

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

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

Бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Установка вібропомольна продуктивністю 0,25 м³/год.
для виготовлення активних добавок**

Виконав: здобувач IV курсу першого
(бакалаврського) рівня, групи ЗпММ,
спеціальності

133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Олешневич О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Фролов Є.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Заливадний П.Я.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2026 року

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

**Установка вібропомольна
продуктивністю 0,25 м³/год. для виготовлення
активних добавок**

Кваліфікаційна робота бакалавра

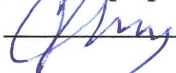
Лист затвердження

ГММ.3пММ.030-00.00.000 КРБ - ЛУ

Розробив здобувач групи 3пММ

 Олександр ОЛЕШНЕВИЧ
«17» 06 2026 р.

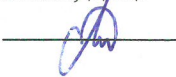
Керівник
д.т.н., проф.

 Євгеній ФРОЛОВ
«19» 06 2026 р.

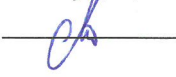
Консультант з технологічної частини
к.т.н., доц.

 Іван РОГОЗІН
«18» 06 2026 р.

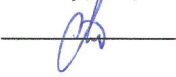
Технологічний контроль
к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«12» 06 2026 р.

Нормативний контроль
к.т.н., доц.

 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«12» 06 2026 р.

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

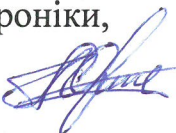
 Олексій ВАСИЛЬЄВ
«12» 06 2026 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

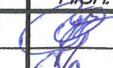
галузевого машинобудування та мехатроніки,

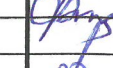
к.т.н., доц.

 Олександр ОРИСЕНКО

Перш. застосує		№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кільк. листів	№ екз.	Примітка	
		1							
		2			Документація загальна				
		3							
		4			Вперше розроблена				
		5							
Довідк. №		6	A4	ГММ.ЗпММ.030-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-		
		7	A4	ГММ.ЗпММ.030-00.00.000А	Анотація	2	-		
		8	A1	ГММ.ЗпММ.030-00.00.000ВЗ	Установка				
		9			відромельна				
		10			Вигляд загальний	1	-		
		11	A1	ГММ.ЗпММ.030-06.00.000ВЗ	Відромлин.				
		12			Вигляд загальний	1	-		
		13	A4	ГММ.ЗпММ.030-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	78			
		14							
		15							
		16				Документація по			
		17				складальних одиницях			
		18							
		19				Вперше розроблена			
	20								
Інв. № дубл.		21	A4	ГММ.ЗпММ.030-06.04.000	Відрозбуджувач.				
		22	A1	ГММ.ЗпММ.030-06.04.000СК	Відрозбуджувач.	1	-		
		23			Складальне креслення				
		24							
Взам. інв. №									
Підп. і дата									
Інв. № дівсн.									

Зм. Лист № докум. Підп. Дата

Розроб. Олешневич  17.06

Перевір. Фролов  19.06

Н.контр. Васильєв  12.06

Затв. Орісєнко  19.06

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000ВП

Установка відромельна
продуктивністю 0,25 м³/год.
для виготовлення активних добавок

Відомість проекту

Літ. Лист Листів

Н 1

НУП, ННІТР
ЗпММ, 2026 р.

Копіював
Формат A4

№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кільк. листів	№ екз.	Примітка
1	A4	ГММ.ЗпММ.030-06.02.000	Барабан	1	-	
2	A1	ГММ.ЗпММ.030-06.02.000СК	Барабан.			
3			Складальне креслення	1	-	
4						
5						
6			Документація по кресленнях			
7			деталей			
8						
9			Вперше розроблена			
10						
11	A2	ГММ.ЗпММ.030-06.04.004	Корпус	1	-	
12	A3	ГММ.ЗпММ.030-06.04.008	Вал дебалансний	1	-	
13	A3	ГММ.ЗпММ.030-06.04.007	Кришка підшипника	1	-	
14	A3	ГММ.ЗпММ.030-06.04.001	Втулка	1	-	
15						
16			Документація технологічна			
17						
18			Вперше розроблена			
19						
20	A1	ГММ.ЗпММ.030-00.00.000ТП	Технологічний процес			
21			виготовлення деталі			
22			вал	1	-	
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						

Інв. № док.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інв. № док.	Підп. і дата	15				
					16				
					17				
					18				
					19				
					20	A1	ГММ.ЗпММ.030-00.00		
					21				
					22				
					23				
					24				
					25				
					26				
					27				
					28				
					29				
					Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000ВП

Лист

2

Копіював

Формат А4

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

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

Кафедра, циклова комісія Галузевого машинобудування та мехатроніки

Рівень вищої освіти Бакалавр

Напрямок підготовки _____

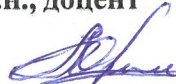
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

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

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

Олешневичу Олександрю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: Установка вібропомольна продуктивністю 0,25 м³/год. для виготовлення активних добавок

керівник роботи (проекту) Євгеній Андрійович Фролов, д.т.н., професор

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

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

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

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра: Технічні характеристики та інформаційні матеріали на вібромлин М 200

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Зміст. Вступ. 1. Огляд способів помолу та існуючих конструкцій вібропомольних установок. 2. Опис вібромельної установки із вібромлином М200. 3. Розрахунок приводу вібромельної установки. 4. Технологічна частина. Висновки. Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Установка вібромельна. Вигляд загальний (А1), Вібромлин. Вигляд загальний (А1), Вібробуджувач. Складальне креслення (А1), Барабан. Складальне креслення (А1), Деталювання (А1), Технологічний процес виготовлення деталі вал (А1)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Рогозін І.А., доцент	 06.05.26	 17.05.26

7. Дата видачі завдання «03» березня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обґрунтування теми бакалаврської роботи. Актуальність роботи. Аналіз характеристик та конструкцій вібропомольного обладнання	01.04.2026 р.	
2	Опис конструктивних особливостей запропонованих технічних рішень вібромлина та елементів вібропомольної установки	15.04.2026 р.	
3	Проектний розрахунок основних параметрів	01.05.2026 р.	
4	Розрахунок вузлів	20.05.2026 р.	
5	Технологічна частина.	01.06.2026 р.	
6	Висновки. Список літератури.	05.06.2026 р.	
7	Оформлення креслень .	10.06.2026 р.	
8	Компонування пояснювальної записки.	18.06.2026 р.	
9	Здача готової кваліфікаційної роботи.	19.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Олександр ОЛЕШНЕВИЧ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Євгеній ФРОЛОВ

(прізвище та ініціали)

Гарант освітньої програми

(підпис)

Олексій ВАСИЛЬЄВ

(прізвище та ініціали)

Анотація

О.В. Олешневич. Установка вібропомольна продуктивністю 0,25 м³/год. для виготовлення активних добавок. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» зі спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”, – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2026.

Кваліфікаційна робота присвячена питанням створення установки вібропомольної для виготовлення активних добавок.

У роботі проведеного огляду існуючих конструкцій вібромельних установок, з визначенням їх недоліків і переваг були запропоновані подальші напрями для удосконалення. Запропонована схема установки, яка дозволяє виготовлення активних добавок. До складу якої входить вібромлин та конвеєр гвинтовий.

Наведений вигляд загальний вібромельної установки запропонованої конструкції, описаний принцип його дії. Виконані розрахунки основних параметрів, визначені параметри складових частин та вузлів. Виконані розрахунки на міцність елементів приводу та конструкцій.

Представлені складальні креслення вузлів запропонованої установки, а також розроблені робочі креслення основних деталей.

Проаналізований шкідливий вплив на обслуговуючий персонал і навколишнє середовище, що виникає при роботі з машинами та запропоновані заходи, щодо уникнення прояву або їх зменшення.

Технологічна частина проекту демонструє володіння методикою визначення параметрів технологічного процесу виготовлення деталі вал дебалансний.

Ключові слова: вібромлин, віброзбуджувач, помол, привод, процес помолу, активні добавки.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Анотація		
Розроб.	Олешневич			17.06			
Перев.	Фролов			19.06			
Н. контр.	Васильєв			12.06			
Затв.	Орисенко			19.06			
					Лім.	Лист	Листів
					Н		2
					НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.		

Annotation

O.V. Oleshnevych. Vibro-grinding unit with a capacity of 0.25 m³/h. for the production of active additives. – Manuscript.

Qualification work for obtaining the educational and qualification level “bachelor” in specialty 133 “Industrial mechanical engineering”, – National University “Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk”, Poltava, 2026.

Qualification work is devoted to the issues of creating a vibro-grinding unit for the production of active additives.

In the work, a review of existing designs of vibro-grinding units was conducted, with the identification of their shortcomings and advantages, further directions for improvement were proposed. A scheme of the unit is proposed, which allows the production of active additives. Which includes a vibro-mill and a screw conveyor.

A general view of the vibro-grinding unit of the proposed design is given, the principle of its operation is described. Calculations of the main parameters have been performed, parameters of components and assemblies have been determined. Calculations of the strength of drive elements and structures have been performed.

Assembly drawings of the assemblies of the proposed installation are presented, as well as working drawings of the main parts have been developed.

The harmful impact on service personnel and the environment that occurs when working with machines has been analyzed and measures have been proposed to avoid or reduce their manifestation.

The technological part of the project demonstrates mastery of the method for determining the parameters of the technological process for manufacturing an unbalanced shaft part.

Keywords: vibrating mill, vibrating exciter, grinding, drive, grinding process, active additives.

					ГММ.ЗнММ.030-00.00.000 А	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

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

Установка вібропомольна продуктивністю 0,25 м³/год.
для виготовлення активних добавок

**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра**

ГММ.3пММ.030–00.00.000ПЗ

Полтава – 2026 року

Зміст

Вступ	4
1 Огляд способів помолу та існуючих конструкцій вібропомольних установок	6
2 Опис вібромельної установки із вібромлином М200	14
3 Розрахунок приводу вібромельної установки	19
3.1 Короткий опис конструкції віброзбуджувача	19
3.2 Визначення розмірів дебаланса	19
3.3 Оцінка міцності елементів дебаланса	22
3.4 Перевірка міцності вала й шпонкових з'єднань	24
3.5 Розрахунок довговічності підшипників	28
3.6 Розрахунок на міцність елементів кріплення віброзбуджувача до рухливої рами	30
3.7 Визначення основних розрахункових параметрів проектного млина	38
3.7.1 Маса молотьних тіл	39
3.7.2 Визначення продуктивності проектного млина	39
3.7.3. Визначення швидкісних параметрів млина	40
3.8 Розрахунок гвинтового конвеєра	41
3.9 Розрахунок потужності приводу гвинтового конвеєра	42
3.10 В результаті виконаного розрахунку встановлено	43
4 Технологічна частина	44
4.1 Вибір виду заготовки	44
4.2 Розробка плану операцій та опис технологічного процесу виготовлення вала	45

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Зміст		
Розроб.	Олешевич			17.06			
Перев.	Фролов			19.06			
Н. контр.	Васильєв			17.06			
Затв.	Орисенко			19.06			
					Літ.	Лист	Листів
					Н	2	2
					НУПІ, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.		

4.3	Визначення припусків на механічну обробку вала	46
4.4	Вибір обладнання, пристосувань та інструмента.....	46
4.5	Вибір та розрахунок режимів різання.....	47
5	Охорона праці.....	52
5.1	Характеристика технічного обладнання щодо шкідливих і небезпечних факторів, які діють на працюючих.	52
5.2	Технічні засоби і організаційні заходи що передбачаються для зменшення або усунення дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	54
5.1	Характеристика технічного обладнання щодо шкідливих і небезпечних факторів, які діють на працюючих.	56
5.3	Інженерні рішення з охорони праці та техніки безпеки	56
5.3.1.	Конструктивні вимоги до системи заземлення електроустановок.	56
5.3.2	Розрахунок захисного занулення електродвигуна вібромельної установки.....	58
5.4	Розрахунок віброгасячої основи.....	61
5.5	Техніка безпеки при експлуатації та обслуговування обладнання	64
	Висновки.....	70
	Список літератури.....	71
	Додаток. Маршрутно-операційна карта на виготовлення вала дебалансного	75

Вступ

Вібропомол – це один із найефективніших сучасних методів подрібнення матеріалів. Компактні розміри вібротлини, його низька металоємність, легка транспортбельність, а також відсутність потреби у великих спеціалізованих приміщеннях чи масивних фундаментах створюють умови для широкого застосування цього обладнання в різних галузях народного господарства. Особливо перспективним цей метод є у промисловості будівельних матеріалів. На основі вібропомолу розроблено технологічні процеси, які дозволяють виготовляти в'язучі матеріали з місцевої сировини без використання портландцементу. Також цей підхід використовується для виробництва стінових блоків з вапняно-піщаних та вапняно-щебеневих сумішей, фактурної вапняно-піщаної черепиці й інших будівельних виробів.

Існує два основних режими тонкого подрібнення матеріалів у вібраційних млинах: періодичний і безперервний. При періодичному режимі весь обсяг матеріалу завантажується до млина одномоментно, після чого відбувається його подрібнення та повне вивантаження перед новим циклом. У безперервному режимі матеріал безперервно подається до млина і одночасно вивантажується у вигляді готового продукту.

Періодичний процес має певні недоліки. По-перше, додатковий час витрачається на завантаження і вивантаження матеріалу. По-друге, готовий продукт, залишаючись у млині, піддається подальшому подрібненню, що ускладнює перемелювання великих частинок і призводить до надмірного розмелювання частини продукту. Також у цьому режимі можливе сильніше нагрівання матеріалу та збільшення рівня виділення вологи, що за відсутності її відведення може призводити до агрегації частинок. Це, в свою чергу, може ускладнити досягнення потрібної дисперсності речовини. Для ряду матеріалів такий перегрів є неприйнятним, оскі-

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Вступ	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Олешевич			17.06		Н		
Перев.	Фролов			19.06			4	2
Н. контр.	Васильєв			12.02		НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.		
Затв.	Орисенко			19.06				

льки може негативно впливати на їх фізико-хімічні властивості.

У безперервному режимі роботи вібраційних млинів подрібнений продукт поступово виводиться з млина, супроводжуючись частковим відведенням тепла та вологи. Це дозволяє уникнути перегріву та забезпечити стабільну якість помелу. Продуктивність таких млинів у періодичному режимі значно нижча, ніж у безперервному. Крім того, готовий продукт у періодичному режимі може містити значну кількість часток, які не досягли необхідного ступеня подрібнення.

Використання періодичного режиму має сенс лише в окремих випадках. Це стосується отримання дуже тонкого матеріалу у невеликих кількостях (наприклад, графіт, деякі види барвників, суспензії для полірування скла тощо) або подрібнення складних і надзвичайно твердих матеріалів (зокрема, твердих сплавів), для яких процес подрібнення триває довше, ніж допоміжний час на завантаження та вивантаження. Крім того, періодичне мливи і може застосовуватися для виготовлення дослідницьких партій матеріалів у рамках наукових експериментів.

У більшості практичних випадків, особливо при виробництві будівельних матеріалів у великих масштабах, періодичне мливи не рекомендоване. У таких ситуаціях варто віддавати перевагу безперервному режиму роботи млина, який усуває втрати часу на завантаження й вивантаження матеріалу, забезпечуючи постійний відбір часток, подрібнених до необхідних розмірів.

Для досягнення максимальної продуктивності вібраційного млина необхідно доповнити його спеціальним обладнанням, яке забезпечує безперервне постачання вихідного матеріалу та виведення готової продукції. У ряді випадків також потрібна класифікація продукту за розмірами (сепарація). Технологічне поєднання вібраційного млина з таким додатковим обладнанням утворює комплексну систему для подрібнення, яка забезпечує високу продуктивність, зручність в обслуговуванні та мінімальні трудовитрати.

Експлуатація вібраційного млина без необхідного технічного оснащення є недопустимою. Це правило особливо актуальне при обробці дешевих матеріалів у великих обсягах, наприклад, будівельних матеріалів. У разі нехтування цими вимогами використання вібраційних млинів може бути економічно невиправданим.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

1 Огляд способів помолу та існуючих конструкцій вібропомольних установок

Для забезпечення отримання високоякісного тонкодисперсного продукту з більш однорідним гранулометричним складом, позбавленого значних закрупнень, необхідно застосувати класифікацію матеріалу безпосередньо під час процесу вібропомолу. Для реалізації цього технологічного етапу були розроблені спеціальні вібропомольні установки, конструктивні особливості яких представлені на рисунках 1.2 і 1.3. Ці установки дозволяють здійснювати безперервний сухий помол із одночасною класифікацією матеріалу. Крім того, великі фракції після класифікації повертаються до вібраційного млина для повторного подрібнення, що істотно підвищує ефективність процесу.

Принципова структура функціонування однієї з таких установок, а саме установки № 2, продемонстрована на рисунку 1.1. Цей механізм може працювати як із класифікацією матеріалу вже після проходження процесу подрібнення у вібропомолі (рисунок 1.1а), так і з попередньою класифікацією, що передує помолу.

У першому варіанті вихідна сировина подається до бункера (поз. 1) за допомогою спеціального транспортуючого пристрою. З бункера, використовуючи барабанний дозатор (поз. 2), матеріал рівномірно надходить до вібромлина (поз. 3). У вібраційному млині відбувається безпосередньо процес подрібнення, після чого готовий продукт надходить через нижній люк у спеціальний повітропровід для подальшої обробки або транспортування.

Відзначимо, що корпус вібромлина обладнаний перегородкою, яка виконує аналогічні функції, як і у випадку з вібропомольною установкою, що працює за схемою, зображеною на рисунку 1.1. Такий підхід гарантує ефективний розподіл матеріалу за фракціями та сприяє досягненню високих показників продуктивності

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Огляд способів помолу та існуючих конструкцій вібропомольних установок		
Разроб.	Олешневич			17.08			
Перев.	Фролов			19.08	Літ.	Лист	Листів
					Н	6	8
Н. контр.	Васильєв			12.02	НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.		
Затв.	Орисенко			19.08			

й однорідності готового продукту.

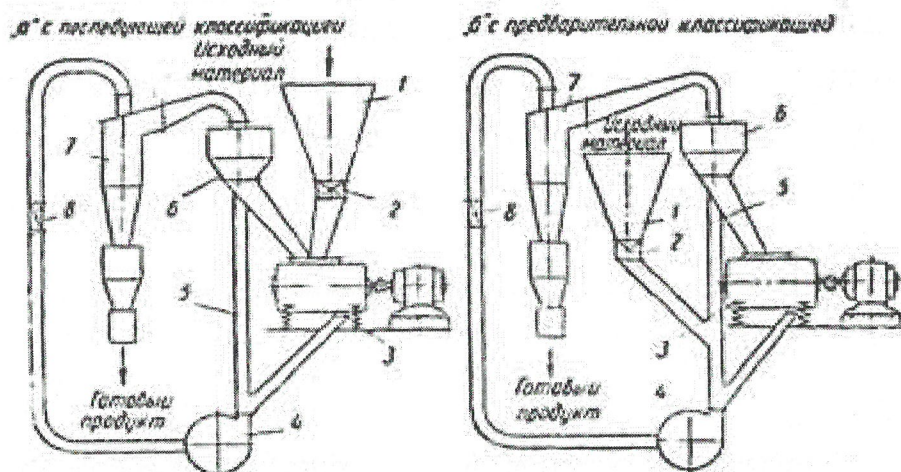


Рисунок 1.1- Схема вібропомольної установки

В системі подрібнення із застосуванням вентилятора 4 створюється потік повітря у повітропроводі, який захоплює здрібнений матеріал у вигляді аеросуміші та транспортує його через повітропровід 5 до класифікатора 6. У класифікаторі здійснюється розділення матеріалу за фракційним складом. Великі частки матеріалу повертаються для повторного подрібнення у вібромельницю, тоді як тонкі фракції, що відповідають вимогам готового продукту, переміщуються до циклона 7. У циклонах виконують збір готового продукту з його подальшою передачею на відповідні транспортні пристрої або пакування у тару. Повітря, яке використовується для транспортування, повертається до вентилятора через трубопровід. Для регулювання режиму роботи повітряної системи передбачена дросельна заслінка 8.

У другому варіанті роботи процес здійснюється з попередньою класифікацією. Вихідний матеріал подають у повітропровід 5 безпосередньо з бункера 1 через дозатор 2. Весь матеріал у формі аеросуміші спрямовується до класифікатора 6. З класифікатора вібромельниця отримує тільки великі частки матеріалу, які потребують додаткового подрібнення. Тонкі фракції, вже придатні до використання як готовий продукт, направляються безпосередньо до циклона. Великі частки обробляються у вібромельниці й проходять далі по схемі, зазначеній на рисунку 1.1,а.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ

Лист

7

На рисунку 1.2 представлена конструкція установки моделі 1954 року. Вихідний матеріал надходить спочатку в приймальний бункер елеватора, після чого потрапляє у бункер установки об'ємом 1,3 м³ з дозатором барабанного типу продуктивністю 2 дм³/хв. Далі матеріал подається у вібромлин М200 або М400. Для створення повітряного потоку, що транспортує аеросуміш у класифікатор, використовується вентилятор високого тиску ЦАГИ-6.

Класифікатор повітряно-прохідний типу ЦКТИ, циклон – типу ЦН-150-500 мм. Для запобігання підвищенню вологості циркулюючого у системі повітря близько 10% його обсягу після вентилятора викидається через малий циклон в атмосферу, а на його місце додається така ж кількість свіжого повітря.

Детальні технічні характеристики установки наведено в таблиці 4. Моделі установок 1954 року не набули значного поширення через високу трудомісткість їх виготовлення та великі габаритні розміри.

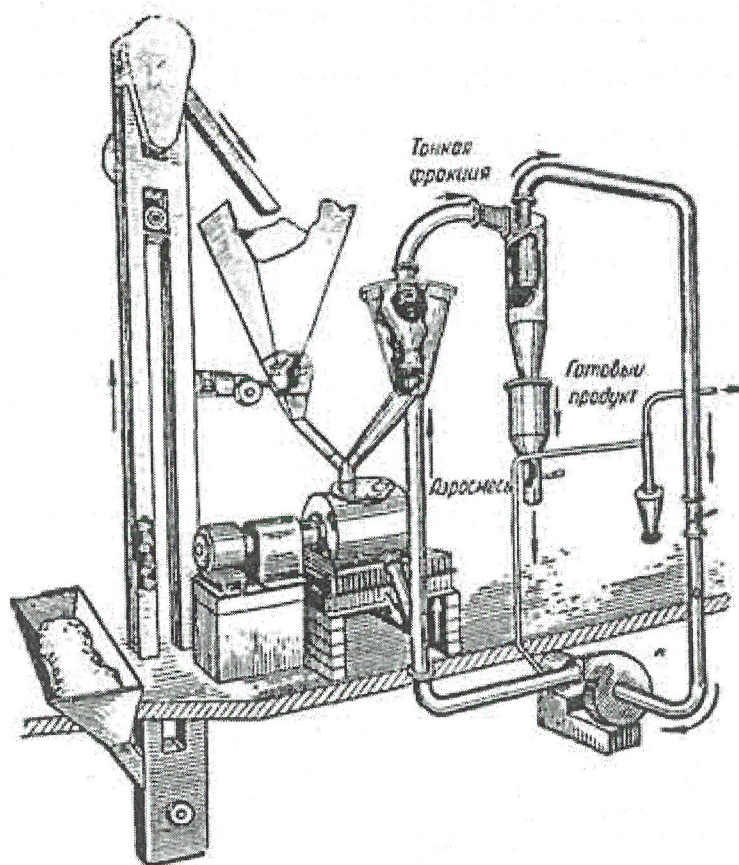


Рисунок 1.2 – Вібропомольна установка яка працює по схемі наведеній на рисунку 1.1

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ

Лист

8

Наразі розроблено нові, значно компактніші установки. Наприклад, на рисунку 1.3 зображено креслення установки моделі 1956 року.

Ця установка призначена для роботи з вібромлином М200 і обладнана бункером, що містить два відсіки об'ємом 340 і 230 дм³ відповідно. Завдяки цьому передбачена можливість одночасного виконання помелу і змішування двох компонентів. Дозуюча система складається з двох послідовно з'єднаних дозаторів за аналогічним принципом, що й у показаній на рисунку 1.1 установці.

Установка оснащена вентилятором високого тиску, розташованим поруч із рамою вібромлина. Вентилятор приводиться в дію електродвигуном потужністю 4,5 кВт при швидкості 3000 об/хв. Продуктивність по повітрю становить 1800 м³/год при створюваному тиску до 500 мм водяного стовпа.

Також у цій моделі використано вдосконалений відбійно-верхній класифікатор КОВ-600, що працює від електродвигуна потужністю 0,6 кВт при швидкості 1400 об/хв.

Для відокремлення готового продукту з аеросуміші передбачено два типові циклони моделі ЦН-150-250 мм, які підключені до системи паралельно і мають незалежне регулювання. Зібраний продукт транспортується в бункер, розташований під циклонами. Подавання матеріалу до бункерів установки здійснюється за допомогою стандартних транспортних механізмів, конструкція яких аналогічна транспортним пристроям установки, показаної на рисунку 1.2.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

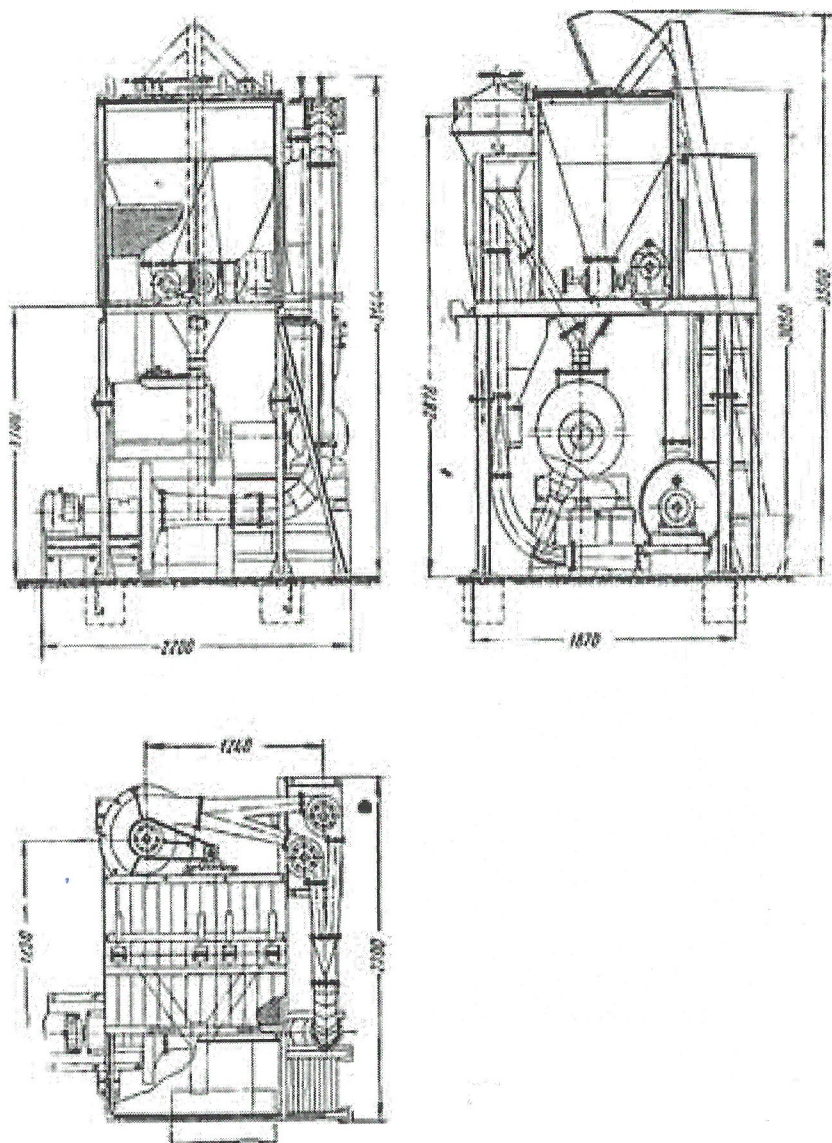


Рисунок 1.3 – Вібропомольна установка

Транспортування готового продукту може виконуватися як за допомогою традиційних транспортних засобів, так і через використання пневматичної системи самої установки (шляхом відповідної зміни розташування циклонів). Принцип дії установки залишається таким самим, як зображено на схемі рисунка 1.1,а.

Переключення установки на роботу за схемою із попередньою класифікацією ґрунтується на перенаправленні вихідного матеріалу через дозатор у вертикальний трубопровід, який веде до класифікатора. У такому режимі вхідний матеріал у вібромлин складається переважно з частинок, розмір яких перевищує певний показник тонини готового продукту.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ

Лист

10

Устаткування, відтворене на рисунку 1.2, відрізняється від систем, що працюють за схемою №1, головним чином наявністю додаткових класифікаційних і пиловловлювальних пристроїв (циклонів). Створення аеросуміші та її транспортування забезпечується вентилятором високого тиску.

Повітряно-прохідний класифікатор у моделях установок 1954 року складається із зовнішнього конуса (1), внутрішнього конуса (2), відбійного конуса (3), підвішеного на регульованих тягах (8), направляючих лопаток (4), вхідної труби (5), вихідного патрубку (6) і розтруба (7) для повернення крупних часток у вібро-млин для домолу.

Аеросуміш, проходячи через трубу (5), потрапляє в класифікатор і ударяється об відбійний конус. Тут великі частки матеріалу відокремлюються та висипаються через розтруб (7). Потім аеросуміш продовжує рухатись через розширену частину між зовнішнім і внутрішнім конусами, де зменшення швидкості повітряного потоку спричиняє додаткове осідання більших часток, що по стінках зовнішнього конуса також опускаються вниз. Досягнувши верхньої кришки класифікатора, аеросуміш проходить через ряд вікон у внутрішній конус (2).

За кожним з вікон розміщені направляючі лопатки (4), які можуть одночасно повертатися за допомогою зовнішнього кільця (9), закріпленого на кришці (10). Лопатки можуть змінювати свій кут повороту від 0° до 60° . У положенні 0° вони розташовані радіально, а зміна їх кута спричиняє більший або менший ступінь закручування повітряного потоку. Внаслідок цього створюються відцентрові сили, що сприяють відокремленню більших часток із потоку.

Великим часткам матеріалу надається відцентрове прискорення, яке спрямовує їх до стінок внутрішнього конуса. Далі ці частки через кільцевий зазор між внутрішнім і відбійним конусами потрапляють у розтруб 7. У свою чергу, дрібні частинки готового продукту підхоплюються повітряним потоком і виводяться через патрубок 6, спрямовуючись до циклона.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

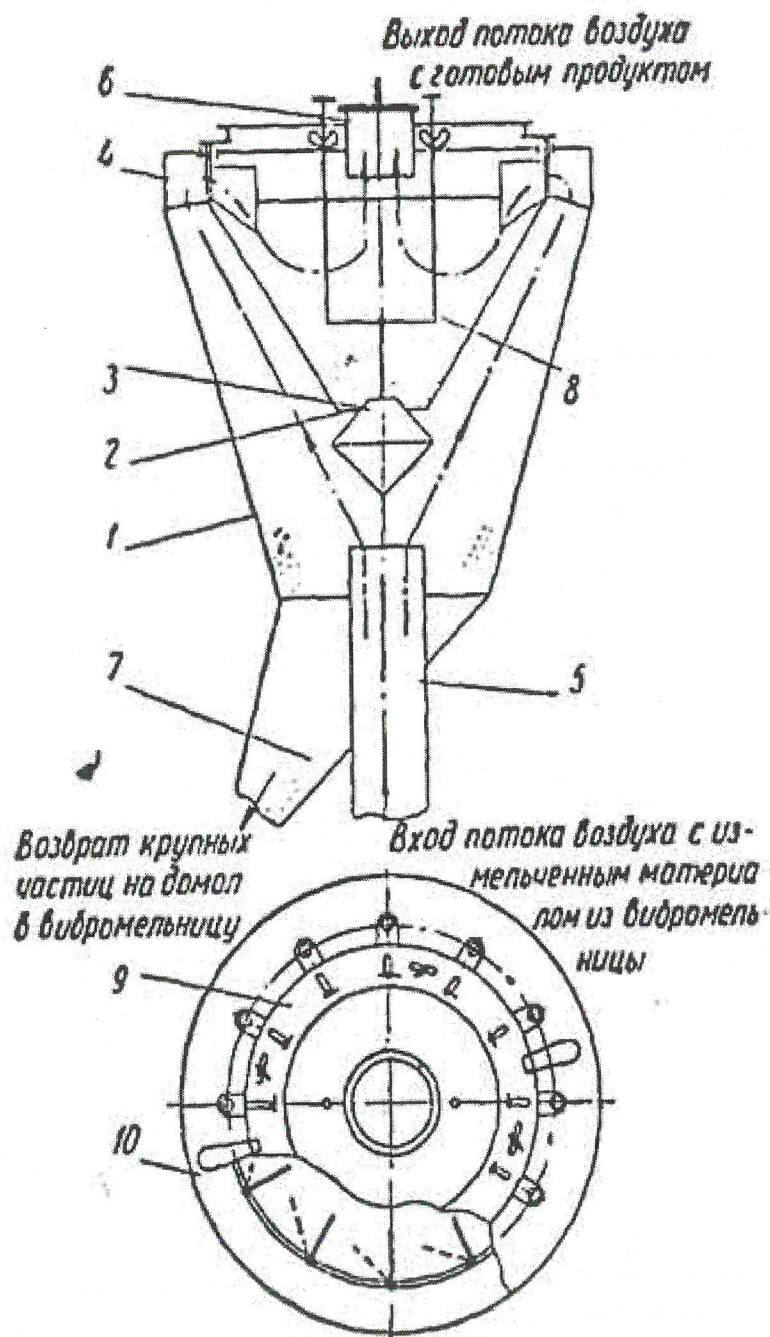


Рисунок 1.4 – Схема повітряно-прохідного класифікатора

Відбійно-вихровий класифікатор КОВ-600, встановлений на сучасних установках для розподілу матеріалу за фракціями, діє за іншим принципом. На відміну від повітряно-прохідного класифікатора, де повітряний потік набуває обертального руху завдяки нерухомим лопатям, в класифікаторі КОВ-600 рух потоку забезпечу-

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ

Лист

12

ється обертовим ротором. Контроль ступеня подрібнення готового продукту здійснюється регулюванням швидкості обертання ротора. Завдяки використанню цих класифікаторів можливо отримати готовий продукт з більш тонкою дисперсністю порівняно з повітряно-прохідними класифікаторами.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

2 Опис вібромельної установки із вібромлином M200

Раціональний вибір типу установки для безперервного подрібнення суттєво залежить від ряду факторів, серед яких знаходяться такі важливі критерії, як тип матеріалу, що підлягає обробці, бажаний рівень дисперсності продукту, передбачена продуктивність процесу, а також урахування місцевих умов. Ці умови включають виробничі можливості для виготовлення установки, доступність простору для її розміщення, специфічні вимоги до технології, а також ступінь мобільності установки. Нижче розглянемо основні міркування, які варто враховувати під час вибору відповідної установки.

Рисунок 2.1 демонструє найпростішу версію вібраційної установки. Відмінно від варіанту на рисунку 1.1, ця версія не має класифікатора, вентилятора, циклонів та повітропроводів, що робить її менш затратною, з вищою надійністю та простішою в обслуговуванні. Використання такої установки особливо ефектне для подрібнення в млинах тонкодисперсних матеріалів у тих випадках, коли поодинокі грубі частинки у фінальному продукті не впливають негативно на якість чи коли матеріал настільки легко піддається подрібненню, що відсутні ризики появи грубих зерен.

Ця установка може успішно використовуватись для виготовлення в'язких розчинів з місцевих матеріалів (наприклад, вапняно-піщаних чи вапняно-жужільних). Оскільки у готовому продукті можуть залишатися деякі грубі частинки негашеного вапна, такі в'язучі доцільно використовувати лише для кладочних розчинів, а не для більш відповідальних виробів, таких як блоки чи черепиця.

На відміну від установок, призначених виключно для сухого подрібнення, установка на рисунку 2 може бути використана і для мокрого помелу, де необхідна кількість води додається безпосередньо до вібромлина. Втім, мокрий помел

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Опис вібромельної установки із вібромлином M200	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Олешневич			17.06		Н		6
Перев.	Фролов			09.06			14	
								
Н. контр.	Васильєв			12.06				
Затв.	Орисенко			19.06				
						НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.		

має обмежене застосування через обмеження за рівнем вологості. Сильно вологі пасти можуть прилипати до кульок і блокувати вихідний люк, тоді як надто велике зволоження призводить до швидкого стікання рідини крізь млин без належного перемішування з матеріалом.

Крім того, установка на рисунку 2.1 показала ефективність у доопрацюванні вже подрібнених порошків, зокрема вона дає добрі результати для доопрацювання цементів або для активації цементів, що довго зберігались. Хоча продуктивність такої установки при доопрацюванні цементу може бути нижчою, ніж у установки на рисунку 1.1, обирають її тоді, коли вона задовольняє потреби виробництва завдяки своїй простоті конструювання та обслуговування.

У випадках складного подрібнення матеріалів на проходження через млин іноді доцільно використовувати установку, оснащену послідовністю з двох вібромлинів, що працюють каскадно. Такий підхід дозволяє отримувати продукт високої дисперсності без необхідності використання класифікатора.

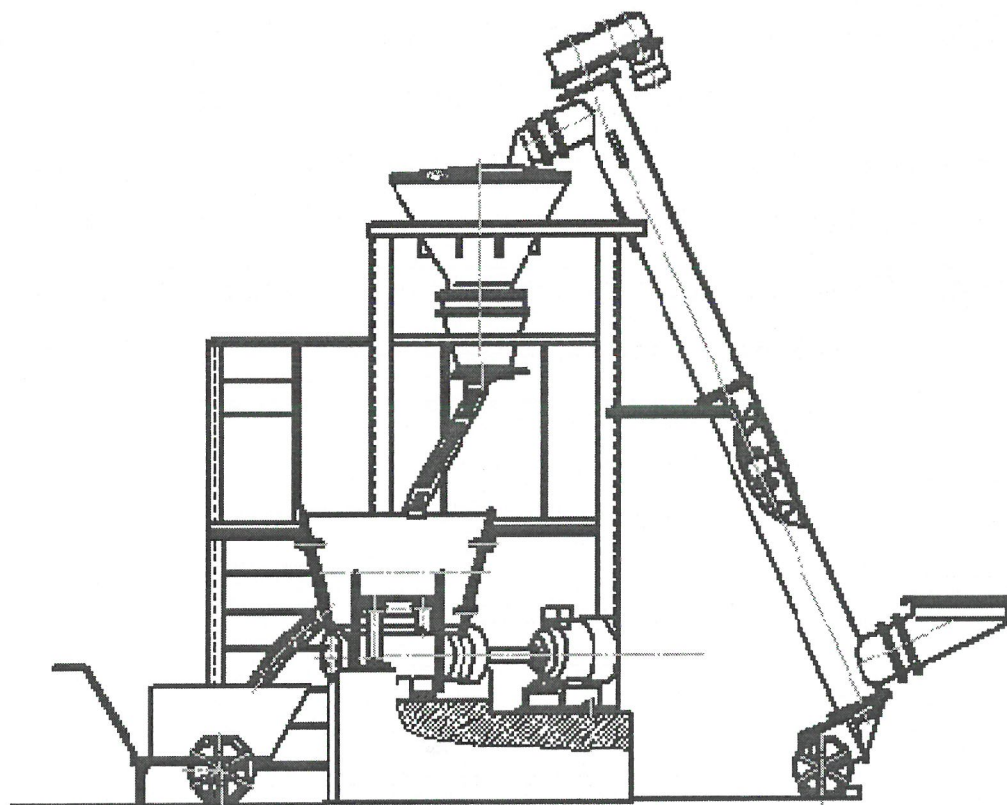


Рисунок 2.1- Вибропомольна установка із вібромлином М200

Вібропомольна установка, зображена на рисунку 2.1, вирізняється меншою складністю у виготовленні й меншою трудомісткістю, порівняно з установкою, представленою на рисунку 1.1. Однак загальна потужність електродвигунів установки з рисунка 2.1 вища, ніж у конструкції за схемою рисунка 1.1.

Подрібнений матеріал у вібромлині безперервно вивантажується через нижній люк, розташований на протилежному боці від завантажувального отвору млина. Ступінь подрібнення матеріалу залежить від тривалості його перебування у млині та регулюється зміною об'єму матеріалу, що подається через дозатори, або коригуванням розміру перетину розвантажувального люка. Для цього в розвантажувальний отвір під решітку встановлюється металева шайба з діаметром отвору 20–50 мм. При необхідності збільшити продуктивність із меншою тонкістю помелу застосовується шайба з отвором більшого діаметра.

Готовий продукт із вібромлина може бути спрямований у будь-який транспортуєчий механізм безперервної дії (шнек, елеватор, закритий транспортер) або упакуватися безпосередньо в тару (паперові мішки, контейнери чи візки).

Дозуючий пристрій таких установок стандартизований і складається із приводного механізму та уніфікованих барабанних дозаторів, кожен із яких має продуктивність 2 дм³ за один оберт. Кількість дозаторів відповідає числу відсіків бункера.

Установку з рисунка 2.1 рекомендується використовувати у випадках масштабованого виробництва тонкодисперсних матеріалів. Це забезпечує повною мірою реалізувати її переваги, а саме підвищену продуктивність та універсальність порівняно з іншими системами. Зокрема, універсальний дизайн цієї установки дозволяє адаптувати її до роботи з різними матеріалами шляхом зміни технологічних налаштувань: наприклад, використання попередньої чи наступної класифікації або роботи «на прохід» з відключенням пневматичної й класифікаційної систем.

На відміну від інших типів установок, обладнання, зображене на рисунку 2, може застосовуватися для сухого подрібнення різноманітних матеріалів, включно

з місцевими в'язкими матеріалами, а також для додаткового подрібнення цементу. Вібропомольна установка здатна забезпечити отримання тонкодисперсних продуктів. Її особливістю, порівняно з іншими моделями, є наявність класифікатора, який дозволяє виробляти готовий продукт без перевищення допустимих розмірів частинок.

Установка обладнана класифікатором, циклоном і вентилятором. Головна конструктивна особливість системи полягає в тому, що до класифікатора подається лише та частка матеріалу, яка піддається подрібненню й виводиться із вибромлина з поверхні робочих елементів. Таке рішення дає змогу застосовувати класифікатор, циклон і всю пневмосистему меншого розміру. Завдяки цьому вся установка має компактніші габарити, зручна в експлуатації, легко демонтується і може швидко переміщатися для встановлення на новому місці. Споживання електроенергії на установці за рисунком 2 менше залежно від потужності електродвигунів, ніж на варіанті обладнання за рисунком 1.1.

Ці переваги роблять установку дуже зручною для невеликих підприємств та сільськогосподарського будівництва. Вона забезпечує виробництво багатокомпонентної місцевої сировини високої якості без перевищення фракційного складу. Така продукція придатна не лише для виготовлення кладкових розчинів, але й для створення стінових блоків та інших будівельних елементів. При належному регулюванні установка здатна виробляти до 2,5–3 тонн в'язкої суміші за одну зміну (8 годин), або до 6–7,5 тонн на добу, що є достатнім для багатьох дрібних будівельних проєктів та невеликих виробництв.

Водночас використання установки для додаткового подрібнення цементу може бути економічно недоцільним через меншу продуктивність у порівнянні з установкою за рисунком 1.1.

Для подрібнення багатокомпонентних сумішей, які містять речовини з різною питомою вагою, структурою та гранулометричними характеристиками, застосування установки може бути обмежено ефективністю. В таких випадках у пневматичній системі можливе розшарування компонентів суміші. Перед почат-

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		17

ком подрібнення складних сумішей доцільно проводити пробні помолові тести на обладнанні різних типів. Якщо системи з пневматичною технологією не дадуть бажаного результату, слід вдосконалити технологічний процес подрібнення у режимі "прохід" за допомогою установки з рисунка 2.1.

У разі потреби одночасного подрібнення більше двох-трьох компонентів на вібропомольних установках, які працюють за зазначеними схемами, є можливість встановлення додаткових бункерів із дозаторами. Універсальна приводна система дає змогу забезпечувати синхронну роботу кількох дозаторів від одного електродвигуна та одного редуктора шляхом послідовного або паралельного з'єднання барабанних дозаторів відповідно до необхідних пропорцій.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		18

3 Розрахунок приводу вібромельної установки

3.1 Короткий опис конструкції вібробуджувача

Вібробуджувач має корпус, в якому на підшипниках встановлений вал з дебалансом і напірною втулкою. Вал вібробуджувача встановлений у сферичних роликів підшипниках і приводиться в обіг асинхронним електродвигуном через пружну муфту. Передача крутного моменту на дебаланс здійснюється призматичною ковзною шпонкою, закріпленою в пазу дебаланса.

Перед введенням в експлуатацію вібробуджувача рідке мастило заливається у масляний картер через маслоналивний отвір, який у робочому стані закритий пробкою. Мастило, заповнивши маслоскопичувач стікає у масляний картер вібробуджувача. При зупинці вібробуджувача мастило стікає з кільцевих проточок внутрішньої поверхні верхньої кришки у масло накопичувач. Вібробуджувач кріпиться до рухливої рами чотирма спеціальними болтами з різьбленням М30х2, що вгвинчують у круглі гайки, приварені до підвібраторній плити з тильної сторони.

3.2 Визначення розмірів дебаланса

Вибір форми дебаланса

З міркувань технологічності при індивідуальному й дрібносерійному виробництві на неспеціалізованих підприємствах приймаємо плоский дебаланс постійної товщини, виготовлений зі сталевго аркуша секторної форми в плані, із

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Розрахунок приводу вібромельної установки	Літ.	Лист	Листів	
Розроб.	Олешневич			12.06		Н		19	25
Перев.	Фролов			13.06					
Н. контр.	Васильєв			12.06					
Затв.	Орисенко			19.06					
						НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.			

плоскими бічними поверхнями, кут ψ між якими приймаємо 90° для того, щоб можна було використати прямий кут заготівлі. Матеріал дебаланса сталь Ст.3. ДСТУ EN 10025-2:2022.

Вихідні дані:

Частота обертання номінальна

$n = 1500$ об/хв

Сила порушення:

максимальна

$F_{\max} = (250000 - 5\%)H$

мінімальна

$F_{\min} = (100000 \pm 10\%)H$

Типорозмір підшипника

3624

Діаметр корпусу підшипника в з'єднанні з листом

Товщина листа дебаланса (приймаємо)

$\delta = 50$ мм

Радіус округлення бічних

плоскостей (приймаємо)

$r = 100$ мм

Максимальний радіус дебаланса за

умовою прийнятих габаритних розмірів

вібробуджувача (задаємося)

$R_{\max} = 300$ мм

Статичний (дебалансний) момент S'_0 , кг м, необхідний для створення змущуючої сили

(3.1)

$$S'_0 = \frac{F_{\min}}{\omega^2} = \frac{100000}{151,8^2} = 4,340$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{361416 \cdot 1450}{30} = 151,8$$

(3.2)

Визначення радіуса дебаланса

Попередньо задаємося $R = 295$ мм; $R_0 = 230$ мм; $\varphi = 300$

і визначаємо статичний момент дебаланса без вантажів, після порівняння якого з S'_0 , уточнимо параметри дебаланса. Для розрахунку використаємо точну формулу для дебаланса та застосуємо форми.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		20

Відношення

$$\mu = \frac{r}{R} = \frac{100}{295} = 0,339 \quad (3.3)$$

Функція f при $z = 3$; $f = 1 + 2\cos\varphi = 1 + 2 \cdot \cos 30^\circ = 2,732$.

Статичний момент S'_0 , кг.м, дебаланса без вантажів

$$S'_0 = \rho \delta \left[(1 - \mu^2) R^3 \left(\frac{2}{3} \sqrt{1 - \mu^2} \sin \frac{90^\circ}{2} + \mu \cos \frac{\psi}{2} \right) - \frac{\pi}{4} d_0^2 \cdot R_0 \cdot f \right] = 7850 \cdot 0,05 \cdot \left[(1 - 0,339^2) \cdot 0,230^3 \cdot \left(\frac{2}{3} \sqrt{1 - 0,339^2} \cdot \sin \frac{90^\circ}{2} + 0,339 \cdot \cos \frac{90^\circ}{2} \right) - \frac{3,1416}{4} \cdot 0,098^2 \cdot 0,230 \cdot 2,732 \right] = 4,233 \quad (4.4)$$

де ρ – щільність сталі, кг/м³, $\rho = 7850$.

Така погрішність отриманого статичного моменту в порівнянні з S_0 невисока ($\approx 2,5\%$), прийняті попередньо параметри $R = 295$ мм,

$R_0 = 230$ мм, $d_0 = 98$ мм і $\varphi = 30^\circ$ залишаємо для подальшого розрахунку.

Мінімальна змушуюча сила $F_{\min}$, кН,

$$F_{\min} = S_0 \cdot \omega^2 = 4,233 \cdot 151,82 = 97,5. \quad (3.5)$$

Маса дебаланса $m_{\text{деб}}$, кг, без обліку шпонкового паза, отвору під гвинт, проточок і фасок

$$m_{\text{деб}} = \rho \cdot \delta \left\{ R^2 \left[\frac{\psi}{2} + \arcsin \mu + \mu \cdot \sqrt{1 - \mu^2} + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \psi) \mu^2 - \frac{\pi}{4} (d_s^2 + z \cdot d_0^2) \right] \right\} = 7850 \cdot 0,05 \cdot \left\{ 0,295^2 \cdot \left[\frac{3,1416}{2 \cdot 2} + \arcsin 0,339 + 0,339 \cdot \sqrt{1 - 0,339^2} + 0,5 \cdot \left(3,1416 - \frac{3,1416}{2} \right) \cdot 0,339^2 - \frac{3,1416}{4} (0,100^2 + 3 \cdot 0,098^2) \right] \right\} = 39,6 \quad (4.6)$$

Кут ψ у цій формулі в радіанах 4.6. Визначення розміру вантажу.

Приймаємо вантаж ступінчатої форми. Всі вантажі приймаємо однаковими.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

3.3 Оцінка міцності елементів дебаланса

Вибір перерізів для розрахунку на міцність

Дебаланс навантажений масовими силами діючими на кожний елемент маси у напрямку, перпендикулярному до осі обертання. Міцність суцільної часті дебаланса не викликає сумнівів. Для перевірки міцно вибираємо перерізи I-I рисунок 4.3

Перевірка міцності в перерізу I-I

Точний розрахунок напружень в перерізу, як і вибір самого перетину, напруги в якому максимальні, безсумнівно є складним завданням теорії пружності і у дійсному розрахунку очевидно недоцільний. Для розрахунку напруг у перетині I-I приймаємо наступну розрахункову схему на рисунку 3.3.

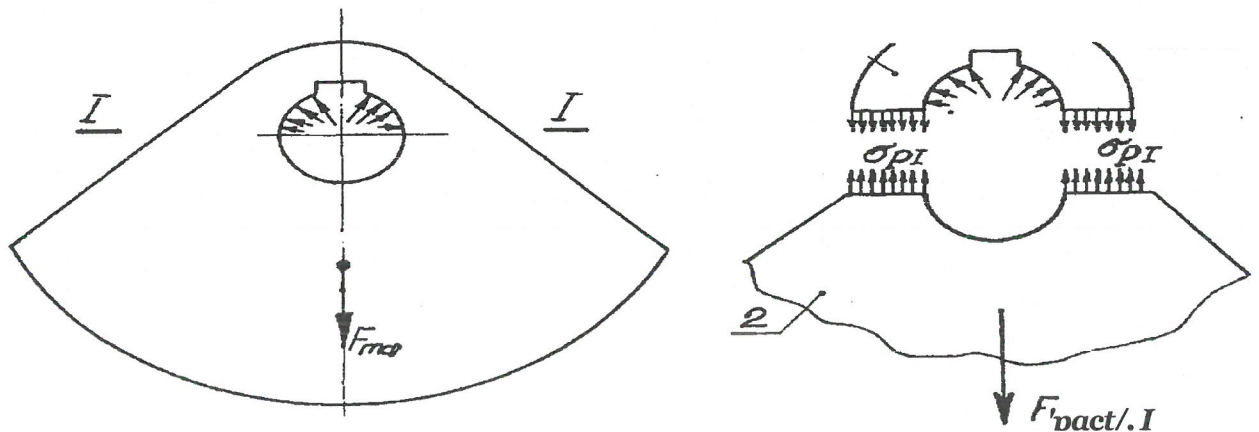


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема для оцінки напруг розтягання в перетині I-I

Допущення при розрахунку:

- 1) вважаємо, що напруги в перетині I-I постійні по перетині;
- 2) в якості відкинута частина I приймаємо півкільце.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ

Лист

22

Розрахункова сила $F_{роз, H}$,

$$F_{роз I} = F_m + F_n = 250000 + 1500 = 251500, \quad (3.7)$$

де F_n – відцентрова сила, що діє на півкільце, рівна $S_n \omega^2$.

Статичний момент S_n , кг/м², півкільця, щодо його центра

$$S_n = \frac{4}{3} \rho \delta \frac{1-\nu^3}{1-\nu^2} (r^2 - r_b^2) r = \frac{4}{3} \cdot 7850 \cdot 0,05 \cdot \frac{1-0,5^3}{1-0,5^2} (0,100^2 - 0,050^2) \cdot 0,100 = 0,0654 \quad (3.8)$$

де

$$r_d = \frac{d_d}{2} = \frac{0,100}{2} = 0,050, \quad (3.9)$$

$$\nu = \frac{r_d}{r} = \frac{0,050}{0,100} = 0,5 \quad (3.10)$$

$$F_n = S_n \cdot \omega^2 = 0,654 \cdot 151,82 = 1500. \quad (3.11)$$

Напруга на розтяг σ_{pI} , Па, в перетині I-I

$$\sigma_{pI} = \frac{F_{рас. I}}{(2r - d_g) \cdot \delta} = \frac{25150}{(2 \cdot 0,100 - 0,100) \cdot 0,05} = 50,3 \cdot 10^6 \quad (3.12)$$

Коефіцієнти запasu міцності в перетині I-I. Напруги в перетині міняються по пульсуючого циклу: кожний пуск вібротомлина – це один цикл зміни напруг. Загальне число циклів за 4...5 років експлуатації виброплощадки складе приблизно 10, що відповідає малоциклічній утоми матеріалу. З огляду на, що дебаланс не зношується в процесі експлуатації й може бути використаний повторно розрахунок міцності його будемо проводити на витривалість. Механічні характеристики матеріалу

- $\sigma_B = 380 \dots 490 \text{ МПа}$, приймаємо $\sigma_B = 400 \text{ МПа}$;

- $\sigma_T = 230 \text{ МПа}$

$$\sigma_{p1} = 0,3 \cdot \sigma_B = 0,3 \cdot 480 = 120. \quad (3.13)$$

Коефіцієнт запасу міцності σ_a , МПа, по статичних напругах

$$\sigma_a = \frac{\sigma_T}{\sigma_{p1}} = \frac{230}{50,3} = 4,56, \quad (3.14)$$

Коефіцієнт запасу міцності σ_a , МПа, по амплітудним напруги

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{p1}}{\sigma_T} = \frac{120}{25,15} = 5,25, \quad (3.15)$$

Звичайні значення коефіцієнтів заременя міцності становлять 1,5...4,0.

3.4 Перевірка міцності вала й шпонкових з'єднань

Матеріал вала - сталь 45 ДСТУ EN 10083-2:2019 з межею міцності на розтягання $\sigma_B = 61 \text{ кгс/мм}^2 = 600 \text{ МПа}$, границі витривалості по вигині й крутінню рівні відповідно $\sigma_{-1} = 270 \text{ МПа}$ та $\tau_{-1} = 160 \text{ МПа}$.

Діаметр вала під дебалансом і підшипниками $d = 50 \text{ мм}$ обраний конструктивно з міркувань використання самого великого підшипника, застосування якого ще можливо при пластичної змащення. Міцність цієї ділянки вала при мінімальній відстані між опорами не викликає сумнівів. Як небезпечні перетини вала, міцність яких повинна бути перевірена, приймаємо перетину I-I і на рисунку 3.4.

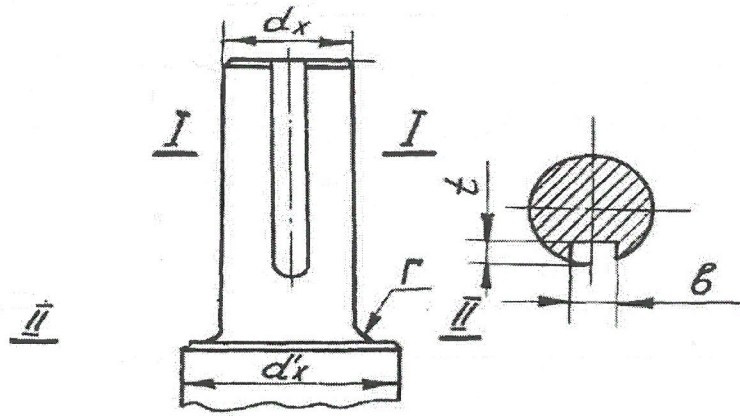


Рисунок 3.4 – Конструкція й розрахункова схема хвостовика вала

Перетин I-I навантажений крутним моментом, концентратором напруг є шпонкова канавка. У перетині II-II діє крутний момент і згинальний момент, що викликає інерційною силою шківів P_i й зусиллям натягу ременів P .

Амплітудні й середні напруги крутіння τ_{ai} , МПа, при обертанні дебаланса в одному напрямку

$$\tau_{ai} = \tau_{mI} = \frac{M_{\max}}{2 \cdot W_{k.нетто}} = \frac{440}{2 \cdot 3,08 \cdot 10} = 7,14 \cdot 10^6 = 7,14 \quad (3.16)$$

де $W_{k.нетто}$ - момент опору крутінню перетину I-I з обліком ослаблення його шпонковою канавкою $W_{k.нетто} = 30,8 \text{ см}^3 = 3,08 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$.

Коефіцієнт запасу міцності в перетині

$$n_I = n_{I_1} = \frac{\tau_{11}}{\frac{K_\epsilon}{\beta_\tau \cdot E_x} \cdot \tau_{ai} + \psi_\tau \cdot \tau_{mI}} = \frac{160}{\frac{1,54}{1 \cdot 0,68} \cdot 7,14 + 0,1 \cdot 7,14} = 9,5 \quad (3.17)$$

де τ_{11} - ефективний коефіцієнт концентрації напруг, викликані наявністю шпонкової канавки,

$K_\epsilon = 1,54$;

E_x - масштабний фактор, $E_x = 0,68$;

β_τ - коефіцієнт, що зчитують стан поверхні. Для поверхонь, одержуваних

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ

Лист
25

гострінням $\beta_{\tau}=1$;

ψ_x - коефіцієнт циклу напруг $\psi_x = 0,1$.

Амплітудні напруги згину σ_{all} , МПа,

$$\sigma_{all} = \frac{(P = P_n) \cdot l}{\frac{\pi}{32} d_x^3} = \frac{(2900 + 2580) \cdot 0.064}{\frac{3.1416}{32} \cdot 0.055^3} = 21.47 \cdot 10^6 = 21,5 \quad (3.18)$$

де P_n - сила інерції, що діє на хвостовик з боку шківів при коливаннях вібробудувача в горизонтальній площині, Н.,

$$P_n = A \cdot m \cdot \omega^2 = 0.004 \cdot 28 \cdot 151.8^2 = 2580, \quad (3.19)$$

A - амплітуда вібропереміщень вібробудувача, приймаємо максимальне значення $A = 4 \text{ мм} \cdot 0,004 \text{ м}$;

l = відстань від середини шківів до опорного торця хвостовика, $l = 64 \text{ мм} = 0,064 \text{ м}$;

m -маса шківів, кг, $m=28$;

ω - кутова швидкість, рад/с, (див.п. 4.3.1)

Середні напруги згину $\sigma_{mll} = 0$ Амплітудні й середні напруги крутіння, τ_{all} , МПа.,

$$\tau_{all} = \tau_{mll} = \frac{\frac{1}{2} M_{max}}{\frac{\pi}{16} d_x^3} = \frac{\frac{1}{2} 440}{\frac{3.1416}{16} \cdot 0.055^3} = 6.73 \cdot 10^6 = 6.73 \quad (3.20)$$

Ефективні коефіцієнти концентрації напруг викликуваної наявністю жолобика, при, $r/d_x = 2/55 = 0,036$,

$t = (d_x - d_x)/2 = (71-55)/2 = 8 \text{ мм}$, $t/\Gamma = 8/2 = 4$:

$K_\sigma = 2,23$;

$K_\tau = 2,12$.

					ГММ.ЗнММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		26

Масштабний фактор $\varepsilon_\sigma = 0,78$; $\varepsilon_\tau = 0,68$. Коефіцієнт $\beta_\sigma = \beta_\tau = 1$.

Коефіцієнти запасу міцності в перетині II-II по згину та крученню

$$n_{\sigma II} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\beta_\sigma E_\sigma} \tau_{\sigma II} + \psi_\sigma \cdot \tau_{m II}} = \frac{160}{\frac{2.23}{1 \cdot 0.78} \cdot 21.5 + 0} = 4.39 \quad (3.21)$$

$$n_{\tau II} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_\tau}{\beta_\tau E_\tau} \tau_{\tau II} + \psi_\tau \cdot \tau_{m II}} = \frac{160}{\frac{2.12}{1 \cdot 0.68} \cdot 6.7 + 0.1 \cdot 6.73} = 7.39 \quad (3.22)$$

Коефіцієнт запасу міцності в перетині II-II

$$n_{II} = \frac{n_{\sigma II} \cdot n_{\tau II}}{\sqrt{n_{\sigma II}^2 + n_{\tau II}^2}} = \frac{4.39 \cdot 7.39}{\sqrt{4.39^2 + 7.39^2}} = 3.77 \quad (3.23)$$

Коефіцієнти запасу міцності в обох перетинах одержали досить високими. Для забезпечення надійної роботи необхідно $n > 2,5$.

Перевірку міцності шпонкових з'єднань ведемо по напругах зминання на бічні (робітників) поверхнях шпонок. Напруги зминання в шпонці хвостовика $\sigma_{зм.мм.}$, МПа, (призматична шпонка 16x10x80 СТ СЭВ 189-85)

$$\sigma_{зм.мм.} = \frac{2 \cdot M_{max}}{d_x \left(l - \frac{1}{2} b \right) (h - t)} = \frac{2 \cdot 440}{0.055 \cdot \left(0.08 - \frac{1}{2} \cdot 0.016 \right) \cdot (0.010 - 0.006)} = 55.6 \cdot 10^6 = 55,6 \quad (3.24)$$

де $b = 16$ мм;

$h = 10$ мм;

$l = 60$ мм - розміри шпонки;

$t = 6$ мм - глибина паза у валу.

Напруги зминання, що допускають, становлять для чавунної маточини $[\sigma]_{зм} = 60$ МПа.

Напруги зминання в шпонці дебаланса $\sigma_{зм.деб.}$, МПа, (призматична шпонка 3-28x16x48)

$$\sigma_{зм.деб.} = \frac{2 \cdot M_{max}}{d_x (l - 2c)(h - t)} = \frac{2 \cdot 440}{0.100 \cdot (0.048 - 2 \cdot 0.002) \cdot (0.016 - 0.01)} = 33.3 \cdot 10^6 = 33,3 \quad (3.25)$$

де $C = 2$ мм - фаска на робочих поверхнях шпонки. . Допускають напруження, що, зминання для сталеві маточини $[\sigma]_{зм} = 45$ МПа

Обрані розміри в шпонок забезпечують міцність шпонкових з'єднань

3.5 Розрахунок довговічності підшипників

У віброзбудувач ВУ-25рс застосовані підшипники 3620 по одному в опорі. Технічна характеристика підшипника в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика підшипника

Внутрішній діаметр	d	70 мм,
Зовнішній діаметр	D	100 мм,
Осьовий габарит	B	73 мм,
Статична вантажопідйомність	C ₀	408,7 кН,
Динамічна вантажопідйомність	C	355,7 кН,
Кут контакту	α	14
Параметр осевого навантаження	l	0,37

Коефіцієнти радіального й осевого навантаження:

при $F_a / V \cdot F_r \leq e$ $x=1$ $y=1.83$

при $F_a / F_r > e$ $x=0.67$ $y = 2.70$

маса підшипника $m = 1$ кг

Вихідні дані $l = 100 \text{ мм}$; $l_1 = 70 \text{ мм}$.

Сила ваги вала з насадженими на нього деталями $G = 1800 \text{ Н}$ – приймаємо.
Максимальні радіальні зусилля R_A та R_B , H , діючі на підшипники

$$R_A = \frac{F_{\max}}{2} + P \frac{l + l_1}{l} = \frac{250000}{2} + 2900 \cdot \frac{0.22 + 0.19}{0.22} = 130400 \quad (3.26)$$

$$R_B = \frac{F_{\max}}{2} + P \frac{l + l_1}{l} = \frac{250000}{2} + 2900 \cdot \frac{0.19}{0.22} = 127500 \quad (3.27)$$

Приймаємо допущення, що радіальне навантаження розподіляється між підшипниками однієї опори рівномірно.

Радіальні сили F_{rA} та F_{rB} , H , діючі на один підшипник

$$F_{rA} = \frac{1}{2} R_A = \frac{130400}{2} = 65200, \quad (3.28)$$

$$F_{rB} = \frac{1}{2} R_B = \frac{127500}{2} = 63750. \quad (3.30)$$

Осьовим навантаженням F_{ab} , H , навантажений тільки нижній підшипник опори, $F_{ab} = G = 1800$.

Вибір розрахункових коефіцієнтів. Коефіцієнт обертання при необертаючому щодо вектора навантаження внутрішнім кільці $V = 1,2$.

Коефіцієнт безпеки, що залежить від умов експлуатації

$K_\sigma = 1,3$ - приймаємо.

Температурний коефіцієнт $K_t = 1$, при $t < 100^\circ \text{C}$.

Відношення $F_{ab} / V \cdot F_{rb}$ для нижнього підшипника

$$\frac{F_{ab}}{V \cdot F_{rb}} = \frac{1800}{1.2 \cdot 63750} = 0.023 \leq e \quad (3.31)$$

Коефіцієнти радіального й осевого навантаження для підшипників опор А и В однакові й рівні $X = 1$; $B = 1,83$.

Наведене навантаження P_A та P_B , Н, на підшипники

$$P_A = (X \cdot V \cdot F_{ra} + Y \cdot F_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T = (1 \cdot 1,2 \cdot 65200 + 1,83) \cdot 1,3 \cdot 1 = 101700 \quad (3.32)$$

$$P_B = (X \cdot V \cdot F_{ra} + Y \cdot F_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T = (1 \cdot 1,2 \cdot 65200 + 1,83) \cdot 1,3 \cdot 1 = 101700 \quad (3.33)$$

Найбільш навантаженим виявився нижній підшипник опори В, на який діє осеве навантаження.

Розрахункова довговічність підшипника L_n , час, при максимальній вимушуючій силі

$$L_n = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \frac{C}{P_B} \cdot 10/3 = \frac{10^6}{60 \cdot 1450} \cdot \frac{355700}{103730} \cdot 10/3 = 700. \quad (3.34)$$

При постійній роботі з меншої вимушуючої силою розрахункова довговічність буде значно більшою. Результати розрахунку довговічності підшипника при різному числі вантажів у дебалансі представлені в таблиці 3.3.

3.6 Розрахунок на міцність елементів кріплення вібробуджувача до рухливої рами

Розрахунку на міцність підлягають болти, гайки на рисунку 3.5.

Експлуатація перших модифікацій вібробуджувача показала, що прийнятий спосіб кріплення вібробуджувача до рухливої рами в цілому є надійним. Окремі обриви болтів при експлуатації перших досвідчених зразків вібробуджувачів пояснювалися двома факторами:

- 1) відсутністю попереднього заклинювання корпусу між упорними планка-

ми (планки були просто приставлені до корпусу й приварені після остаточного затягування болтів),

- 2) застосуванням болтів МЗО х 80.36 ДСТУ ISO 4014, міцність яких у цьому випадку виявилася недостатньою.

При проектуванні вібробудувача врахований ряд недоліків попередніх модифікацій, зокрема, застосовані "піддатливі" болти класу міцності 10.9 із дрібним різьбленням,

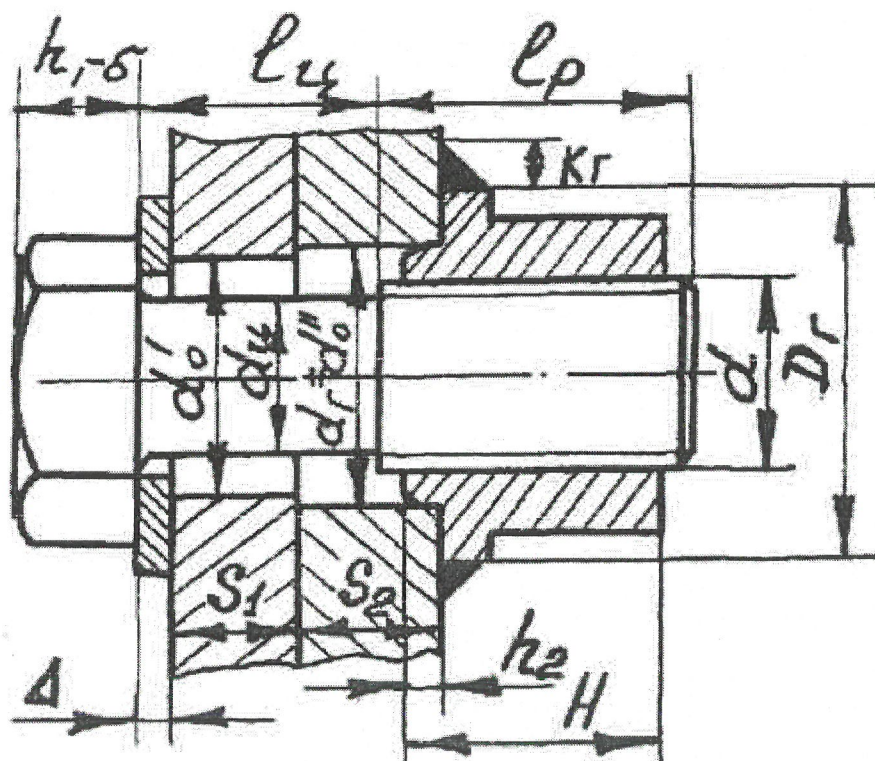


Рисунок 3.5 – Схема болтового з'єднання вібробудувача з рухливою рамою

число їх зменшене з 22 до 20, тому що два середніх болти при розташуванні вібробудувача у вікні рухливої рами однаково не можуть бути ефективно використані через труднощі їхнього попереднього затягування, конструктивно поліпшена гайка., з метою полегшення монтажу вібробудувача на рамі нижній ряд отворів заміні пазами, відкритими вниз. Таким чином, багато конструктивних

елементів кріплення віброзбуджувача виявилися визначеними умовою взаємозамінності, уніфікації й зручності експлуатації.

Вихідні дані.

Параметри різьблення в стандартних позначеннях:

- $d = 30$ мм;
- $d_1 = 27,84$ мм;
- $d_2 = 28,7$ мм;
- $\alpha = 60^\circ$;
- $P = 2$ мм.

Кут підйому гвинтової лінії

$$B = \text{srctg} \frac{P}{\pi d_2} = \text{arctg} \frac{2}{3.1416 \cdot 28.7} = 1.2707^\circ = 1^\circ 16' \quad (3.35)$$

Інші розміри деталей з'єднання:

$d_{\text{ц}} = 27.0$ мм, $l_{\text{ц}} = 36$ мм, $l_p = 45$ мм, $S = 46$ мм, $h_{\text{гб}} = 19$ мм
 $d_{\text{г}} = 40$ мм, $D_{\text{г}} = 55$ мм, $H = 36$ мм, $h_{\text{г}} = 6$ мм, $S_1 = 25$ мм,
 $d_0 = 32$ мм, $S_2 = 20$ мм, $d_0 = 40$ мм, $l = 250$ мм, $b_{\text{н}} = 40$ мм,
 $DO = 8$ мм, $\Delta = 4$ мм, $\gamma = 5^\circ$.

Число болтів $Z_k = 20$.

Матеріал болта - сталь 40Х ДСТУ 7806:2015,

матеріал гайки - сталь 35 ДСТУ 7809:2015.

Характеристики міцності матеріалу:

- болта $\sigma_{\text{вб}} = 980$ МПа, $\sigma_{\text{тб}} = 880$ МПа,
- гайки $\sigma_{\text{вг}} = 530$ МПа, $\sigma_{\text{тг}} = 310$ МПа,

Завдання визначення зусиль, що діють на деталі з'єднання, є статично невиконаною. Для її наближеного рішення приймаємо ряд допущень:

- кріплення віброзбуджувача вважаємо твердим тілом;
- динамічні навантаження, на деталі з'єднання, викликувані коливаннями рухливої рами, не враховуємо;
- як розрахункова амплітуда сили, що обурює, приймаємо;
- затягування всіх болтів однакові.

Основні розрахункові випадки при розрахунку міцності деталей з'єднання необхідно враховувати можливість відступу від вимог складального креслення. У зв'язку із цим розглядаємо три розрахункових випадки:

1-й випадок. У процесі монтажу обидві планки щільно притиснуті до скосів опор їх плит корпуса. Розпирні зусилля на обидві планки приблизно однакові.

2-й випадок. Корпус затиснутий між однією із планок і підвібраторною плитою. Розпирне зусилля на другу планку незначно або відсутній.

3-й випадок. Планки не притиснуті або відсутні. Навантаження на деталі з'єднання є пульсуючою. Мінімальні зусилля на болти й гайки дорівнюють попередньому затягуванню, а на планки - розклинюючої силі. Ці зусилля залишаються постійними протягом половини періоду коливань $T/2 = \pi/\omega$, коли проекція сили $F_{\max}$ на вісь болта або нормаль до упорної поверхні планки спрямована "у тіло" віброплощини. За іншу половину періоду зусилля на деталь монотонно зростає до максимальної величини і досягши максимуму, зменшується до мінімального. Оскільки характер зміни діючих на деталь зусиль істотно не впливає на їхню міцність, визначаємо тільки максимальні й мінімальні значення цих зусиль у кожному з розрахункових випадків.

Максимально припустимий момент на ключі $M_{\text{кл}}$, Н·м, обмежений міцністю болта (наближена оцінка)

$$M_{\text{кл}} \approx 0,07 \cdot \sigma_{\text{Тб}} \cdot d^3 = 0,07 \cdot 880 \cdot 10^6 \cdot (30 \cdot 10^{-3})^3 = 1660 \quad (3.36)$$

Максимальний момент на ключі $M_{\text{кл.роб}}$, Н·м, що обчислює виходячи з можливості і його додатка двома робітниками з використанням подовжувача

$$M_{\text{кл.роб}} = 2 \cdot P_{\text{роб}} \cdot L_{\text{кл}} = 2 \cdot 200 \cdot 1,0 = 400, \quad (3.37)$$

де $P_{\text{роб}}$ - зусилля одного робітника при затягуванні, $P_{\text{роб}} = 200$ Н,

$L_{\text{кл}}$ - розрахункова довжина ключа $L_{\text{кл}} = 1,0$ м.

Так як $M_{\text{кл.роб}} \leq M_{\text{кл.мах}}$ болта при затягуванні виключається.

Розрахунковий момент на ключі $M_{\text{кл}} = 300$ Н·м - приймаємо.

Зусилля попереднього затягування болта Q_0 , Н, знаходимо за формулою

$$Q_0 = \frac{M_{\text{нм}}}{\frac{d_2}{2} \cdot \text{tg} \cdot (\beta + \rho) + \frac{1}{3} f \frac{S^3 - (d_0)^3}{S^2 - (d_0)^2}} = \frac{300}{\frac{88 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \text{tg} \cdot (1.3 + 13.0) + \frac{1}{3} \cdot 0.2 \cdot (0.046^3 - 0.032^3) / (0.046^2 - 0.032^2)} = 39500 \quad (3.38)$$

де ρ' - наведений кут тертя в різьбленні, обумовлений по формулі

$$\rho = \arctg \frac{F_p}{\cos d / 2} = \arctg \frac{0.2}{\cos 60^\circ / 2} = 13.0^\circ; \quad (3.39)$$

f_p і f_t - коефіцієнти тертя в різьбленні й на торці головки болта;

f_p і $f_t = 0,2$ - приймаємо для різьблення без покриття й змащення.

Разклинююча сила R , Н, на рисунку 4.8:

- 1-й випадок навантаження

$$R_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_B \cdot \cos \gamma}{\sin \gamma + 2f} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5490 \cdot \cos 5^\circ}{\sin 5^\circ + 2 \cdot 0.2} = 5610, \quad (3.40)$$

- 2-й випадок навантаження

$$R_1 = \frac{\sigma_B \cdot \cos \gamma}{\sin \gamma + 2f} = 2R_1 = 2 \cdot 5610 = 11220, \quad (3.41)$$

де $\sigma_B = 5490$ Н - вагу вібробуджувача;

f - коефіцієнт тертя, $f = 0,2$ – приймаємо.

Зусилля Q , Н, від зовнішнього навантаження, що доводиться на один болт на рисунку 4.8 1-й розрахунковий випадок. Із трьох розрахункових випадків це зусилля Q_1 мінімально, тому його визначення для розрахунку міцності болта не представляє інтересу.

2-й розрахунковий випадок. Затиснуто стінку А, визначається зусилля на болт стінки А при перпендикулярному до неї положенні вектора навантаження.

(3.42)

$$Q_2 = \frac{F_{mas} + P - 2R_2F - \frac{1}{2}Z_d Q_0 f}{Z_d / 2} = \frac{250000 + 2900 - 2 \cdot 11220 \cdot 0.2 - \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 40000 \cdot 0.2}{20 / 2} = 16840.$$

- 3-й розрахунковий випадок

$$Q_2 = \frac{F_{mas} + P - \frac{1}{2}Z_6 Q_0 f}{Z_6 / 2} = \frac{250000 + 2900 - \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 40000 \cdot 0.2}{20 / 2} = 17290. \quad (3.43)$$

Оскільки Q_2 і Q_3 відрізняється менш чим на 3%, розрахунок міцності болта й гайки будемо вести по силі $Q_3 = 17,3$ кН.

Коефіцієнт піддатливості λ_σ , мм/Н, болта з урахуванням піддатливості різьблення й головки

$$\lambda_\sigma = \frac{1}{E} \left(\frac{4l_{\text{ц}}}{\pi d_y^2} + \frac{0,8}{d} + \frac{0.15}{19} \right) = 4.64 \cdot 10^{-7} \quad (3.44)$$

де $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа - модуль пружності сталі.

Сумарний коефіцієнт піддатливості деталей, що стягають, буд. Оскільки зовнішні й внутрішні діаметри опорних поверхонь болта, і гайки різні, для визначення λ_d використаємо формулу для випадку фланців, що стягають, підсумовуючи під знаком логарифма вираження з параметрами підвібраторної плити й стінки корпусу. Попередньо визначимо відстань X від опорного торця гайки до перетину, у якому діаметр конуса впливу максимальний, приймаючи

$$\text{tg} \xi = 0,5$$

де ξ - кут між віссю болта й утворюючого конуса впливу.

Для визначення X , мм, маємо рівняння

$$D_r + 2 \cdot X \cdot \text{tg} \alpha = S + 2(S_1 + S_2 + \Delta - X) \cdot \text{tg} \alpha, \quad (3.45)$$

з якого

$$X = 1/2 (S_1 + S_2 + \Delta) - \frac{D_r - S}{4 \text{tg} \alpha} = 1/2 (25 + 20 + 4) - \frac{55 - 46}{4.05} = 20. \quad (3.46)$$

Одержали $X = S_2$, тобто максимальний діаметр конуса впливу розміщений у

стику деталей, що з'єднують. Для цього випадку цитована вище формула дає

$$\lambda_0 = \frac{1}{\pi \cdot E \cdot \operatorname{tg} \alpha} \left\{ \frac{1}{d_0} \ln \frac{(S + d_0)[S + (S_1 + \Delta) \operatorname{tg} \alpha - d_0]}{(S - d_0)[S + (S + \Delta) \operatorname{tg} \alpha + d_0]} + \frac{1}{d} \ln \frac{(D_r + d_0)(D_r + S_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha - d_0)}{(D_2 - d_0)(D_r + S_2 \operatorname{tg} \alpha + d_0)} \right\} =$$

$$\frac{1}{3.14 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 0.5} \left\{ \frac{1}{32} \ln \frac{(46 + 32)[46 + (25 + 4) \cdot 0.5 - 32]}{(46 - 32)[46 + (25 + 4) \cdot 0.5 + 32]} + \frac{1}{40} \ln \frac{(55 + 40)(55 + 20 \cdot 0.5 - 40)}{(55 - 40)(55 + 20 \cdot 0.5 + 40)} \right\} =$$

$$= 8.23 \cdot 10^{-8}. \quad (3.47)$$

Коефіцієнт основного навантаження

$$\lambda = \frac{\lambda_D}{\lambda_\sigma + \lambda_D} = \frac{8.23 \cdot 10^{-8}}{4.64 \cdot 10^{-7} + 8.23 \cdot 10^{-8}} = 0.151. \quad (3.48)$$

Максимальне зусилля $Q_{\max}$, Н, на бол

$$Q_{\max} = Q_0 + XQ_3 = 39500 + 0.151 \cdot 17290 = 42110.$$

Напруги розтягання σ , МПа, в матеріалі болта:

- мінімальні

$$\sigma_{\min} = \frac{4 \cdot Q_0}{\pi \cdot d_0^2} = \frac{4 \cdot 39500}{3.14 \cdot 27^2} = 69; \quad (3.49)$$

- максимальні

$$\sigma_{\max} = \frac{4 \cdot Q_{\max 3}}{\pi \cdot d_{II}^2} = \frac{4 \cdot 42110}{3.14 \cdot 27^2} = 73.6; \quad (3.50)$$

- амплітудні

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{73.6 - 69}{2} = 2.3; \quad (3.51)$$

- середні

$$\sigma_m = \sigma_{\min} + \sigma_a = 69 + 2.3 = 71.3. \quad (3.52)$$

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ

Лист

36

Напруги крутіння τ , МПа, в стрижні болта

$$\tau = \frac{Q_0 \frac{d_2}{2} (\beta + \rho)}{\frac{\pi}{16} d_o^3} = \frac{39500 \cdot \frac{28,7}{2} \text{tg} \cdot (1,3^0 + 13^0)}{\frac{3,14}{16} \cdot 27^3} = 37,4. \quad (3.53)$$

Максимальна еквівалентна напруга розтягання $\sigma_{екв}$, МПа, в стрижні болта

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3\tau^2} = \sqrt{73,6^2 + 3 \cdot 37,4^2} = 98. \quad (3.54)$$

Коефіцієнт запасу міцності n_σ болта по максимальних напругах

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{nb}}{\sigma_{экв}} = \frac{880}{98} = 8,97 = 9. \quad (3.55)$$

Коефіцієнт запасу міцності σ , МПа, болта по амплітудних напругах

$$\sigma_m \geq \sigma_{\min} \geq 0,5 \cdot \sigma_{Tb} \quad (71,3 > 69 > 0,5 \cdot 880 = 440), \quad (3.56)$$

$$n_a = \frac{\sigma_{ad}}{\sigma_a} = \frac{70}{2,3} = 30,4, \quad (3.57)$$

де σ_{ad} - границя витривалості матеріалу болта;

Для різьблення, нарізаної на термічно обробленому стрижні

$$\sigma_{ad} = 7 \text{ кгс/мм}^2 \approx 70 \text{ МПа}.$$

Зусилля $Q_{рг}$, Н, що викликало зріз витків гайки

$$Q_{рг} = \pi \cdot d_1 \cdot D_{O2} \cdot H \cdot K_T \cdot \tau_{вг} \quad (3.58)$$

де D_{O2} - коефіцієнт повноти різьблення, для метричного різьблення, $D_{O2} = 0,87$

K_T - коефіцієнт, що враховує нерівномірність деформації по висоті гайки,

при $\sigma_{вб} / \sigma_{вг} = 980/530 = 1,85 > 1,3$ і другому дрібному різьбленню $K_T = 0,65 \dots 0,7$ приймаємо $K_T = 0,65$;

$\tau_{вг}$ - межа міцності матеріалу гайки на зріз, МПа:

H – висота гайки, мм, (див.п.3.14.1),

Запас міцності гайки по напругах зрізу

$$\tau_{вг} = (0,6 \dots 0,7) \cdot \sigma_{вг} = 0,65 \cdot 530 = 345, \quad (3.59)$$

$$Q_{рг} = 3,14 \cdot 27,8 \cdot 0,87 \cdot 36 \cdot 0,65 \cdot 345 = 613410. \quad (3.60)$$

$$n_{\tau} = \frac{Q_{рг}}{Q_{\max}} = \frac{613410}{42110} = 14,5, \quad (3.61)$$

Як видно з отриманих запасів міцності n_{σ} , n_a , n_{τ} , міцність нарізного сполучення вібророзбуджувача з рухливою рамою забезпечена.

3.7 Визначення основних розрахункових параметрів проектного млина

До основних розрахункових параметрів барабанних млинів належать:

- маса молотьних тіл m , т;
- продуктивність P , т/год.;
- кутова швидкість барабана ω , s^{-1} ;
- потужність електродвигуна $N_{дв}$, кВт.

3.7.1 Маса молольних тіл

Маса молольних тіл m , т, визначається за формулою

$$m = \pi \cdot R_1^2 \cdot k_z \cdot k_p \cdot L \cdot \rho, \quad (3.62)$$

де R_1 – радіус барабана млина з урахуванням товщини футерувальних плит, м;

$$R_1 = \frac{D}{2} - \Delta h; \quad (3.63)$$

D – внутрішній діаметр млина без футеровки, м;

Δh – товщина футерувальних плит, м; приймаємо $\Delta h = 0,12$;

$$R_1 = \frac{3,6}{2} - 0,12 = 1,68; \quad (3.64)$$

k_z – відношення площі поперечного перерізу шару завантаження (у спокійному стані) до площі поперечного перерізу барабана; приймаємо $k_z = 0,3$;

k_p – коефіцієнт розпушення завантаження; для сталених куль $k_p = 0,575$;

L – внутрішня довжина барабана, м;

ρ – густина матеріалу молольних тіл, т/кг³; для сталі $\rho = 7,85$.

$$m = 3,14 \cdot 1,68^2 \cdot 0,3 \cdot 0,575 \cdot 15 \cdot 7,85 = 180. \quad (3.65)$$

3.7.2 Визначення продуктивності проектного млина

Продуктивність млина Π , т/год., визначається за формулою

$$\Pi = 6,45 \cdot V \cdot \sqrt{D_1} \cdot \left(\frac{m}{V} \right)^{0,8} \cdot q \cdot k, \quad (3.66)$$

де V – внутрішній об'єм млина, м³;

$$V = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4}; \quad (3.77)$$

D – внутрішній діаметр млина з урахуванням товщини футеровки, м;

$$D_1 = 2 \cdot R_1 = 2 \cdot 1,68 = 3,36, \quad (3.78)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 3,36^2}{4} = 132,9; \quad (3.79)$$

m – маса молотьних тіл, т;

q – питома продуктивність млина, т/кВт·год. При сухому помолі клінкера $q = 0,05-0,06$ т/кВт·год.; приймаємо $q = 0,06$;

k – коефіцієнт, що залежить від тонкості помелу. При тонкості помелу, що відповідає залишкам на ситі 0,09 не більше 7% $k = 1,17$.

$$P = 6,45 \cdot 132,9 \cdot \sqrt{3,36} \cdot \left(\frac{180}{132,9} \right)^{0,8} \cdot 0,06 \cdot 1,17 = 2,1. \quad (3.80)$$

3.7.3. Визначення швидкісних параметрів млина

Кутова швидкість обертання барабана млина ω , с⁻¹;

$$\omega = \omega_k \cdot \psi, \quad (3.81)$$

де ψ – відносна швидкість обертання барабана; при водоспадному режимі роботи і помелу матеріалу ударами і стиранням молотьних куль, приймаємо $\psi = 0,8$;

ω_k – критична швидкість обертання, с⁻¹.

$$\omega_k = \frac{4,45}{\sqrt{D_1}} = \frac{4,45}{\sqrt{3,36}} = 2,43. \quad (3.82)$$

$$\omega = 2,43 \cdot 0,8 = 1,94. \quad (3.83)$$

Частота обертання барабана n , об./хв,

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 1,94}{3,14} = 18,5. \quad (3.84)$$

3.8 Розрахунок гвинтового конвеєра

Для гвинтових конвеєрів площа поперечного перерізу потоку матеріалу $F, \text{м}^2$,

$$F = \frac{\pi D^2 k_i}{4} \quad (3.85)$$

де D -діаметр гвинта, м (по ДСТУ ISO 286-1:2002 $D=150; 200; 250; 300; 400; 500; 600$ мм);

кн.- коефіцієнт наповнення жолоба матеріалом ($k_n=0,25 \dots 0,4$);

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,4^2 \cdot 0,25}{4} = 0,03 \quad (3.86)$$

Швидкість руху матеріалу по жолобу v , м/с,

$$v = \frac{S \cdot n}{60} \quad (3.87)$$

де S - крок гвинта, м ($S=(0,8 \dots 1) \cdot D$, м);

n - частота обертів гвинта за 1 хв ($n=40 \dots 120$ хв⁻¹; для транспортування матеріалів при великому нахилу $\alpha = 65 \dots 75^\circ$, $n= 250 \dots 300$ хв⁻¹);

Оскільки у нас кут нахилу гвинта становить $\alpha = 65^\circ$, то приймаємо $n= 250$ хв⁻¹.

$$S=0,8 \cdot 0,4=0,32 \quad (3.88)$$

$$v = \frac{0,32 \cdot 250}{60} = 1,25 \quad (3.89)$$

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		41

Продуктивність нахилоного гвинтового конвеєра, т/год, знижується при збільшенні кута нахилу. Коефіцієнт зниження продуктивності нахилоного шнека $k=1$ при $\alpha = 0^\circ$; $k=0,9$ при $\alpha = 5^\circ$; $k=0,8$ при $\alpha = 10^\circ$; $k=0,7$ при $\alpha = 15^\circ$; $k=0,65$ при $\alpha = 20^\circ$.

3.9 Розрахунок потужності приводу гвинтового конвеєра

Потужність потрібна для приводу гвинтового конвеєра, кВт,

$$N = \frac{P \cdot L_2 \omega_s}{367} + \frac{P \cdot H}{367} \quad (3.90)$$

де P - продуктивність гвинтового конвеєра, т/год;

L_2 -довжина горизонтальної проекції гвинта, м;

ω - коефіцієнт опору $\omega=3,2$;

H - висота транспортування матеріалу, м.

Знаючи потрібну для приводу потужність, можна визначити обертальний момент на валу, Н·м,

$$M_{об}=9550 \cdot N/n \quad (3.91)$$

Вихідні дані:

$P= 40$ т

$L=14,6$ м

$H=3,7$ м

$n=250$ хв⁻¹

Визначаємо потрібної потужності електродвигун за формулою (3.68)

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		42

$$N = \frac{40 \cdot 14.6 \cdot 3.2}{367} + \frac{40 \cdot 3.7}{367} = 5.5$$

Потужність на валу двигуна при $\eta_m=0,85$

$$N_{ДВ} = \frac{N}{\eta_m} = \frac{5,5}{0,85} = 6,5 \text{ кВт} \quad (3.92)$$

3.10 В результаті виконаного розрахунку встановлено:

1. Розміри дебаланса й вантажів забезпечують при нормальній частоті обертання задані граничні значення сили, що обурює.
2. Розрахункова довговічність підшипників є прийнятною.
3. Міцність основних деталей і з'єднань вібробуджувача є достатньою, що підтверджується безаварійною роботою досвідчених зразків протягом більше п'яти років.

У розрахунку поряд із загальноприйнятими методиками використані розробки КБ «Вібротехника» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

4 Технологічна частина

Відповідно до завдання необхідно розробити технологічний процес виготовлення та виконати нормування часу на виготовлення деалансного вала.

В основу розробки технологічного процесу закладено два принципи: технічний та економічний.

Технічний принцип розробки технологічного процесу полягає в забезпеченні виконання вимог креслення деталі.

Економічний принцип забезпечує виготовлення даної деталі з мінімальними витратами праці та з найменшою собівартістю.

4.1 Вибір виду заготовки

Вивчивши креслення деталі „Вал дебалансний”, вимоги до поверхні та точності виготовлення, а також приймаючи до уваги малу кількість деталей (одичний тип виробництва), як заготовку можна прийняти круглий прокат або пропустити прокат через штампування, або кування. При цьому маємо на увазі, що собівартість готової деталі визначається загальними затратами, як на виготовлення заготовки в цілому так і на механічну обробку цієї заготовки.

Згідно з конструктивними особливостями вала застосовуємо сталь 40Х (ДСТУ 7806:2015) гарячекатану круглу, нормальної точності за ДСТУ 4738:2007. Цей сортамент рекомендується для виготовлення гладких і ступінчастих валів з невеликим перепадом діаметрів ступенів.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Технологічна частина	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Олешневич			17.06		Н		8
Перев.	Рогозін			18.06				
Керівник	Фролов			19.06				
Н. контр.	Васильєв			12.06				
Затв.	Орисенко			19.06			НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.	

4.2 Розробка плану операцій та опис технологічного процесу виготовлення валу

Для обробки вала передбачаємо наступні операції:

- 05 – відрізна: відрізання заготовки;
- 10 – фрезерна: підрізання торців;
- 15 – центровочна: свердлити центрові отвори у торцях заготовки;
- 20 – токарна: точити начорно поверхні заготовки;
- 25 – токарна: точити начисто поверхні, точити фаску, підрізати торці;
- 30 – шліфувальна: шліфувати поверхні в розмір;
- 35 – фрезерна: фрезерувати шпоночні пази;
- 40 – фрезерна: фрезерувати дебалансний паз;
- 45 – слюсарна: зачистити гострі кромки та заусениці;
- 50 – контрольна: контролювати якість геометричних параметрів деталі.

4.3 Визначення припусків на механічну обробку поверхні

Припуск – це шар матеріалу, який необхідно зняти з заготовки для виготовлення деталі відповідно вимогам креслення за точністю поверхні

$$Z = D_z - d_{дет}, \quad (4.1)$$

де D_z – діаметр заготовки, мм,

$d_{дет}$ – діаметр виготовленої деталі, мм.

Загальний припуск Z , мм, буде розподілятися на міжопераційні припуски

$$Z = Z_{чорн} + Z_{чист}, \quad (4.2)$$

де $Z_{чорн}$, $Z_{чист}$ – відповідно припуски на виконання операцій на чорнове

та чистове проточування, мм.

Для визначення припусків на обробку використовуємо дослідно-статистичний метод. Цей метод використовується в машинобудуванні і в ремонтному виробництві, так як не потребує великих затрат часу. Недоліком цього методу є завищення величини припуску. При цьому методі користуються розробленими таблицями міжперехідних припусків. За допомогою таблиці розраховуємо розміри заготовки.

Таким чином, заготовка із прскату за ДСТУ 4738:2007 сталь 40Х ДСТУ 7806:2015 має такі розміри: діаметр 120 мм і довжину 290 мм із припуском по шийках вала 3,5 мм. Межа міцності на розрив $\sigma_{\hat{a}} = 610$ МПа (у стані поставки прокату).

4.4 Вибір обладнання, пристосувань, інструменту

В умовах одиничного та мілкосерійного виробництва для обробки доцільно використовувати універсальні токарно-гвинторізні верстати та універсальні пристрої. Вибір верстата диктується вимогами креслення деталі. В нашому випадку для обробки зовнішніх діаметрів вала вибираємо токарно-гвинторізний верстат 16К20, призначений для виконання різних токарних робіт.

Паспортні дані верстата:

- число обертів шпинделя n , об./хв: 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500...2000;
- повздовжні подачі S мм/об.: 0,47, 0,52, 0,57, 0,61, 0,70, 0,78, 0,87;
- найбільша допустима сила механізму повздовжньої подачі $P = 3600$ Н;
- потужність електродвигуна $N_{\hat{a}\hat{a}} = 10$ кВт;
- потужність на шпинделі верстата $N_{\hat{o}\hat{i}} = 8,5$ кВт.

Установлення заготовки у центрах відзначається високою точністю. Раді-

альне биття не перевищує 0,07...0,015 мм, що менше вимог робочого креслення. Для закріплення заготовки у деталі використовуємо 3-х кулачковий патрон і центр.

Для обробки поверхонь вибираємо прохідні та фасонні різці Т15К6, що дають можливість отримати задану точність і необхідну шорсткість.

Як вимірювальний інструмент використовуємо штангенциркуль ШЦ-II 0-125-0,1, ШЦ-II 0-500-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2020, мікрометр МК 25-50 ДСТУ EN ISO 13385-1:2020 та лінійку 0-500 ДСТУ 427:2009.

4.5 Вибір і розрахунок режимів різання

Визначення режимів різання виконуємо згідно з "Загальними машинобудівними нормативами режимів різання для технічного нормування робіт на металоріжучих верстатах".

Визначаємо глибину різання t для $\varnothing 45$. Виходячи із припуску на чорнову обробку приймаємо глибину різання $t = 2$ мм на сторону.

Подача S для діаметра вала до 60 мм і глибини різання 2 мм буде рівною $S = 0,6...0,7$ мм/об. Порівнюючи з паспортними даними верстата приймаємо подачу $S = 0,7$ мм/об.

Швидкість різання при заданих параметрах $V_{\delta\varphi} = 104$ м/хв.

Перевіряємо силу подачі P_x . При $\sigma = 61$ кг/мм², $t = 2$ мм, $S = 0,7$ мм/об, швидкості різання 104 м/хв для різця із кутом $\varphi = 45^\circ$ $P_x = 64$ Н, тобто менше, ніж допустиме значення $P_x = 360$ Н.

За встановленою швидкістю різання визначаємо частоту обертання n , об./хв, шпинделя верстата

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D}, \quad (4.3)$$

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

де D , мм - діаметр заготовки;

V , м/хв - швидкість різання.

$$n = \frac{104 \cdot 1000}{3,14 \cdot 55} = 602,2. \quad (4.4)$$

Згідно з паспортними даними верстата приймаємо частоту обертання шпінделя $n = 750$ об/хв.

Перевіряємо вибраний режим різання.

По даним таблиці "Потужність, спожита при різанні" при чорновій обточці сталі з $\sigma = 61$ кг/мм², $t = 2$ мм, $S = 0,7$ мм/об, $V = 104$ м/хв потужність, необхідна для виконання обточування $N = 2,9$ кВт, що нижче паспортних даних верстата.

Визначаємо машинний час T_m , хв, на виконання обточування

$$T_m = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot z}{1000 \cdot V \cdot S}, \quad (4.5)$$

де L - довжина оброблюваної поверхні, мм;

z - кількість проходів;

S - подача, мм/об.

$$T_m = \frac{3,14 \cdot 55 \cdot 50 \cdot 2}{1000 \cdot 104 \cdot 0,7} = 0,24. \quad (4.6)$$

Операція 05 – відрізна. Машинний час T_m , хв, на операцію

$$T_m = 0,19 \cdot D^2 \cdot 10^{-3} = 0,19 \cdot 55^2 \cdot 10^{-3} = 0,57. \quad (4.7)$$

Операція 10 – фрезерна. Машинний час T_m , хв, на операцію

$$T_m = 7 \cdot L \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 0,05. \quad (4.8)$$

Операція 15 – центровочна. Машинний час T_m , хв, на операцію

$$T_m = z \cdot 0,52 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0,52 \cdot 6,3 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 0,08, \quad (4.9)$$

де $L = 12$ мм – довжина центрового отвору;

$d = 6,3$ мм – діаметр центрового отвору;

z – кількість центрових отворів, $z = 2$.

Операція 20 – токарна.

Машинний час T_m , хв, для чорнового точіння поверхні $\varnothing 42$ мм

$$T_m = 0,17 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 42 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 0,32. \quad (4.10)$$

Машинний час T_m , хв, для чорнового точіння поверхні $\varnothing 35$ мм

$$T_m = 0,17 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 35 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 0,27. \quad (4.11)$$

Машинний час T_m , хв, для чорнового точіння поверхні $\varnothing 30$ мм

$$T_m = 0,17 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 30 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 0,28. \quad (4.12)$$

Операція 25 – токарна.

Машинний час T_m , хв, для чорнового точіння поверхні $\varnothing 42$ мм

$$T_m = 0,17 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 42 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 0,39. \quad (4.13)$$

Машинний час T_m , хв, для чорнового точіння поверхні $\varnothing 35$ мм

$$T_m = 0,17 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 35 \cdot 23 \cdot 10^{-3} = 0,14. \quad (4.14)$$

Операція 30 – токарна.

Машинний час T_m , хв, для чистового точіння поверхні $\varnothing 42$ мм

$$T_m = 0,1 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 42 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 0,19. \quad (4.15)$$

Машинний час T_m , хв, для чистового точіння поверхні $\varnothing 35$ мм

$$T_m = 0,1 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 35 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 0,16. \quad (4.16)$$

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Машинний час T_m , хв, для чистового точіння поверхні $\varnothing 30$ мм

$$T_m = 0,1 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 30 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 0,17. \quad (4.17)$$

Операція 35 – токарна.

Машинний час T_m , хв, для чистового точіння поверхні $\varnothing 45$ мм

$$T_m = 0,1 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 45 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,23. \quad (4.18)$$

Машинний час T_m , хв, для чистового точіння поверхні $\varnothing 42$ мм

$$T_m = 0,1 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 42 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 0,23. \quad (4.19)$$

Машинний час T_m , хв, для чистового точіння поверхні $\varnothing 35$ мм

$$T_m = 0,1 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 35 \cdot 23 \cdot 10^{-3} = 0,08. \quad (4.20)$$

Операція 40 – шліфувальна.

Машинний час T_m , хв, для шліфування поверхні $\varnothing 42d11$ мм

$$T_m = 0,07 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,07 \cdot 42 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 0,16. \quad (4.21)$$

Машинний час T_m , хв, для шліфування поверхні $\varnothing 35k6$ мм

$$T_m = 0,15 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 35 \cdot (23 + 45) \cdot 10^{-3} = 0,36. \quad (4.22)$$

Операція 45 – фрезерна.

Машинний час T_m , хв, для фрезерування шпоночного пазу на 10 мм

$$T_m = 6 \cdot L \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,3. \quad (4.23)$$

Машинний час T_m , хв, для фрезерування шпоночного пазу на 14 мм

$$T_m = 6 \cdot L \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 45 \cdot 10^{-3} = 0,27. \quad (4.24)$$

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		50

Сумарний машинний час $T_{m\Sigma}$, хв, на виконання операцій буде складатися із суми усіх знайдених вище значень машинного часу

$$T_{m\Sigma} = 0,24 + 0,57 + 0,05 + 0,08 + 0,32 + 0,27 + 0,28 + 0,39 + 0,14 + 0,19 + 0,16 + 0,17 + 0,23 + 0,23 + 0,08 + 0,16 + 0,36 + 0,27 = 4,39. \quad (4.25)$$

Допоміжний час $T_{дон}$, хв, складає 30...50% від машинного часу

$$T_{дон} = (0,3...0,5) \cdot T_m = 0,4 \cdot 4,39 = 1,76. \quad (4.26)$$

Оперативний час $T_{опер}$, хв, – це сума машинного і допоміжного часу

$$T_{опер} = T_m + T_{дон} = 4,39 + 1,76 = 6,15. \quad (4.27)$$

Час на обслуговування робочого місця $T_{обсл}$, хв, складає 5% від оперативного часу

$$T_{обсл} = 0,05 \cdot T_{опер} = 0,05 \cdot 6,15 = 0,31. \quad (4.28)$$

Тоді штучний час $T_{шт}$, хв, буде рівний

$$T_{шт} = T_{опер} + T_{обсл} = 6,15 + 0,31 = 6,46. \quad (4.29)$$

Технологічний процес виготовлення вала оформляємо маршрутно-операційною картою ДСТУ ISO 10209:2009.

5 Охорона праці

5.1 Характеристика технічного обладнання щодо шкідливих і небезпечних факторів, які діють на працюючих.

При роботі на вібротельних установках для профілактики виробничого травматизму та професіональних захворювань важливо своєчасно контролювати санітарно-гігієнічні умови праці. Цей контроль виконує лабораторія по охороні праці та навколишнього середовища.

В задачі лабораторії входить контролювання: вмісту в повітрі виробничих приміщень шкідливих речовин, рівня шуму, вібрації, освітленості, температури та вологості повітря та інших фізичних виробничих факторів, санітарно-побутового забезпечення працюючих, додержування умов електробезпеки, наявності та виправності захисних споруд на обладнанні та інструкцій по охороні праці; організації навчання працюючих відповідних з Правилами по охороні праці на автомобільному транспорті, проведені адміністративно-суспільного контролю, виконання мироприємств по охороні праці; наявність на усунення зауважень по введенню паспорту санітарно-технічного стану умов праці, стану забруднення атмосферного повітря на території підприємства та за його межами, стан забруднення стічної води.

Умови праці - це сукупність факторів Виробничої сфери, які здійснюють вплив на здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Ці фактори різні за своєю природою, формами виявлення, характером дії на людину. Серед них особливу групу представляють небезпечні та шкідливі виробничі фактори. їх знання дозволяє попередити травматизм та хворобу, створити більш сприятливі умови праці, забезпечивши

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Олешневич		18.02				
Перев.		Фролов		18.02				
Н. контр.		Васильєв		17.02				
Затв.		Орисенко		19.02				
					Лім.		Лист	Листів
					Н		52	18
					Охорона праці			
					НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.			

цим і його небезпечність.

Таблиця 5.1 – характеристика технічного обладнання щодо шкідливих і небезпечних факторів, які діють на працюючих

№ З · П	Назва та визначення фактору	Небезпечний шкідливий, можливі наслідки	Рівень або спосіб дії	Припущення та документи, що її визначає	Запобіжні пристосування (тех.. заходи, орг. заходи)
1	2	3	4	5	6
1	Вібрація- це сукупність механічних коливань, найпростішим з яких є гармонійне коливання	Спричиняє порушення чутливості шкіри, втрату міцності кровоносних судин, чутливості нервових волокон та окостеніння сухожилів	Гармонійні коливання	45-70Гц СНі П 2.02. 05-87	Для зниження вібрації необхідне балансування роторів, усунення надмірних люфтів та зазорів
2	Шум-це поєднання звуків різної частоти й інтенсивності	Вражає слуховий апарат та нервову систему	Поздовжні та поперечні звукові хвилі	До 110дБ	Зниження Шуму досягається за рахунок поліпшення конструкції або принципу дії машини

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
3	Пил- розповсюдження дрібних часток ма- теріалу у повітрі	Подразнює диха- льні шляхи, ви- кликаючи бронхіт, емфізему, астму	З повіт- рям по- трапляє в диха- льні шляхи	Не бі- льше 200 мг/м ³	Зниження пи- лу досягається встановленням повітряних фі- льтрів, пилоу- ловлювачів та вентиляцією

5.2 Технічні засоби і організаційні заходи що передбачаються для зменшен- ня або усунення дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів.

Органи управління повинні бути легко розпізнавальні доступними і забезпечувати оперативність дії. При конструюванні органів управління і їх розміщенні в моторному полі повинні бути враховані фізіологічні особливості рухового апарату людини, його антропометричні характеристики.

Зусилля, необхідні для дій, що управляють, повинні встановлюватися з урахуванням способу переміщення органу управління, частоти його використання і в деяких випадках з урахуванням тривалості безперервної дії на органи управління, швидкості виконання дії, що управляє, і положення людини в процесі управління

Місця можливих контактів органів управління з руками і ногами що працює повинні виготовлятися з нетоксичних, а в необхідних випадках і з теплопровідних і електроізоляційних матеріалів.

Приводні елементи для органів управління для рук повинні мати форму, забезпечуючи надійне захоплення їх руками (коло- або грушовидну, конічну, веретеноподібну, циліндрову і ін.) .Діаметр рукояток при округлій формі (наприклад, кулястою)

для захоплення пальцями приймається рівним 10 - 40 мм, а для захоплення кистю 35 - 50 мм, при подовженій формі (наприклад, веретеноподібною) відповідно 10—30 і 20—40 мм.

Ножне управління менш точне, чим ручне, тому його слід застосовувати в цілях розвантаження рук для дій невеликої точності, що управляють. Форма і розміри педалей і інших приводних елементів органів управління повинні бути такими, щоб ноги не зісковзували. Зусилля натиснення на педалі не повинні перевищувати значень допустимі. При управлінні стопою переміщення педалі повинне бути не більше 80 мм, ширина опорної поверхні не меншого 60 мм. Розміщувати органи управління слід з урахуванням тяжкості роботи, зон легкої досяжності і оптимальних зон моторного поля. Органи управління, використовувані до 5 разів в зміну, допускається розташовувати за межами зони досяжності моторного поля. Аварійні органи управління слід розташовувати тільки в межах цієї зони. При цьому слід передбачити спеціальні засоби пізнання і запобігання їх мимовільному і мимовільному включенню. При роботі двома руками органи управління розміщують так, щоб виключити перехрещення рук. Для позначення функціонального призначення органів управління застосовують написи і символи. Розташовувати їх слід на елементах конструкції робочого місця в безпосередній близькості від органів управління або на їх приводних елементах. Дуже велике значення при організації робочого місця мають правильне розміщення і вибирання засобів відображення інформації. Основна частина інформації повинна бути видимою. Акустичні сигнали слід використовувати як аварійних і попереджувальних і в тих випадках, коли зоровий канал переобтяжений інформацією, видимість обмежена, просторова протяжність велика, а діяльність того, що працює монотонна. Рівень інтенсивності сигналу повинен бути на 10 дБ вище за інтенсивність виробничого шуму. При розміщенні засобів відображення інформації необхідно дотримувати наступні вимоги: всі пристрої повинні знаходитися в полі зору, а найважливіші і такі, що вимагають більшої точності сприйняття -- в центрі цього поля; пристрої повинні бути згруповані по виконуваних функціях з урахуванням послідовності користування ними, а також по якій-небудь певній системі, наприклад по положенню стрілок (в цьому випадку скорочується час контролю і розшифровки інформації).

ції); повинна дотримуватися функціональна відповідність між протікаючим процесом і свідченням. Шкали слід робити горизонтальні, оскільки відлік за вертикальними шкалами викликають більше помилок. Дуже часто використовувані засоби відображення інформації (в цьому випадку потрібний точно і швидко рахувати свідчення) слід розташовувати у вертикальній площині під кутом $\pm 15^\circ$ до нормальної: лінії погляду і в горизонтальній площині під кутом $+15^\circ$ до сагітальної площини. Часто використовувані засоби відображення інформації (в цьому випадку потрібний менш точно і швидко прочитувати свідчення) допуску розташовувати у вертикальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ до нормальної лінії погляду і в горизонтальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ до сагітальної площини. Рідко використовувані засоби, відображення; інформації розташовують під кутами $\pm 60^\circ$ до обох площин.

5.3 Інженерні рішення з охорони праці та техніки безпеки

5.3.1. Конструктивні вимоги до системи заземлення електроустановок

Для вертикальних електродів використовують сталеві стрижні діаметром 10-16 мм, довжиною до 5 м або кутову сталь із товщиною полиці, не меншою ніж 4 мм, та довжиною до 3 м. Улаштовують штучні заземлення в ряд чи по контуру. З метою усунення взаємного екранування відстань між вертикальними електродами а повинна бути не меншою від їх довжини.

Для зв'язку між собою вертикальних заземлень або як самостійні заземлення використовують горизонтальні електроди – круглу сталь діаметром, не меншим за 10 мм, чи сталеві смуги перерізом, не меншим ніж 40 мм, і товщиною, не меншою від 4мм.

Для монтажу заземленого пристрою з вертикальних та горизонтальних електродів спочатку викопують траншею глибиною 0,7-0,8 м. Вертикальні електроди забивають таким чином, щоб верхній кінець виступав над дном траншеї на

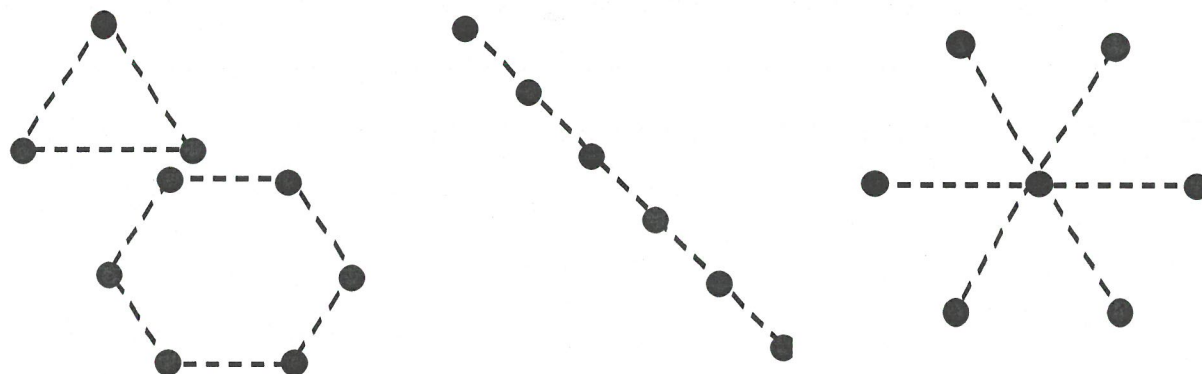
					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		56

0,1-0,2 м для можливості з'єднання з горизонтальними електродами.

t_2 – глибина закладання горизонтального електрода $t_2=0,6$ м.

t_1 – глибина закладання вертикального електрода – відстань від поверхні землі до середини вертикального електрода $t_1=\ell/2+t_2$ м.

Розміри електродів, відстань між ними, конфігурація заземлюючого пристрою визначаються розрахунком.



1

2

3

• – вертикальний електрод; — — — — горизонтальний електрод;

1- Контурний вид (горизонтальний електрод має вигляд у плані правильного багатокутника, по кутках якого розташовані вертикальні електроди); 2-рядовий вид (горизонтальний електрод прямий); 3-променевий вид (горизонтальний електрод має вигляд у плані багатопроменевої зірки, по кінцях кожного з променів розташовані вертикальні електроди).

Рисунок 5.1 – Види заземлюючих пристроїв за конфігурацією

Вертикальні електроди можуть розміщуватися в ряд чи по контуру. При цьому необхідно дотримуватись умови, щоб відстань між вертикальними електродами а була не меншою від їх довжини .

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ

Лист
57

5.3.2 Розрахунок захисного занулення електродвигуна вібромельної установки.

Вихідні дані:

Потужність електродвигуна 2,2 кВт, напруга $U=380\text{В}$, $n=16.33\text{ (с}^{-1}\text{)}$ чи 080(об/хв), схема з'єднання обмоток трансформатора - зірка.

Перевіряємо умову забезпечення вимикаючої здібності занулення:

$$I_{\text{кз}} \geq 31_{\text{пл.вст}}^H, \quad (5.1)$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{(Z_T/3 + Z_N)}, \quad (5.2)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга, В;

Z_T – опір трансформатора, Ом;

Z_N – опір петлі фаза-нуль, Ом;

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (\tilde{O}_{\phi} + \tilde{O}_i + \tilde{O}_n)^2}, \quad (5.3)$$

де R_{ϕ}, R_n , - активні опори фазного та нульового провідників, Ом;

X_{ϕ}, X_n – внутрішні індуктивні опори фазного та нульового провідників, Ом;

X_i - зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль, Ом. Визначаємо опір трансформатора з таблиці. Він дорівнює $Z_T=0,081$.

Визначаємо номінальний струм $I_{\text{ел.дв}}^H$, А, електродвигуна

$$I_{\text{ел.дв}}^H = p \cdot 1.5 \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85, \quad (5.4)$$

де: p - номінальна потужність двигуна, кВт;

380 – номінальна напруга, В;

0,85 – коефіцієнт потужності.

Тоді:
$$I_{\text{ел.дв}}^H = 1.5 \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.85 = 2.7. \quad (5.5)$$

					ГММ.3пММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		58

Для розрахунку активних опорів R_{ϕ} та R_n задається перерізом, довжиною, матеріалом нульового та фазного провідників. Опір провідників з кольорових металів визначаємо за формулою

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (5.6)$$

де ρ – питомий опір провідника (для міді $\rho=0,018$, для алюмінію $\rho=0,028$

l – довжина провідника, м;

S – переріз, мм^2 .

Значення X_n та X_{ϕ} для мідних та алюмінієвих провідників малі (біля 0,0156 Ом/км) та як, правило, ними нехтують.

По довідковим даним знаходимо основні технічні характеристики електродвигуна $N=1.5$ кВт;

$$\cos \alpha = 85; I_{\text{ел.дв}}^{\text{нус}} / I_n = 6,5. \quad (5.7)$$

Розрахуємо пусковий струм двигуна, А,

$$I_{\text{ел.дв}}^{\text{нус}} = 6.5 \cdot 2.7 = 17.55. \quad (5.8)$$

Визначаємо номінальний струм плавкої вставки, А

$$I_{\text{пл.вст}}^n = I_{\text{ел.дв}}^{\text{нус}} / \alpha, \quad (5.9)$$

$$I_{\text{пл.вст}}^n = 17.55 / 2 = 8.77 \text{ А}, \quad (5.10)$$

де α - коефіцієнт режиму роботи, для двигунів рідкими пусками $\alpha = 2 \dots 2,5$.

Задаємо стандартний переріз нульового проводу $4 \times 40 \text{ мм}$ та розрахуємо щільність струму δ , А/мм²

$$\delta = I_{\text{кз}} / S, \quad (5.11)$$

де $I_{\text{кз}}$ - очікуване значення струму короткого замикання.

$$I_{\text{кз}} \geq 3 \cdot I_{\text{пл.вст}}^n, \quad (5.12)$$

$$I_{\kappa 3} \geq 3 \cdot 8.775 = 26.3, \quad (5.13)$$

$$\delta = 26.3 / 4 \cdot 40 = 0.16. \quad (5.14)$$

Знаходимо активні та індуктивні опори сталених провідників. Для цього задаємося перерізом та довжиною нульового l_n та фазового l_ϕ провідників, що виконані із сталі:

$$l_n = 50\text{м}, \text{ перерізом } 4 \times 40\text{мм}; S = 160\text{мм}^2; I_\phi = 100\text{м}.$$

Переріз нульового провідника та його матеріал вибираємо з умови, щоб повна провідність нульового проводу була не менше 50% повної провідності фазного проводу. Активний опір фазного проводу R_ϕ , Ом, беремо у залежності від площі перерізу та щільності струму

$$R_\phi = r \cdot I_\phi = 13.7 \cdot 0.1 = 1.37. \quad (5.15)$$

Аналогічно визначаємо активний опір нульового проводу, Ом,

$$R_n = r \cdot l_n = 2.8 \cdot 0.05 = 0.14. \quad (5.16)$$

Визначаємо внутрішній індуктивний опір фазного та нульового провідників

X_ϕ та X_n , Ом,

$$X_\phi = X_\omega \cdot l_\phi. \quad (5.17)$$

$$X_n = X_\omega \cdot l_n. \quad (5.18)$$

де X_ω - з таблиці

l -довжина провідника

$$\begin{aligned} \text{Тоді} \quad X_\phi &= 8.2 \cdot 0.1 = 0.82 \\ (6.19) \end{aligned}$$

$$X_\phi = 1.68 \cdot 0.05 = 0.084 \quad (5.20)$$

Загальна довжина петлі фаза-нуль $50 \times 100 = 150 = 0.15\text{км}$

Зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль $X_i = 0.6 \text{ м/км}$.

Використовуючи отримані дані, розраховуємо струм короткого замикання

$$X_n = \sqrt{(1,37 + 0,14)^2 + (0,82 + 0,084 + (0,60 \cdot 0,15))^2} = 1,81. \quad (5.21)$$

$$I_{K3} = 380 / (0,081/3 + 1,81) = 207. \quad (5.22)$$

Перевіряємо умову надійного виконання захисту

$$I_{K3} \geq 3 \cdot I_{пл.вст.}^n \quad (5.23)$$

$$207 \geq 3 \cdot 8,775. \quad (5.24)$$

Струм I_{K3} більш ніж у вісім разів перевищує струм плавкової вставки, тому при замкненні на корпус плавка вставка перегорить 5...7 секунд та вимкне пошкоджену фазу. По номінальному струму приймаємо плавку вставку серії НПі 15 з номінальним струмом 10А, при напрузі $U=380V$

Важливими організаційними заходами для забезпечення безпеки є правильна організація руху транспорту та пішоходів на території бази механізації, а також технологічних процесів, раціональне планування виробничих приміщень.

5.4 Розрахунок віброгасячої основи під віброплощадку

Основні поняття і вимоги до розрахунку віброгасячих основ.

При роботі більшості машин виникають динамічні навантаження, зумовлені незрівноваженими силами інерції. Ці сили можуть викликати недопустимі коливання будівельних конструкцій і шкідливо діяти на організм людини. Для зменшення коливань будівельних конструкцій та розміщених на них робочих місць машини, що збуджують динамічні навантаження, встановлюють на масивні фундаменти. Маса фундаменту підбирають таким чином, щоб коливання підшви фундаменту не перевищували (за вібропереміщенням) установленної для заданої частоти величини згідно з ДСТУ EN 14253:2018.

Розрахунок фундаменту під віброплощадку зводиться:

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		61

- до перевірки амплітуд вібропереміщення вимушених коливань фундаменту;
- до визначення тисків, що передаються фундаментом на ґрунт;
- до перевірки власної частоти коливань фундаменту (власна частота коливань фундаменту повинна відрізнятися від частоти вимушених коливань не менше ніж у 1,5 разу).

Нормативне динамічне навантаження N віброплощини, що збуджується механічними вібраторами з обертовими ексцентричними масами (дебалансами), визначається як центробіжна сила

$$N = m \omega^2 r, \quad (5.25)$$

де m – маса частини машини, що обертається (дебаланса), кг;

r – ексцентриситет мас, що обертаються, м;

ω – колова частота вала машини, с^{-1} .

При використанні дебалансних вібраторів нормативне динамічне навантаження визначають за формулою

$$N = \sum_1^n (M_k \omega^2 / g), \quad (5.26)$$

де $M_k = mr$ – кінематичний момент одного вібратора, Н м;

g – прискорення вільного падіння, м/с.

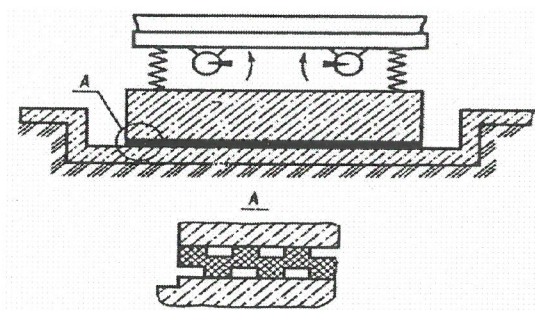


Рисунок 5.2– Схема установки динамічно неурівноваженої машини на віброгасячий фундамент

5.4.1 Розрахунок віброгасячої основи

Умови задачі

Розрахувати віброгасячу основу під віброплощадку. Максимальна вантажопідйомність площадки - 3т, габарит 3х2х2м, загальна вага - 50000Н, у тому числі рухомих частин $Q_p = 40000\text{Н}$, потужність привода - 30 кВт, частота обертання - 3000 об/хв., максимальний кінетичний момент дебалансів $M = 29\text{ Н м}$, амплітуда вібропереміщень стола - 0,5 мм, частота коливань $f = 60\text{ Гц}$. Фундамент установлюють на суглинок середньої пористості з допустимим нормативним тиском $R = 3 \cdot 10^5\text{ Па}$. Віброплощадка двохвальна, нормативна збуджувальна сила діє у вертикальному напрямі. Віброізоляція виконана у вигляді 8 циліндричних сталевих прутин.

Визначаємо динамічне навантаження N , Н , що збуджується дебалансним валом вібромельнеці, для чого знаходимо:

$$N = Mkw^2/g = 29 \cdot 3772/9.81 = 420157\text{ Н}. \quad (5.26)$$

Передбачаємо, що динамічна площадка опирається на фундамент через сталеві пружинні амортизатори, що діють під дією рухомих (підресорених) частин установки, статичне осідання $\lambda_{\text{ст}} = 0.005\text{ м}$. Схема установки віброплощадки на фундамент показана на рисунку. Сумарна жорсткість усіх амортизаторів

$$K = Q_{p4} / \lambda_{\text{ст}} = 40000 / 0.005 = 8 \cdot 10^6. \quad (5.27)$$

Розраховуємо власну колову частоту вертикальних коливань підресорних частин віброплощадки і масу рухомих частин віброплощадки

$$w_0 = \sqrt{K / m_{p4}} = \sqrt{8 \cdot 10^6 / 4077} = 44.3, \quad (5.28)$$

$$m_{p4} = Q_{p4} / g = 40000 / 9.81 = 4077\text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м} = 4077. \quad (5.29)$$

Визначаємо нормальне динамічне навантаження, що передається на фундамент N_ϕ , Н ,

$$N_\phi = \frac{N}{(w/w_0)^2 - 1} = \frac{420157}{(377/44.3)^2 - 1} = 5883. \quad (5.30)$$

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		63

Виходячи із відомого досвіду проектування фундаментів під машини з динамічними навантаженнями, конструктивно приймаємо площу і висоту фундаменту так, щоб вага фундаменту була в два рази більшою загальної ваги віброплощини

$$Q_{\phi} = 1000000 \text{ Н}; F_{\phi} = 3,2 \cdot 2,1 = 6,72 \quad . \quad (5.31)$$

Маса фундаменту

$$m_{\phi} = Q_{\phi} / g = 1000000 / 9,81 = 10194 \text{ кг} \quad . \quad (5.32)$$

Розраховуємо коефіцієнт жорсткості природної основи при раніше вибраному ґрунті: суглинку середньої пористості з допустимим нормативним тиском $R=3 \cdot 10^5 \text{ Па}$,

$$K_z = F_{\phi} \cdot C_z = 6,72 \cdot 50 \cdot 10^6 = 336 \cdot 10^6 \quad . \quad (5.33)$$

Визначаємо колову частоту власних вертикальних коливань фундаменту:

$$w_{\phi} = \sqrt{K_z / m_{\phi}} = \sqrt{336 \cdot 10^6 / 10194} = 181.6 \quad . \quad (5.34)$$

Розраховуємо амплітуду переміщення фундаменту під дією динамічної сили

$$\alpha_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{K_z (w^2 / w_{\phi}^2 - 1)} = \frac{5883}{336 \cdot 10^6 (377^2 / 181.6^2 - 1)} = 0.0053 \quad . \quad (5.35)$$

$$0,0053 \text{ мм} < \alpha_{\text{дон}} = 0,0079 \text{ мм} \quad \text{при} \quad f = 60 \text{ Гц} \quad (\text{див. ДСТУ ISO 2631-1:2004}).$$

Таким чином, при роботі віброплощини амплітуда вібропереміщення фундаменту не перевищує допустиму величину.

5.5 Техніка безпеки при експлуатації та обслуговування обладнання

Техніка безпеки - це один із розділів охорони праці, який є системою організаційних і технічних заходів та засобів, спрямованих на попередження й усунення небезпечних виробничих факторів. Проведення заходів із безпеки, а також створення та використання необхідних технічних засобів здійснюється на основі

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		64

затвердженої в установленому порядку нормативно-технічної документації Нормативна база включає такі складові:

- стандартів, правил, норм, інструкцій;
- організаційно-методичні;
- вимоги безпеки до виробничого устаткування;
- вимоги безпеки до технологічних процесів;
- вимоги до забезпечення працівників засобами колективного та індивідуального захисту.

У своїй трудовій діяльності, особливо в умовах взаємодії "людина - машина", працюючий піддається впливу різних небезпек. Ця діяльність здійснюється у просторі, який ми називаємо **виробничим середовищем**.

Виробниче середовище - це середовище, де людина здійснює свою трудову діяльність. Отже, до системи "людина - машина" долучається "середовище", утворюючи триєдину систему "людина - машина -середовище". У цьому "трикутнику" залежно від рівня дотримання стандартних вимог безпеки праці людина почуває себе або безпечно, або ж навпаки - небезпечно.

Що ж таке безпека?

Безпека - це відсутність ризику, пов'язаного з можливим ушкодженням. Безпека праці - це такі умови праці, за яких виключається дія на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Виробнича безпека - це можливість дії на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

У своїй трудовій діяльності людина задіяна у виробничий процес -складну соціально-технічну систему, в межах якої під час виконання різноманітних виробничих операцій вона може стикатися з виробничою небезпекою.

В умовах виробництва на людину в основному діють техногенні, тобто пов'язані з технікою безпеки, які зазвичай називають небезпечними і шкідливими виробничими факторами.

Небезпечним виробничим фактором називають фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або до іншого раптового різ-

кого погіршення здоров'я.

Виробнича травма є результатом нещасного випадку на виробництві, під яким розуміють вплив небезпечного виробничого фактора на працюючого при виконанні ним трудових обов'язків або завдань керівника робіт.

Шкідливим виробничим фактором називають такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до захворювань або зниження працездатності. Захворювання, які виникають під впливом шкідливих виробничих факторів, називають професійними.

До небезпечних виробничих факторів належать:

- обладнання, що працює під тиском, вищим від атмосферного;
- вантажо-підйомні машини і внутрізаводський транспорт;
- електричний струм певної сили та статична електрика;
- розпечені тіла і т.п.

Шкідливими виробничими факторами є:

- несприятливі метеорологічні умови;
- запиленість і загазованість повітря;
- шуми, інфра- та ультразвуки, вібрація;
- електромагнітні поля, лазерне та іонізуюче випромінювання.

Виробничі процеси та експлуатація обладнання мають здійснюватися відповідно до **правил виробничої безпеки**, в яких закладені передумови усунення небезпеки.

Організаційні заходи з виробничої безпеки включають:

- інструктаж і навчання працюючих безпечним і нешкідливим методам та прийомам роботи;
- навчання умінню користуватися захисними засобами;
- розробку та впровадження регламентів праці та відпочинку при виконанні тяжких робіт у шкідливих умовах.

Виконання організаційних заходів гарантує умови безпеки праці, тобто такий стан умов праці, за яких вплив на працівника небезпечних і шкідливих výro-

бничих факторів неможливих або ж дія шкідливих виробничих чинників не перевищує гранично допустимих рівнів.

Стандарти безпеки праці - це загальні вимоги та норми безпеки за видами небезпечних і шкідливих факторів.

Вимоги безпеки виробничого обладнання викладені у міждержавних стандартах: ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків».

У ДСТУ ISO 45001:2019 наводяться, зокрема, такі небезпечні та шкідливі фактори:

- рухомі машини та механізми;
- незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- вироби, заготовки, матеріали, що переміщуються;
 - підвищений або понижений барометричний тиск у робочій зоні та його різка зміна;
 - підвищення запыошеності та загазованості повітря робочої зони;
 - підвищення або зниження температури поверхні обладнання, матеріалів, повітря робочої зони;
 - підвищення рівня шуму на робочому місці, інфразвукових та ультразвукових коливань, вібрації;
 - підвищення або пониження вологості, рухомості та іонізації повітря;
 - небезпечний рівень напруги в електричному ланцюгу, замикання якого може пройти через тіло людини;
 - підвищення рівня статичної електрики та електромагнітних коливань;
 - підвищення напруженості електричного чи магнітного полів;
 - відсутність або недостача природного світла;
 - пониження контрастності;
 - прямий та відбитий блиск;
 - підвищення пульсації світлового потоку;
 - підвищення рівня ультрафіолетової та інфрачервоної радіації;

-нервово-психічні перевантаження.

Перелічені фактори проявляються раптово або поступово, причому раптовість стає причиною травм, а поступовий їх перебіг призводить до професійних захворювань або хронічного отруєння. Однак, і раптова, і поступова дія виробничої небезпеки завжди призводить до патологічних процесів в організмі. Отже, поняття „шкідливість” входить у поняття „небезпека”.

Основна ланка методологічної моделі безпеки праці - це вплив на трудову діяльність людини небезпечних і шкідливих факторів. Будується модель, виходячи з наступних міркувань. Якщо потенційна небезпека наявна у процесі роботи машини, то вона може негативно впливати на людину, що нею керує, на навколишнє середовище, на предмет праці та на машину (верстат). Слід мати на увазі, зауважує Т. Носовський, - що створена в процесі роботи машини небезпека може негативно вплинути або лише на людину, що її обслуговує, або на навколишнє середовище в цілому, в тому числі на сусідні робочі місця (наприклад, шум, пил). Деякі небезпечні фактори можуть впливати на всі елементи зазначеної системи, включно з предметами праці (наприклад вологість повітря).

З цього випливає висновок: вибір технічних та організаційних засобів безпеки здійснюється на підставі вивчення специфічних особливостей кожного фактора та сфери його впливу, а також з врахуванням очікуваної ефективності рішень, що приймаються.

Висновок

Вібрація- це сукупність механічних коливань, найпростішим з яких є гармонійне коливання. Вона спричиняє порушення чутливості шкіри, втрату міцності кровоносних судин, чутливості нервових волокон та окостеніння сухожилів. Таку дію на організм викликають гармонійні коливання із допустимою частотою коливань 45-70Гц. Для зниження вібрації необхідне балансування роторів, усунення надмірних люфтів та зазорів

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		68

Шум-це поєднання звуків різної частоти й інтенсивності. Він через свої поздовжні та поперечні звукові хвилі вражає слуховий апарат та нервову систему. Зниження Шуму досягається за рахунок поліпшення конструкції або принципу дії машини.

Пил-розповсюдження дрібних часток матеріалу у повітрі. Він з повітрям потрапляє в дихальні шляхи і подразнює дихальні шляхи, викликаючи бронхіт, емфізему, астму. Його допустима норма не більше 200 мг/м^3 . Зниження пилу досягається встановленням повітряних фільтрів, пилоуловлювачів та вентиляцією.

Органи управління вібрмельницею повинні бути легко розпізнавальні, доступними і забезпечувати оперативність дії. При конструюванні органів управління і їх розміщенні в моторному полі повинні бути враховані фізіологічні особливості рухового апарату людини, його антропометричні характеристики.

Зусилля, необхідні для дій, що управляють, повинні встановлюватися з урахуванням способу переміщення органу управління, частоти його використання і в деяких випадках з урахуванням тривалості безперервної дії на органи управління, швидкості виконання дії, що управляє, і положення людини в процесі управління.

Місця можливих контактів органів управління з руками і ногами що працює повинні виготовлятися з нетоксичних, а в необхідних випадках і з теплопровідних і електроізоляційних матеріалів.

Висновки

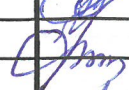
В результаті проведеного огляду існуючих конструкцій вібрмельних установок, з визначенням їх недоліків і переваг були запропоновані подальші напрями для удосконалення. Запропонована схема установки, яка дозволяє виготовлення активних добавок. До складу якої входить вібрмлин та конвеєр гвинтовий.

Наведений вигляд загальний вібрмельної установки запропонованої конструкції, описаний принцип його дії. Виконані розрахунки основних параметрів, визначені параметри складових частин та вузлів. Виконані розрахунки на міцність елементів приводу та конструкцій.

Представлені складальні креслення вузлів запропонованої установки, а також розроблені робочі креслення основних деталей.

Проаналізований шкідливий вплив на обслуговуючий персонал і навколишнє середовище, що виникає при роботі з машинами та запропоновані заходи, щодо уникнення прояву або їх зменшення.

Технологічна частина проекту демонструє володіння методикою визначення параметрів технологічного процесу виготовлення деталі вал.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Висновки	Лім.	Лист	Листів	
Розроб.		Олешневич		12.02		Н		70	2
Перев.		Фролов		19.06					
Н. контр.		Васильєв		12.02		НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.			
Затв.		Орисенко		19.06					

Список літератури

- 1 Онищенко О. Г., Драченко Б. Ф., Головкін О. В. Механізація опоряджувальних робіт у будівництві. – К. Урожай, 1998. – 320 с.
- 2 Баладінський В. Л., Назаренко І. І., Онищенко О. Г. Будівельна техніка: Підручник. – Київ-Полтава: КНУБА-ПолтНТУ, 2002. – 463с.
- 3 Будівельні і меліоративні машини / В. Л. Баладінський, В. С. Зінь, С. В. Кравець та ін. – Рівне: РДТУ, 1998. – 404 с.
- 4 Назаренко І. І. Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
- 5 Сівко В. Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів: Підручник. – К.: ІСДО, 1994. – 360 с.
- 6 Виробництво залізобетонних конструкцій і виробів: довідник / Н. О. Амеліна, В. П. Азутов, О. Ю. Бердник та ін.; під загальною редакцією В. І. Гоца. – Київ : Основа, 2019. – 464 с.
- 7 Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс]: навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машино-будування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Ю. Щербина, В. І. Сівецький, О.В. Гондлях; – Електронні текстові дані (1 файл: 18,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 131 с.
- 8 Vibrating tables with the spatial oscillations of the moving frame technological properties for forming reinforced concrete products / M.P. Nesterenko, M.M. Nesterenko, O.V. Orysenko, T.O. Sklyarenko // Academic Journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2019. – Vol. 2 (53). – P. 13-19.

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Список літератури		
Розроб.	Олешневич			17.02			
Перев.	Фролов			19.06			
Н. контр.	Васильєв			12.02			
Затв.	Орисенко			19.06			
					Літ.	Лист	Листів
					Н	71	4
					НУП, ННІТР, ЗпММ, 2026 р.		

9 Nazarenko I.I. The Dynamic Processes Mathematical Modeling in the Traction Coupling Device From Cars to the Trailers / I.I. Nazarenko, M.M. Nesterenko, O.V. Orysenko, A.Yu. Zygun // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, № 4.8. – P. 284–288. – DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27257

10 Нестеренко М.М. Теоретичні положення та аналіз робочого процесу ущільнення бетонних сумішей / М.М. Нестеренко, В.В. Ведмідь // Техніка будівництва. – 2025. – № 42. – С. 4–13. – <https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0501>

11 Нестеренко М.П. Вібробуджувач із вертикальним валом / М.П. Нестеренко, О.І. Хименко, Т. М. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2010. – Вип. 26. – С. 93-99.

12 Делембовський, М., & Клименко, М. (2020). Забезпечення надійності вібраційних майданчиків будівельної індустрії з урахуванням методів аналізу. Збірник наукових праць ЛОГОС, 26-28. <https://doi.org/10.36074/09.10.2020.v2.06>

13 Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 275 с.

14 Жигулін О. А., Махмудов І. І., Жигуліна Н. О. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Ніжин, 2020. 150 с.

15 Arnold W, Vogel G. Übersicht über die verschiedenen Typen horizontal irregten Vibrationshische zur Verdichtung von Beton. Maschinen bautechnik, Berlin, 22 (1973) H.9, s.409-412.

16 Нестеренко М.П. Дослідження коливань вібраційної установки для формування довгомірних залізобетонних виробів у режимі холостого ходу / М.П. Нестеренко, О.П. Воскобійник, Д.С. Педь // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / голов. ред. В. Ф. Пічугін. – Полтава : ПолтНТУ, 2013. – Вип. 1 (36). т. 2. – С. 20–26.

17 Лівінський О.М., Пшінко О.М., Савицький М.В., Курок О.І., Єсипенко А.Д., Бабиченко В.Я., Коваленко В.М. Пелевін Л.Є., Смірнов В.М., Волянюк В.О. Будівельні машини та обладнання. Підручник.-К.: Українська академія наук; «МП Леся», 2015,–612с.

18Сукач М.К. Будівельні машини і обладнання: підручник. К.: Ви-давництво Ліра-К, 2016. 390 с.

19 Нестеренко М.П. Експериментальні дослідження робочого режиму вібро-форми / М.П. Нестеренко, Д.С. Педь // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / редкол.: С.Ф. Пічугін (голов. ред.) [та ін.]. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – Вип. 1 (31). – С. 248–255.

20 Rocard Y. Dinamigue generale des vibrations. Paris, Masson, 1993.

21 Mazet R. Mechanigue vibratoir librarie politechnique. Paris Biege, Ch. Beranger, 1995.

22 Cassette vibration installation mathematical modeling for compacting concrete mix during the formation reinforced concrete products / M.P. Nesterenko, A.G. Maslov, P.O. Molchanov, Ju.S. Salenko // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, № 4.8. – P. 306-311. – DOI: 10.14419 / ijet.v7i4.8.27261

23 Structural analysis of vibration platform for panel units forming and consideration of its utilizing options / Ivan Nazarenko, Oleksandr Diachenko, Vasyl Pryhotskyi, Mykola Nesterenko // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво = Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2021. – Вип. 1 (56). – С. 37–42. – <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.2505>

24 Коробко Б.О. Вплив важільного закріплення віброзбуджувача на загальну ефективність віброущільнення / Б.О. Коробко, Ю.Ю. Коротич // Збірник наукових праць. Галузеве машинобудування, будівництво. - Полтава, 2021. - Вип. 1 (56). Т. 1. - С. 12-17.

25 ДСТУ Б В.2.7-137:2008 Будівельні матеріали.

26 <https://probud.in.ua/tehnologiya-virobnitstva-pinobetonu-retsept-otrimannya-yakisnogo-produktu.html>

27 <https://uk.blog-oremonte.ua/budivnitstvo/pinobetonozmishuvach-turbulentnii-pristrii-dlia-zmishuvannia.html>

28 <https://www.ibeton.ua/product/smesiteli-penobetona/kavitatsionnye/>

29 <http://ntb.org.ua/ntb/machinery/building/pbeton/sb350/>

30 [http:// www. putzmeister. ua /catalog/39/40/m740dh/](http://www.putzmeister.ua/catalog/39/40/m740dh/)

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		73

- 31 [http:// www. putzmeister. ua /catalog/39/40/m760dh/](http://www.putzmeister.ua/catalog/39/40/m760dh/)
- 32 [http:// www. stroy-fasad. ua /catalog/ rastvoronasos.php](http://www.stroy-fasad.ua/catalog/rastvoronasos.php)
- 33 [http://mashkomplekt. com /catalogue/popump-rf/](http://mashkomplekt.com/catalogue/popump-rf/)
- 34 [http:// www. mpssm. ua /fmtec 11ssb 02.php](http://www.mpssm.ua/fmtec11ssb02.php)
- 35 <https://studfile.net/preview/9256264/page:8/>
- 36 <http://vsau.vin.ua/repository/card.php?lang=en&id=28894>
- 37 https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D1%96_%D0%B2%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F

					ГММ.ЗпММ.030-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		74

Додаток

маршрутно-операційна карта виготовлення вала дебалансного

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Перш застосує		Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк	Примітка
						<u>Документація</u>		
		A1			ГММ.ЗпММ.030-06.02.000 СК	Складальне креслення		
						<u>Деталі</u>		
Додатк. №			1		ГММ.ЗпММ.030-06.02.001	Корпус барабана	1	
			2		ГММ.ЗпММ.030-06.02.002	Пробка розвантажувальна	1	
			3		ГММ.ЗпММ.030-06.02.003	Сітка колідрувальна	1	
			4		ГММ.ЗпММ.030-06.02.004	Пробка завантажувальна	1	
			5		ГММ.ЗпММ.030-06.02.005	Кришка задня	1	
			6		ГММ.ЗпММ.030-06.02.006	Прокладка	4	
			7		ГММ.ЗпММ.030-06.02.007	Стінка задня гумова	1	
			8		ГММ.ЗпММ.030-06.02.008	Корпус гумовий	1	
			9		ГММ.ЗпММ.030-06.02.009	Кришка передня	1	
			10		ГММ.ЗпММ.030-06.02.010	Стінка передня гумова	1	
			11		ГММ.ЗпММ.030-06.02.011	Опора бічна	2	
Підп. і дата						<u>Стандартні вироби</u>		
			12			Шпилька М16-6х36.109.30ХГСА ДСТУ ISO 888:2009	8	
			13			Гайка М16х1,2-9Н.02.3кп ДСТУ EN ISO 4032:2022	8	
			14			Шайба С 16 ДСТУ EN ISO 7092:2022	8	
Взам. інв. №								
Підп. і дата								
Інв. № дісч.								
Зм. Лист № докум. Підп. Дата					ГММ.ЗпММ.030-06.02.000			
Розроб. Олешневич Перевір. Фролов Н.контр. Васильєв Затв. Орисенко					Літ Лист Листів Н 1 1			
Барабан					НУП, ННІТР ЗпММ, 2026 р.			
Копіював					Формат А4			

[illegible]