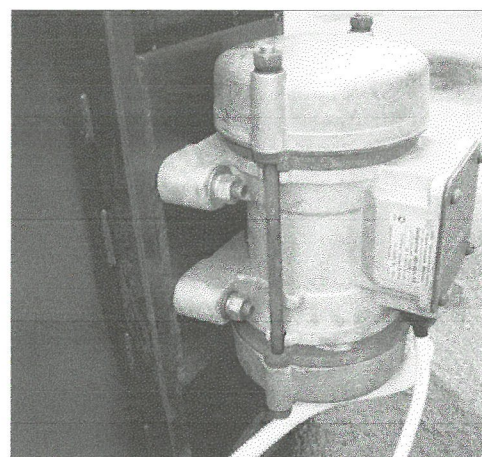


Рисунок 1.12 – Електромеханічний вібробудник для формувального обладнання

Електромеханічні віброзбудники широко застосовуються у машинах для виробництва бетонних і залізобетонних виробів. Вони створюють вимушені коливання за рахунок обертання дебалансних мас. Основними параметрами віброзбудника є збурююча сила, частота обертання, потужність електродвигуна, маса та спосіб кріплення. Правильний вибір цих параметрів має важливе значення для ефективності ущільнення бетонної суміші [12].

У працях, присвячених розрахунку і конструюванню вібраційних машин, зазначається, що ефективність роботи таких машин залежить не тільки від сили збурення, а й від маси коливальної системи, жорсткості опор, частоти, амплітуди та напрямку коливань [11, 12]. Тому при розробленні машини для формування залізобетонних кілець необхідно враховувати як конструкцію форми, так і властивості бетонної суміші.

Окрему групу становлять установки, у яких форма встановлюється на віброплощадку. У цьому випадку коливання створюються рухомою рамою або платформою, на яку встановлюється форма з бетонною сумішшю. Такі машини можуть забезпечувати вертикальні, горизонтальні або складні просторові коливання. Використання просторових коливань дозволяє підвищити ефективність ущільнення, оскільки бетонна суміш зазнає дії у кількох напрямках [22, 23, 29].

Перспективним напрямом є застосування вібраційних машин із керованими або складними режимами руху. Дослідження раціональних режимів роботи таких віброустановок показують, що зміна характеру коливань може впливати на якість ущільнення, енергоефективність і продуктивність процесу [2, 16]. Для кільцевих виробів це особливо важливо, оскільки суміш розміщується у замкненому кільцевому об'ємі, де потрібно забезпечити рівномірну передачу енергії по всьому периметру.

На рисунку 1.13 наведено приклад загальної схеми виробничої дільниці для виготовлення залізобетонних кілець. До її складу входять форми,

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

піднімальна балка, механізм переміщення та робоча зона для формування виробів.

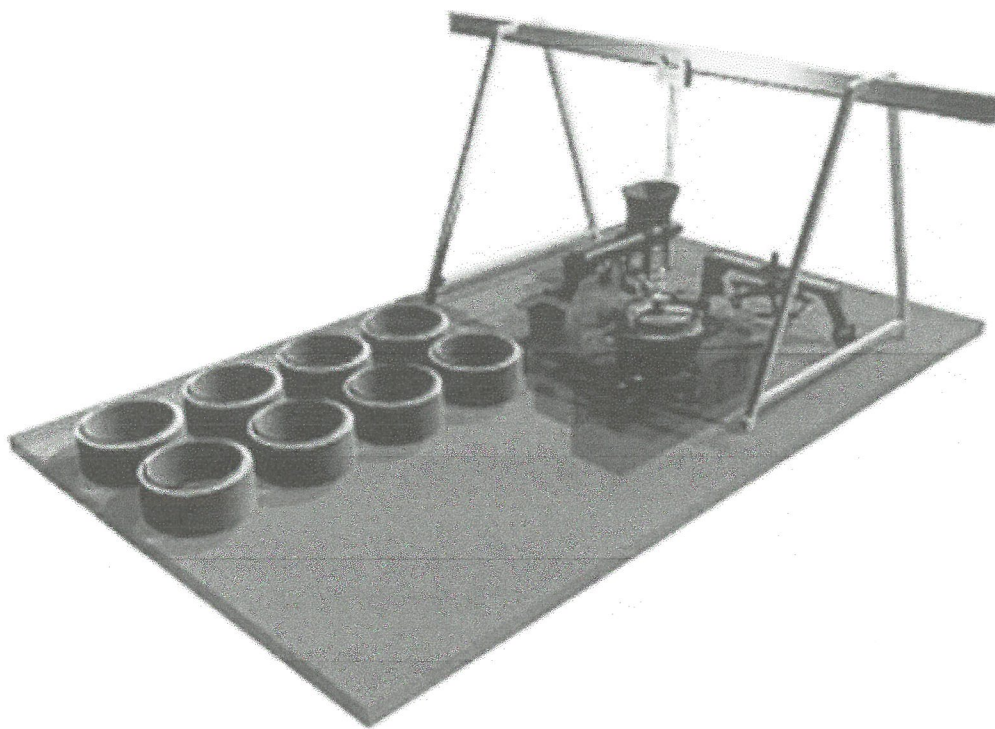


Рисунок 1.13 – Загальна схема дільниці для виготовлення залізобетонних кілець

Технологічна дільниця повинна забезпечувати не тільки формування виробів, а й зручне переміщення форм, встановлення арматурних каркасів, зняття опалубки та транспортування готових кілець. Для цього використовують кран-балки, тельфери, консольні крани, автокрани, навантажувачі або інші вантажопідіймальні пристрої. Вибір обладнання залежить від маси виробу, продуктивності підприємства та організації виробничого процесу.

Сучасні тенденції розвитку обладнання для виготовлення залізобетонних виробів спрямовані на підвищення продуктивності, зменшення енерговитрат, покращення якості ущільнення та розширення номенклатури виробів. У роботах, присвячених класифікації та оцінці споживчих якостей вібраційних машин, зазначається, що важливими критеріями є універсальність, надійність,

технологічність, енергоефективність і можливість регулювання параметрів вібраційної дії [25, 30].

Для виробництва залізобетонних кілець важливо, щоб обладнання було достатньо простим в експлуатації, але водночас забезпечувало необхідну якість виробів. У невеликих підприємствах часто використовують прості форми з навісними вібраторами. На більших заводах доцільно застосовувати спеціалізовані установки з механізованим завантаженням, вібраційним ущільненням, швидким розпалубленням і транспортуванням готових виробів.

Особливу увагу слід приділити вібраційним машинам для трубчастих виробів. Дослідження просторового руху робочого органа вібраційної машини для формування трубчастих залізобетонних виробів показують, що складний характер руху може покращувати процес ущільнення і забезпечувати більш рівномірну структуру бетону [32]. Це має пряме значення для проєктування машини для залізобетонних кілець, оскільки такі вироби також належать до трубчастих або кільцевих елементів.

Технологічне обладнання для виготовлення залізобетонних кілець включає комплекс машин і пристроїв, які забезпечують увесь виробничий процес: від приготування бетонної суміші до складування готового виробу. Найбільший вплив на якість кілець має формувальне оснащення та вібраційна машина для ущільнення бетонної суміші. Аналіз існуючих конструкцій показує, що для підвищення якості виробів доцільно розробляти обладнання, яке забезпечує рівномірну передачу коливань у кільцевий об'єм бетонної суміші, має достатню жорсткість, надійність і можливість регулювання робочих параметрів.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

21

2. РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ

2.1 Вибір технологічного процесу формування залізобетонних кілець

Залізобетонні кільця належать до збірних виробів інженерного призначення, які застосовуються для влаштування оглядових, водопровідних, каналізаційних, дренажних та інших колодязів. Якість таких виробів значною мірою залежить від правильно вибраного технологічного процесу формування, складу бетонної суміші, конструкції форми та ефективності ущільнення.

Вироби для колодязів повинні виготовлятися відповідно до чинних нормативних документів України, зокрема ДСТУ Б В.2.6-106:2010 «Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні для колодязів каналізаційних, водопровідних і газопровідних мереж. Технічні умови». Бетонна суміш для виготовлення кілець повинна забезпечувати необхідну міцність, водонепроникність, морозостійкість і довговічність виробів. З урахуванням умов експлуатації для кілець доцільно використовувати бетон класу міцності не нижче С12/15 або С16/20 залежно від призначення виробу та вимог проєктної документації [10].

У проєктованій роботі розглядається технологія виготовлення залізобетонних кілець із застосуванням вібраційної машини для ущільнення бетонної суміші. Така технологія є доцільною, оскільки вібраційне ущільнення дозволяє зменшити пористість бетону, покращити заповнення кільцевої форми, підвищити міцність виробу та якість його поверхні [17, 21].

Технологічний процес виготовлення залізобетонних кілець складається з таких основних операцій:

- підготовка сировинних матеріалів;
- приготування бетонної суміші;
- підготовка металевої форми;
- виготовлення або підготовка арматурної сітки;

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Говорун			20.05		Н		
Перев.	Склярєнко			17.06			23	
Керівник						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.	Васильєв			12.06				
Затв.	Орисєнко			18.06				

- подача бетонної суміші до формувального поста;
- укладання першої порції бетонної суміші у форму;
- встановлення арматурної сітки у кільцевий простір форми;
- подальше заповнення форми бетонною сумішшю;
- вібраційне ущільнення бетонної суміші;
- встановлення привантаження за потреби;
- додаткове віброущільнення з привантаженням;
- зняття привантаження;
- розпалублення або переміщення форми з виробом;
- твердіння виробу у природних умовах або у пропарювальній камері;
- складування готових залізобетонних кілець.

На першому етапі виконується підготовка компонентів бетонної суміші. До її складу входять цемент, пісок, щебінь або інший крупний заповнювач, вода та, за потреби, хімічні добавки. Склад бетонної суміші підбирають таким чином, щоб вона мала достатню зручновкладальність і не розшаровувалася під час вібраційного ущільнення. Якість бетонної суміші контролюють відповідно до вимог чинних стандартів, зокрема ДСТУ Б В.2.7-114:2002 «Суміші бетонні. Методи випробувань» або чинних на момент виконання робіт стандартів серії ДСТУ EN 206 щодо бетону, його властивостей, виготовлення та контролю якості.

Бетонна суміш готується у бетонозмішувачі примусової або гравітаційної дії. Для виготовлення залізобетонних кілець більш доцільним є використання змішувачів примусової дії, оскільки вони забезпечують краще перемішування жорстких і малорухомих бетонних сумішей. Такі суміші краще зберігають форму після розпалублення, але потребують інтенсивнішого ущільнення [6, 21].

Після приготування бетонна суміш подається до формувального поста. подача може здійснюватися баддею, бетонодоздавачем, стрічковим конвеєром або іншим транспортним обладнанням. У невеликих виробничих умовах бетонну суміш часто подають порційно, а в умовах механізованого

виробництва доцільно застосовувати бетонодоздавач, який забезпечує рівномірне заповнення кільцевого простору форми [19].

Перед початком формування металева форма очищується від залишків бетону, перевіряється стан замків, стиків, внутрішнього сердечника та зовнішньої обичайки. Робочі поверхні форми змащуються спеціальним мастилом для полегшення розпалублення. Правильна підготовка форми має велике значення, оскільки від неї залежить якість поверхні готового виробу та точність його геометричних розмірів.

Армування залізобетонних кілець виконується за допомогою арматурних сіток або каркасів. Для армування можуть використовуватися арматурна сталь і зварні сітки, виготовлені відповідно до чинних стандартів ДСТУ 3760:2019 «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Арматурна сітка повинна мати розміри, які відповідають діаметру кільця, товщині його стінки та вимогам робочої документації.

Формування кільця починається з укладання невеликої порції бетонної суміші у нижню частину форми. Це дає змогу створити початковий шар бетону та забезпечити правильне розташування арматурної сітки. Після цього у форму встановлюється арматурна сітка або каркас. Важливо, щоб арматура була розміщена рівномірно у стінці виробу та мала необхідний захисний шар бетону.

Якщо конструкцією кільця передбачені отвори під монтажні або експлуатаційні елементи, у форму встановлюють закладні стержні або спеціальні формоутворювальні вставки. Такі елементи повинні бути надійно закріплені, щоб під час вібраційного ущільнення вони не зміщувалися. У разі виготовлення кілець для колодязів можуть також передбачатися отвори під ходові скоби, інженерні комунікації або дренажні отвори.

Після встановлення арматурної сітки форма заповнюється наступною порцією бетонної суміші. Заповнення повинно виконуватися рівномірно по всьому периметру кільця. Нерівномірна подача суміші може призвести до перекосу арматури, утворення порожнин або різної щільності бетону в окремих

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

зонах виробу. Схема полігону виготовлення залізобетонних кілець зображено на рисунку 2.1.

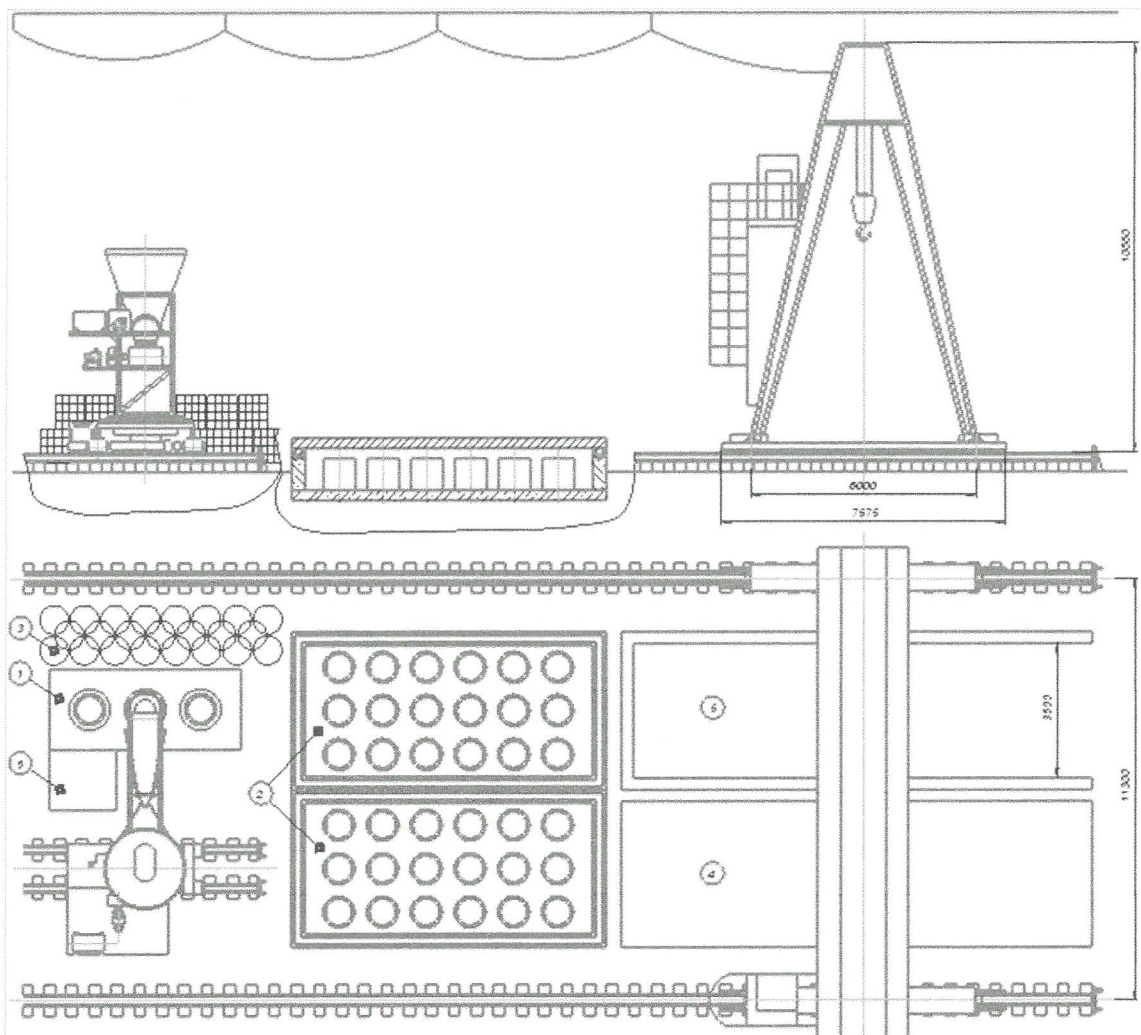
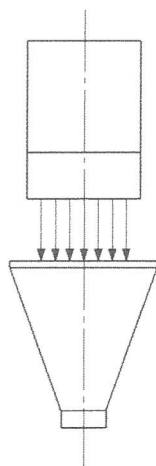


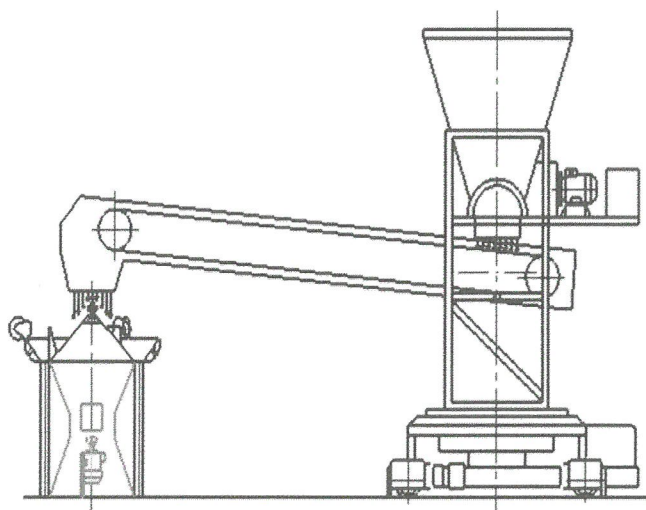
Рисунок 2.1 – Схема полігону виготовлення залізобетонних кілець

Основною операцією технологічного процесу є вібраційне ущільнення бетонної суміші. Під час роботи вібраційної машини коливання передаються на форму, внутрішній сердечник або безпосередньо на бетонну суміш. У результаті цього суміш ущільнюється, з неї видаляється повітря, а зерна заповнювача займають більш щільне положення. Ефективність цього процесу залежить від частоти, амплітуди, тривалості вібрування та характеру передачі коливань [12, 17, 21]. Технологія виготовлення залізобетонних кілець наведено на рисунку 2.2.

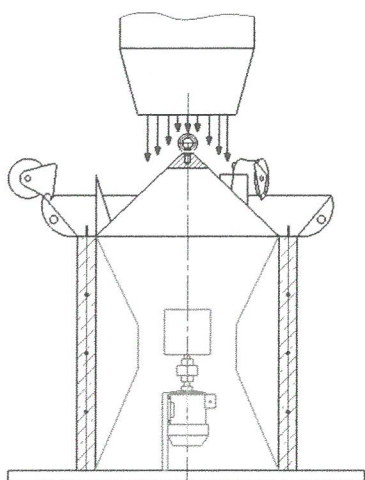
Завантаження
бетоноукладальника



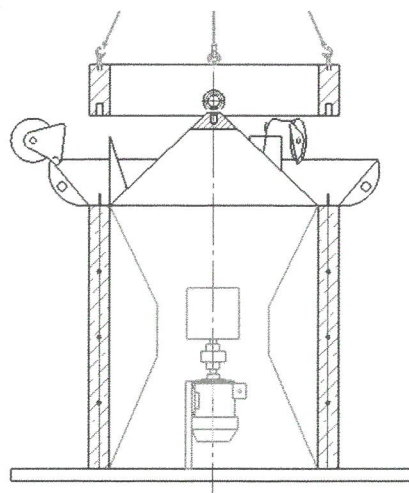
Заповнення форми



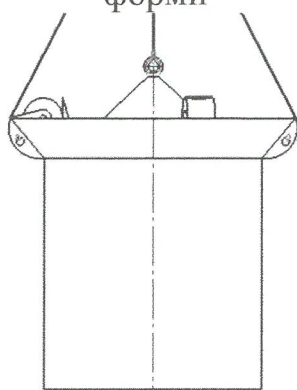
Вібраційне
формування



Встановлення привантажувача



Транспортування
форми



Розопалублювання кільця

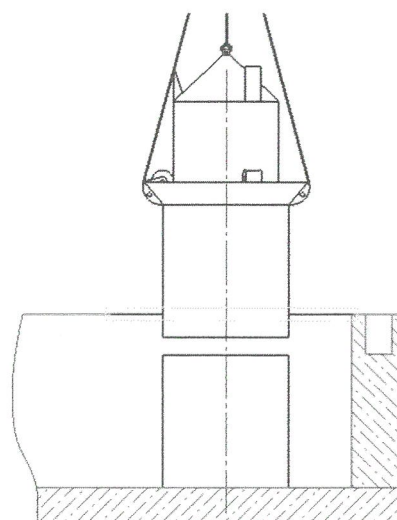


Рисунок 2.2 – Технологія виготовлення залізобетонних кілець

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

27

Для залізобетонних кілець важливо забезпечити рівномірну вібраційну дію по всій висоті та по всьому периметру виробу. Через наявність зовнішньої обичайки і внутрішнього сердечника бетонна суміш знаходиться у кільцевому просторі, тому її ущільнення має певні особливості. Якщо коливання передаються нерівномірно, у виробі можуть виникати неущільнені ділянки, раковини, пори та дефекти поверхні. Тому конструкція вібраційної машини повинна забезпечувати достатню інтенсивність ущільнення саме у зоні стінки кільця.

Після початкового ущільнення може застосовуватися привантаження. Його встановлюють на верхню поверхню бетонної суміші для додаткового обтискання та зменшення пористості. Привантаження особливо доцільне при використанні жорстких бетонних сумішей. Воно сприяє кращому заповненню форми, вирівнюванню верхньої поверхні кільця та підвищенню щільності бетону [6].

Після завершення віброущільнення привантаження знімають, а форму з виробом переміщують до місця твердіння або виконують розпалублення залежно від прийнятої технології. При використанні жорстких сумішей можливе швидке зняття опалубки, що підвищує оборотність форм і продуктивність виробництва. Однак таке рішення потребує достатньої початкової структурної міцності бетонної суміші та правильного вибору режиму ущільнення.

Твердіння залізобетонних кілець може відбуватися у природних умовах або у пропарювальній камері. При природному твердінні вироби витримують не менше 24 годин до моменту подальшого переміщення. При тепловологісній обробці у пропарювальній камері тривалість процесу може бути меншою, але при цьому необхідно дотримуватися режиму прогрівання, ізотермічної витримки та охолодження. У вихідній технологічній схемі передбачено, що час твердіння у природних умовах становить не менше 24 годин, а у пропарювальній камері – не менше 16 годин.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Після твердіння виконується остаточне розпалублення, контроль якості та складування готових виробів. Контролю підлягають геометричні розміри кільця, якість зовнішньої і внутрішньої поверхонь, наявність тріщин, раковин, відколів, правильність розташування монтажних петель або закладних елементів. Вироби, які мають значні дефекти, до експлуатації не допускаються.

Вибір технологічного процесу формування залізобетонних кілець повинен враховувати конструкцію виробу, тип бетонної суміші, продуктивність виробництва, спосіб ущільнення та умови твердіння. Для даної роботи найбільш доцільною є технологія з використанням спеціальної вібраційної машини, яка забезпечує інтенсивне ущільнення бетонної суміші у кільцевій формі. Такий підхід дозволяє підвищити якість готових кілець, зменшити кількість дефектів і забезпечити стабільність технологічного процесу.

Для обґрунтування технологічного процесу необхідно визначити основні геометричні, масові та кінематичні параметри формування. Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані: зовнішній діаметр кільця $D=1,16\text{м}$, внутрішній діаметр $D=1\text{ м}$, висота виробу $H=0,9\text{м}$, густина бетонної суміші 2400м^3 , частота обертання віброзбудника $n=2800$, амплітуда коливань $a=0,25$.

Товщина стінки залізобетонного кільця визначається за формулою

$$\delta = \frac{D_z - D_e}{2} = \frac{1,16 - 1,00}{2} = 0,08\text{м} = 80\text{мм}. \quad (2.1)$$

Отже, товщина стінки кільця становить 80 мм. Такий виріб можна віднести до тонкостінних кільцевих залізобетонних виробів, тому при формуванні необхідно забезпечити рівномірне проходження бетонної суміші у вузькому кільцевому просторі між зовнішньою формою та внутрішнім осердям.

Об'єм бетонної суміші для одного кільця визначається як об'єм порожнистого циліндра:

$$V = \frac{\pi H}{4} (D_z^2 - D_e^2) = \frac{3,14 \cdot 0,90}{4} (1,16^2 - 1,00^2) = 0,245\text{м}^3. \quad (2.2)$$

Маса бетонної суміші для одного виробу становить:

$$m_6 = V \rho_6 = 0,245 \cdot 2400 = 588 \text{ кг.} \quad (2.3)$$

Отже, для виготовлення одного залізобетонного кільця необхідно приблизно 0,245 м³ бетонної суміші, а її маса становить близько 588 кг. Це значення враховується при виборі вантажопідйомності формувального обладнання, пристроїв переміщення форми та параметрів вібраційної машини.

Вибір частоти коливань залежить від жорсткості бетонної суміші, товщини шару, що ущільнюється, та конструкції формувального обладнання. Для тонкостінних виробів з товщиною шару бетонної суміші 0,1...0,3 м рекомендована частота обертання віброзбудника становить 2800...3000 об/хв. З урахуванням конструктивних особливостей приводу приймаємо частоту обертання дебалансного віброзбудника $n=2800$ об/хв.

Частота коливань у герцах визначається за залежністю:

$$f = \frac{n}{60} = \frac{2800}{60} = 46,7 \text{ Гц.} \quad (2.4)$$

Кутова частота коливань дорівнює:

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 46,7 = 293 \text{ с}^{-1}. \quad (2.5)$$

Для ущільнення жорстких бетонних сумішей при невеликій товщині шару амплітуда коливань може прийматися в межах 0,25...0,35 мм. Оскільки бетонна суміш під час формування кільця розташовується між зовнішньою опалубкою і внутрішнім осердям, коливання передаються у замкнений кільцевий об'єм. Для зменшення збурюючої сили та енергоспоживання приймаємо амплітуду:

$$a = 0,25 \text{ мм} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \quad (2.6)$$

Максимальне прискорення коливань робочого органа визначається за формулою:

$$a_{max} = a\omega^2 = 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 293^2 = 21,46 \text{ м/с}^2. \quad (2.7)$$

Для оцінки інтенсивності вібраційної дії визначаємо відношення максимального прискорення до прискорення вільного падіння:

$$K = \frac{a_{max}}{g} = \frac{21,46}{9,81} = 2,19. \quad (2.8)$$

Отримане значення показує, що максимальне прискорення робочого органа приблизно у 2,2 раза перевищує прискорення вільного падіння. Такий режим є достатнім для ущільнення бетонної суміші у кільцевій формі без надмірного динамічного навантаження на конструкцію машини.

Процес ущільнення бетонної суміші умовно поділяється на три стадії. На першій стадії бетонна суміш переходить із пухко насипаного стану в більш щільний. На другій стадії відбувається подальше зближення частинок заповнювача та видалення залишкового повітря. На третій стадії, за потреби, виконується додаткове ущільнення з привантаженням, що дозволяє вирівняти верхню поверхню виробу і зменшити залишкову пористість [6, 21].

Для попереднього технологічного розрахунку приймаємо тривалість першої стадії $t_1=25\text{с}$, другої стадії $t_2=100\text{с}$, ущільнення з привантаженням $t_3=40\text{с}$. Повний час вібраційного впливу на бетонну суміш визначається за формулою:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = 25 + 100 + 40 = 165 \text{ с} = 2,75 \text{ хв}. \quad (2.9)$$

Орієнтовна тривалість віброформування одного залізобетонного кільця становить 2,75 хв. Це значення є попереднім і повинно уточнюватися під час пробного формування залежно від фактичної зручновкладальності бетонної суміші, конструкції форми, роботи віброзбудника та якості поверхні готового виробу.

Теоретична продуктивність формувального поста за часом безпосереднього віброущільнення визначається за формулою:

$$N_z = \frac{60}{t} = \frac{60}{2,75} = 21,8 \text{ виробів/год.} \quad (2.10)$$

На практиці фактична продуктивність буде меншою, оскільки додатково враховуються операції підготовки форми, встановлення арматурної сітки, подачі бетонної суміші, зняття привантаження, розпалублення та переміщення виробу.

Повний технологічний цикл формування одного кільця визначається за залежністю:

$$T_{\text{ц}} = t_n + t_z + t + t_p + t_{\text{тр}} = 4 + 5 + 2,75 + 4 + 3 = 18,75 \text{ хв.} \quad (2.11)$$

де $t_n=4\text{хв}$ – час підготовки форми; $t_z=5\text{хв}$ – час заповнення форми бетонною сумішшю; $t=2,75\text{хв}$ – час вібраційного ущільнення; $t_p=4\text{хв}$ – час розпалублення; $t_{\text{тр}}=3\text{хв}$ – час транспортування виробу або форми.

Тривалість робочої зміни приймаємо 8 годин:

$$T_{\text{зм}} = 8 \cdot 60 = 480 \text{ хв.} \quad (2.12)$$

Змінна продуктивність одного формувального поста визначається за формулою:

$$N_{\text{зм}} = \frac{T_{\text{зм}}}{T_{\text{ц}}} = \frac{480}{18,75} = 25,6 \approx 25 \text{ кілець/зміну.} \quad (2.13)$$

Отже, при роботі одного формувального поста можна виготовити близько 25 залізобетонних кілець за зміну. Для збільшення продуктивності необхідно зменшувати допоміжний час технологічного циклу, використовувати кілька формувальних постів або застосовувати прискорене розпалублення.

Витрата бетонної суміші за зміну визначається за формулою:

$$V_{\text{зм}} = N_{\text{зм}} V = 25 \cdot 0,245 = 6,125 \text{ м}^3. \quad (2.14)$$

Маса бетонної суміші, що витрачається за зміну, становить:

$$M_{зм} = V_{зм} \rho_b = 6,125 \cdot 2400 = 14700 \text{ кг} = 14,7 \text{ т.} \quad (2.15)$$

Таким чином, у результаті вибору технологічного процесу формування залізобетонних кілець прийнято вібраційний спосіб ущільнення бетонної суміші з частотою коливань 46,7 Гц, кутовою частотою 293 с⁻¹ та амплітудою 0,25 мм. Максимальне прискорення робочого органа становить 21,46 м/с², що відповідає коефіцієнту інтенсивності вібраційної дії 2,19. Повний час вібраційного впливу на бетонну суміш прийнято 165 с, або 2,75 хв. Орієнтовна змінна продуктивність одного формувального поста становить 25 кілець за зміну, а потреба у бетонній суміші – близько 6,1 м³ за зміну.

2.2 Розрахунок та конструювання вібраційної установки для формування залізобетонних кілець

Вібраційна установка для формування залізобетонних кілець призначена для ущільнення бетонної суміші у кільцевому просторі між зовнішньою опалубкою та внутрішнім віброосердям. Конструктивно установка складається з нерухомої основи, зовнішньої опалубки, віброосердя, діафрагми, дебалансного віброзбуджувача, пружної муфти, підмоторної рами, електродвигуна та гумометалевих опор. Така схема дозволяє передавати коливання від віброзбуджувача через діафрагму до віброосердя, а далі до бетонної суміші та зовнішньої опалубки [17, 19].

Рухома частина установки встановлюється на пружних гумометалевих опорах, які розміщуються по колу на фундаменті. У центрі віброосердя закріплюється дебалансний віброзбуджувач із вертикальним валом. Дебалансний вал приводиться в обертання від електродвигуна змінного струму через пружну муфту. При обертанні дебаланса виникає відцентрова сила, яка створює просторові коливання робочого органа машини. Під дією цих коливань бетонна суміш ущільнюється, рівномірно заповнює форму і утворює виріб заданої геометрії [12, 32].

Для розрахунку приймаємо залізобетонне кільце типу КС 7.9. Такі кільця мають внутрішній діаметр 700 мм, зовнішній діаметр 840 мм і висоту 890 мм. У сучасній технічній документації застосовується ДСТУ Б В.2.6-106:2010 для бетонних і залізобетонних виробів колодязів водопровідних, каналізаційних і газопровідних мереж.

Площа поперечного перерізу кільцевого виробу визначається як площа кільця:

$$S = \pi(R^2 - r^2) = 3,14(0,42^2 - 0,35^2) = 0,169 \text{ м}^2. \quad (2.16)$$

де R – зовнішній радіус кільця, м; r – внутрішній радіус кільця, м.

Маса бетонної суміші, яка знаходиться у формі, визначається за формулою:

$$m_{\sigma} = \rho Sh = 2800 \cdot 0,169 \cdot 0,89 = 420 \text{ кг}. \quad (2.17)$$

де ρ – густина бетонної суміші, кг/м³; h – висота виробу, м.

Маса форми попередньо приймається залежно від маси бетонної суміші. Для розрахунку приймаємо:

$$m_{\phi} = 0,6m_{\sigma} = 0,6 \cdot 420 = 252 \text{ кг}. \quad (2.18)$$

Маса віброуючих частин робочого органа машини для установки з віброосердям визначається за залежністю:

$$m_{\epsilon} = 0,2(m_{\phi} + m_{\sigma}) = 0,2(252 + 420) = 134 \text{ кг}. \quad (2.19)$$

Загальна маса частин вібраційної машини та частини бетонної суміші, які беруть участь у коливальному русі, визначається за формулою:

$$m_{\gamma} = \alpha m_{\sigma} + m_{\phi} + m_{\epsilon} = 0,4 \cdot 420 + 252 + 134 = 554 \text{ кг}. \quad (2.20)$$

де α – коефіцієнт приєднаної маси бетонної суміші. Для жорстких сумішей і наявності арматури приймаємо $\alpha = 0,4$.

Для створення необхідних коливань визначаємо статичний момент дебаланса. Він дорівнює добутку маси частин, що коливаються, на амплітуду вібропереміщень:

$$m_0 e = m_s a = 554 \cdot 0,00025 = 0,1385 \text{ кг} \cdot \text{м}. \quad (2.21)$$

де m_0 – маса дебаланса, кг; e – ексцентриситет дебаланса, м; a – амплітуда вібропереміщень робочого органа, м.

Максимальна збурююча сила віброзбуджувача визначається за формулою:

$$F_0 = m_0 e \omega^2 = m_s a \omega^2 = 554 \cdot 0,00025 \cdot 293^2 = 11890 \text{ Н}. \quad (2.22)$$

Отже, для забезпечення прийнятого режиму роботи віброзбуджувач повинен створювати збурюючу силу приблизно $1,19 \cdot 10^4$ Н. Таке значення є достатнім для передачі коливань через віброосердя до бетонної суміші в кільцевому просторі.

При конструктивно заданому ексцентриситеті дебаланса $e = 0,105$ м необхідна маса дебалансного елемента становить:

$$m_0 = \frac{m_0 e}{e} = \frac{0,1385}{0,105} = 1,32 \text{ кг}. \quad (2.23)$$

Якщо дебалансний елемент виконується у вигляді ролика зі свинцю густиною $\rho_{св} = 11300$ кг/м³, його об'єм дорівнює:

$$V_p = \frac{m_0}{\rho_{св}} = \frac{1,32}{11300} = 1,17 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3. \quad (2.24)$$

За прийнятої товщини ролика $t = 0,03$ м його діаметр визначається з умови рівності об'єму циліндра:

$$D_p = \sqrt{\frac{4V_p}{\pi t}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,17 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,03}} = 0,071 \text{ м} = 71 \text{ мм}. \quad (2.25)$$

Отримані значення маси і діаметра дебалансного ролика можуть бути використані для подальшого конструювання віброзбуджувача. При цьому необхідно враховувати умови роботи підшипникового вузла, оскільки він працює при високій частоті обертання та під дією значних інерційних навантажень [11, 12].

Пружні опори вібраційної установки виконують дві функції: забезпечують коливальний рух віброосердя і одночасно зменшують передачу вібрації на фундамент. Для машин зарезонансного типу жорсткість опор повинна забезпечувати співвідношення між частотами власних і вимушених коливань. Для попереднього розрахунку приймаємо:

$$\omega_x = \frac{\omega}{3,5} = \frac{293}{3,5} = 83,7 \text{ c}^{-1}, \quad \omega_z = \frac{\omega}{1,5} = \frac{293}{1,5} = 195,3 \text{ c}^{-1}. \quad (2.26)$$

Сумарна жорсткість пружних опор у горизонтальному напрямку визначається за формулою:

$$C_{x\Sigma} = m_3 \omega_x^2 = 554 \cdot 83,7^2 = 3,88 \cdot 10^6 \text{ Н/м}. \quad (2.27)$$

Сумарна жорсткість пружних опор у вертикальному напрямку дорівнює:

$$C_{z\Sigma} = m_3 \omega_z^2 = 554 \cdot 195,3^2 = 2,11 \cdot 10^7 \text{ Н/м}. \quad (2.28)$$

Приймаємо кількість гумометалевих опор $n_o = 6$. Тоді жорсткість однієї опори у горизонтальному напрямку становить:

$$C_{x1} = \frac{C_{x\Sigma}}{n_o} = \frac{3,88 \cdot 10^6}{6} = 6,47 \cdot 10^5 \text{ Н/м}. \quad (2.29)$$

Жорсткість однієї опори у вертикальному напрямку становить:

$$C_{z1} = \frac{C_{z\Sigma}}{n_o} = \frac{2,11 \cdot 10^7}{6} = 3,52 \cdot 10^6 \text{ Н/м}. \quad (2.30)$$

Статичне вертикальне навантаження на одну опору визначається за формулою:

$$P_1 = \frac{m_3 g}{n_o} = \frac{554 \cdot 9,81}{6} = 906 \text{ Н.} \quad (2.31)$$

Площа поперечного перерізу гумового елемента опори з умови допустимого напруження стиску визначається так:

$$A_o = \frac{P_1}{[\sigma]} = \frac{906}{0,6 \cdot 10^6} = 1,51 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \quad (2.32)$$

де $[\sigma] = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ – допустиме напруження гуми на стиск. Остаточні розміри гумометалевої опори доцільно призначати конструктивно з урахуванням стандартних розмірів гумових елементів, умов кріплення та забезпечення стійкості всієї установки.

Для перевірки достатності потужності привода визначимо номінальний крутний момент електродвигуна. Приймаємо електродвигун з короткозамкнутим ротором номінальною потужністю $N = 0,25 \text{ кВт}$ і частотою обертання $n = 2800 \text{ об/хв.}$ Номінальний момент визначається за формулою:

$$M_n = \frac{9550 N}{n} = \frac{9550 \cdot 0,25}{2800} = 0,85 \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (2.33)$$

Оскільки конструкція віброзбудувача передбачає вмикання основного дебаланса після виходу двигуна на режим, навантаження під час пуску зменшується. Це дає можливість використовувати електродвигун порівняно невеликої потужності, однак остаточний вибір двигуна повинен виконуватися з урахуванням пускового моменту, режиму роботи та умов експлуатації.

Мінімальна товщина стінки зовнішньої форми і віброосердя визначається з урахуванням динамічного тиску бетонної суміші. Динамічний тиск на стінки форми становить:

$$P = \rho h a \omega^2 = 2400 \cdot 0,89 \cdot 0,00025 \cdot 293^2 = 45843 \text{ Па.} \quad (2.34)$$

Допустиме нормальне напруження для сталі визначається за формулою:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n} = \frac{235 \cdot 10^6}{5,4} = 43,5 \cdot 10^6 \text{ Па.} \quad (2.35)$$

де $\sigma_T = 235$ МПа – межа текучості сталі; $n = 5,4$ – коефіцієнт запасу міцності.

Мінімальна товщина стінки оболонки визначається за залежністю:

$$t_{min} = \frac{PR}{[\sigma]} = \frac{45843 \cdot 0,42}{43,5 \cdot 10^6} = 0,00044 \text{ м} = 0,44 \text{ мм.} \quad (2.36)$$

Отримане розрахункове значення є малим, тому при остаточному виборі товщини необхідно враховувати абразивне зношування поверхонь, які контактують із бетонною сумішшю, жорсткість форми, зручність зварювання та довговічність конструкції. З урахуванням цих вимог приймаємо товщину стінки форми та віброосердя:

$$t = 8 \text{ мм.} \quad (2.37)$$

Для якісного ущільнення верхнього шару бетонної суміші у конструкції установки передбачається привантаж. Його масу визначаємо за питомим тиском $q = 80$ г/см². Площа торцевої поверхні привантажу становить:

$$S_{np} = \pi(R^2 - r^2) = 3,14(42^2 - 35^2) = 1690 \text{ см}^2. \quad (2.38)$$

Маса привантажу визначається за формулою:

$$m_{np} = qS_{np} = 80 \cdot 1690 = 135200 \text{ г} = 135,2 \text{ кг.} \quad (2.39)$$

Остаточно приймаємо масу привантажу:

$$m_{np} = 135 \text{ кг.} \quad (2.40)$$

Висота залізобетонного привантажу визначається за формулою:

$$h_{np} = \frac{m_{np}}{S\rho} = \frac{135}{0,169 \cdot 2400} = 0,33 \text{ м.} \quad (2.41)$$

Під час транспортування свіжовідформованого кільця необхідно забезпечити умову його невинищення з опалубки. Для цього зусилля зриву повинно бути більшим за вагу рухомих частин системи:

$$F_{зр} = S_{зр} f = h\pi df = 0,89 \cdot 3,14 \cdot 0,84 \cdot 2900 = 6808 \text{ Н} > mg = 672 \cdot 9,81 = 6592 \text{ Н.} \quad (2.42)$$

Отже, умова невинищення кільця під час транспортування виконується.

При розпалубленні необхідно забезпечити витягування віброосердя без підйому кільця і зовнішньої опалубки. Зусилля зриву по внутрішньому діаметру виробу становить:

$$F_{зр.в} = h\pi d_e f = 0,89 \cdot 3,14 \cdot 0,70 \cdot 2900 = 5673 \text{ Н.} \quad (2.43)$$

Маса зовнішньої опалубки визначається як маса тонкостінної циліндричної оболонки:

$$M_o = \rho_{cm} h\pi (R^2 - r^2) = 7850 \cdot 0,89 \cdot 3,14 (0,42^2 - 0,41^2) = 146 \text{ кг.} \quad (2.44)$$

Тоді сила тяжіння нерухомих частин системи дорівнює:

$$Mg = (M_k + M_o) g = (420 + 146) \cdot 9,81 = 5552 \text{ Н.} \quad (2.45)$$

Оскільки $F_{зр.в} = 5673 \text{ Н}$ є близьким до значення $Mg = 5552 \text{ Н}$, під час конструювання установки необхідно забезпечити надійне відокремлення віброосердя від свіжовідформованого бетону. Для цього доцільно застосовувати якісне мастило робочих поверхонь форми, гладку поверхню осердя та контроль часу розпалублення.

За результатами виконаних розрахунків для вібраційної установки приймаємо такі основні параметри: маса бетонної суміші одного кільця – 420 кг; загальна маса коливальних частин – 554 кг; амплітуда коливань – 0,25 мм; кутова частота – 293 с⁻¹; збурююча сила віброзбуджувача – близько 11,9 кН; маса привантажу – 135 кг; товщина стінки форми та віброосердя – 8 мм.

Прийняті параметри забезпечують можливість ефективного ущільнення бетонної суміші під час формування залізобетонних кілець типу КС 7.9.

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування вибору заготовки для виготовлення вала вібробуджувача

Одержання заготовки є початковою і досить відповідальною стадією технологічного процесу. Саме на цьому етапі закладаються витрати металу, енергії та часу, а також створюються передумови для забезпечення потрібної точності й якості готової деталі.

У машинобудівному виробництві застосовують різні способи отримання заготовок: прокат, поковки, штамповки, литі заготовки та комбіновані варіанти. Така різноманітність дає можливість підібрати найбільш раціональний спосіб, однак потребує врахування форми деталі, її розмірів, маси, матеріалу, точності, шорсткості поверхні та обсягу випуску.

Раціональний вибір заготовки необхідно виконувати з урахуванням технічних і економічних показників. Перевагу слід надавати такому способу отримання заготовки, який забезпечує потрібну якість деталі при мінімальних витратах матеріалу, енергії та трудових ресурсів.

Для деталі «вал вібробуджувача» приймаємо сталь 40Х відповідно до ДСТУ 7806:2015. Оскільки виготовлення передбачається в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва, заготовку доцільно прийняти з круглого сортового прокату діаметром Ø85 мм без застосування кування чи штампування.

3.2 Розроблення технологічного маршруту виготовлення вала вібробуджувача та вибір схем базування

Технологічний маршрут являє собою послідовність основних операцій, за допомогою яких заготовка перетворюється у готову деталь.

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Лім.	Лист	Листів	
Розроб.	Говорун	602	20.05			Н		41	
Перев.	Рогозін		17.06						
Керівник	Скляренко		17.06						
Н. контр.	Васильєв		12.06						
Затв.	Орисяк		18.06						

На цьому етапі встановлюють загальну схему обробки, вибирають обладнання, визначають базові поверхні та порядок переходів. За потреби маршрут може уточнюватися залежно від типу виробництва, наявного обладнання і вимог креслення.

Під час формування маршруту обробки доцільно дотримуватися таких положень:

- поверхні з найвищими вимогами до точності та шорсткості бажано обробляти на завершальних операціях;
- наступні переходи необхідно планувати від попередньо підготовлених технологічних баз;
- кількість переустановок заготовки та переміщень між робочими місцями слід по можливості зменшувати;
- контроль геометричних параметрів необхідно виконувати після основних операцій, а також перед термічною обробкою, якщо вона передбачена технологією.

За функціональним призначенням вал віброзбуджувача належить до відповідальних деталей типу «вал». Основну увагу при його виготовленні потрібно приділити поверхням посадки під підшипники, муфту та інші деталі, які визначають точність роботи вузла.

Для складання маршрутно-операційної карти необхідно визначити послідовність технологічних операцій і вибрати поверхні, які будуть використовуватися як базові.

План операцій приймаємо на основі креслення деталі та типового технологічного процесу виготовлення валів.

Для виготовлення вала віброзбуджувача передбачається така послідовність операцій:

- відрізати заготовку з круглого прокату діаметром Ø85 мм заданої довжини;
- виконати фрезерування торців вала 1 і 2 у потрібний розмір;

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

42

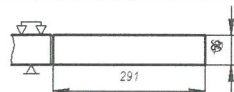
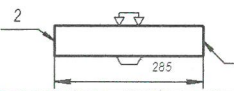
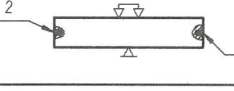
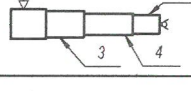
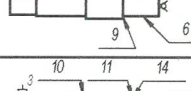
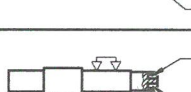
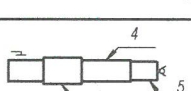
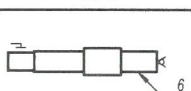
- виконати центрування торців вала 1 і 2;
- виконати чорнове точіння поверхонь 3, 4 і 5;
- виконати чорнове точіння поверхні 6;
- виконати чистове точіння поверхні 6, обробити фаски 7 і 8 та галтельний перехід 9;
- виконати чистове точіння поверхонь 3, 4 і 5, обробити фаски 10, 11, 12 та галтельні переходи 13 і 14;
- профрезерувати шпонкові пази 15 і 16;
- просвердлити отвори 17 і 18 на поверхні 1;
- нарізати різьбу в отворах 17 і 18;
- виконати шліфування поверхонь 3, 4 і 5;
- виконати шліфування поверхні 6;
- провести слюсарну доробку: притупити гострі кромки та видалити задирки;
- виконати остаточний контроль геометричних розмірів і якості поверхонь.

Щоб забезпечити потрібну точність обробки, важливо правильно вибрати технологічні бази на кожній операції. Для деталей типу «вал» найчастіше базування виконують по центрових отворах, зовнішніх циліндричних поверхнях або їх поєднанні.

Схему базування заготовки під час виготовлення вала вібробуджувача приймаємо відповідно до послідовності операцій, наведеної у таблиці 3.1.

На основі прийнятого плану операцій і вибраних базових поверхонь складаємо маршрут виготовлення вала вібробуджувача у вигляді маршрутної операційної карти.

Таблиця 3.1 – Базування заготовки при виготовленні вала

Назва операції	Зміст операції	Базові поверхні	Схема базування
Відрізна	Відрізати заготовку довжиною 291 мм	Зовнішня поверхня	
Фрезерна	Фрезерувати торці вала 1 і 2 в розмір 285 мм	Зовнішня поверхня	
Центрувальна	Центрувати торці вала 1 і 2	Зовнішня поверхня	
Токарна	Точити начорно поверхні 3, 4 і 5	Зовнішня поверхня, центровий отвір	
Токарна	Точити начорно поверхню 6	Зовнішня поверхня, центровий отвір	
Токарна	Точити начисто поверхню 6, точити фаски 7 і 8, точити галтельний перехід 9	Зовнішня поверхня, центровий отвір	
Токарна	Точити начисто поверхні 3, 4 і 5, точити фаски 10, 11 і 12, точити галтельні переходи 13 і 14	Зовнішня поверхня, центровий отвір	
Фрезерна	Фрезерувати шпонкові пази 15 і 16	Зовнішня поверхня	
Свердлильна	Свердлити отвори 17 і 18 на поверхні 1	Зовнішня поверхня	
Різьбонарізна	Нарізати різьбу в отворах 17 і 18	Зовнішня поверхня	
Шліфувальна	Шліфувати поверхні 3, 4 і 5	Зовнішня поверхня, центровий отвір	
Шліфувальна	Шліфувати поверхню 6	Зовнішня поверхня, центровий отвір	
Ожарна	Притупити гострі кромки і зачистити загусениці		
Контрольна	Контролювати геометричні розміри деталі		

3.3 Визначення припусків на механічну обробку поверхонь

Припуском називають шар матеріалу, який знімається з поверхні заготовки під час механічної обробки для отримання заданих розмірів, точності та шорсткості.

Для забезпечення необхідної точності поверхні вала обробляються послідовно: чорновим точінням, чистовим точінням і шліфуванням. Сумарне значення припусків на ці переходи утворює загальний припуск на обробку відповідної поверхні.

Операційні припуски на чорнову, чистову обробку та шліфування приймаємо за дослідно-статистичним методом із використанням довідкових даних. Значення припусків залежать від діаметра поверхні, довжини обробки та виду заготовки. Результати зведено до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Операційні припуски на механічну обробку вала

Припуск	Поверхня			
	3	4	5	6
Діаметр готової поверхні вала, мм	50	40	35	40
Припуск на шліфування, мм	0,5	0,5	0,5	0,5
Діаметр поверхні після чистової проточки, мм	50,5	40,5	35,5	40,5
Припуск на чистову проточку, мм	2,5	2,5	2,5	2,5
Діаметр поверхні після чорнкової проточки, мм	53	43	38	43
Припуск на чорнову проточку, мм	3	13	18	13
Загальний припуск, мм	6	16	21	16
Діаметр заготовки, мм	56	56	56	56

З урахуванням припусків на обробку циліндричних поверхонь і фрезерування торців остаточно приймаємо заготовку з круглого прокату Ø56 мм потрібної довжини.

3.4 Вибір обладнання, пристроїв, різального та вимірювального інструменту

Для одиничного виробництва найбільш раціональним є застосування універсальних верстатів, стандартних пристроїв та серійного інструменту. При виборі обладнання враховують габарити деталі, вид обробки, необхідну точність і технічні можливості верстата.

Відповідно до розробленого технологічного маршруту для виготовлення вала приймаємо такі верстати, пристрої та інструменти:

- відрізання заготовки виконуємо на фрезерно-відрізнному верстаті 8Б66; заготовка закріплюється у спеціальному затискачі, а різання здійснюється дисковою фрезою відповідного типорозміру.

- фрезерування торців виконуємо на горизонтально-фрезерному верстаті 6М82; заготовка встановлюється у верстатних лещатах, а обробка торців здійснюється дисковою фрезою;

- свердління отворів і нарізання різьби виконуємо на вертикально-свердлильному верстаті 2Н18 із застосуванням спеціального затискача, центрового свердла за ДСТУ ISO 866:2018, свердел та мітчиків відповідного типорозміру;

- чорнове і чистове точіння виконуємо на токарно-гвинторізному верстаті 1К62; для встановлення заготовки використовуємо трикулачковий патрон та обертовий центр, а як різальний інструмент – токарні різці з твердосплавними пластинами;

- шпонкові пази обробляємо на вертикально-фрезерному верстаті 6Р12 із закріпленням заготовки у верстатних лещатах і застосуванням пальцевих фрез;

- шліфування циліндричних поверхонь виконуємо на круглошліфувальному верстаті 3Б161 із використанням повідкового патрона, обертового центра та шліфувального круга відповідно до ДСТУ ISO 525:2018.

Контроль розмірів і якості поверхонь виконуємо лінійкою за ДСТУ 427:2009, штангенциркулем за ДСТУ EN ISO 13385-1:2018, мікрометром, центрувальними калібрами, зразками шорсткості та мірною плитою.

Прийняте обладнання, оснащення та інструмент вносимо до маршрутно-операційної карти технологічного процесу.

3.5 Визначення режимів різання

Режими різання встановлюють для кожної операції механічної обробки. Вони визначають продуктивність процесу, навантаження на верстат, стійкість інструменту та якість обробленої поверхні. До основних параметрів режиму різання належать:

- глибина різання, t , мм;
- подача різання S , мм/об.;
- швидкість різання V , м/хв;
- частота обертання шпинделя верстата n , хв^{-1} .

Значення режимів різання приймають за довідковими таблицями або розраховують за емпіричними залежностями. Після цього їх необхідно узгодити з паспортними характеристиками вибраного верстата.

Як приклад виконаємо визначення режиму різання для чорнового точіння поверхні 3.

Обробку цієї поверхні передбачається виконувати на токарно-гвинторізному верстаті 1К62. Основні паспортні дані верстата приймаємо такими:

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		47

- частота обертання шпинделя верстата n , хв^{-1} , – 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500;
- подача різання S , мм/об. , – 0,47, 0,52, 0,57, 0,61, 0,70, 0,78, 0,87;
- найбільша допустима сила механізму поздовжньої подачі P_x , Н , – 3600;
- потужність електродвигуна N , кВт , – 10;
- потужність на шпинделі $N_{\text{шп}}$, кВт , – 7,6 – 8,5.

Режим різання для обробки поверхні 3 визначаємо за довідковими рекомендаціями для точіння сталевих заготовок.

Припуск на чорнову обробку поверхні 3 становить 3 мм, тому глибина різання приймається такою:

Рекомендована подача для чорнового точіння сталеві заготовки з урахуванням діаметра, державки різця та глибини різання лежить у допустимому інтервалі. Найближче стандартне значення для верстата 1K62 приймаємо за паспортом верстата.

За прийнятої глибини різання та подачі швидкість різання для обробки сталі приймаємо за довідковими даними.

Перевіримо допустимість режиму за силою подачі. Для заданих умов точіння сила подачі не перевищує допустимого значення для механізму поздовжньої подачі верстата 1K62, тому обраний режим можна вважати прийнятним.

Необхідну частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \quad (3.1)$$

де v – прийнята швидкість різання, м/хв ; D – діаметр поверхні, що обробляється, мм .

D – діаметр заготовки, мм ; згідно таблиці 3.2, $D=56\text{мм}$

Розрахована частота обертання шпинделя для чорнового точіння поверхні 3 становить:

$$n = \frac{1000 \cdot 58}{3,14 \cdot 56} = 329,8. \quad (3.2)$$

Отримане значення узгоджуємо зі стандартним рядом частот верстата. Для подальшого розрахунку приймаємо найближче паспортне значення частоти обертання шпинделя.

Після прийняття стандартної частоти обертання уточнюємо фактичну швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 56 \cdot 315}{1000} = 55. \quad (3.3)$$

Виконаємо перевірку прийнятого режиму за потужністю. Для вибраних значень глибини різання, подачі та швидкості різання потрібна потужність на шпинделі не перевищує паспортну потужність верстата.

Отже, прийнятий режим різання може бути реалізований на верстаті 1К62 без перевантаження приводу.

Для чорнового точіння поверхні 3 приймаємо такі параметри режиму різання:

- глибина різання t , мм, – 1,5;
- подача різання S , мм/об., – 0,7;
- швидкість різання V , м/хв, – 55;
- частота обертання шпинделя верстата n , хв^{-1} , – 315.

Для інших поверхонь режими різання визначаються за тією самою методикою з урахуванням їх розмірів, припусків та вимог до якості поверхні.

3.6 Нормування часу на виготовлення вала вібробуджувача

Норма часу на виконання технологічної операції визначається за залежністю:

$$T = T_{\text{оп}} + T_{\text{доп}}, \quad (3.4)$$

де $T_{\text{оп}}$ – операційний час, хв. Його визначають за формулою:

$$T_{\text{оп}} = T_o + (30 - 50)\% \cdot T_o, \quad (3.5)$$

де $T_{\text{осн}}$ – основний машинний час виконання переходу, хв. Він може бути визначений за емпіричними залежностями або за розрахунковою формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S}, \quad (3.6)$$

де L – довжина оброблюваної поверхні, мм;

i – кількість проходів інструменту;

n – частота обертання шпинделя, об/хв;

S – подача інструменту, мм/об;

$T_{\text{доп}}$ – допоміжний час на обслуговування робочого місця, встановлення та зняття деталі, а також фізичні потреби працівника. Його визначаємо за формулою:

$$T_{\text{доп}} = (5 - 8)\% \cdot T_{\text{оп}}. \quad (3.7)$$

Розрахунок основного часу за формулою (3.6) детально виконаємо для чорнового точіння поверхні 3. Для решти операцій час визначаємо аналогічно або за емпіричними залежностями, прийнятими для відповідних видів обробки.

Основний час на відрізання заготовки визначаємо за такою залежністю:

$$T_{o_{\text{відр}}} = 0,19 \cdot 10^{-3} \cdot D^2, \quad (3.8)$$

де D – діаметр заготовки, мм.

Після підстановки діаметра заготовки основний час відрізання становить:

$$T_{o_{\text{відр}}} = 0,19 \cdot 10^{-3} \cdot 56^2 = 0,596. \quad (3.9)$$

Операційний час для відрізної операції визначаємо за формулою (3.5):

$$T_{\text{оп}_{\text{відр}}} = 0,596 + 0,4 \cdot 0,596 = 0,834. \quad (3.10)$$

Допоміжний час визначаємо за формулою (3.7):

$$T_{\text{доп}_{\text{відр}}} = 0,065 \cdot 0,834 = 0,054. \quad (3.11)$$

Повна норма часу на відрізання заготовки за формулою (3.4) становить:

$$T_{\text{відр}} = 0,834 + 0,054 = 0,888 \quad (3.12)$$

Час на інші технологічні операції визначаємо в такій самій послідовності.

Час на фрезерування торців вала 1 і 2 визначаємо за наведеними нижче залежностями.

$$T_{\text{офрез1}} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot D = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 56 = 0,224, \quad (3.13)$$

$$T_{\text{опфрез}} = 0,224 + 0,4 \cdot 0,224 = 0,314, \quad (3.14)$$

$$T_{\text{допфрез}} = 0,065 \cdot 0,314 = 0,02, \quad (3.15)$$

$$T_{\text{фрез}} = 0,314 + 0,02 = 0,334 \quad (3.16)$$

$$T_{\text{фрез2}} = T_{\text{фрез}} = 0,334 \quad (3.17)$$

$$T_{\text{фрез}} = 0,334 + 0,334 = 0,668 \quad (3.18)$$

Час на свердління центрових отворів у торцях вала 1 і 2 визначаємо за формулами:

$$T_{\text{оцентр1}} = 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot D_{\text{отв}} \cdot L, \quad (3.19)$$

де d – діаметр центрального отвору, мм;

L – довжина оброблюваної ділянки, мм.

$$T_{\text{оцентр1}} = 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 8,9 = 0,019, \quad (3.20)$$

$$T_{\text{опцентр}} = 0,019 + 0,4 \cdot 0,019 = 0,027, \quad (3.21)$$

$$T_{\text{допцентр}} = 0,065 \cdot 0,027 = 0,002, \quad (3.22)$$

$$T_{\text{центр}} = 0,027 + 0,002 = 0,029 \quad (3.23)$$

$$T_{\text{центр2}} = T_{\text{центр}} = 0,029 \quad (3.24)$$

$$T_{\text{центр}} = 0,029 + 0,029 = 0,058 \quad (3.25)$$

Час чорнового точіння поверхні 3 визначаємо за формулами (3.4)–(3.7):

$$T_{\text{очорн3}} = \frac{L \cdot i}{n \cdot S} = \frac{285 \cdot 1}{315 \cdot 0,7} = 1,293, \quad (3.26)$$

$$T_{\text{опчорн3}} = 1,293 + 0,4 \cdot 1,293 = 1,81 \quad (3.27)$$

$$T_{\text{допчорн3}} = 0,065 \cdot 1,81 = 0,118 \quad (3.28)$$

$$T_{\text{чорн3}} = 1,81 + 0,118 = 1,928 \quad (3.29)$$

Для чорнового точіння поверхні 4 враховуємо, що обробка виконується за чотири проходи. Загальний основний час визначається як сума часу окремих проходів.

$$T_{\text{очорн4}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot D_{\text{пов}} \cdot L, \quad (3.30)$$

де D – діаметр поверхні на відповідному проході, мм;

L – довжина поверхні, що обробляється, мм.

Основний час першого чорнового проходу поверхні 4 дорівнює:

$$T_{\text{очорн4}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 53 \cdot 145 = 1,306. \quad (3.31)$$

Основний час другого чорнового проходу поверхні 4 дорівнює:

$$T_{\text{очорн4}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 145 = 1,233. \quad (3.32)$$

Основний час третього чорнового проходу поверхні 4 дорівнює:

$$T_{\text{очорн4}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 47 \cdot 145 = 1,159. \quad (3.33)$$

Основний час четвертого чорнового проходу поверхні 4 дорівнює:

$$T_{\text{очорн4}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 44 \cdot 145 = 1,085. \quad (3.34)$$

Сумарний основний час чорнового точіння поверхні 4 визначаємо додаванням часу всіх проходів:

$$T_{\text{очорн4}} = 1,306 + 1,233 + 1,159 + 1,085 = 4,783. \quad (3.35)$$

Операційний час для чорнового точіння поверхні 4 становить:

$$T_{\text{опчорн4}} = 4,783 + 0,4 \cdot 4,783 = 6,696. \quad (3.36)$$

Допоміжний час для цієї операції становить:

$$T_{\text{допчорн4}} = 0,065 \cdot 6,696 = 0,435. \quad (3.37)$$

Повний час чорнового точіння поверхні 4 визначаємо як:

$$T_{\text{чорн}} = 6,696 + 0,435 = 7,131. \quad (3.38)$$

Чорнове точіння поверхні 5 виконується за два проходи, тому загальний час також визначаємо як суму часу окремих проходів.

Основний час першого чорнового проходу поверхні 5 становить:

$$T_{\text{очорн5}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 43 \cdot 50 = 0,366. \quad (3.39)$$

Основний час другого чорнового проходу поверхні 5 становить:

$$T_{\text{очорн5}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 50 = 0,34. \quad (3.40)$$

Сумарний основний час чорнвої обробки поверхні 5 визначаємо за залежністю:

$$T_{\text{очорнб}} = 0,366 + 0,34 = 0,706. \quad (3.41)$$

Операційний час для чорнового точіння поверхні 5 становить:

$$T_{\text{опчорнб}} = 0,706 + 0,4 \cdot 0,706 = 0,988. \quad (3.42)$$

Допоміжний час для чорнового точіння поверхні 5 становить:

$$T_{\text{допчорнб}} = 0,065 \cdot 0,988 = 0,064. \quad (3.43)$$

Повний час чорнового точіння поверхні 5 становить:

$$T_{\text{чорнб}} = 0,988 + 0,064 = 1,052 \quad (3.44)$$

Поверхня 6 обробляється чорновим точінням за чотири проходи. Тривалість операції визначаємо сумуванням часу кожного проходу.

Основний час першого чорнового проходу поверхні 6 становить:

$$T_{\text{очорнб}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 53 \cdot 68 = 0,613. \quad (3.45)$$

Основний час другого чорнового проходу поверхні 6 становить:

$$T_{\text{очорнб}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 68 = 0,578. \quad (3.46)$$

Основний час третього чорнового проходу поверхні 6 становить:

$$T_{\text{очорнб}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 47 \cdot 68 = 0,543. \quad (3.47)$$

Основний час четвертого чорнового проходу поверхні 6 становить:

$$T_{\text{очорнб}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 44 \cdot 68 = 0,509. \quad (3.48)$$

Сумарний основний час чорнового точіння поверхні 6 дорівнює:

$$T_{\text{очорнб}} = 0,613 + 0,578 + 0,543 + 0,509 = 2,243. \quad (3.49)$$

Операційний час для чорнового точіння поверхні 6 становить:

$$T_{\text{опчорнб}} = 2,243 + 0,4 \cdot 2,243 = 3,14. \quad (3.50)$$

Допоміжний час для чорнового точіння поверхні 6 становить:

$$T_{\text{допчорнб}} = 0,065 \cdot 3,14 = 0,204. \quad (3.51)$$

Повна тривалість чорнкової обробки поверхні 6 становить:

$$T_{\text{чорнб}} = 3,14 + 0,204 = 3,344 \quad (3.52)$$

Чистове точіння поверхні 6 виконується одним проходом. Основний час визначаємо за формулою (3.30).

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$T_{\text{очистб}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 43 \cdot 68 = 0,497. \quad (3.53)$$

Операційний час для чистового точіння поверхні 6 становить:

$$T_{\text{опчистб}} = 0,497 + 0,4 \cdot 0,497 = 0,696 \quad (3.54)$$

Допоміжний час для цієї операції становить:

$$T_{\text{допчистб}} = 0,065 \cdot 0,696 = 0,045 \quad (3.55)$$

Повний час чистового точіння поверхні 6 становить:

$$T_{\text{чистб}} = 0,696 + 0,045 = 0,741. \quad (3.56)$$

Для чистового точіння поверхні 3 основний час також визначаємо за формулою (3.30).

Після підстановки отримуємо:

$$T_{\text{очистз}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 53 \cdot 72 = 0,649. \quad (3.57)$$

Операційний час для чистового точіння поверхні 3 становить:

$$T_{\text{опчистз}} = 0,649 + 0,4 \cdot 0,649 = 0,909 \quad (3.58)$$

Допоміжний час становить:

$$T_{\text{доп}_{\text{чист3}}} = 0,065 \cdot 0,909 = 0,059 \quad (3.59)$$

Повний час чистового точіння поверхні 3 дорівнює:

$$T_{\text{чист3}} = 0,909 + 0,059 = 0,968. \quad (3.60)$$

Чистове точіння поверхні 4 виконується одним проходом. Основний час визначаємо за формулою (3.30).

Після підстановки числових даних отримуємо:

$$T_{\text{о}_{\text{чист4}}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 43 \cdot 95 = 0,694. \quad (3.61)$$

Операційний час для чистового точіння поверхні 4 становить:

$$T_{\text{оп}_{\text{чист4}}} = 0,694 + 0,4 \cdot 0,694 = 0,972 \quad (3.62)$$

Допоміжний час становить:

$$T_{\text{доп}_{\text{чист4}}} = 0,065 \cdot 0,972 = 0,063 \quad (3.63)$$

Повний час чистового точіння поверхні 4 становить:

$$T_{\text{чист4}} = 0,972 + 0,063 = 1,035. \quad (3.64)$$

Чистове точіння поверхні 5 виконується аналогічно попереднім поверхням.

Основний час цієї операції становить:

$$T_{\text{о}_{\text{чист5}}} = 0,17 \cdot 10^{-3} \cdot 38 \cdot 50 = 0,323. \quad (3.65)$$

Операційний час становить:

$$T_{\text{оп}_{\text{чист5}}} = 0,323 + 0,4 \cdot 0,323 = 0,452 \quad (3.66)$$

Допоміжний час становить:

$$T_{\text{доп}_{\text{чист5}}} = 0,065 \cdot 0,452 = 0,029 \quad (3.67)$$

Повний час чистового точіння поверхні 5 дорівнює:

$$T_{\text{чист5}} = 0,452 + 0,029 = 0,481. \quad (3.68)$$

Час фрезерування шпонкових пазів 15 і 16 визначаємо за формулами (3.4), (3.5) і (3.7). Основний час фрезерування визначається за формулою:

$$T_{\text{о}_{\text{фрез15-16}}} = 7 \cdot 10^{-3} \cdot L, \quad (3.69)$$

де L – довжина шпонкового паза, мм.

Основний час фрезерування шпонкового паза 15 дорівнює:

$$T_{\text{фрез15}} = 7 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0,42. \quad (3.70)$$

Основний час фрезерування шпонкового паза 16 дорівнює:

$$T_{\text{фрез16}} = 7 \cdot 10^{-3} \cdot 40 = 0,28. \quad (3.71)$$

Сумарний основний час фрезерування двох шпонкових пазів становить:

$$T_{\text{фрез 5-16}} = 0,42 + 0,28 = 0,7. \quad (3.72)$$

Операційний час фрезерування шпонкових пазів становить:

$$T_{\text{опфрез 5-16}} = 0,7 + 0,4 \cdot 0,7 = 0,98. \quad (3.73)$$

Допоміжний час для фрезерної операції становить:

$$T_{\text{допфрез 5-16}} = 0,065 \cdot 0,98 = 0,064. \quad (3.74)$$

Повний час фрезерування шпонкових пазів 15 і 16 становить:

$$T_{\text{фрез 5-16}} = 0,98 + 0,064 = 1,044 \quad (3.75)$$

Час свердління отворів 17 і 18 визначається за методикою, наведеною у формулах (3.19)–(3.25).

$$T_{\text{свердл17}} = 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 18 = 0,066, \quad (3.76)$$

$$T_{\text{опсвердл 7}} = 0,066 + 0,4 \cdot 0,066 = 0,092, \quad (3.77)$$

$$T_{\text{допсвердл 7}} = 0,065 \cdot 0,092 = 0,006, \quad (3.78)$$

$$T_{\text{свердл 7}} = 0,092 + 0,006 = 0,098 \quad (3.79)$$

$$T_{\text{свердл 8}} = T_{\text{свердл 7}} = 0,098 \quad (3.80)$$

$$T_{\text{свердл}} = 0,098 + 0,098 = 0,196 \quad (3.81)$$

Час нарізання різьби в отворах 17 і 18 визначаємо за залежністю:

$$T_{\text{орізьб17-18}} = 0,04 \cdot 10^{-3} \cdot D_{\text{отв}} \cdot L, \quad (3.82)$$

де d – діаметр отвору, мм;

L – довжина нарізуваної ділянки, мм.

$$T_{\text{орізб}17} = 0,04 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 18 = 0,005, \quad (3.83)$$

$$T_{\text{опрізб}17} = 0,005 + 0,4 \cdot 0,005 = 0,007, \quad (3.84)$$

$$T_{\text{допрізб}17} = 0,065 \cdot 0,007 = 0,001, \quad (3.85)$$

$$T_{\text{різб}17} = 0,007 + 0,001 = 0,008 \quad (3.86)$$

$$T_{\text{різб}8} = T_{\text{різб}17} = 0,008 \quad (3.87)$$

$$T_{\text{різб}6} = 0,008 + 0,008 = 0,016 \quad (3.88)$$

Для шліфування поверхні 3 основний час визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ошліф}3} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot D_{\text{пов}} \cdot L = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 50,5 \cdot 72 = 0,364. \quad (3.89)$$

Операційний час шліфування поверхні 3 становить:

$$T_{\text{опшліф}3} = 0,364 + 0,4 \cdot 0,364 = 0,51. \quad (3.90)$$

Допоміжний час становить:

$$T_{\text{допшліф}3} = 0,065 \cdot 0,51 = 0,033. \quad (3.91)$$

Повний час шліфування поверхні 3 дорівнює:

$$T_{\text{шліф}3} = 0,51 + 0,033 = 0,543. \quad (3.92)$$

Шліфування поверхні 4 розраховуємо за тією самою методикою.

$$T_{\text{ошліф}4} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 40,5 \cdot 95 = 0,385. \quad (3.93)$$

Операційний час для шліфування поверхні 4 становить:

$$T_{\text{опшліф}4} = 0,385 + 0,4 \cdot 0,385 = 0,539. \quad (3.94)$$

Допоміжний час становить:

$$T_{\text{допшліф}4} = 0,065 \cdot 0,539 = 0,035. \quad (3.95)$$

Повний час шліфування поверхні 4 дорівнює:

$$T_{\text{шліф}4} = 0,539 + 0,035 = 0,574 \quad (3.96)$$

Час шліфування поверхні 5 визначаємо аналогічно.

$$T_{\text{ошліф}5} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 35,5 \cdot 50 = 0,178. \quad (3.97)$$

Операційний час для шліфування поверхні 5 становить:

$$T_{\text{опшліф5}} = 0,178 + 0,4 \cdot 0,178 = 0,249. \quad (3.98)$$

Допоміжний час становить:

$$T_{\text{допшліф5}} = 0,065 \cdot 0,249 = 0,016. \quad (3.99)$$

Повний час шліфування поверхні 5 дорівнює:

$$T_{\text{шліф5}} = 0,249 + 0,016 = 0,265 \quad (3.100)$$

Шліфування поверхні 6 також виконується за наведеною методикою.

$$T_{\text{ошліф6}} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 40,5 \cdot 68 = 0,275. \quad (3.101)$$

Операційний час шліфування поверхні 6 становить:

$$T_{\text{опшліф6}} = 0,275 + 0,4 \cdot 0,275 = 0,385. \quad (3.102)$$

Допоміжний час становить:

$$T_{\text{допшліф6}} = 0,065 \cdot 0,385 = 0,025. \quad (3.103)$$

Повний час шліфування поверхні 6 дорівнює:

$$T_{\text{шліф6}} = 0,385 + 0,025 = 0,41. \quad (3.104)$$

Нормування часу є важливою частиною технологічного проектування, оскільки дає змогу оцінити трудомісткість виготовлення деталі та завантаженість обладнання.

Після визначення тривалості всіх окремих операцій можна розрахувати загальний час виготовлення вала вібророзбуджувача.

Загальний час виготовлення деталі дорівнює сумі тривалостей усіх технологічних операцій:

Отже, сумарний час T визначається за формулою:

$$\begin{aligned} T = & T_{\text{відр}} + T_{\text{фрез}} + T_{\text{центр}} + T_{\text{чорн3}} + T_{\text{чорн4}} + \\ & + T_{\text{чорн5}} + T_{\text{чорн6}} + T_{\text{чист3}} + T_{\text{чист4}} + T_{\text{чист5}} + \\ & + T_{\text{фрез5-16}} + T_{\text{свердл}} + T_{\text{різьб}} + T_{\text{шліф3}} + T_{\text{шліф4}} + T_{\text{шліф5}} + T_{\text{шліф6}} = \end{aligned} \quad (3.105)$$

$$\begin{aligned} = & 0,88 + 0,668 + 0,058 + 1,928 + 7,131 + 1,052 + \\ & + 3,344 + 0,741 + 0,968 + 1,035 + 0,481 + 1,044 + \end{aligned}$$

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

58

$$+0,196+0,016+0,543+0,574+0,265+0,41=21,334.$$

За результатами розрахунку тривалість виготовлення вала вібробуджувача становить близько 22 хвилин, що є прийнятним для умов одиничного та дрібносерійного виробництва.

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		59

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Під час проектування, виготовлення та експлуатації вібраційної машини для ущільнення бетонної суміші при формуванні залізобетонних кілець необхідно забезпечити дотримання вимог охорони праці, виробничої санітарії, електробезпеки та пожежної безпеки. Обладнання даного типу працює з динамічними навантаженнями, рухомими частинами, електроприводом, металевими формами та бетонною сумішшю, тому при його використанні можуть виникати небезпечні й шкідливі виробничі фактори.

До основних небезпечних факторів належать: дія рухомих і обертових частин віброзбуджувача, муфти та електродвигуна; підвищений рівень вібрації; шум під час роботи установки; можливість травмування при встановленні та зніманні форми; падіння або зміщення залізобетонного кільця під час транспортування; ураження електричним струмом; потрапляння частин одягу або інструменту в рухомі механізми; дія пилу цементу та заповнювачів при приготуванні бетонної суміші.

Вібраційна машина повинна мати надійну та жорстку конструкцію, яка забезпечує стійкість під час роботи. Рухома частина установки, віброосердя, зовнішня опалубка, пружні опори, електродвигун, муфта та віброзбуджувач повинні бути справними й надійно закріпленими. Перед початком роботи необхідно перевірити стан кріпильних з'єднань, гумометалевих опор, електричних кабелів, заземлення, захисних кожухів та справність пускової апаратури.

Усі обертові частини приводу, зокрема муфта, вал віброзбуджувача та відкриті елементи передач, повинні бути закриті захисними кожухами. Забороняється знімати огороження під час роботи обладнання, виконувати регулювання або очищення машини при ввімкненому електродвигуні.

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Говорун	ЕЗ	20.05		Літ.	Лист	Листів
Перев.	Склярєнко	ВЗ	17.06		Н	60	
Керівник					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.	Васильєв	ВЗ	12.06				
Затв.	Отисєнко	ВЗ	18.06				
БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ							

Технічне обслуговування, ремонт і заміна елементів установки дозволяються тільки після повної зупинки машини та відключення її від електромережі.

Електрообладнання вібраційної установки повинно відповідати вимогам електробезпеки. Корпус електродвигуна, пульт керування та металеві частини установки необхідно заземлювати. Кабелі живлення слід розміщувати так, щоб виключити їх механічне пошкодження, контакт з вологою бетонною сумішшю та випадкове зачеплення працівниками або вантажопідіймальним обладнанням. Кнопка аварійної зупинки повинна бути розташована у доступному місці біля робочого поста.

Під час роботи вібраційної машини працівник повинен перебувати поза зоною можливого зміщення форми та залізобетонного кільця. Встановлення і зняття форми, віброосердя, привантаження та готового виробу необхідно виконувати за допомогою вантажопідіймального обладнання з використанням справних стропів, траверс і захватних пристроїв. Забороняється перебувати під піднятим вантажем або між формою і нерухомими елементами установки.

Під час приготування та укладання бетонної суміші необхідно враховувати шкідливу дію цементного пилу. Працівники повинні користуватися засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисними рукавицями, окулярами, респіраторами, захисним взуттям і касками. При тривалій роботі біля вібраційної установки доцільно застосовувати засоби захисту органів слуху.

Робоче місце біля формувальної установки повинно бути чистим, достатньо освітленим і вільним від сторонніх предметів. Проходи до пульта керування, форми та зони обслуговування повинні залишатися відкритими. Підлога біля установки не повинна бути слизькою або забрудненою бетонною сумішшю, мастилом чи водою. У зоні роботи необхідно розмістити попереджувальні знаки та інструкції з безпечної експлуатації обладнання.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ

Лист

61

Для зменшення впливу вібрації на фундамент і працівників у конструкції машини передбачаються гумометалеві пружні опори. Вони виконують роль віброізоляторів, знижують передачу коливань на основу та підвищують стійкість роботи установки. Стан цих опор необхідно регулярно перевіряти, оскільки їх пошкодження може призвести до порушення режиму коливань і підвищення динамічних навантажень.

До роботи на вібраційній машині допускаються тільки працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, ознайомлені з будовою обладнання та правилами його експлуатації. Перед початком зміни необхідно виконувати огляд установки, а після завершення роботи – очищати форму, робочий орган і прилеглу зону від залишків бетонної суміші.

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		62

Висновки

Виконано огляд залізобетонних кілець як виробів інженерного призначення та проаналізовано обладнання для їх виготовлення. Встановлено, що такі вироби широко застосовуються для влаштування оглядових, каналізаційних, водопровідних і дренажних колодязів, тому до них висуваються підвищені вимоги щодо міцності, щільності, водонепроникності та точності геометричних розмірів. Показано, що найбільший вплив на якість готових кілець має процес ущільнення бетонної суміші, оскільки саме під час формування можуть виникати пори, раковини, неоднорідність структури бетону та дефекти поверхні.

Обґрунтовано технологічний процес формування залізобетонних кілець із використанням вібраційної машини. Запропоновано послідовність основних операцій: підготовка форми, приготування та подача бетонної суміші, встановлення арматурної сітки, заповнення форми, вібраційне ущільнення, використання привантаження, розпалублення, твердіння та складування готових виробів. Виконано основні розрахунки технологічних параметрів: для кільця із зовнішнім діаметром 1,16 м, внутрішнім діаметром 1,00 м і висотою 0,90 м визначено товщину стінки 0,08 м, об'єм бетонної суміші близько 0,245 м³ та її масу приблизно 588 кг. Прийнято частоту обертання віброзбудника 2800 об/хв, амплітуду коливань 0,25 мм і тривалість вібраційного впливу 165 с.

Розроблено конструктивну схему вібраційної установки для формування залізобетонних кілець, до складу якої входять нерухома основа, зовнішня опалубка, віброосердя, діафрагма, віброзбуджувач, муфта, електродвигун і гумометалеві пружні опори. Виконано розрахунок основних елементів

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Висновки	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Говорун		САС	20.05		Н		
Перев.	Склярєнко			17.06				
Керівн.								
Н. контр.	Васильєв			12.06				
Затв.	Орисенко			18.06				
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

установки, зокрема маси коливальної системи, параметрів вібробудувача, пружних опор, муфти, електродвигуна, форми, осердя та привантаження. Розроблено технологічний процес виготовлення вала вібробудувача і розглянуто заходи безпеки життєдіяльності під час експлуатації машини. Отримані результати підтверджують можливість використання запропонованої вібраційної машини для підвищення якості ущільнення бетонної суміші та виготовлення залізобетонних кілець з необхідними експлуатаційними характеристиками.

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		64

Список літератури

1. Аніщенко А.І. Комплексний підхід до виробництва та ущільнення бетонних блоків для модульного будівництва / А.І. Аніщенко, М.Ю. Бугрименко, Д.С. Каленіч, В.В. Блажко, **В.В. Ведмідь** // Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова/ 2025 – №112. – 179–187.
<https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.112.1.22>
2. Визначення раціональних режимів і параметрів віброустановки з складним характером руху / І.І. Назаренко та ін. // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці : матеріали XXIV Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 27–30 трав. 2019 р.). – Київ : НТУ «КП», 2019. – С. 192–194.
3. Давиденко Ю.О. Розробка та дослідження керованої віброплощадки для ущільнення легких бетонів : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.02 / Давиденко Юрій Олександрович. – Полтава, 1999. – 181 с.
4. Демченко С.В. Вплив параметрів вібрації на міцність бетону. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2022. № 55. С. 89–94.
5. Дідковський В.С., Дрозденко К.С. Основи аналітичної механіки та теорії коливань: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С. 250.
6. Дудар І. Н. Технологія роздільного віброімпульсного формування каменебетонних виробів : мо-нографія / І. Н. Дудар, В. П. Загребя, А. О. Коваленко. –Вінниця : ВНТУ, 2012. –92 с ISBN978-966-641-493-2.
7. Дьяченко О., Пригоцький В., Маліцький І. Огляд схем вібромайданчиків з вертикальними коливаннями та аналіз можливостей керування параметрами ущільнення // Енергоощадні машини і технології : матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 17–19 трав. 2022 р.). – Київ : КНУБА, 2022. – С. 28–31.

ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Список літератури		
Розроб.	Говорун	СА	20.05				
Перев.	Скляренко	ВР	17.06				
Керівник							
Н. контр.	Васильєв		12.06				
Затв.	Орисенко		18.06		Літ. Лист Листів		
					Н		
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

8. Ковальчук В.А. Дослідження резонансних режимів роботи вібраційних машин. Техніка будівництва. 2021. № 48. С. 23–28
9. Коротич Ю.Ю. Складання математичної моделі вібраційного столу // Технічні науки та технології. – 2023. – № 3 (33). – С. 83–96. – DOI: 10.25140/2411-5363-2023-3(33)-83-96.
10. Кривенко П.В. Будівельне матеріалознавство : підручник / П.В. Кривенко та ін. – Київ : ЕксОб, 2004. – 704 с.
11. Ланець О.С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом. Теоретичні основи та практика створення : монографія / О.С. Ланець. – Львів : Львів. політехніка, 2008. – 324 с.
12. Ланець О.С. Основи розрахунку та конструювання вібраційних машин: Книга 1. Теорія та практика створення вібраційних машин з гармонійним рухом робочого органа : навч. посіб./ О. С. Ланець. –Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 612 с ISBN978-966-941-217-1.
13. Мельник П.С. Енергоощадні технології у виробництві залізобетонних виробів. Науковий вісник будівництва. 2022. № 76. С. 102–108.
14. Мороз В.М. Підвищення ефективності процесу вібраційного ущільнення великогабаритних залізобетонних виробів / наук. кер. М.М. Нестеренко, В.В. Ведмідь // Тези 77-ї студ. наук. конф. ХНУБА. – Харків : ХНУБА, 2022. – С. 282–283. – <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/11128>.
15. Назаренко І. 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.
16. Назаренко І., Дєдов О., Ручинський М., Свідерський А.Т., Сліпецький В.В. Визначення раціональних режимів і параметрів віброустановки з складним характером руху. XXIV міжнародна науково-технічна конференція “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці”. 2019. С. 192–194.

17. Назаренко І.І. Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії : навч. посіб. / І.І. Назаренко. – Київ : КНУБА, 2007. – 230 с.
18. Назаренко І.І. Вплив кінематичного віброзбуджувача на коливання рухомої рами вібраційної площадки / І.І. Назаренко, М.М. Нестеренко, Т.М. Нестеренко, А.Є. Бондаренко // Академічна й університетська наука: результати та перспективи : зб. наук. праць XIII Міжнар. наук.-практ. конф., 10–11 груд. 2020 р. – Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2020. – С. 248–251.
19. Назаренко І.І. Машини для виробництва будівельних матеріалів : підручник / І.І. Назаренко. – Київ : КНУБА, 1999. – 488 с.
20. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем : навч. посіб. (2-е вид.) / І.І. Назаренко. – Київ, 2010. – 440 с.
21. Нестеренко М.М., **Ведмідь В.В.** Теоретичні положення та аналіз робочого процесу ущільнення бетонних сумішей. Техніка будівництва. – 2025. – № (42). – С. 4–13. <https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0501>
<http://tehbud.knuba.edu.ua/article/view/331978/320980>
22. Нестеренко М.П. Вібраційні площадки з просторовими коливаннями для підприємств будівельної індустрії // Зб. наук. праць (Галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2002. – Вип. 9. – С. 90–93.
23. Нестеренко М.П. Вібраційні площадки з просторовими коливаннями для виготовлення залізобетонних виробів широкої номенклатури // Зб. наук. праць (Галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2005. – Вип. 16. – С. 182–191.
24. Нестеренко М.П. Віброустановка для формування малогабаритних бетонних та залізобетонних виробів у касетній формі / М.П. Нестеренко, Т.О. Склярєнко // Каталог наукових розроблень 2011 / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Редколегія: Онищенко В.О. та ін. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – С. 86.
25. Нестеренко М.П. Класифікація та оцінка споживчих якостей сучасних вібраційних машин для формування залізобетонних виробів // Зб. наук. праць

(Галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2007. – Вип. 20. – С. 20–25.

26. Нестеренко М.П. Оцінка технологічних можливостей вібраційних машин типу ВПГ для формування залізобетонних виробів / М.П. Нестеренко, Д.С. Педь, Т.М. Нестеренко // Проблеми розвитку будівельного та дорожньо-транспортного комплексів регіону : регіон. наук.-практ. конф., 7–9 жовт. 2008 р. – Кіровоград, 2008. – Вип. 2. – С. 12–17.

27. Нестеренко М.П. Пристрій для ущільнення виробів із бетонних сумішей : пат. 33711 Україна, МПК (2006) B28B 1/08 / заявник Нестеренко М.П., Орисенко О.В., Нестеренко М.М. ; власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № u200802245 ; заявл. 21.02.2008 ; опубл. 10.07.2008, Бюл. №13. – 4 с.

28. Нестеренко М.П. Пристрій для ущільнення стінових блоків із бетонних сумішей : пат. 34903 Україна, МПК (2006) B28B 1/08 / заявники Нестеренко М.П., Орисенко О.В., Нестеренко М.М. ; власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № u200804161 ; заявл. 02.04.2008 ; опубл. 26.08.2008, Бюл. №16. – 4 с.

29. Нестеренко М.П. Прогресивний розвиток вібраційних установок з просторовими коливаннями для формування залізобетонних виробів // Зб. наук. праць (Галузеве машинобудування, будівництво). – 2015. – Вип. 2 (44). – С. 16–23.

30. Нестеренко М.П., Білецький В.С., Семко О.В. Оцінка конструктивно-технологічних параметрів та експлуатаційних якостей вібраційних машин для формування залізобетонних виробів // Зб. наук. праць (Галузеве машинобудування, будівництво). – 2015. – Вип. 1 (43). – С. 231–237.

31. Нестеренко М.П., Орисенко О.В., Нестеренко М.М., Педь Д.С. Розроблення конструкції форми для виробництва стінових блоків // Каталог сучасних наукових розроблень. – Полтава : ПолтНТУ, 2009. – С. 18.

32. Орисенко О.В., Нестеренко М.П. Дослідження просторового руху робочого органа вібраційної машини для формування тубчастих залізобетонних виробів //

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

36. наук. праць (Галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2000. – Вип. 6, ч. 1. – С. 172–175.

33. Повідайло В.О. Вібраційні процеси та обладнання. Львів: Львівська політехніка, 2004. 248с.

					ГММ.401ММ.004-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]