

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

**Розроблення технологічної лінії для виробництва
бордюрних каменів і дорожніх плит з конструкторським
розрахунком вібраційного обладнання**

Кваліфікаційна робота бакалавра

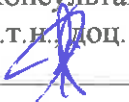
Лист затвердження

ГММ.301-пММ.018-00.00.000 КРБ - ЛУ

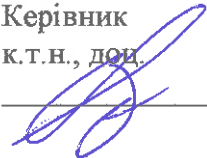
Розробив здобувач групи 301-пММ

 Павло КУСТРИЧ
«20» червня 2026 р.

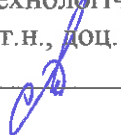
Консультант із технологічної частини
к.т.н., доц.

 Іван РОГОЗІН
«20» 06 2026 р.

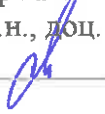
Керівник
к.т.н., доц.

 Євген ВАСИЛЬЄВ
«__» ____ 2026 р.

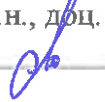
Технологічний контроль
к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 06 2026 р.

Нормативний контроль
к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 06 2026 р.

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

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«20» 06 2026 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

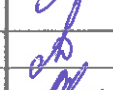
Завідувач кафедри

галузевого машинобудування та мехатроніки,

к.т.н., доц.

 Олександр ОРИСЕНКО

№ рядок	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1					
2			<u>Документація загальна</u>		
3			<i>Вперше розроблена</i>		
4					
5	A4	ГММ.301пММ.018-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	
6	A4	ГММ.301пММ.018-00.00.000А	Анотація	2	
7	A1	ГММ.301пММ.018-00.00.000ВЗ	Лінія технологічна	1	
8			Вигляд загальний		
9	A1	ГММ.301пММ.018-10.00.000ВЗ	Вібротермоформа		
10			для дорожніх плит	1	
11			Вигляд загальний		
12	A4	ГММ.301пММ.018-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка		
13					
14			<u>Документація по</u>		
15			<u>складальних одиницях</u>		
16			<i>Вперше розроблена</i>		
17					
18	A1	ГММ.301пММ.018-06.02.000СК	Вал дебалансний		
19			Складальне креслення	1	
20	A4	ГММ.301пММ.018-06.02.000	Вал дебалансний	1	
21					
22			<u>Документація по деталях</u>		
23			<i>Вперше розроблена</i>		
24					
25	A2	ГММ.301пММ.018-06.02.001	Вал		
26	A2	ГММ.301пММ.018-06.02.012	Дебаланс	1	
27	A3	ГММ.301пММ.018-06.02.013	Дебаланс	1	
28					
29					
30					

					ГММ.301пММ.018-00.00.000ВБ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит з конструкторським розрахунком вібраційного обладнання <u>Відомість бакалаврської роботи</u>	Літ.	Лист	Листів	
Розроб.		Кустріч		20.06		Н		1	
Перев.		Васильєв		20.06				1	
				20.06		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			
Н.контр.		Васильєв		20.06		2026			
Затв.		Орисенко		20.06					

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл.	№екз.	Прим.
28						
29			Документація технологічна			
30			Вперше розроблена			
31						
32	AI	ГММ.301пММ.018-00.00.000ТП	Технологічний процес			
33			Виготовлення вала	1		
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
			ГММ.301пММ.018-00.00.000ВБ			Лист
						2

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

Кафедра, циклова комісія галузевого машинобудування та мехатроніки

Рівень вищої освіти Бакалавр

Напрямок підготовки _____

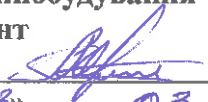
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

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

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Кустріча Павла Геннадійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Розроблення технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит з конструкторським розрахунком вібраційного обладнання»

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 03 » 03 2026 року

№ 273 - 9,9.

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

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: – Тип обладнання: технологічна лінія для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит. – Спосіб формування виробів: вібраційне ущільнення бетонної суміші у змінних віброформах. – Основне обладнання: віброплощадка з дебалансним віброзбудником напрямлених коливань. – Основні технологічні операції: приготування та подавання бетонної суміші, дозування, формування, вібраційне ущільнення, витримування, розпалублення і складування готових виробів.

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

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3. Технологічний процес виготовлення вала	Рогозін І.А. доцент	 12.05.26	 20.06

7. Дата видачі завдання «03» 02 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

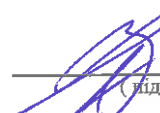
Здобувач вищої освіти


(підпис)

Павло КУСТРИЧ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Євген ВАСИЛЬЄВ

(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми


(підпис)

Олексій ВАСИЛЬЄВ

(прізвище та ініціали)

ЗА
Р
П
К
Н
З

Анотація

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Розроблення технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит з конструкторським розрахунком вібраційного обладнання».

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

Кваліфікаційна робота включає розрахунково-пояснювальну записку на 56 аркушах формату А4 та 5 аркушів графічної частини формату А1.

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічну лінію для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит. Проведено аналіз наявних способів формування бетонних і залізобетонних виробів, визначено їхні переваги та недоліки. Обґрунтовано доцільність застосування вібраційного ущільнення бетонної суміші.

Запропоновано конструктивну схему технологічної лінії зі змінними віброформами. Визначено продуктивність лінії, параметри коливань, збурювальну силу, характеристики дебалансів і потужність приводу. Виконано розрахунки вала, підшипникових опор, пружних елементів та рами віброплощадки. Розроблено технологічний процес виготовлення вала віброприводу. Розглянуто основні виробничі небезпеки та запропоновано заходи щодо безпечної експлуатації обладнання.

Ключові слова: технологічна лінія, бетонні вироби, бордюрний камінь, дорожня плита, віброплощадка, віброущільнення, дебалансний віброзбудник, вібропривід.

ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ					Лім. Лист Листів		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Анотація		
Розроб.	Кустріч			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівн.							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Annotation

Bachelor's qualification thesis entitled: "Development of a Production Line for Kerbstones and Road Slabs with the Design Calculation of Vibration Equipment."

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

The qualification thesis comprises a 56-page A4 calculation and explanatory report and five A1 sheets of graphical documentation.

The thesis presents the development of a production line for manufacturing kerbstones and road slabs. Existing methods for forming concrete and reinforced concrete products are analysed, and their main advantages and disadvantages are identified. The feasibility of applying vibratory compaction to concrete mixtures is substantiated.

A structural layout of the production line equipped with interchangeable vibrating moulds is proposed. The production capacity, vibration parameters, excitation force, unbalance characteristics, and required drive power are determined. Calculations of the shaft, bearing supports, elastic elements, and vibrating table frame are performed. A manufacturing process for the vibration drive shaft is developed. The main occupational hazards are considered, and measures for the safe operation of the equipment are proposed.

Keywords: production line, concrete products, kerbstone, road slab, vibrating table, vibratory compaction, unbalanced vibration exciter, vibration drive.

						Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ	

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

**Розроблення технологічної лінії для виробництва
бордюрних каменів і дорожніх плит з
конструкторським розрахунком вібраційного
обладнання**

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
ГММ.301-пММ.018-00.00.000 ПЗ

Зміст

Вступ	4
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	5
1.1 Типи бетонних дорожніх виробів та аналіз існуючих способів їх формування	5
1.2 Проблеми вібраційного формування бетонних і залізобетонних виробів...	9
1.3 Різновиди та оцінка експлуатаційних якостей вібраційного обладнання..	11
1.4 Обґрунтування технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит	13
1.5 Висновки до розділу та завдання дослідження	15
2 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ	17
2.1 Конструктивна схема технологічної лінії та віброформувального обладнання	17
2.2 Вихідні дані для розрахунку	19
2.3 Розрахунок продуктивності технологічної лінії	20
2.4 Визначення режиму роботи віброплощадки	21
2.5 Визначення параметрів дебалансного віброзбудника	22
2.6 Розрахунок потужності приводу віброплощадки.....	24
2.7 Розрахунок пружних опор віброплощадки.....	24
2.8 Розрахунок вала віброзбудника на міцність.....	25
2.9 Перевірка вала на втому	29
2.10 Розрахунок підшипникових опор.....	30

					ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Зміст	Лім.	Лист	Листів	
Розроб.	Кустріч			20.05		Н		1	
Перев.	Васильєв			20.05					
Н. контр.	Васильєв			20.06		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			
Затв.	Орисенко			20.06					

2.11	Перевірка жорсткості віброформи та рами	31
2.12	Висновки за розділом	32
3.	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА.....	33
3.1	Призначення та умови роботи деталі у вузлі	33
3.2	Аналіз технологічності конструкції вала.....	34
3.3	Вибір матеріалу та заготовки	35
3.4	Призначення припусків на механічну обробку	36
3.5	Вибір обладнання, пристосувань та інструменту	37
3.6	Маршрутний технологічний процес виготовлення вала	38
3.7	Визначення режимів різання та нормування операцій	40
3.8	Контроль якості виготовлення вала	42
	Висновок до розділу 3	43
4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	45
4.1	Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	45
4.2	Вимоги безпеки до організації технологічного процесу	47
4.3	Безпека експлуатації вібраційного обладнання	47
4.4	Електробезпека.....	48
4.5	Виробнича санітарія та засоби індивідуального захисту	49
4.6	Безпека вантажопідіймальних і транспортних операцій	50
4.7	Пожежна та екологічна безпека	50
4.8	Дії персоналу в аварійних ситуаціях	51
	Висновок до розділу 4	52

Висновки	53
Список літератури	55

а.

					ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		3

Вступ

Сучасний розвиток будівельної галузі нерозривно пов'язаний із підвищенням якості, довговічності та технологічності виготовлення бетонних і залізобетонних виробів. Особливе місце серед таких виробів займають бордюрні камені та дорожні плити, які широко застосовуються при будівництві й ремонті автомобільних доріг, тротуарів, майданчиків, територій промислових підприємств, житлових кварталів та об'єктів благоустрою. Від їхньої якості залежить не лише зовнішній вигляд дорожньої інфраструктури, а й експлуатаційна надійність покриттів, безпека руху та термін служби об'єктів.

В умовах зростання обсягів дорожнього будівництва та реконструкції міської інфраструктури актуальним є створення ефективних технологічних ліній для виготовлення бетонних виробів із забезпеченням стабільної якості, високої продуктивності та зниженням енерго- і трудомісткості виробництва. Одним із основних етапів виготовлення бордюрних каменів і дорожніх плит є ущільнення бетонної суміші, яке значною мірою визначає міцність, морозостійкість, водонепроникність і довговічність готової продукції. Найбільш поширеним та ефективним способом ущільнення бетонних сумішей є вібраційний вплив, що реалізується за допомогою віброплощадок, віброформ, вібропресів та іншого спеціалізованого обладнання.

Разом з тим, використання застарілого або недостатньо ефективного вібраційного обладнання може призводити до нерівномірного ущільнення бетонної суміші, появи порожнин, зниження міцності виробів, підвищених витрат електроенергії та збільшення собівартості продукції. Тому важливим інженерним завданням є розроблення раціональної технологічної лінії виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит, а також виконання конструкторського розрахунку вібраційного обладнання, яке забезпечуватиме необхідні параметри коливань і стабільну якість формування виробів.

					ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Вступ	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Кустріч			20.06		Н		4
Перев.	Васильєв			20.06				
Керівник						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.	Васильєв			20.06				
Затв.	Орисенко			20.06				

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Типи бетонних дорожніх виробів та аналіз існуючих способів їх формування

Бордюрні камені та дорожні плити належать до найбільш поширених бетонних і залізобетонних виробів дорожнього призначення. Їх застосовують під час улаштування автомобільних доріг, тротуарів, промислових майданчиків, територій житлової забудови та об'єктів благоустрою. Бордюрний камінь виконує функцію обмеження й закріплення краю дорожнього або тротуарного покриття, а дорожні плити сприймають транспортні навантаження і забезпечують розподілення тиску на основу. Тому до таких виробів висуваються підвищені вимоги щодо міцності, геометричної точності, морозостійкості, водонепроникності, стиранності та довговічності [7, 9, 11].

Дорожні плити зазвичай виготовляють із важкого або дрібнозернистого бетону з армуванням, що забезпечує необхідну несучу здатність під час експлуатації та транспортування. Залежно від типорозміру плити мають значні габарити і масу, тому технологічний процес їх виготовлення повинен передбачати надійне формооснащення, раціональне армування, механізоване укладання бетонної суміші, ефективне ущільнення та безпечне переміщення готових виробів [1, 8, 11]. Загальний вигляд дорожньої плити наведено на рисунку 1.1.

Під час виробництва дорожніх плит і бордюрних каменів важливе значення має правильний вибір складу бетонної суміші. Матеріали повинні забезпечувати необхідну міцність бетону, зручність укладання, відсутність розшарування, достатню щільність та стабільність властивостей після твердіння.

					ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Кустріч			20.06	ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ СНІГООЧИСНИХ МАШИН ТА АВТОНОМНИХ ГУСЕНИЧНИХ ПЛАТФОРМ		
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Отисенко			20.06			
					Літ.	Лист	Листів
					Н	5	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Для дорожніх виробів доцільним є застосування бетонних сумішей із помірною рухомістю або жорстких сумішей, оскільки вони дозволяють отримати щільну структуру бетону та зменшити витрату цементу за умови ефективного вібраційного ущільнення [5, 6, 9].

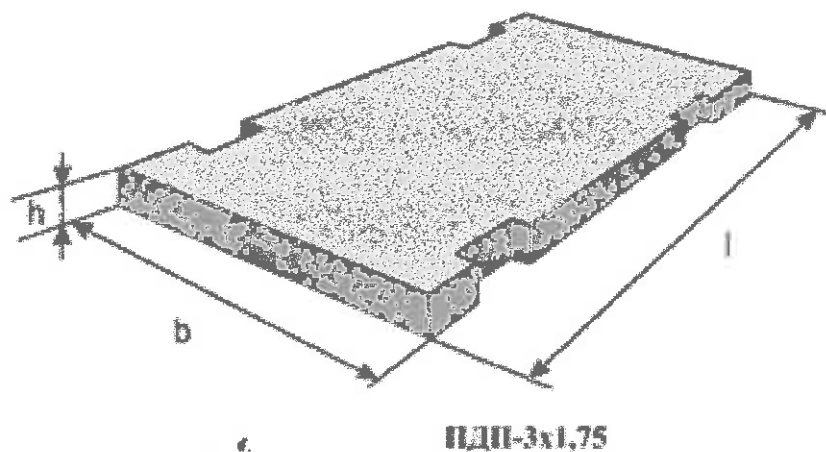


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд дорожньої плити

Бордюрні камені, на відміну від масивних дорожніх плит, мають менші габарити, але виробляються значними серіями. Це зумовлює необхідність застосування продуктивних технологічних ліній, у яких операції дозування, приготування суміші, подачі у форму, ущільнення, розпалублення та складування максимально механізовані. Для таких виробів важливо забезпечити чисту поверхню, точність розмірів і достатню ранню міцність, що дає змогу скорочувати виробничий цикл [1, 10, 11].

У сучасній практиці виготовлення бетонних виробів застосовують декілька основних способів формування: лиття, пресування, вібраційне формування, вібропресування та комбіновані методи. Вибір конкретного способу залежить від типу виробу, властивостей бетонної суміші, потрібної продуктивності, наявного обладнання та економічної доцільності [1, 5, 9].

Формування методом лиття ґрунтується на використанні рухливих бетонних сумішей, здатних самостійно заповнювати форму під дією власної ваги. Перевагою цього способу є відносно просте укладання суміші та

зменшення інтенсивності механічного впливу на форму. Однак застосування надмірно рухливих сумішей без сучасних пластифікуючих добавок може призводити до збільшення водоцементного відношення, зниження міцності та підвищення усадки бетону. Крім того, литтєве формування не завжди забезпечує можливість швидкого розпалублення виробів, що обмежує його використання для високопродуктивних ліній з виготовлення бордюрів і плит [9, 10].

Формування пресуванням передбачає ущільнення жорстких або малорухомих бетонних сумішей під дією статичного чи циклічного тиску. За рахунок зовнішнього навантаження частинки заповнювача зближуються, а надлишкове повітря витісняється із суміші. Метод ефективний для виробів невеликої висоти, однак для великогабаритних дорожніх плит він потребує потужного пресового обладнання, складного формооснащення і значних енергетичних витрат [1, 4].

Вібраційне формування є найбільш поширеним способом ущільнення бетонних сумішей у виробництві бетонних і залізобетонних виробів. Під дією коливань бетонна суміш тимчасово втрачає частину внутрішнього тертя, краще заповнює об'єм форми, з неї видаляється повітря, а частинки заповнювача займають більш компактне положення. Це сприяє підвищенню щільності, міцності та однорідності бетону [2, 5, 6].

За характером передавання коливань на бетонну суміш розрізняють об'ємне, внутрішнє та поверхнєве вібрування. Об'ємне вібрування реалізується переважно на віброплощадках, коли форма разом із бетонною сумішшю приводиться у коливальний рух. Такий спосіб доцільний для плитних і масивних виробів, оскільки дозволяє ущільнювати значний об'єм суміші одночасно [2, 5].

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика способів формування бетонних дорожніх виробів

Спосіб формування	Сутність процесу	Переваги	Основні обмеження
Лиття	Заповнення форми рухливою бетонною сумішшю	Просте укладання, невисокий механічний вплив на форму	Потреба у рухливих сумішах; ускладнене швидке розпалублення
Пресування	Ущільнення суміші зовнішнім тиском	Висока щільність виробів, можливість роботи з жорсткими сумішами	Потужне обладнання, значні навантаження на форму
Вібрування	Передача коливань формі або бетонній суміші	Універсальність, висока якість ущільнення, помірні енерговитрати	Можливе нерівномірне ущільнення за неправильно підібраних режимів
Вібропресування	Одночасна дія вібрації та тиску	Швидке ущільнення, добра якість поверхні, висока продуктивність	Складніше обладнання і підвищені вимоги до налаштування режимів

Внутрішнє вібрування застосовують переважно для монолітних конструкцій або виробів значної товщини, коли коливання передаються через глибинні вібратори. Для серійного виготовлення бордюрних каменів і дорожніх плит цей спосіб менш зручний через підвищену трудомісткість, складність автоматизації та ризик локальної неоднорідності ущільнення [5, 8].

Поверхнєве вібрування здійснюється через робочий орган, який контактує з відкритою поверхнею бетонної суміші. Воно може бути ефективним для тонких плитних виробів, однак за недостатньої інтенсивності коливань існує небезпека нерівномірного ущільнення за висотою виробу. Тому для дорожніх плит і бордюрів доцільним є застосування комбінованих схем, у яких вібраційна дія поєднується з привантаженням або тиском [5, 6].

Вібропресування поєднує переваги вібраційного ущільнення і зовнішнього тиску. За такого способу бетонна суміш ущільнюється швидше, верхній шар виробу формується якісніше, а розпалублення може виконуватися раніше. Саме тому цей метод є перспективним для технологічних ліній

виробництва бордюрних каменів, а для дорожніх плит доцільним є застосування віброплощадок або віброформ із правильно підібраними параметрами коливань [2, 5, 6].

1.2 Проблеми вібраційного формування бетонних і залізобетонних виробів

Формування є однією з основних операцій у виробництві бетонних і залізобетонних виробів. Саме на цьому етапі закладаються щільність структури бетону, рівномірність розподілу заповнювача, якість поверхні та геометрична точність виробу. Недостатнє ущільнення призводить до утворення пор, раковин, зниження міцності, підвищення водопоглинання та зменшення морозостійкості. Надмірна або неправильно організована вібрація, навпаки, може спричинити розшарування суміші, переміщення арматури, погіршення зовнішнього вигляду та збільшення енергетичних витрат [5, 9, 11].

У теорії вібраційних машин основними параметрами режиму ущільнення вважають амплітуду коливань, частоту коливань, напрямок дії збурювальної сили, тривалість вібраційного впливу та характер взаємодії форми з бетонною сумішшю. Для конкретного виробу ці параметри повинні узгоджуватися з рухомістю або жорсткістю бетонної суміші, масою форми, габаритами виробу та вимогами до якості готової продукції [2, 3, 5].

У роботах І. І. Назаренка підкреслюється, що ефективність вібраційної дії визначається не лише частотою чи амплітудою окремо, а комплексним енергетичним впливом на систему «робочий орган – форма – бетонна суміш» [2, 3]. Тому під час проектування вібраційного обладнання необхідно розглядати не тільки технологічний результат, а й динамічну схему машини, жорсткість пружних елементів, масу коливальної системи, параметри віброзбудника та умови передачі коливань на виріб [4].

Для плитних виробів основною проблемою є забезпечення рівномірного ущільнення по всій площі та висоті. У великогабаритних дорожніх плитах через значну масу форми і бетонної суміші можуть виникати зони з різною

інтенсивністю коливань. Верхній шар суміші часто ущільнюється гірше, особливо у разі застосування лише об'ємного вібрування без привантаження. Це може погіршувати якість поверхні та знижувати експлуатаційну довговічність виробу [5, 6].

Для бордюрних каменів актуальною є інша проблема: необхідність забезпечити високу продуктивність при стабільній якості кожного виробу. Через значну серійність виробництва навіть незначне відхилення режиму ущільнення може призводити до масового браку. Тому технологічна лінія повинна мати стабільне дозування суміші, однаковий час формування, надійне формооснащення та можливість регулювання параметрів вібрації [1, 6, 10].

Під час оцінювання інтенсивності вібраційного процесу часто використовують кінематичні та енергетичні показники. До найпростіших належать вібропереміщення, віброшвидкість і віброприскорення. Віброшвидкість характеризує швидкість переміщення робочого органа, а віброприскорення визначає інерційний вплив на бетонну суміш. Для гармонійних коливань зв'язок між цими параметрами можна подати у вигляді [2, 3]:

$$v = A \cdot \omega, \quad (1.1)$$

$$a = A \cdot \omega^2, \quad (1.2)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (1.3)$$

де v – амплітудне значення віброшвидкості, м/с; A – амплітуда коливань, м; ω – кутова частота коливань, с^{-1} ; a – амплітудне значення віброприскорення, м/с^2 ; f – частота коливань, Гц.

Наведені залежності показують, що зі збільшенням частоти коливань віброприскорення зростає пропорційно квадрату кутової частоти. Тому надмірне підвищення частоти може різко збільшувати динамічні навантаження на вузли машини, форму та фундамент. З іншого боку, недостатня частота або мала амплітуда не забезпечують потрібного розрідження бетонної суміші та

видалення повітря. Отже, вибір параметрів віброзбудника повинен бути обґрунтований розрахунком [3, 4, 5].

Окрему групу проблем становлять експлуатаційні недоліки вібраційного обладнання: підвищений шум, вібрація фундаментів, знос підшипникових вузлів, розбалансування дебалансних механізмів, руйнування пружних елементів, ослаблення кріплень і складність технічного обслуговування. Ці фактори особливо важливі для підприємств невеликої та середньої продуктивності, де обладнання повинно бути простим, надійним, ремонтпридатним і економічним [1, 4, 5, 15].

1.3 Різновиди та оцінка експлуатаційних якостей вібраційного обладнання

Для формування бетонних виробів дорожнього призначення застосовують різні типи вібраційного обладнання: віброплощадки, віброформи, вібростоли, вібропреси, поверхневі вібропристрої та установки комбінованої дії. Усі вони мають спільну мету – передати бетонній суміші коливання необхідної інтенсивності, але відрізняються конструкцією, напрямком коливань, способом кріплення форми, характером роботи віброзбудника та рівнем автоматизації [1, 2, 5].

Віброплощадки з круговими коливаннями конструктивно відносно прості та можуть працювати з одним або кількома дебалансними віброзбудниками. Їх перевагою є простота виготовлення й обслуговування, однак кругова траєкторія руху не завжди забезпечує рівномірне ущільнення великогабаритних плит. У таких системах можливе зустрічне переміщення шарів бетонної суміші, підвищення динамічних навантажень на форму та збільшення шуму під час роботи [2, 5].

Віброплощадки з вертикально спрямованими коливаннями є більш поширеними для плитних виробів, оскільки вертикальна складова руху сприяє осіданню частинок заповнювача і видаленню повітря. Такі машини можуть виконуватися у вигляді рамних або блокових конструкцій. Блокові

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ

Лист

11

віброплощадки дозволяють формувати вироби значних розмірів, проте мають велику кількість вузлів: віброблоків, пружних опор, карданних валів, синхронізаторів та механізмів кріплення форми. Це ускладнює монтаж, обслуговування та підвищує імовірність відмов [1, 5].

Віброплощадки з горизонтально спрямованими коливаннями здебільшого реалізують двомасову коливальну систему, в якій активна маса з віброзбудником передає енергію пасивній масі – формі з бетонною сумішшю. Такі системи можуть бути ефективними для протяжних виробів, однак вимагають точного налаштування режиму роботи, оскільки зміна маси форми або суміші впливає на динамічні характеристики системи [2, 3, 5].

Ударно-вібраційні площадки поєднують гармонійні коливання з ударними імпульсами. Асиметричний режим руху дозволяє підвищити інтенсивність ущільнення без надмірного збільшення частоти коливань. Перевагою таких машин є можливість роботи з жорсткими бетонними сумішами, але недоліками є підвищені ударні навантаження, шум, знос контактних елементів і складність забезпечення стабільного режиму роботи [3, 5, 6].

Вібропреси є найбільш доцільними для серійного виготовлення дрібноштучних бетонних виробів, зокрема бордюрних каменів. У таких машинах бетонна суміш ущільнюється у формі під дією вібрації та притискного зусилля. Це забезпечує високу щільність бетону, добру якість поверхні та можливість відносно швидкого розпалублення. Однак для дорожніх плит великої маси застосування вібропресів потребує значних зусиль пресування та великогабаритного формооснащення [1, 5, 6].

Аналіз існуючих конструкцій показує, що для проектованої технологічної лінії доцільно передбачити поєднання різних типів обладнання відповідно до номенклатури виробів. Для бордюрних каменів ефективним є застосування вібропресувального або віброформуального обладнання з можливістю швидкого розпалублення. Для дорожніх плит доцільною є віброплощадка або

віброформа достатньої вантажопідйомності, яка забезпечує рівномірну передачу коливань на всю площу виробу [5, 6, 11].

Таблиця 1.2 – Порівняльна оцінка основних типів вібраційного обладнання

Тип обладнання	Доцільна сфера застосування	Переваги	Недоліки
Вібростіл	Невеликі плити, тротуарні елементи, дослідне виробництво	Проста конструкція, невисока вартість	Обмежена вантажопідйомність
Віброплощадка	Дорожні плити, масивні залізобетонні вироби	Можливість формування великогабаритних виробів	Підвищена металомісткість, потреба у фундаменті
Віброформа	Серійні вироби заданого типорозміру	Безпосередня передача коливань формі	Менша універсальність
Вібропрес	Бордюрні камені, дрібноштучні дорожні вироби	Висока продуктивність, якісне ущільнення	Складність і вартість обладнання
Ударно-вібраційна установка	Жорсткі суміші, масивні вироби	Інтенсивне ущільнення	Шум, знос контактних елементів

При виборі вібраційного обладнання необхідно враховувати не лише технологічну ефективність, а й експлуатаційні показники: надійність, ремонтпридатність, рівень шуму, енергоспоживання, масу, металомісткість, зручність заміни форм і безпечність роботи обслуговувального персоналу. Для умов невеликого або середнього підприємства перевагу слід надавати конструкціям із меншою кількістю складних синхронізовувальних вузлів, доступними стандартними комплектувальними виробами та можливістю регулювання параметрів коливань [1, 4, 15].

1.4 Обґрунтування технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит

Технологічна лінія для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит повинна забезпечувати послідовне виконання основних операцій: приймання та зберігання матеріалів, дозування компонентів, приготування бетонної суміші,

подачу суміші до формувального поста, формування та ущільнення виробів, тепловологісну або природну витримку, розпалублення, контроль якості, складування та відвантаження готової продукції. Раціональна організація цих операцій дає змогу скоротити тривалість виробничого циклу та зменшити втрати матеріалів [1, 9, 11].

Для приготування бетонної суміші доцільно передбачити бетоносумішувальний вузол із окремим дозуванням цементу, води, дрібного та крупного заповнювачів, а також хімічних добавок. Якість перемішування безпосередньо впливає на однорідність суміші та стабільність властивостей готових виробів. Після приготування суміш повинна подаватися до формувального поста без розшарування та втрати рухомості [9, 10].

Формувальна дільниця має бути організована з урахуванням двох груп виробів. Для бордюрних кам'янів доцільно застосувати багатоосередкову форму або вібропрес, що забезпечує одночасне виготовлення кількох виробів за один цикл. Для дорожніх плит необхідна металоформа з достатньою жорсткістю, можливістю встановлення арматурного каркаса та надійним фіксуванням під час вібраційного ущільнення [1, 5, 11].

Найвідповідальнішим елементом лінії є вібраційне обладнання. Його параметри повинні відповідати масі форми з бетонною сумішшю, габаритам виробу та вимогам до інтенсивності ущільнення. Під час конструкторського розрахунку необхідно визначити вантажопідйомність установки, масу коливальної системи, частоту та амплітуду коливань, збурювальну силу віброзбудника, жорсткість пружних опор і потужність приводу [2, 3, 4, 5].

Для підвищення ефективності виробництва лінія повинна передбачати механізоване переміщення форм і готових виробів. Це може здійснюватися за допомогою кран-балки, роликів конвеєрів, візків або спеціальних захватних пристроїв. Особливу увагу слід приділити безпечному транспортуванню дорожніх плит, оскільки їхня маса є значною і потребує використання вантажопідіймального обладнання [7, 8, 15].

Таблиця 1.3 – Основні операції технологічної лінії виробництва дорожніх бетонних виробів

Операція	Призначення	Основне обладнання
Підготовка матеріалів	Забезпечення запасу цементу, піску, щебеню, води та добавок	Силоси, бункери, склади заповнювачів
Дозування	Отримання заданого складу бетонної суміші	Вагові та об'ємні дозатори
Приготування суміші	Рівномірне перемішування компонентів	Бетоносумішувач примусової дії
Подача суміші	Транспортування суміші до формувального поста	Стрічковий конвеєр, баддя або візок
Формування та ущільнення	Надання виробу форми і щільної структури	Віброплощадка, віброформа або вібропрес
Твердіння	Набір початкової міцності	Камера твердіння або зона витримання
Розпалублення і складування	Виймання та зберігання готових виробів	Кран-балка, траверса, піддони

1.5 Висновки до розділу та завдання дослідження

Проведений аналіз показав, що бордюрні камені та дорожні плити є відповідальними виробами дорожнього призначення, які повинні мати високу міцність, морозостійкість, водонепроникність, точність геометричних розмірів і якісну поверхню. Досягнення цих показників значною мірою залежить від правильного вибору бетонної суміші, технологічної схеми виробництва та режимів ущільнення [9, 11].

Найбільш ефективним і універсальним способом формування таких виробів є вібраційне ущільнення та його комбіновані різновиди. Для дорожніх плит доцільним є застосування віброплощадки або віброформи, а для бордюрних каменів – вібропресувального або віброформувального обладнання. Водночас ефективність цих машин залежить від правильного вибору частоти, амплітуди, збурювальної сили, жорсткості опор і тривалості вібраційного впливу [2, 3, 5, 6].

Основними недоліками існуючого вібраційного обладнання є підвищена металомісткість, складність конструкції, значний рівень шуму, нерівномірне ущільнення виробів, збільшені енерговитрати та знос вузлів під дією

динамічних навантажень. Тому актуальним є розроблення раціональної технологічної лінії та виконання конструкторського розрахунку вібраційного обладнання з урахуванням реальних умов експлуатації [1, 4, 5, 15].

є.

					ГММ.301пММ.024-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		16

2 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ

У даному розділі виконано обґрунтування конструктивної схеми технологічної лінії для виготовлення бордюрних каменів і дорожніх плит, а також наведено розрахунки основного вібраційного обладнання. Розрахунок виконано з урахуванням вимог до ущільнення жорстких бетонних сумішей, забезпечення необхідної амплітуди коливань, стійкої роботи віброприводу, достатньої міцності вала, надійності опорних вузлів і жорсткості металоконструкції віброформ [2, 3, 5, 6].

2.1 Конструктивна схема технологічної лінії та віброформувального обладнання

Запроектована технологічна лінія призначена для потокового виробництва бетонних дорожніх виробів двох основних типів: бордюрних каменів та дорожніх плит. До складу лінії входять бункер для заповнювачів, вузол дозування і приготування бетонної суміші, транспортний пристрій для подавання суміші, формувальні пости, віброплощадки з установленими змінними віброформами, зона витримування виробів, пост розпалублення та дільниця складування готової продукції.

Технологічна лінія працює за агрегатно-потоковою схемою. Бетонна суміш після приготування подається до формувального поста, рівномірно розподіляється у формі, після чого виконується вібраційне ущільнення. Для виробництва бордюрних каменів застосовується спеціалізована віброформа видовженої конструкції, яка забезпечує одночасне формування декількох виробів у межах одного циклу.

ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Кустріч			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Зам.	Орисенко			20.06			
РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ					Лім.	Лист	Листів
					Н	17	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

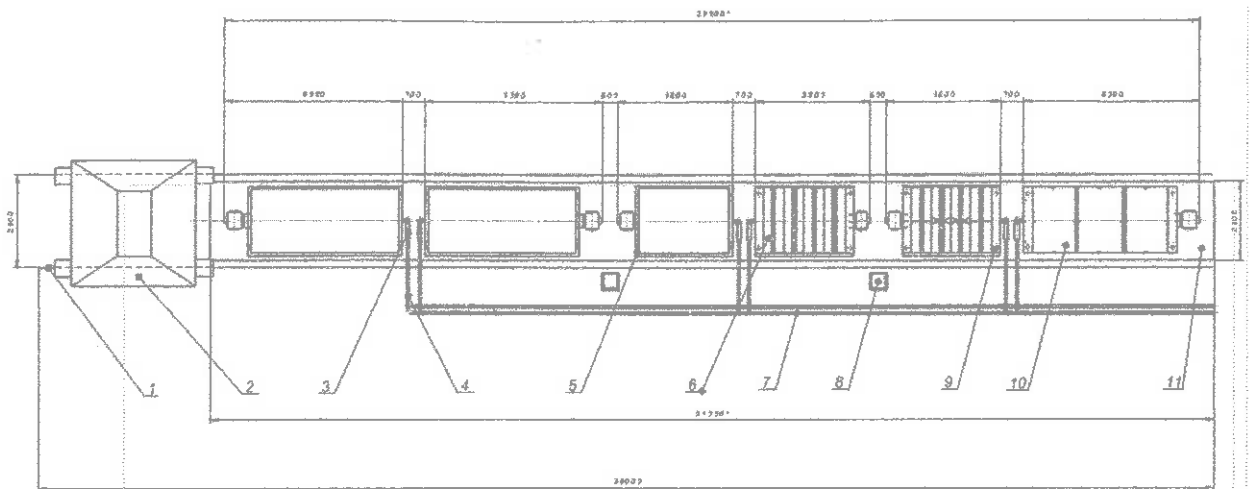


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит

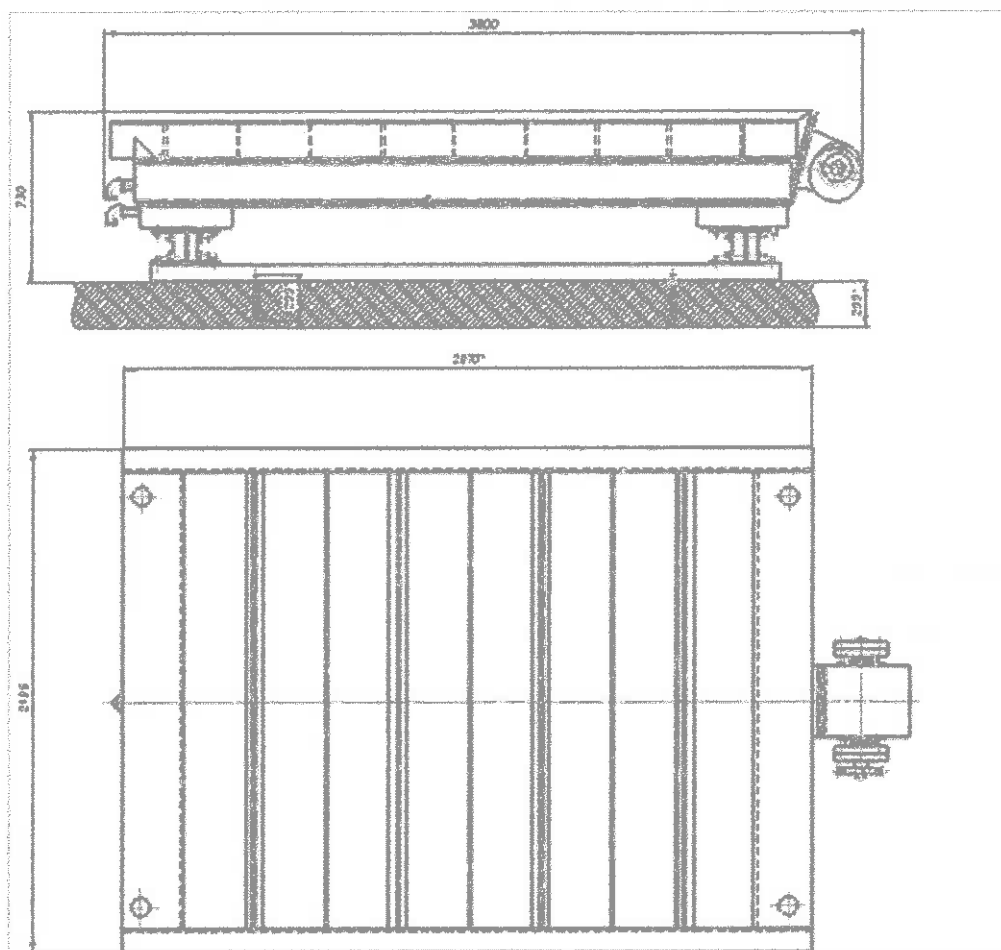


Рисунок 2.2 – Віброформа для виготовлення бордюрних каменів

Для виготовлення дорожніх плит використовується посилена віброформа з більшою площею формування та підвищеною жорсткістю рами. Її конструкція передбачає сприйняття значної маси бетонної суміші, рівномірну

передачу коливань по всій площі виробу та можливість подальшого транспортування форми до зони твердіння.

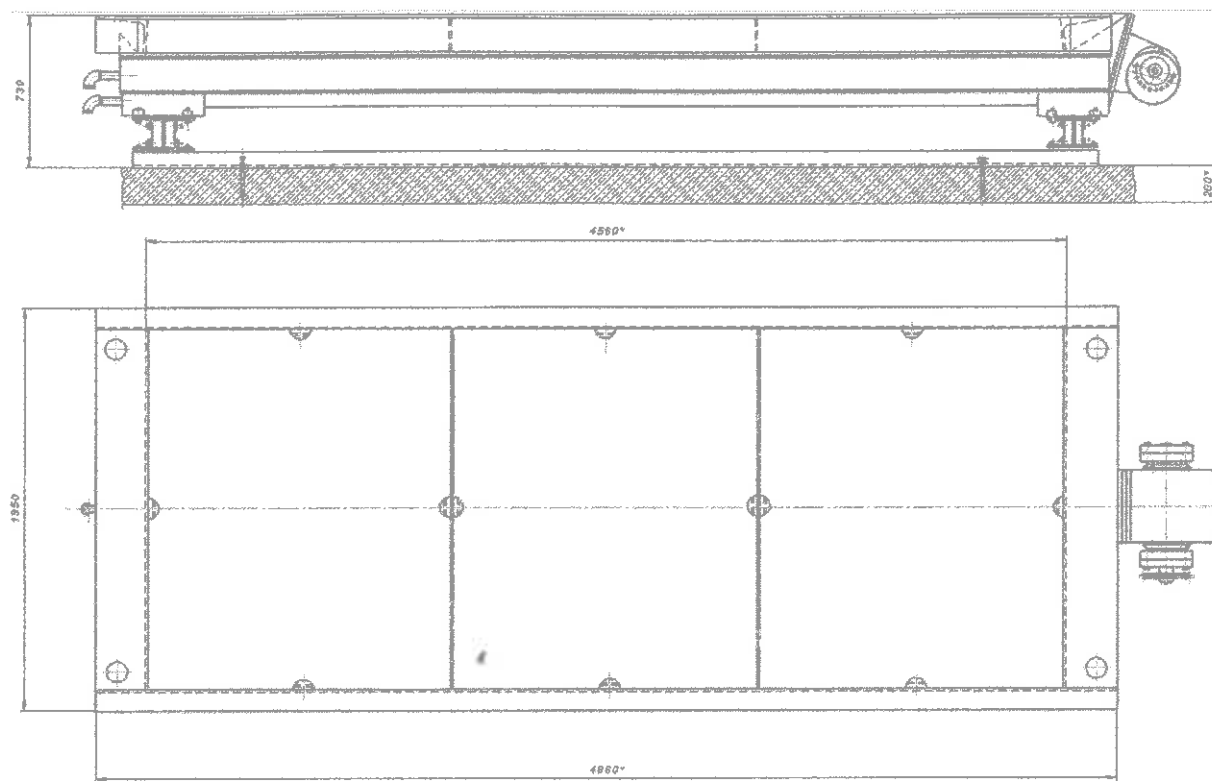


Рисунок 2.3 – Віброформа для виготовлення дорожніх плит

Основним робочим органом лінії є віброплощадка з дебалансним віброзбудником направлених коливань. Така схема є доцільною для формування плитних і лінійних бетонних виробів, оскільки дозволяє отримати достатню інтенсивність ущільнення при відносно простій конструкції приводу, невисокій металоємності та можливості регулювання режиму роботи [2, 5].

2.2 Вихідні дані для розрахунку

Для подальших розрахунків приймаємо, що вібраційне обладнання працює у складі технологічної лінії з двома типами змінних форм. Основні параметри прийнято за кресленнями розробленого обладнання та з урахуванням типових режимів ущільнення бетонних сумішей для дорожніх виробів [5, 6, 11].

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку вібраційного обладнання

Показник	Позначення	Прийняте значення
Маса коливальних частин віброплощадки з формою	mк	3300 кг
Розрахункова амплітуда коливань	A	0,001 м
Частота обертання вала віброзбудника	n	1400 об/хв
Кількість дебалансів	z	4 шт.
Радіус розміщення центра мас дебалансу	r	0,036...0,040 м
Густина сталі	ρ	7800 кг/м³
Коефіцієнт корисної дії приводу	η	0,98
Матеріал вала	-	сталь 40X
Розрахунковий діаметр вала у небезпечному перерізі	d	75 мм

2.3 Розрахунок продуктивності технологічної лінії

Продуктивність технологічної лінії визначається кількістю виробів, які можуть бути сформовані за одну зміну з урахуванням тривалості основних і допоміжних операцій. Об'єм бетонної суміші для одного виробу визначається за геометричними параметрами форми:

$$V = L \cdot B \cdot h \cdot k_f \quad (2.1)$$

де V – об'єм бетонної суміші на один виріб, м³; L, B, h – відповідно довжина, ширина і висота виробу, м; k_f – коефіцієнт, що враховує форму виробу та наявність фасок, отворів або порожнин.

$$m_b = \rho_b \cdot V \quad (2.2)$$

де m_b – маса бетонної суміші на один виріб, кг; ρ_b – густина ущільненої бетонної суміші, кг/м³. Для важкого бетону приймаємо $\rho_b = 2300 \dots 2400$ кг/м³.

$$t_u = t_z + t_p + t_v + t_d \quad (2.3)$$

де t_u – тривалість одного технологічного циклу, хв; t_z – час завантаження суміші у форму; t_p – час розподілення суміші; t_v – час віброущільнення; t_d – час допоміжних операцій.

$$N_{зм} = (T_{зм} \cdot k_v / t_u) \cdot n_f \quad (2.4)$$

де $N_{зм}$ – змінна продуктивність, шт/зміну; $T_{зм}$ – тривалість зміни, хв; k_v – коефіцієнт використання змінного часу; n_f – кількість виробів, які формуються за один цикл. Для лінії з двома змінними формами продуктивність уточнюють окремо для бордюрних каменів і дорожніх плит, оскільки вони мають різну масу, габарити та тривалість формування.

При $T_{зм} = 480$ хв, $k_v = 0,85$, $t_u = 12$ хв і $n_f = 4$ шт. для бордюрних каменів орієнтовна змінна продуктивність становитиме:

$$N_{зм.б} = (480 \cdot 0,85 / 12) \cdot 4 = 136 \text{ шт} / \text{зміну} \quad (2.5)$$

Для дорожніх плит, якщо за один цикл формується одна плита, а тривалість циклу становить 20 хв, отримаємо:

$$N_{зм.п} = (480 \cdot 0,85 / 20) \cdot 1 = 20,4 \approx 20 \text{ шт} / \text{зміну} \quad (2.6)$$

2.4 Визначення режиму роботи віброплощадки

Режим вібраційного ущільнення характеризується амплітудою коливань, частотою, віброприскоренням і тривалістю дії вібрації. Для ущільнення бетонних сумішей дорожніх виробів доцільним є застосування вертикально спрямованих або близьких до вертикальних коливань, які забезпечують зниження внутрішнього тертя в суміші, її осідання та видалення повітряних включень [2, 5, 6].

$$\omega = \pi \cdot n / 30 \quad (2.7)$$

де ω – кутова швидкість, c^{-1} ; n – частота обертання вала віброзбудника, об/хв.

$$\omega = 3,14 \cdot 1400 / 30 = 146,5 c^{-1} \quad (2.8)$$

$$a = A \cdot \omega^2 \quad (2.9)$$

де a – максимальне віброприскорення, m/c^2 ; A – амплітуда коливань, м.

$$k = a / g = A \cdot \omega^2 / g \quad (2.10)$$

де k – відносний рівень віброприскорення; $g = 9,81 m/c^2$ – прискорення вільного падіння. Для забезпечення ефективного ущільнення приймаємо $k = 2 \dots 2,2$.

$$A = k \cdot g / \omega^2 = 2 \cdot 9,81 / 146,5^2 = 0,00091 m \approx 0,001 m \quad (2.11)$$

$$a = 0,001 \cdot 146,5^2 = 21,46 m / c^2 \approx 2,19 g \quad (2.12)$$

Отже, прийнята амплітуда $A = 0,001 m$ при частоті обертання 1400 об/хв забезпечує рівень віброприскорення близько $2g$, що є достатнім для ущільнення бетонної суміші у формах бордюрних каменів і дорожніх плит.

2.5 Визначення параметрів дебалансного віброзбудника

Необхідний статичний момент дебалансів визначається з умови отримання заданої амплітуди коливань коливальної системи. Для вібратора направлених коливань сумарний статичний момент дебалансів повинен відповідати масі коливальних частин і розрахунковій амплітуді [3, 5].

$$m_k \cdot A = z \cdot m_d \cdot r \quad (2.13)$$

де m_k – маса коливальних частин віброплощини з формою, кг; z – кількість дебалансів; m_d – маса одного дебалансу, кг; r – відстань від осі обертання до центра маси дебалансу, м.

$$m_d = m_k \cdot A / (z \cdot r) \quad (2.14)$$

$$m_d = 3300 \cdot 0,001 / (4 \cdot 0,036) = 22,9 кг \quad (2.15)$$

Приймаємо масу одного дебалансу $m_d = 22,5...23$ кг. Для конструктивного виконання використовується плоский дебаланс у вигляді ексцентрично зміщеного кільця.

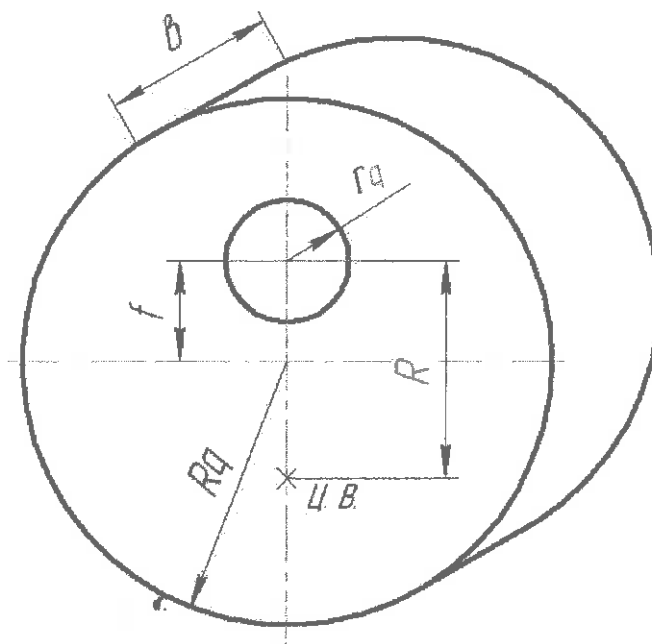


Рисунок 2.4 – Схема дебалансу вібратора

$$m_d = \pi \cdot (R^2 - r_0^2) \cdot b \cdot \rho \quad (2.16)$$

де R_d – зовнішній радіус дебалансу, м; r_0 – радіус отвору, м; b – товщина дебалансу, м; ρ – густина сталі, кг/м^3 .

$$m_d = 3,14 \cdot (0,11^2 - 0,025^2) \cdot 0,08 \cdot 7800 = 22,48 \text{ кг} \quad (2.17)$$

$$r = m_k \cdot A / (z \cdot m_d) = 3300 \cdot 0,001 / (4 \cdot 22,48) = 0,0367 \text{ м} \quad (2.18)$$

Отримане значення $r = 0,0367$ м узгоджується з конструктивними розмірами дебалансу. Сила інерції одного дебалансу визначається за залежністю:

$$P_{in} = m_d \cdot r \cdot \omega^2 \quad (2.19)$$

$$P_{in} = 22,48 \cdot 0,04 \cdot 104,6^2 = 9838 \text{ Н} \quad (2.20)$$

Сумарна збурювальна сила для чотирьох дебалансів становитиме:

$$F_0 = z \cdot P_{in} = 4 \cdot 9838 = 39352 \text{ Н} \quad (2.21)$$

2.6 Розрахунок потужності приводу віброплощадки

Потужність приводу визначається з урахуванням сил опору, втрат у підшипниках, втрат у муфті та енергії, яка витрачається на ущільнення бетонної суміші. Для попереднього інженерного розрахунку потужність можна оцінити через добуток сили, швидкості та коефіцієнта запасу [5].

$$v_{max} = A \cdot \omega \quad (2.22)$$

$$v_{max} = 0,001 \cdot 146,5 = 0,1465 \text{ м / с} \quad (2.23)$$

$$N = F_0 \cdot v_{max} / (1000 \cdot \eta) \cdot k_z \quad (2.24)$$

де N – необхідна потужність електродвигуна, кВт; η – ККД приводу; k_z – коефіцієнт запасу потужності, який враховує пускові навантаження та зміну властивостей бетонної суміші.

$$N = 39352 \cdot 0,1465 / (1000 \cdot 0,98) \cdot 0,30 = 1,76 \text{ кВт} \quad (2.25)$$

З урахуванням розрахункової потужності та можливого перевантаження при пуску приймаємо електродвигун потужністю $N = 2,2$ кВт з частотою обертання 1400 об/хв. У разі використання важкої форми для дорожніх плит доцільно передбачити можливість встановлення двигуна потужністю 3,0 кВт або застосування частотного перетворювача для плавного пуску та регулювання частоти коливань.

$$M_{кр} = 9550 \cdot N / n \quad (2.26)$$

$$M_{кр} = 9550 \cdot 2,2 / 1400 = 15,0 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.27)$$

Отриманий крутний момент достатній для приведення в обертання дебалансного вала за умови застосування муфти з компенсацією незначних перекосів та динамічних навантажень.

2.7 Розрахунок пружних опор віброплощадки

Пружні опори призначені для підтримання коливальної системи, зниження передачі динамічних навантажень на фундамент і забезпечення необхідного режиму коливань. Частоту власних коливань системи приймають

нижчою за робочу частоту, щоб забезпечити зарезонансний режим роботи [3, 5].

$$\omega_0 = \omega / \lambda \quad (2.28)$$

де ω_0 – власна кутова частота системи, c^{-1} ; λ – коефіцієнт відстроювання від резонансу. Приймаємо $\lambda = 3$.

$$\omega_0 = 146,5 / 3 = 48,8 c^{-1} \quad (2.29)$$

$$c_{\Sigma} = m_{\kappa} \cdot \omega_0^2 \quad (2.30)$$

$$c_{\Sigma} = 3300 \cdot 48,8^2 = 7,86 \cdot 10^6 H / m \quad (2.31)$$

Якщо віброплощадка встановлена на чотирьох однакових пружних опорах, жорсткість однієї опори становитиме:

$$c_1 = c_{\Sigma} / 4 = 7,86 \cdot 10^6 / 4 = 1,97 \cdot 10^6 H / m \quad (2.32)$$

$$\delta_{cm} = m_{\kappa} \cdot g / c_{\Sigma} \quad (2.33)$$

$$\delta_{cm} = 3300 \cdot 9,81 / (7,86 \cdot 10^6) = 0,0041 m = 4,1 mm \quad (2.34)$$

Статична осадка опор у межах 4...5 мм є допустимою для віброплощадки такого типу. Для зменшення передачі вібрації на фундамент доцільно застосовувати гумометалеві або пружинні опори з обмежувачами переміщення.

2.8 Розрахунок вала віброзбудника на міцність

На вал віброзбудника діють сили інерції дебалансів, вага вала, вага дебалансів і крутний момент від електродвигуна. Найбільш небезпечним є переріз біля опор або в зоні посадки дебалансів, де одночасно діють згин і кручення [3, 12].

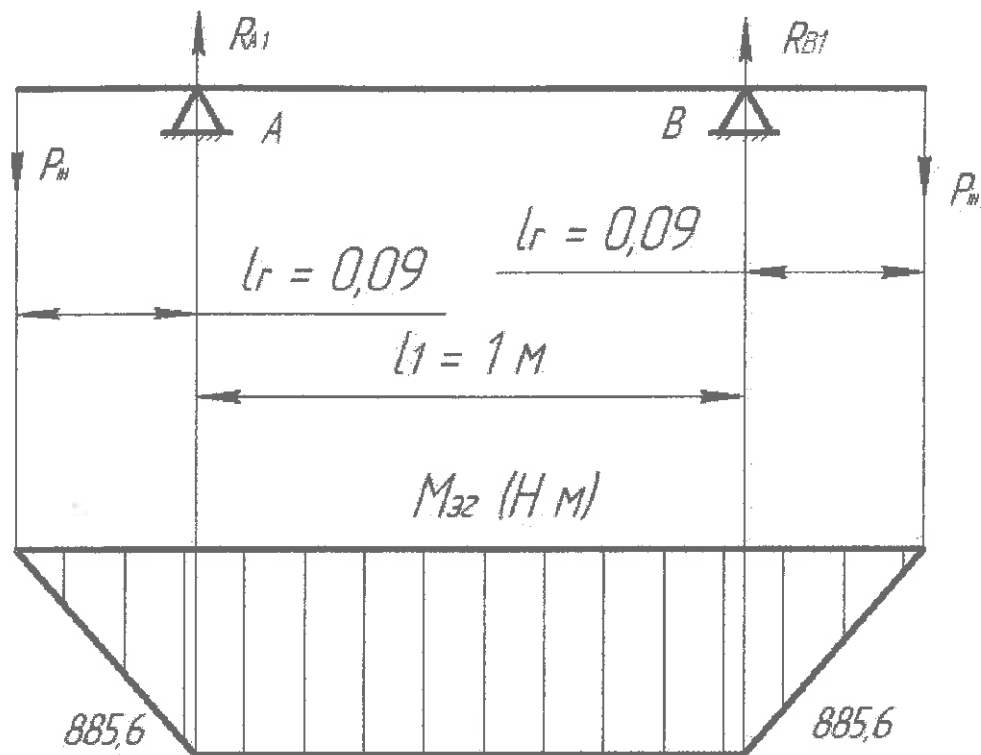


Рисунок 2.5 – Епюра згинальних моментів від дії сили інерції дебалансів

$$P_{in} = m \cdot r \cdot \omega^2 = 22,48 \cdot 0,04 \cdot 104,6^2 = 9838 \text{ Н} \quad (2.35)$$

$$R_{A1} = R_{B1} = P_{in} = 9838 \text{ Н} \quad (2.36)$$

$$M_{1max} = P_{in} \cdot l_2 = 9838 \cdot 0,09 = 885,4 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.37)$$

Епюра згинальних моментів від ваги вала наведена на рисунку 2.6. Для попередньої оцінки приймаємо середній діаметр вала $d_b = 60 \text{ мм}$, довжину $l = 1,3 \text{ м}$.

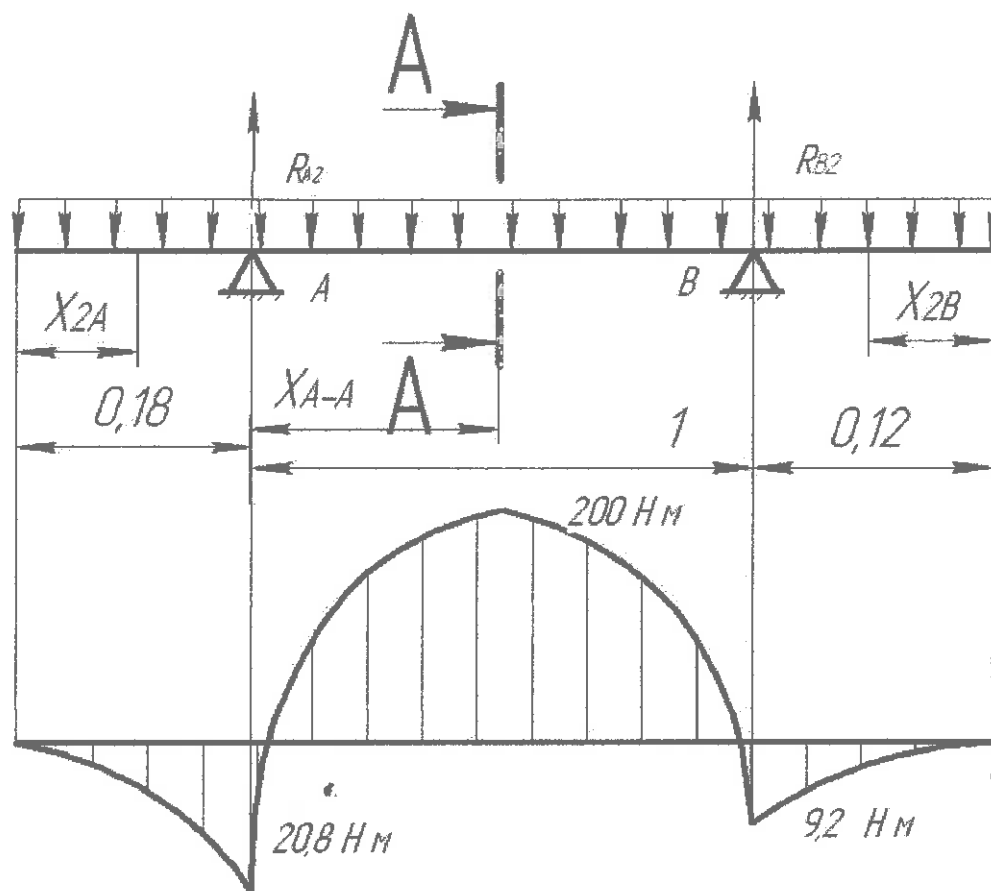


Рисунок 2.6 – Елюра згинальних моментів від дії сил ваги вала

$$m_b = (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot l \cdot \rho \quad (2.38)$$

$$m_b = (3,14 \cdot 0,06^2 / 4) \cdot 1,3 \cdot 7800 = 28,6 \text{ кг} \quad (2.39)$$

$$G_b = m_b \cdot g = 28,6 \cdot 9,81 = 280,6 \text{ Н} \quad (2.40)$$

$$q = G_b / l = 280,6 / 1,3 = 215,8 \text{ Н / м} \quad (2.41)$$

$$k\delta = A \cdot \omega^2 / g = 0,00445 \cdot 104,6^2 / 9,81 = 4,96 \quad (2.42)$$

$$q_b = q \cdot (1 + k\delta) = 215,8 \cdot (1 + 4,96) = 1286 \text{ Н / м} \quad (2.43)$$

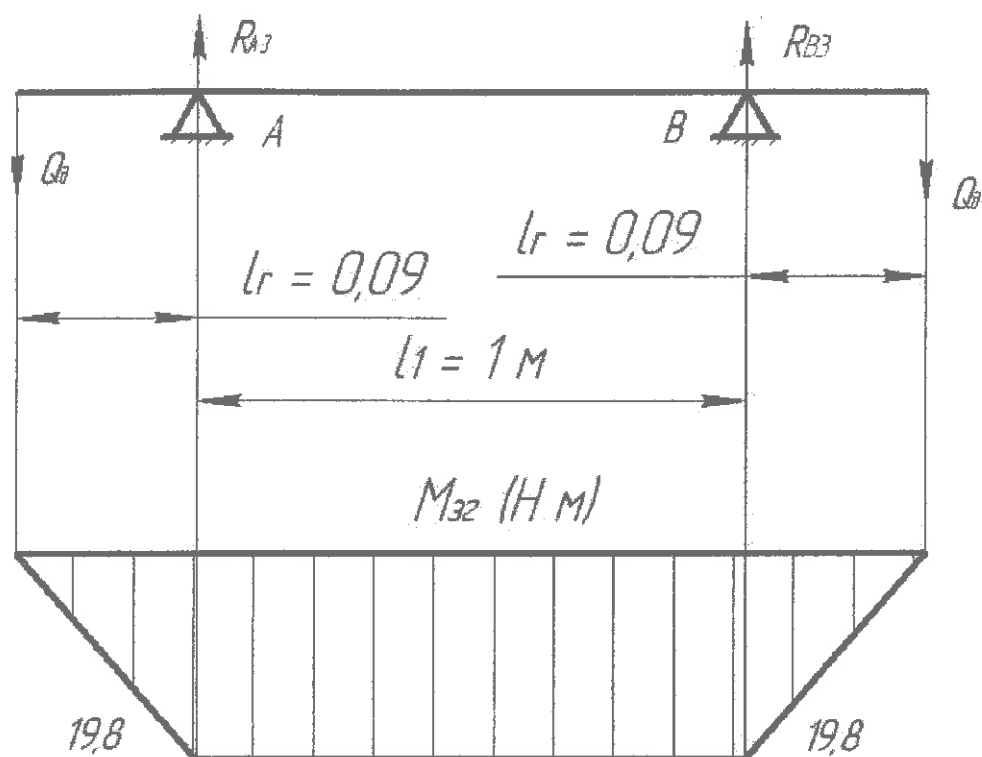


Рисунок 2.7 – Епюра згинальних моментів від дії сил ваги дебалансів

$$Q_d = m_d \cdot g = 22,48 \cdot 9,81 = 220,5 \text{ H} \quad (2.44)$$

$$M_d = Q_d \cdot l_2 = 220,5 \cdot 0,09 = 19,8 \text{ H} \cdot \text{м} \quad (2.45)$$

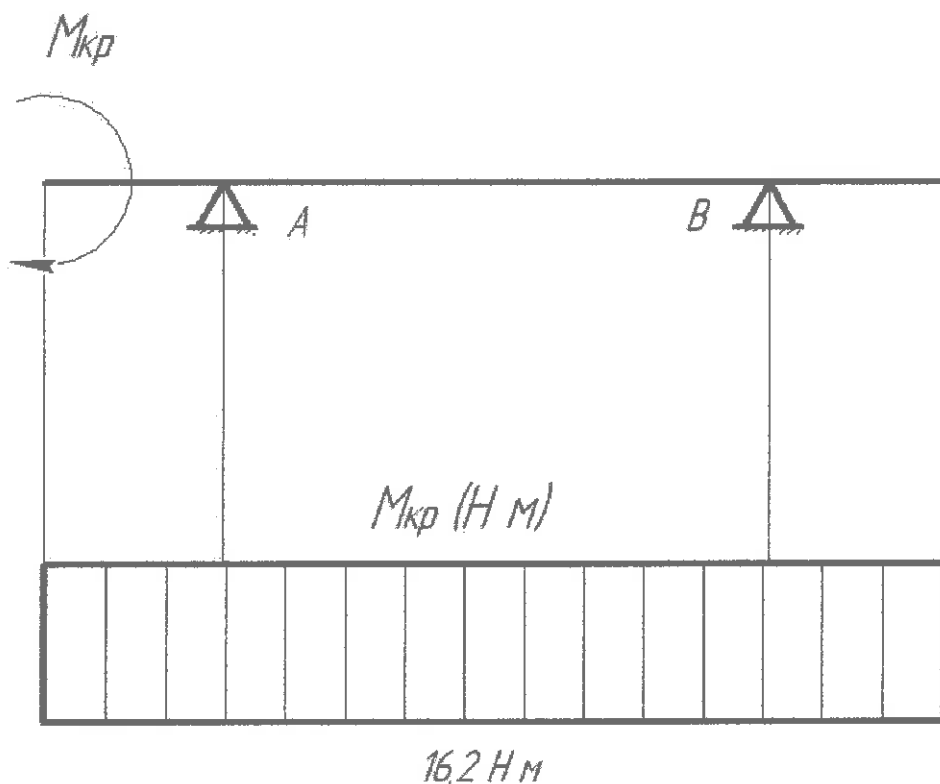


Рисунок 2.8 – Епюра крутних моментів на валу віброзбудника

$$M_{кр} = 9550 \cdot N / n = 9550 \cdot 2,2 / 1400 = 15,0 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.46)$$

Згинальний момент у найбільш навантаженому перерізі визначаємо як суму моментів від сил інерції, ваги вала та ваги дебалансів:

$$M_{зг} = M_{1max} + M_{в} + M_{д} \quad (2.47)$$

$$M_{зг} = 885,4 + 200 + 19,8 = 1105,2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.48)$$

Еквівалентний момент за четвертою теорією міцності:

$$M_{екв} = \sqrt{(M_{зг}^2 + 0,75 \cdot M_{кр}^2)} \quad (2.49)$$

$$M_{екв} = \sqrt{(1105,2^2 + 0,75 \cdot 15,0^2)} = 1105,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.50)$$

Попередній діаметр вала визначаємо з умови міцності при згині:

$$d \geq \sqrt[3]{(M_{екв} / (0,1 \cdot [\sigma]))} \quad (2.51)$$

Для сталі 40Х приймаємо допустиме напруження $[\sigma] = 2,98 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$.

$$d \geq \sqrt[3]{(1105,3 / (0,1 \cdot 2,98 \cdot 10^8))} = 0,033 \text{ м} = 33 \text{ мм} \quad (2.52)$$

З урахуванням динамічного характеру навантаження, посадки підшипників, концентрації напружень і технологічних вимог приймаємо діаметр вала у небезпечному перерізі $d = 75 \text{ мм}$, а в місці посадки підшипників $d_1 = 60 \text{ мм}$. Такий запас забезпечує роботу вала без пластичних деформацій і зменшує амплітуду пружних прогинів.

2.9 Перевірка вала на втому

Оскільки вал працює в умовах циклічного навантаження, необхідно виконати перевірку на витривалість. Осьовий момент опору круглого перерізу визначається за формулою:

$$W = \pi \cdot d^3 / 32 \quad (2.53)$$

$$W_{75} = 3,14 \cdot 0,075^3 / 32 = 4,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (2.54)$$

$$W_{60} = 3,14 \cdot 0,060^3 / 32 = 2,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (2.55)$$

$$\sigma_{max} = M_{кр} / W_{60} = 930 / (2,12 \cdot 10) = 43,9 \text{ МПа} \quad (2.56)$$

$$\sigma_{min} = 850 / (2,12 \cdot 10) = 40,1 \text{ МПа} \quad (2.57)$$

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2 = (43,9 + 40,1) / 2 = 42,0 \text{ МПа} \quad (2.58)$$

$$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / 2 = (43,9 - 40,1) / 2 = 1,9 \text{ МПа} \quad (2.59)$$

Границя витривалості для сталі 40Х при згині орієнтовно приймається:

$$\sigma_{-1} = 0,4 \cdot \sigma_B = 0,4 \cdot 716 = 286,4 \text{ МПа} \quad (2.60)$$

Коефіцієнт запасу витривалості визначимо за спрощеною залежністю з урахуванням коефіцієнта концентрації напружень $K_\sigma = 2$:

$$n_\sigma = \sigma_{-1} / (K_\sigma \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m) \quad (2.61)$$

$$n_\sigma = 286,4 / (2 \cdot 1,9 + 0,1 \cdot 42,0) = 35,8 \quad (2.62)$$

Отриманий коефіцієнт запасу за втомною міцністю значно перевищує мінімально допустимі значення, тому прийнятий діаметр вала є достатнім.

2.10 Розрахунок підшипникових опор

Підшипники вала віброзбудника сприймають радіальні навантаження від сил інерції дебалансів і ваги обертових деталей. Для попереднього розрахунку еквівалентне динамічне навантаження приймаємо рівним найбільшій радіальній реакції опори.

$$F_r = \sqrt{(R_{in}^2 + R_b^2)} \quad (2.63)$$

$$F_r = \sqrt{(9838^2 + 856^2)} = 9875 \text{ Н} \quad (2.64)$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (2.65)$$

Оскільки осьове навантаження незначне, приймаємо $F_a = 0$, $X = 1$, тоді $P = F_r = 9,88 \text{ кН}$.

$$L_{10} = (C / P)^p \quad (2.66)$$

де L_{10} – розрахунковий ресурс, млн обертів; C – динамічна вантажопідйомність підшипника, кН; $p = 3$ – показник степеня для кулькових підшипників.

Для підшипника з динамічною вантажопідйомністю $C = 45$ кН:

$$L_{10} = (45 / 9,88)^3 = 94,4 \text{ млн обертів} \quad (2.67)$$

$$L_h = 10 \cdot L_{10} / (60 \cdot n) \quad (2.68)$$

$$L_h = 10 \cdot 94,4 / (60 \cdot 1400) = 1124 \text{ год} \quad (2.69)$$

Розрахунковий ресурс підшипникових опор є достатнім для роботи обладнання за умови регулярного технічного обслуговування, контролю мастила та недопущення перекосів вала.

«.

2.11 Перевірка жорсткості віброформи та рами

Жорсткість віброформи має забезпечувати рівномірне передавання коливань бетонній суміші. Надмірні прогини бортів або днища можуть призвести до нерівномірного ущільнення, порушення геометрії виробу та прискореного зношування зварних з'єднань. Перевірку елементів рами виконуємо за умовами міцності та жорсткості [4, 12].

$$q\phi = (m\phi + mб) \cdot g / L \quad (2.70)$$

де $q\phi$ – розподілене навантаження на поздовжній елемент форми, Н/м; $m\phi$ – маса форми, кг; $mб$ – маса бетонної суміші, кг; L – розрахункова довжина балки, м.

$$M_{max} = q\phi \cdot L^2 / 8 \quad (2.71)$$

$$\sigma = M_{max} / W \leq [\sigma] \quad (2.72)$$

Прогин поздовжнього елемента при рівномірно розподіленому навантаженні:

$$f = 5 \cdot q\phi \cdot L^4 / (384 \cdot E \cdot I) \quad (2.73)$$

де $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності сталі; I – момент інерції перерізу балки, m^4 . Для формувального обладнання прогин доцільно обмежувати умовою:

$$f \leq L / 500 \quad (2.74)$$

Дотримання цієї умови забезпечує достатню геометричну точність бордюрних каменів і дорожніх плит після розпалублення. Для підвищення жорсткості у конструкції форм передбачено поперечні ребра, посилені борти та опорні елементи в місцях передачі вібрації.

2.12 Висновки за розділом

- Розроблена технологічна лінія забезпечує формування бордюрних каменів і дорожніх плит із застосуванням змінних віброформ, що підвищує універсальність обладнання.
- Прийнятий режим роботи віброплощини з амплітудою $A = 0,001$ м та частотою обертання вала 1400 об/хв забезпечує рівень віброприскорення близько 2g, достатній для ущільнення бетонної суміші.
- Розрахунком встановлено, що маса одного дебалансу становить приблизно 22,5 кг, а сумарна збурювальна сила чотирьох дебалансів становить близько 39 кН.
- Для приводу вібраційного обладнання доцільно прийняти електродвигун потужністю 2,2 кВт з можливістю регулювання частоти обертання.
- Перевірка вала віброзбудника на міцність і втому підтвердила достатність прийнятих діаметрів: 75 мм у небезпечному перерізі та 60 мм у місцях посадки підшипників.
- Пружні опори та рама віброформи забезпечують необхідний режим роботи обладнання, а прийняті конструктивні рішення можуть бути використані для подальшої деталізації креслень і розроблення робочої документації.

3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА

3.1 Призначення та умови роботи деталі у вузлі

Деталь «вал» входить до складу вібраційного обладнання технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит. У конструкції вібраційної форми вал використовується як елемент віброприводу, який передає крутний момент від електродвигуна до дебалансного вузла та забезпечує створення вимушених коливань робочого органа. Надійність вала безпосередньо впливає на стабільність режиму віброущільнення бетонної суміші, рівномірність формування виробів і ресурс роботи всієї установки [1, 2].

Під час роботи вал сприймає крутний момент, сили інерції від обертання дебалансів, реакції опор підшипникових вузлів, а також змінні динамічні навантаження, що виникають при пуску, усталеній роботі та зупинці вібраційної установки. Для таких деталей характерні циклічні напруження, тому до точності виготовлення посадочних поверхонь, шорсткості шийок і якості матеріалу висуваються підвищені вимоги [3, 4].

Найбільш відповідальними поверхнями вала є шийки під підшипники, посадочні місця під елементи приводу, шпонкові пази та різьбові отвори для кріпильних елементів. Саме ці поверхні визначають точність складання, співвісність обертання, стійкість до зношування та довговічність вібраційного вузла. Допоміжні циліндричні поверхні мають нижчі вимоги до точності, однак вони також повинні забезпечувати технологічність обробки та зручність складання.

Загальний вигляд деталі, що виготовляється, наведено на рисунку 3.1. Конструктивно вал належить до ступінчастих деталей типу тіл обертання.

					ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА		
Розроб.	Кустріч			20.06			
Перев.	Рогозін			20.06	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Керівник	Васильєв			20.06			
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Отисенко			20.06	Лім.	Лист	Листів
					Н	33	

Відношення довжини до найбільшого діаметра не перевищує граничного значення для жорстких валів, тому оброблення може виконуватися у центрах із використанням токарних, фрезерних, свердильних і шліфувальних операцій.

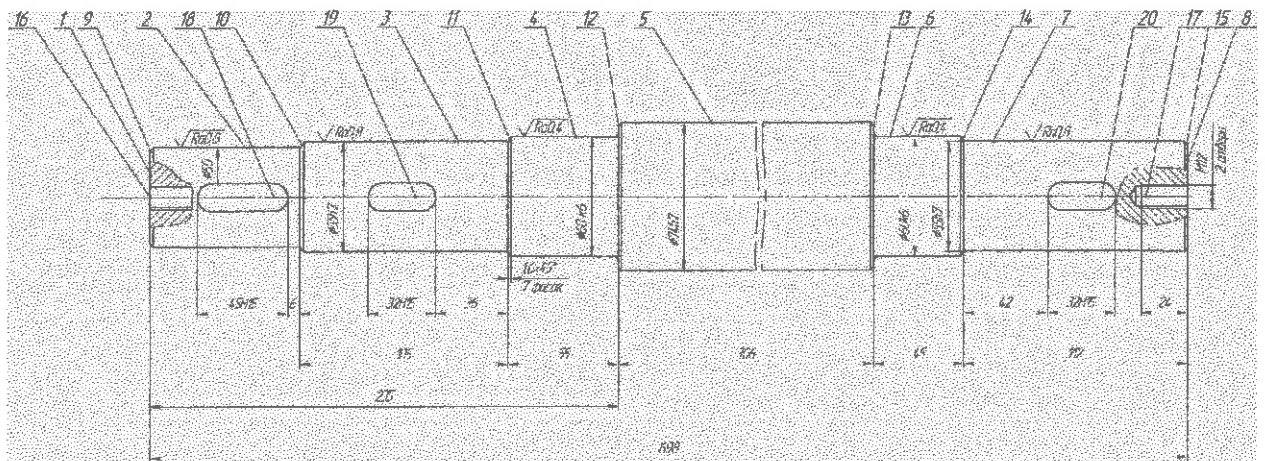


Рисунок 3.1 – Робоче креслення вала віброприводу

3.2 Аналіз технологічності конструкції вала

Технологічність конструкції деталі оцінюється з позиції можливості її виготовлення з мінімальними витратами матеріалу, праці та часу при забезпеченні вимог креслення. Вал має переважно циліндричні поверхні, що є сприятливим для оброблення на токарних верстатах. Наявність ступенів різних діаметрів, фасок, шпонкових пазів і різьбових отворів не ускладнює технологічний процес, оскільки такі елементи можуть бути отримані стандартними методами механічної обробки [4, 8].

Для забезпечення точності співвісності основні токарні операції доцільно виконувати з установленням заготовки у центрах. Така схема базування дозволяє зменшити похибки форми та взаємного розташування поверхонь. Після чорнового точіння передбачаються чистове точіння та шліфування відповідальних шийок, що забезпечує необхідну точність посадок і зменшення шорсткості поверхонь.

З урахуванням умов експлуатації деталі технологічний процес повинен передбачати: отримання заготовки необхідних розмірів; підготовку базових поверхонь; чорнове та чистове точіння; виготовлення шпонкових пазів;

оброблення різбових отворів; шліфування відповідальних шийок; остаточний контроль розмірів, шорсткості та співвісності.

3.3 Вибір матеріалу та заготовки

Матеріалом для виготовлення вала приймається конструкційна якісна вуглецева сталь 45. Вибір цього матеріалу обґрунтовується достатньою міцністю, задовільною оброблюваністю різанням, можливістю термічного поліпшення та широким застосуванням для виготовлення валів, осей і деталей приводу. Для забезпечення необхідної твердості та зносостійкості відповідальних поверхонь передбачають термічне оброблення з отриманням твердості орієнтовно 170...190 НВ.

Як заготовку приймаємо круглий гарячекатаний прокат нормальної точності. Такий вид заготовки є раціональним для одиничного або дрібносерійного виробництва, оскільки не потребує виготовлення спеціального штампового оснащення, має невелику підготовчо-завершальну трудомісткість і забезпечує достатній припуск для подальшої механічної обробки.

Виходячи з найбільшого діаметра деталі та необхідних припусків на чорнове, чистове точіння і шліфування, приймаємо заготовку діаметром 85 мм і довжиною 702 мм. Схему заготовки наведено на рисунку 3.2.

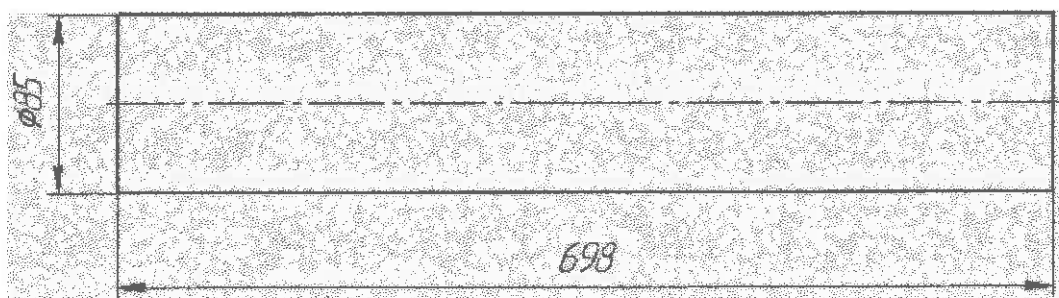


Рисунок 3.2 – Заготовка вала

Маса заготовки визначається за залежністю

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

де D_3 – діаметр заготовки, м; L_3 – довжина заготовки, м; ρ – густина сталі, кг/м³.

$$m_3 = (3,14 \cdot 0,085^2 / 4) \cdot 0,702 \cdot 7850 = 31,3 \text{ кг.} \quad (3.2)$$

Отримана маса заготовки є прийнятною для оброблення на токарному верстаті середнього типорозміру та не потребує спеціальних вантажопідіймальних пристроїв на робочому місці.

3.4 Призначення припусків на механічну обробку

Припуском називають шар матеріалу, який видаляється з поверхні заготовки у процесі механічної обробки для отримання заданих розмірів, форми, точності та шорсткості. Припуски можуть визначатися розрахунково-аналітичним або дослідно-статистичним методом. Для даного технологічного процесу доцільно застосувати дослідно-статистичний метод, оскільки він є достатньо простим і забезпечує необхідну точність для умов одиничного та дрібносерійного виробництва.

Загальний припуск на діаметр визначаємо як суму припусків на всі послідовні переходи:

$$Z_{\text{заг}} = Z_{\text{чорн}} + Z_{\text{чист}} + Z_{\text{шл}}, \quad (3.3)$$

$$Z_{\text{заг}} = 7,0 + 2,5 + 0,6 = 10,1 \text{ мм.} \quad (3.4)$$

Прийняті значення припусків наведено в таблиці 3.1, а проміжні розміри за технологічними переходами – у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Припуски на обробку основної циліндричної поверхні

№ з/п	Вид обробки	Припуск, мм
1	Чорнове точіння	7,0
2	Чистове точіння	2,5
3	Шліфування	0,6

Таблиця 3.2 – Проміжні розміри, припуски та допуски

Маршрут обробки та розмір, що визначається	Розмір, мм	Допуск, мм	Припуск, мм
Розмір вала за кресленням	74,0	-0,071	-
Припуск на шліфування	-	-	0,6
Розмір після чистового точіння	75,5	-0,140	-
Припуск на чистове точіння	-	-	2,5
Розмір після чорнового точіння	78,0	-0,520	-
Припуск на чорнове точіння	-	-	7,0
Загальний припуск	-	-	10,1
Розмір заготовки	85,0	-	-

3.5 Вибір обладнання, пристосувань та інструменту

Основні операції механічної обробки вала виконуються на універсальному токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Цей верстат забезпечує необхідний діапазон частот обертання шпинделя, достатню потужність приводу та можливість оброблення заготовки заданої довжини. Для установлення вала застосовуються центри та трикулачковий патрон, що дозволяє виконувати як підготовчі, так і чистові операції.

Для чорнового та чистового точіння приймаються прохідні різці з пластинами твердого сплаву Т5К10 з державкою 25×25 мм. Для фрезерування шпонкових пазів застосовується шпонкова фреза відповідного діаметра. Різьбові отвори виконуються свердлінням з подальшим нарізанням різьби мітчиком або різьбонарізним інструментом. Відповідальні шийки після точіння підлягають шліфуванню на круглошліфувальному верстаті.

Таблиця 3.3 – Обладнання та технологічне оснащення

Операція	Обладнання	Пристосування	Інструмент
Заготівельна	Відрізний верстат або стрічкопильний верстат	Лещата, упори	Пильне полотно / відрізний круг
Токарна чорнова	Токарно-гвинторізний верстат 16K20	Патрон, центри	Прохідний різець T5K10
Токарна чистова	Токарно-гвинторізний верстат 16K20	Центри	Чистовий прохідний різець
Фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат	Призматичні опори, прихвати	Шпонкова фреза
Свердлильно-різьбонарізна	Свердлильний верстат	Кондуктор або лещата	Свердло, мітчик
Шліфувальна	Круглошліфувальний верстат	Центри	Шліфувальний круг
Контрольна	Контрольний стіл	Призми, індикаторна стійка	Штангенциркуль, мікрометр, індикатор

3.6 Маршрутний технологічний процес виготовлення вала

Маршрут оброблення розроблено з урахуванням послідовного підвищення точності поверхонь. Спочатку виконують заготівельні та базоутворюючі операції, після чого проводять чорнове точіння для зняття основного припуску. Чистові та шліфувальні операції виконують на завершальному етапі, щоб зменшити вплив похибок попередньої обробки на точність готової деталі.

Таблиця 3.4 – Маршрутна карта технологічного процесу виготовлення вала

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Обладнання
005	Заготівельна	Відрізати заготовку Ø85×702 мм, зачистити задирки	Відрізний або стрічкопильний верстат
010	Токарна підготовча	Підрізати торці, виконати центрові отвори	16K20
015	Токарна чорнова	Обточити зовнішні поверхні з припуском під чистову обробку	16K20
020	Термічна	Провести поліпшення або нормалізацію для отримання заданої твердості	Термічна піч
025	Токарна чистова	Обточити шийки та ступені вала до проміжних розмірів	16K20
030	Фрезерна	Нарізати шпонкові пази згідно з кресленням	Вертикально-фрезерний верстат
035	Свердлильно-різьбонарізна	Просвердлити отвори та нарізати різьбу	Свердлильний верстат
040	Шліфувальна	Шліфувати відповідальні посадочні поверхні	Круглошліфувальний верстат
045	Контрольна	Перевірити розміри, шорсткість, биття і співвісність	Контрольний стіл

3.7 Визначення режимів різання та нормування операцій

До основних параметрів режиму різання належать глибина різання t , подача S , швидкість різання v та частота обертання шпинделя n . Вони визначають продуктивність обробки, знос інструменту, шорсткість поверхні та точність отриманих розмірів [4, 8].

Глибина різання при чорновому точінні визначається з урахуванням припуску на діаметр:

$$t = Z_{\text{чорн}} / 2, \quad (3.5)$$

$$t = 7,0 / 2 = 3,5 \text{ мм.} \quad (3.6)$$

Частота обертання шпинделя для заданої швидкості різання визначається за формулою

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

де v – швидкість різання, м/хв; D – діаметр оброблюваної поверхні, мм.

$$n = (1000 \cdot 104) / (3,14 \cdot 85) = 389,5 \text{ об / хв.} \quad (3.8)$$

За паспортом верстата приймаємо найближче стандартне значення $n = 400$ об/хв. Фактична швидкість різання становитиме

$$v_{\phi} = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000, \quad (3.9)$$

$$v_{\phi} = (3,14 \cdot 85 \cdot 400) / 1000 = 106,8 \text{ м / хв.} \quad (3.10)$$

Основний час точіння визначаємо за залежністю

$$t_0 = L / (S \cdot n), \quad (3.11)$$

де L – довжина оброблення, мм; S – подача, мм/об; n – частота обертання шпинделя, об/хв.

$$t_0 = 702 / (0,47 \cdot 400) = 3,73 \text{ хв.} \quad (3.12)$$

Допоміжний час приймаємо у розмірі 50 % від основного, а час на обслуговування робочого місця – 5 % від оперативного часу:

$$t_{\text{доп}} = 0,5 \cdot t_0 = 0,5 \cdot 3,73 = 1,87 \text{ хв}, \quad (3.13)$$

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{доп}} = 3,73 + 1,87 = 5,60 \text{ хв}, \quad (3.14)$$

$$t_{\text{обс}} = 0,05 \cdot t_{\text{оп}} = 0,28 \text{ хв}, \quad (3.15)$$

$$T_{\text{ум}} = t_0 + t_{\text{доп}} + t_{\text{обс}} = 3,73 + 1,87 + 0,28 = 5,88 \text{ хв}. \quad (3.16)$$

Для інших переходів основний час визначаємо аналогічно або за укрупненими нормативними залежностями, що застосовуються для токарних, фрезерних, свердлильних і шліфувальних робіт. Результати розрахунку наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Нормування основних операцій виготовлення вала

Операція	Розрахунковий зміст	Час, хв
Підрізання торців	$t_0 = \pi \cdot D^2 / (4000 \cdot v \cdot S)$	0,56
Центрування з двох сторін	$t = 2 \cdot (t_0 + t_{\text{доп}})$	10,01
Чорнове точіння	$T_{\text{шт}} = t_0 + t_{\text{доп}} + t_{\text{обс}}$	5,88
Чистове точіння	Сума переходів Ø74, Ø60, Ø55, Ø50	14,11
Фрезерування шпонкових пазів	$t_0 = L / S_{\text{хв}}$	15,65
Нарізання різьби	$t_0 = \pi \cdot D \cdot L \cdot a / (1000 \cdot v \cdot S)$	1,28
Шліфування шийок	$t_0 = \pi \cdot D \cdot L \cdot h \cdot f / (1000 \cdot v \cdot S \cdot t)$	11,04

Час фрезерування одного шпонкового паза визначаємо за формулою

$$t_0 = L_n / S \text{ хв}, \quad (3.17)$$

$$t_{01} = 32 / 170 = 0,188 \text{ хв}. \quad (3.18)$$

З урахуванням допоміжного часу для двох однакових пазів отримаємо

$$t_{um1} = 2 \cdot (0,188 + 5) = 10,376 \text{ хв.} \quad (3.19)$$

Для паза довжиною 49 мм:

$$t_{03} = 49 / 170 = 0,288 \text{ хв,} \quad (3.20)$$

$$t_{um} = 10,376 + (0,288 + 5) = 15,664 \approx 15,65 \text{ хв.} \quad (3.21)$$

Основний час нарізання різьби визначаємо залежністю

$$t_0 = (\pi \cdot D \cdot L \cdot a) / (1000 \cdot v \cdot S), \quad (3.22)$$

$$t_0 = (3,14 \cdot 10 \cdot 24 \cdot 1,85) / (1000 \cdot 9,12) = 0,077 \text{ хв.} \quad (3.23)$$

Оперативний час на одну різьбу з урахуванням допоміжного часу:

$$t_{um1} = t_0' + 0,5 \cdot t_0 = 0,077 + 0,039 = 0,116 \text{ хв.} \quad (3.24)$$

Для двох різьбових отворів приймаємо з урахуванням установлення та контролю $t_{шт} = 1,28 \text{ хв.}$

Час шліфування відповідальних шийок визначаємо за формулою

$$t_0 = (\pi \cdot D \cdot L \cdot h \cdot f) / (1000 \cdot v \cdot S \cdot t), \quad (3.25)$$

$$t_0 = (3,14 \cdot 55 \cdot 100 \cdot 0,6 \cdot 1,4) / (1000 \cdot 30 \cdot 10 \cdot 0,008) = 6,04 \text{ хв.} \quad (3.26)$$

$$t_{um} = t_0 + t_{дон} = 6,04 + 5 = 11,04 \text{ хв.} \quad (3.27)$$

Сумарний оперативний час виготовлення вала визначається як сума часу за всіма основними операціями:

$$T_{\Sigma} = \sum T_i, \quad (3.28)$$

$$T_{\Sigma} = 0,56 + 10,01 + 5,88 + 14,11 + 15,65 + 1,28 + 11,04 = 58,53 \text{ хв.} \quad (3.29)$$

3.8 Контроль якості виготовлення вала

Контроль якості вала виконується після завершення основних технологічних операцій. Особливу увагу приділяють діаметрам посадочних

шийок, довжині ступенів, параметрам шпонкових пазів, різьбовим отворам, шорсткості робочих поверхонь і радіальному биттю. Контроль діаметрів здійснюють мікрометром, довжин – штангенциркулем, а биття – індикатором годинникового типу при установленні деталі у призмах або центрах.

Шорсткість посадочних поверхонь повинна відповідати вимогам креслення, оскільки від неї залежить якість посадки підшипників і стабільність роботи віброприводу. Після шліфування необхідно перевірити відсутність прижогів, рисок, задирок і локальних дефектів поверхні. Деталь допускається до складання лише після підтвердження відповідності всіх контрольованих параметрів технічним вимогам.

Таблиця 3.6 – Основні контрольні операції

Контрольований параметр	Засіб контролю	Мета контролю
Діаметри шийок	Мікрометр	Перевірка посадочних розмірів
Довжини ступенів	Штангенцикуль	Перевірка відповідності кресленню
Шпонкові пази	Штангенцикуль, калібр	Контроль ширини та глибини паза
Різьбові отвори	Різьбовий калібр	Перевірка профілю та повноти різьби
Радіальне биття	Індикатор годинникового типу	Оцінка співвісності поверхонь
Шорсткість поверхонь	Зразки шорсткості або профілометр	Контроль якості чистової обробки

Висновок до розділу 3

У розділі розроблено технологічний процес виготовлення вала віброприводу, який входить до складу вібраційного обладнання технологічної

лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит. Обґрунтовано вибір матеріалу, заготовки, технологічного маршруту, обладнання, пристосувань та інструменту. Виконано розрахунок припусків, режимів різання й оперативного часу на основні операції. Запропонований технологічний процес забезпечує виготовлення деталі з необхідною точністю, шорсткістю та експлуатаційною надійністю при раціональних витратах часу і матеріалу.

€

					ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		44

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Безпека життєдіяльності під час розроблення та експлуатації технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит є важливою умовою стабільної роботи підприємства, збереження здоров'я працівників і забезпечення надійності обладнання. Проектована лінія включає операції приготування бетонної суміші, її транспортування, подачу у форми, вібраційне ущільнення, витримування, розпалублення, переміщення та складування готових виробів. Кожна з цих операцій супроводжується певними небезпечними та шкідливими виробничими факторами, тому організація робіт повинна передбачати комплекс технічних, санітарно-гігієнічних, організаційних і протипожежних заходів [14, 15].

Особливу увагу необхідно приділяти безпечній експлуатації вібраційного обладнання, оскільки під час роботи віброплощадки і віброформ виникають динамічні навантаження, підвищений рівень шуму, локальна та загальна вібрація, а також небезпека травмування рухомими елементами приводу. Вимоги до безпеки повинні враховувати конструктивні особливості лінії, режими роботи вібраторів, масу форм і виробів, наявність вантажопідіймальних операцій та використання електрообладнання [2, 5, 6].

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час роботи технологічної лінії працівники можуть зазнавати впливу механічних, фізичних, хімічних та психофізіологічних факторів. До механічних факторів належать рухомі частини конвеєрів, валів, муфт, приводів, механізмів подачі суміші, а також переміщення форм і готових виробів значної маси. До фізичних факторів належать шум, вібрація, запиленість повітря, недостатня освітленість, підвищена вологість, можливість ураження електричним струмом.

ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ					БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Кустріч	<i>[підпис]</i>	20.05	Н	45	
Перев.		Васильєв	<i>[підпис]</i>	20.08	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Керівник							
Н. контр.		Васильєв	<i>[підпис]</i>	20.08			
Затв.		Отисенко	<i>[підпис]</i>	20.06			

Хімічні фактори пов'язані з дією цементного пилу, мінеральних добавок, пластифікаторів, мастильних матеріалів і засобів очищення форм.

Основні небезпечні та шкідливі фактори, характерні для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит, наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори технологічної лінії

Джерело небезпеки	Можливий фактор	Наслідки впливу	Основні заходи захисту
Бетоносумішувач, бункери, конвеєри	Рухомі частини, зтягування одягу, заземлення	Механічні травми, удари, порізи	Огородження приводів, блокування, аварійні кнопки «Стоп», інструктаж
Віброплощадка та віброформи	Шум, вібрація, динамічні навантаження	Погіршення самопочуття, втома, травмування при обслуговуванні	Віброзахисні опори, дистанційне керування, засоби захисту слуху
Цемент, пісок, щебінь, сухі добавки	Запиленість повітря робочої зони	Подразнення органів дихання, очей і шкіри	Аспірація, вентиляція, респіратори, захисні окуляри
Електродвигуни, шафи керування	Електрична напруга, коротке замикання	Ураження електричним струмом, пожежа	Заземлення, захисне відключення, справна ізоляція, допуск персоналу
Кран-балка, навантажувач, склад готової продукції	Падіння вантажу, перекидання виробів	Тяжкі травми, пошкодження обладнання	Справні стропи, контроль маси вантажу, заборона перебування під вантажем
Робочі проходи та зона формування	Слизька підлога, бетонна суміш, мастила	Падіння, забої, травми	Регулярне прибирання, неслизьке покриття, розмітка проходів

4.2 Вимоги безпеки до організації технологічного процесу

Технологічний процес виробництва бетонних дорожніх виробів необхідно організовувати таким чином, щоб рух матеріалів, форм і готової продукції був послідовним та не створював зустрічних потоків. Робочі місця біля бетоносумішувача, дозувального обладнання, віброплощадки, поста розпалублення та складування повинні мати достатню площу для безпечного обслуговування, вільні проходи, попереджувальні знаки і чітку розмітку небезпечних зон.

До роботи на лінії допускаються працівники, які пройшли вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, навчання безпечним методам роботи та перевірку знань з охорони праці. Перед початком зміни оператор повинен перевірити справність огорожень, кнопок аварійної зупинки, стан кабелів, надійність кріплення віброзбуджувачів, відсутність сторонніх предметів у зоні руху обладнання, справність вантажозахоплювальних пристроїв і наявність засобів індивідуального захисту.

Запуск технологічної лінії дозволяється виконувати лише після подачі попереджувального сигналу та переконання у відсутності людей у небезпечній зоні. Забороняється очищати, змащувати, регулювати або ремонтувати обладнання під час його роботи. Усі роботи з технічного обслуговування повинні виконуватися після повної зупинки механізмів, вимкнення електроживлення та вивішування попереджувального плаката про заборону вмикання.

4.3 Безпека експлуатації вібраційного обладнання

Вібраційне обладнання є основним елементом проєктованої технологічної лінії, оскільки саме воно забезпечує ущільнення бетонної суміші у формах бордюрних каменів і дорожніх плит. Під час роботи віброплощадки виникають значні інерційні сили, які передаються на раму, форму, бетонну суміш і

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ

Лист

47

фундамент. Тому конструкція обладнання повинна забезпечувати достатню міцність, жорсткість, стійкість і надійність кріплення всіх елементів [2, 5].

Основними вимогами до безпечної роботи вібраційного обладнання є: надійне закріплення віброзбуджувачів; застосування захисних кожухів для муфт, валів і пасових передач; встановлення обладнання на справні пружні або гумові опори; контроль стану болтових з'єднань; регулярна перевірка підшипникових вузлів; недопущення роботи обладнання з підвищеним шумом, перегрівом або нехарактерною вібрацією.

Перед запуском віброплощадки необхідно переконатися, що форма правильно встановлена на робочій поверхні, не має перекосів, а бетонна суміш розподілена рівномірно. Нерівномірне завантаження форми може спричинити збільшення динамічних навантажень, зміщення форми, погіршення якості ущільнення та підвищений знос обладнання. Під час роботи забороняється торкатися віброуючих частин, ставати на раму віброплощадки, перебувати біля рухомих елементів приводу та виконувати ручне розрівнювання суміші без зупинки обладнання.

4.4 Електробезпека

Електрообладнання технологічної лінії включає електродвигуни приводів, шафи керування, датчики, кнопкові пости, кабельні лінії та пристрої аварійного вимкнення. Основною небезпекою є можливість ураження працівників електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, несправності заземлення, потрапляння вологи або пилу в електричні шафи.

Для забезпечення електробезпеки всі металеві неструмоведучі частини обладнання повинні бути приєднані до захисного заземлення. Шафи керування необхідно розміщувати у доступному для оператора, але захищеному від механічних пошкоджень та потрапляння вологи місці. Кнопки аварійної зупинки повинні бути добре помітними, мати червоний колір і розташовуватися біля основних робочих постів.

Під час експлуатації забороняється працювати з відкритими електричними шафами, використовувати пошкоджені кабелі, самовільно замінювати запобіжники, виконувати ремонт електричних ланцюгів без зняття напруги. Усі роботи з обслуговування електрообладнання повинні виконуватися електротехнічним персоналом відповідної кваліфікації.

4.5 Виробнича санітарія та засоби індивідуального захисту

У виробничій зоні необхідно підтримувати параметри мікроклімату, освітленості, запиленості та шуму на рівні, безпечному для працівників. Оскільки при роботі з цементом, піском, щебенем і сухими добавками утворюється пил, місця пересипання матеріалів доцільно обладнувати місцевою аспірацією, а приміщення – загальнообмінною вентиляцією. Для зменшення запиленості слід застосовувати закриті транспортні жолоби, герметизовані бункери, зволоження місць пиловиділення та регулярне вологе прибирання.

Працівники, які обслуговують технологічну лінію, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, наведеними у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Засоби індивідуального захисту працівників

Вид робіт	Засоби індивідуального захисту	Призначення
Дозування цементу та сухих компонентів	Респіратор, окуляри, рукавиці, спецодяг	Захист органів дихання, очей і шкіри від пилу
Формування та ущільнення бетонної суміші	Навушники або вкладиші, рукавиці, спецвзуття	Захист від шуму, вібрації та механічних травм
Розпалублення і переміщення виробів	Каска, рукавиці, спецвзуття з твердим носком	Захист від ударів і падіння предметів
Обслуговування обладнання	Захисні окуляри, рукавиці, щільний спецодяг	Захист від рухомих деталей, стружки, мастил
Прибирання та очищення форм	Рукавиці, окуляри, респіратор	Захист від пилу, уламків бетону та мастильних речовин

Шум і вібрація від віброобладнання зменшуються шляхом використання пружних опор, своєчасного балансування дебалансів, підтягування болтових з'єднань, застосування шумопоглинальних кожухів та винесення пульта керування за межі зони найбільшого шумового впливу. Робочі місця повинні мати достатнє природне або штучне освітлення. Світильники необхідно розташовувати так, щоб уникати засліплення оператора і створення різких тіней у зоні формування виробів.

4.6 Безпека вантажопідіймальних і транспортних операцій

Бордюрні камені, дорожні плити, металеві форми та елементи віброплощадок мають значну масу, тому під час їх переміщення необхідно застосовувати справні вантажопідіймальні механізми, стропи, траверси та захоплювачі. Перед підніманням вантажу слід перевірити його масу, правильність стропування, стан монтажних петель або захоплювальних елементів, а також відсутність людей у зоні можливого падіння вантажу.

Забороняється переміщувати вантаж над людьми, залишати його у підвішеному стані без нагляду, використовувати пошкоджені стропи, виконувати ривки під час піднімання, розгойдувати вантаж або підправляти його руками без використання спеціальних відтяжок. Складування готових виробів повинно виконуватися на рівному майданчику з використанням підкладок, що забезпечують стійкість штабеля та запобігають пошкодженню виробів.

4.7 Пожежна та екологічна безпека

Пожежна небезпека на ділянці виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит пов'язана переважно з експлуатацією електрообладнання, використанням мастильних матеріалів, наявністю дерев'яної тари, пакувальних матеріалів і можливістю короткого замикання. Для запобігання пожежам необхідно підтримувати справність електромережі, не допускати

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ

перевантаження електродвигунів, зберігати мастила у спеціально відведених місцях, регулярно прибирати виробничу зону та забезпечити доступ до первинних засобів пожежогасіння.

На дільниці повинні бути встановлені вогнегасники відповідного типу, пожежний щит, ящик з піском, а також схема евакуації. Проходи до виходів, електрощитів і засобів пожежогасіння не допускається захламлювати матеріалами, формами або готовою продукцією. Працівники повинні знати порядок дій у разі пожежі, місце розташування засобів пожежогасіння та правила виклику аварійних служб.

Екологічна безпека виробництва забезпечується раціональним використанням цементу, заповнювачів, води та електроенергії, зменшенням пиловиділення, організованим збором відходів бетонної суміші, очищенням води після миття обладнання та повторним використанням частини технологічної води. Відходи бетону після твердіння можуть подрібнюватися і використовуватися як вторинний заповнювач для допоміжних робіт, що зменшує навантаження на навколишнє середовище [14].

4.8 Дії персоналу в аварійних ситуаціях

До можливих аварійних ситуацій на технологічній лінії належать раптове руйнування або зміщення форми, вихід з ладу віброзбуджувача, обрив стропа, заклинювання конвеєра, ураження працівника електричним струмом, пожежа, розлив мастила або різке підвищення шуму і вібрації. У разі виникнення аварійної ситуації оператор повинен негайно зупинити обладнання кнопкою аварійного вимкнення, повідомити керівника робіт, вивести людей із небезпечної зони та не допускати повторного запуску до з'ясування причин несправності.

У разі травмування працівника необхідно надати першу домедичну допомогу, за потреби викликати медичну допомогу та повідомити відповідальних осіб. Якщо сталося ураження електричним струмом,

першочергово необхідно вимкнути напругу або безпечно відокремити потерпілого від струмоведучих частин, після чого оцінити стан потерпілого та розпочати надання допомоги.

Висновок до розділу 4

У розділі розглянуто основні питання безпеки життєдіяльності під час експлуатації технологічної лінії для виробництва бордюрних каменів і дорожніх плит. Встановлено, що найбільш небезпечними факторами є робота вібраційного обладнання, рухомі частини приводів і конвеєрів, підвищений рівень шуму та вібрації, запиленість повітря, електробезпека і виконання вантажопідіймальних операцій. Запропоновані заходи передбачають використання огорожень, заземлення, аварійного вимкнення, вентиляції, засобів індивідуального захисту, безпечної організації робочих місць і регулярного технічного обслуговування обладнання. Виконання цих вимог забезпечує зниження виробничого ризику, підвищення надійності роботи лінії та створення безпечних умов праці.

Висновки

Проведено аналіз сучасного стану виробництва бетонних і залізобетонних виробів дорожнього призначення. Встановлено, що бордюрні камені та дорожні плити є важливими елементами дорожньої інфраструктури, до яких висуваються підвищені вимоги щодо міцності, довговічності, морозостійкості, водонепроникності та геометричної точності. Обґрунтовано доцільність застосування вібраційного способу формування, який забезпечує якісне ущільнення бетонної суміші та дає змогу отримувати вироби з необхідними експлуатаційними властивостями.

Розроблено технологічну схему лінії для виготовлення бордюрних каменів і дорожніх плит. До складу лінії включено обладнання для підготовки сировинних матеріалів, приготування бетонної суміші, її транспортування, дозування, формування, вібраційного ущільнення, витримування, розпалублення та складування готової продукції. Запропонована послідовність операцій забезпечує раціональну організацію виробничого процесу та можливість виготовлення виробів різної номенклатури.

Виконано конструкторський розрахунок вібраційного обладнання, призначеного для ущільнення бетонної суміші у формах для бордюрних каменів і дорожніх плит. Визначено основні параметри вібраційного процесу: частоту коливань, амплітуду, віброприскорення, збурювальну силу, параметри дебалансів та потужність приводу. Розрахунками підтверджено працездатність запропонованої конструкції та можливість забезпечення необхідного режиму ущільнення бетонної суміші.

Проведено розрахунок основних елементів віброприводу, зокрема вала, дебалансного вузла, підшипникових опор та приводу. Визначено навантаження, згинаючі й крутні моменти, виконано перевірку вала за

ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.	Кустріч			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівн.							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06			
Висновки					Літ.	Лист	Листів
					Н		
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

умовами міцності та довговічності. Отримані результати підтверджують, що прийняті конструктивні параметри забезпечують надійну роботу вібраційного обладнання в умовах експлуатаційних навантажень.

Розроблено технологічний процес виготовлення вала віброприводу. Обґрунтовано вибір матеріалу заготовки, призначено припуски на механічну обробку, підібрано обладнання, інструмент і пристосування. Визначено режими різання та виконано нормування основного часу на токарні, фрезерні, різьбонарізні та шліфувальні операції. Запропонований технологічний процес забезпечує виготовлення деталі з необхідною точністю та якістю робочих поверхонь.

Розглянуто питання безпеки життєдіяльності під час експлуатації технологічної лінії та вібраційного обладнання. Визначено основні небезпечні й шкідливі виробничі фактори, серед яких вібрація, шум, рухомі частини машин, електричний струм, пил цементу та підвищені фізичні навантаження. Запропоновано заходи щодо захисту працівників, безпечної експлуатації обладнання, організації робочого місця, використання засобів індивідуального захисту та дотримання вимог охорони праці.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованої технологічної лінії та результатів розрахунку вібраційного обладнання при проектуванні або модернізації виробничих ділянок з виготовлення бетонних дорожніх виробів. Реалізація запропонованих рішень дозволяє підвищити якість ущільнення бетонної суміші, зменшити трудомісткість виробництва, забезпечити стабільність технологічного процесу та покращити експлуатаційні властивості готової продукції.

Список літератури

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

					ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Список літератури		
Розроб.	Кустріч			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06	Літ. Лист Листів		
					Н		
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

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

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

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

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

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

•

					ГММ.301пММ.018-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			ГММ 301пММ.018-06.02.000СК	Складальне креслення	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	ГММ 301пММ.018-06.02.001	Вал	1	
		2	ГММ 301пММ.018-06.02.002	Корпус підшипника	2	
		3	ГММ 301пММ.018-06.02.003	Корпус	1	
		4	ГММ 301пММ.018-06.02.004	Корпус захисний	1	
		5	ГММ 301пММ.018-06.02.005	Кришка наскрізна	2	
		6	ГММ 301пММ.018-06.02.006	Кільце фіксуюче	1	
		7	ГММ 301пММ.018-06.02.007	Кільце ущільнююче	2	
		8	ГММ 301пММ.018-06.02.008	Кільце	2	
		9	ГММ 301пММ.018-06.02.009	Кришка	2	
		10	ГММ 301пММ.018-06.02.010	Прокладка	2	
		11	ГММ 301пММ.018-06.02.011	Прокладка	2	
		12	ГММ 301пММ.018-06.02.012	Дебаланс	2	
		13	ГММ 301пММ.018-06.02.013	Дебаланс	2	
		14	ГММ 301пММ.018-06.02.014	Шків	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		15		Болти		
		16		M16x105.58.019	2	
		17		M16x70.58.019	8	
		18		M12x70.58.019	2	

ГММ 301пММ.018-06.02.000							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Кустріч			20.06			
Перев.	Васильєв			20.06			
Н.контр.	Васильєв			20.06			
Затв.	Орисенко			20.06			
Вал дебалансний					Лім.	Лист	Листів
					Н	1	2
					2026		

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

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

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

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

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

«

на тему

**Розроблення технологічної лінії для виробництва
бордюрних каменів і дорожніх плит з конструкторським
розрахунком вібраційного обладнання**

Виконав: студент III курсу, групи 301пММ
напряму підготовки (спеціальності)
133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кустріч П.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник Васильєв Є.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Панфілов О.І.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2026 року