

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Механіко-машинобудівний факультет  
Кафедра інжинірингу та дизайну в машинобудуванні



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра**

студент Дорожко Данііл Костянтинівич  
(ПІБ)

академічної групи 133-20-1  
(шифр)

спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні»  
(офіційна назва)

на тему Розробка технічного проєкту робочого органу  
вертикального вібраційного млина XXXXXXXXXX  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Анциферов О.В.			
розділів:				
Конструкторський	Анциферов О.В.			
Експлуатаційний	Анциферов О.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Анциферов О.В.			

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, зокрема відомості про їх місце розташування, технології роботи, стійкість до аварійних ситуацій та заходи щодо відновлення, у зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму.

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
інжинірингу та дизайну в  
машинобудуванні

**Костянтин ЗАБОЛОТНИЙ**

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня бакалавра**

студент Дорожко Д.К. академічної групи 133-20-1  
(ПІБ) (шифр)

спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні»  
(офіційна назва)

на тему **Розробка технічного проєкту робочого органу  
вертикального вібраційного млина**

затверджену наказом ректора НТУ «ДП» № 380-с від 30.04.2024 р., додаток № 5

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розрахунковий	На основі наданих креслеників, матеріалів виробничої та передатестаційної практик та інших науково-технічних джерел інформації розробити технічний проєкт приводу вертикального вібраційного млина [REDACTED] Провести розрахунок конструктивних і технологічних параметрів млина. Розробити конструкторську документацію: загальний вид робочого органу і деталі його основних елементів.	21.06.2024 р.
Експлуатаційний	Розробити технологічний процес монтажу, пускових іспитів та умови експлуатації вібраційного млина. Сформулювати заходи щодо безпечного монтажу, обслуговування й експлуатації вібраційного млина [REDACTED]	28.06.2024 р.

Завдання видано

(підпис керівника)

**Олександр АНЦИФЕРОВ**

Дата видачі 30.04.2024 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 01.07.2024 р.

Прийнято до виконання

**Данііл ДОРОЖКО**

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 74 сторінок, 8 рисунків, 7 посилань, 7 додатків.

**Об'єкт розробки** – процес віброударного подрібнення матеріалу в робочій камері вертикального вібраційного млина.

**Предмет розробки** – конструкція багатосекційної помольної камери, що збільшує ефективність подрібнення.

**Актуальність задачі** зумовлена необхідністю підвищення продуктивності подрібнювального обладнання за одночасного зниження питомих енерговитрат. Це досягається шляхом інтенсифікації процесу за рахунок впровадження багатосекційних помольних камер.

**Мета кваліфікаційної роботи** – розрахунок основних технологічних параметрів вертикального вібраційного млина [REDACTED] та розробка конструкторської документації на його робочий орган.

**Практичне значення кваліфікаційної роботи** – підвищення інтенсивності здрібнення матеріалу за рахунок збільшення помольних секцій в робочому органі млина.

У **вступі** проаналізовано сучасний стан технологій вібраційного подрібнення, обґрунтовано актуальність вдосконалення конструкцій помольних камер та визначено ключові завдання дослідження.

У **конструкторському розділі** здійснено класифікацію конструкційних схем та приводів вібраційних млинів [REDACTED]. Проведено розрахунок пружної системи агрегату, визначено амплітудно-частотні характеристики та циклічні навантаження в шатунній групі приводу.

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.к</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив.</i>		<i>Дорожко</i>			<b>Реферат</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>К.розділу</i>		<i>Анциферов</i>					<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Керівник</i>		<i>Анциферов</i>				НТУ «ДП», ММФ, 133-20-1		
<i>Н. Контроль</i>		<i>Анциферов</i>						
<i>Затвердив</i>		<i>Заболотний</i>						

В експлуатаційному розділі визначено послідовність операцій під час монтажу та налагодження вертикального вібраційного млина [REDACTED]. Також обґрунтовано комплекс заходів із безпеки праці під час виконання зазначених робіт згідно з вимогами чинних нормативно-правових актів.

**ВЕРТИКАЛЬНИЙ ВІБРАЦІЙНИЙ МЛИН, ПРИВІД, ПРУЖНА СИСТЕМА, РОЗРАХУНОК, РОБОЧИЙ ОРГАН, КРЕСЕЛЬНИКИ**

Графічна частина проекту становить 3 листи формату А1. Кваліфікаційна робота на тему «Розробка технічного проекту робочого органу вертикального вібраційного млина [REDACTED]» пройшла перевірку на унікальність за допомогою онлайн-сервісу пошуку плагіату StrikePlagiarism.com. Унікальність становить 78,27 %.

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1 Конструкторський.....	9
1.1 Конструктивні схеми горизонтальних вібраційних млинів .....	9
1.2 Вертикальний вібраційний млин [REDACTED].....	13
1.3 Вертикальний вібраційний млин [REDACTED].....	16
1.4 Види пружних зв'язків .....	18
1.5 Розрахункова частина .....	23
1.5.1 Вихідні дані .....	23
1.5.2 Вибір та розрахунок пружних елементів.....	24
1.5.3 Розрахунок зусилля у приводі .....	28
1.5.4 Урахування циклічної дії зусилля в шатуні .....	32
1.5.5 Розрахунок підшипників млина .....	33
1.5.6 Розрахунок болтового кріплення помольної камери до приводної секції вібраційного млина.....	34
1.5.7 Перевірочний розрахунок шпонок.....	40
1.6 Висновки за розділом .....	42
Розділ 2 Експлуатаційний .....	43
2.1 Технічні вимоги.....	43
2.1.1 Основні параметри, розміри і характеристики.....	43
2.1.2 Вимоги до початкової продукції.....	43
2.1.3 Вимоги до зварних виробів.....	44
2.1.4 Вимоги до з'єднань на високоміцних болтах.....	45
2.2 Програма і методика випробувань млина [REDACTED].....	46

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.к</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>Зміст</b>		
<i>Розробив.</i>	<i>Дорошко</i>						
<i>К.розділу</i>	<i>Анциферов</i>						
<i>Керівник</i>	<i>Анциферов</i>						
<i>Н. Контроль</i>	<i>Анциферов</i>						
<i>Затвердив</i>	<i>Заболотний</i>				<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркуші</i>
						1	2
					НТУ «ДП», ММФ, 133-20-1		

2.3 Заходи безпеки при роботі на вібраційному млині [REDACTED] .....	52
2.4 Висновки за розділом .....	53
Висновки .....	54
Перелік посилань .....	55
Додаток А Матеріали кваліфікаційної роботи бакалавра .....	56
Додаток Б Специфікації до складальних креслеників.....	57
Додаток В Презентація кваліфікаційної роботи .....	61
Додаток Г Витяг з протоколу засідання кафедри ІДМБ .....	69
Додаток Д Результат перевірки записки на плагіат .....	70
Додаток Е Відгук керівника кваліфікаційної роботи .....	71
Додаток Ж Рецензія на кваліфікаційну роботу .....	73

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

## ВСТУП

Диспергування твердих матеріалів до заданого гранулометричного складу здійснюється шляхом дроблення та помелу в агрегатах різної конструкції: барабанних (кульових, стержневих) млинах, молоткових дробарках та інших дезінтеграторах. Залежно від конструктивного виконання, робочі органи зазначених машин реалізують механічні впливи у вигляді удару, роздавлювання, стирання або їх комбінації. Процес подрібнення має велике значення для багатьох галузей промисловості. Технологічні завдання процесу варіюються залежно від галузі: у виробництві цементу основною метою є збільшення питомої поверхні матеріалу для інтенсифікації хімічної взаємодії, тоді як у гірничорудній промисловості подрібнення спрямоване на розкриття корисних мінералів для подальшого збагачення. Таким чином, вибір методу та обладнання для дезінтеграції визначається цільовим ступенем дисперсності готового продукту.

Обладнання, призначене для тонкого диспергування матеріалів, класифікується як млини. Згідно з систематизацією С.І. Артоболевського, цей тип устаткування належить до категорії технологічних машин. Робочими органами млинів виступають внутрішні футерувальні поверхні камер та завантажені в них помольні тіла, безпосередня взаємодія яких із сировиною забезпечує її руйнування. Сучасні наукоємні галузі потребують отримання високодисперсних порошків з особливими фізико-хімічними властивостями. Виробництво таких матеріалів часто вимагає суворого контролю кінетики помелу та температурного режиму в робочій зоні. Операції подрібнення для отримання порошкових матеріалів розрізняються за способом руйнування часток та інтенсивності дії молоткових тіл на матеріал. Згідно з прийнятою класифікацією, дезінтеграція часток реалізується шляхом роздавлювання, удару, стирання або їх комбінованої дії. Ефективність передачі механічної енергії від робочих органів до матеріалу визначає енергонапруженість процесу. Теорія помелу в барабанних млинах є детально вивченою, а самі агрегати мають широке промислове застосування. Водночас зростаючі вимоги до енергоефективності та якості продукту зумовлюють необхідність пошуку нових конструктивних рішень.

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.к</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив.</i>	<i>Дорошко</i>				<b>Вступ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>К.розділу</i>	<i>Анциферов</i>						<i>1</i>	<i>2</i>
<i>Керівник</i>	<i>Анциферов</i>					НТУ «ДП», ММФ, 133-20-1		
<i>Н. Контроль</i>	<i>Анциферов</i>							
<i>Затвердив</i>	<i>Заболотний</i>							

Вібраційні млини належать до одного з найбільш поширених типів обладнання, що використовується для інтенсифікації процесів тонкого помелу матеріалів. Основним робочим елементом агрегата є помольна камера, розділена на секції, заповнені мелючими тілами, як-от сталевими кулями. Конструктивно помольна камера має циліндричну форму. На рамі млина вона орієнтується горизонтально або вертикально. Звідси вібраційні млини підрозділяються на горизонтальні і вертикальні. У млинах вертикального типу (МВВ) реалізується віброударний режим навантаження. Теоретичні та експериментальні дослідження вказують на те, що показники ефективності подрібнення корелюють із кількістю помольних секцій у камері.

Метою кваліфікаційної роботи є модернізація конструкції помольної камери млина [REDACTED] для підвищення ефективності здрібнення шляхом установки додаткової помольної секції.

Для досягнення мети сформульовані наступні задачі:

- 1) виконати аналітичний огляд еволюції конструкцій вібраційних млинів та провести порівняльний аналіз їхніх сучасних конструктивних схем
- 2) здійснити розрахунок параметрів пружної системи млина, визначити навантаження в шатунній групі привода з урахуванням циклічності процесу та виконати перевірочні розрахунки вузлів кріплення і підшипників.
- 3) розробити конструкторську документацію: загальний вид робочого органу млина [REDACTED] і його основних деталей.

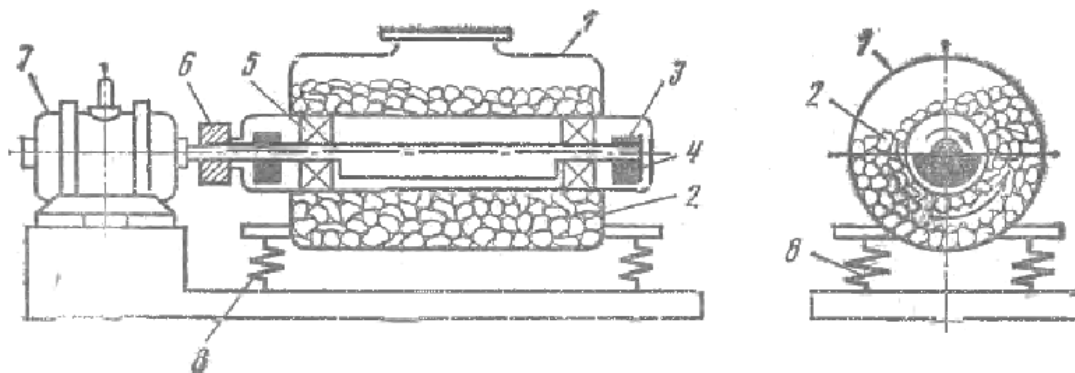
Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

## РОЗДІЛ 1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 1.1 Конструктивні схеми горизонтальних вібраційних млинів

Одним із найефективніших і широко впроваджених методів тонкого диспергування матеріалів є вібраційне подрібнення, що реалізується у млинах за участю мелючих тіл. Конструктивну схему найпростішого однобарабанного вібраційного млина з дебалансним інерційним приводом наведено на рисунку 1.1.



**Рисунок 1.1 – Конструктивна схема горизонтального вібраційного млина [2]**

Конструкція містить робочу камеру (контейнер) 1, заповнену мелючими тілами 2, найчастіше — сталевими кулями інерційного вібратора, що являє собою ексцентриковий вал 3 із дебалансами 4. Вал вібратора сполучений із контейнером за допомогою підшипникових вузлів 5. Привод забезпечується електродвигуном 7 через еластичну муфту 6, контейнер спирається на раму через пружні елементи 8, якими можуть бути гвинтові пружини або еластомірні блоки.

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.к	№ докум	Підпис	Дата				
Розробив.	Дорожко				Розділ 1 Конструкторський	Літ.	Аркуш	Аркушів
К.розділу	Анциферов						1	32
Керівник	Анциферов					НТУ «ДП», ММФ, 133-20-1		
Н. Контроль	Анциферов							
Затвердив	Заболотний							

Робочий об'єм контейнерів сучасних вібромлинів зазвичай варіюється в межах від 10 до 1000 дм<sup>3</sup>.

Під час обертання вала інерційного вібратора контейнеру надається коливальний рух. Траєкторія коливань визначається параметрами пружної системи та може змінюватися від кругової до витягнутої еліптичної, що є найбільш поширеним випадком. Вібрація камери змушує мелючі тіла інтенсивно колитися. Подрібнення матеріалу у вібро млинах відбувається внаслідок інтенсивної взаємодії мелючих тіл із продуктом. Руйнування часток здійснюється шляхом комбінованого впливу ударних навантажень, роздавлювання та стирання під час їхнього відносного зміщення. Основними параметрами вібраційного млина є частота і амплітуда коливань, форма, розміри і матеріал тіл, що мелють, параметри контейнера.

На рисунку 1.2, а зображено вібраційний млин з однією робочою камерою 1, яка за допомогою кронштейнів 2 спирається на раму 4 через гумометалеві пружні елементи 3. Вісь інерційного вібратора 7 збігається з центром тяжіння мас вібромлина, що коливаються.

На рисунку 1.2, б і 1.2, в наведено дві модифікації двокамерних млинів із горизонтальним та вертикальним компонованням барабанів відповідно. Вертикальне розташування контейнерів дозволяє суттєво оптимізувати використання виробничих площ.

Конструкція вібромлина з однорівневим розташуванням контейнерів складається з двох робочих камер (1 і 2), які за допомогою спільного кронштейна (3) жорстко сполучені з інерційним вібратором (4). Віброізоляція коливальної системи забезпечується гумометалевими пружними елементами (6), через які вона спирається на опорну раму (5). Технологічний цикл передбачає завантаження вихідної сировини через верхні люки (7, 8) та вивантаження готового продукту через розвантажувальні люки (9, 10). У другій модифікації реалізовано ярусне компоновання, де контейнер 1 розміщений вертикально над контейнером 2; на спільному кронштейні 3

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

між ними змонтовано дебалансний вібратор 4. Подача матеріалу у верхній контейнер проводиться через люк 5, тоді як заповнення нижнього здійснюється транзитно через той самий люк та сполучний трубопровід 6. Виведення готового продукту забезпечують розвантажувальні трубопроводи 7 і 8. Коливальна система через гумометалеві пружні елементи 9 спирається на опорні стійки 10 та 11.

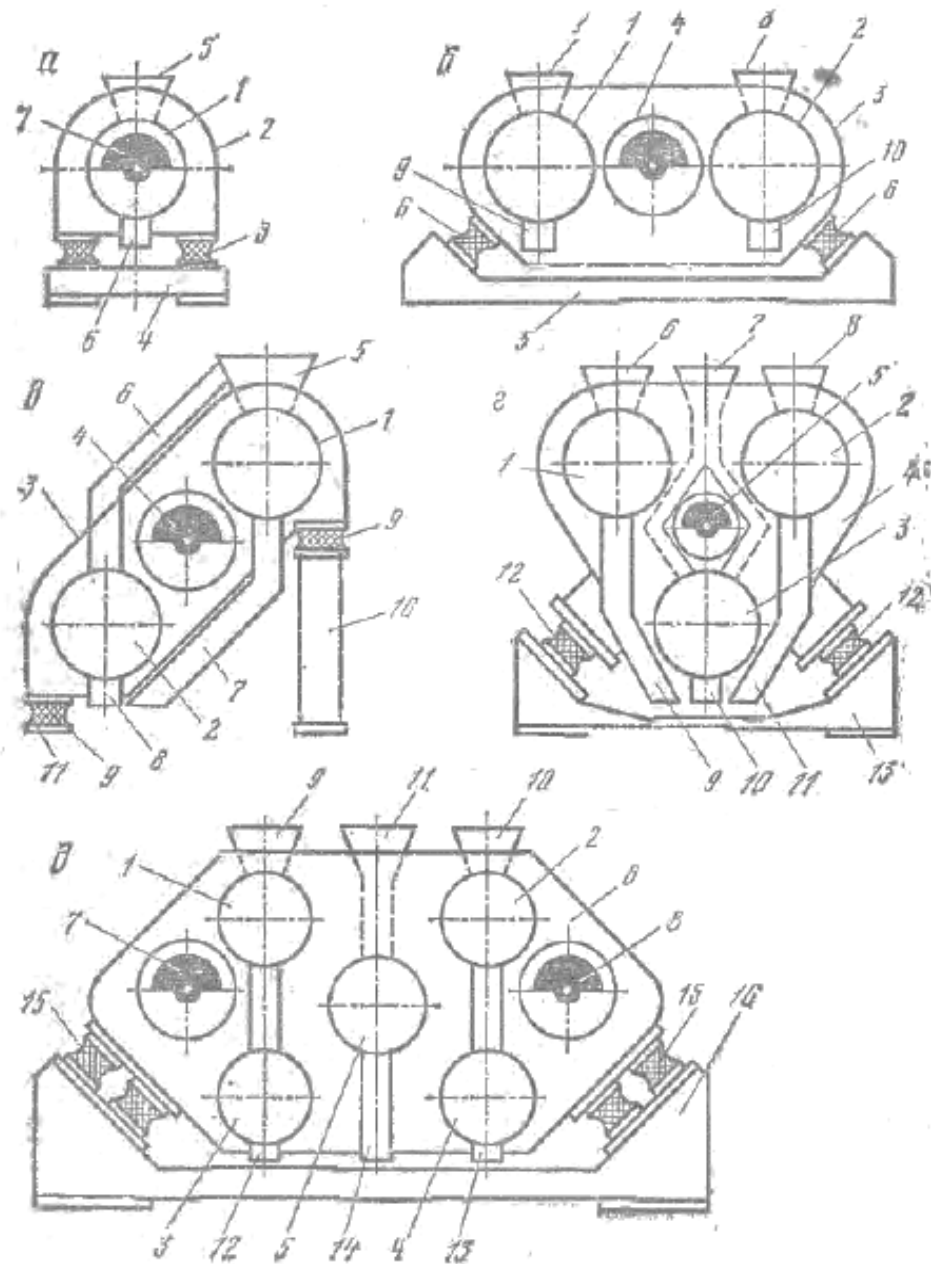


Рисунок 1.2 — Основні схеми вібраційних млинів [2]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Конструктивну схему трикамерного вібраційного млина наведено на рис. 1.2, д. Помольні камери 1, 2 та 3 жорстко сполучені спільним кронштейном 4 з інерційним вібратором 5. Завантаження здійснюється через люки 6, 7 і 8, розвантаження – через люки 9, 10 і 11.

Коливальна система через гумометалеві пружні елементи 12 спирається на опорну раму 13.

На рис. 1.2, д наведено схему п'ятиконтейнерного вібраційного млина. Конструкція включає два верхні контейнери (1, 2), два нижні (3, 4) та один проміжний (5) Усі вони кронштейном 6 об'єднані з двома інерційними вібраторами 7 і 8. Подача матеріалу в ліві робочі камери проводиться через люк 9, у праві — через люк 10, а в середню — через люк 11. Вивантаження продукту забезпечується через розвантажувальні люки 12, 13 та 14 відповідно. Коливальна система спирається через резинометалічні пружні елементи 15 і на опорну раму 16.

Ефективність процесу дезінтеграції у вібраційному кульовому млині визначається насамперед частотою та амплітудою коливань. Навіть незначне коригування цих кінематичних характеристик дозволяє суттєво інтенсифікувати помел матеріалу. Однак граничні значення амплітуди часто обмежені конструктивною міцністю та вібростійкістю вузлів агрегата. Водночас для забезпечення ефективного захвату матеріалу амплітуда коливань повинна бути не меншою за подвоєний максимальний розмір часток завантаженої сировини. Недотримання цієї умови призводить до зниження кінетики помелу, внаслідок чого в гранулометричному складі готового продукту зростає вміст крупних фракцій.

Показники роботи млина безпосередньо залежать від насипної щільності матеріалу, а також від співвідношення діаметрів мелючих тіл та часток сировини. Припускається, що за умови дотримання оптимального коефіцієнта заповнення камери, який не перешкоджає вільному руху помольних тіл, масштабний фактор агрегата не чинить визначального впливу на питому інтенсивність подрібнення.

Залежно від фізико-механічних властивостей (зокрема твердості) матеріалу, що підлягає обробці, внутрішні поверхні робочих камер футеруються сталевими плитами, товщина яких визначається умовами зносостійкості. Показники ефективності подрібнення корелюють із геометрією траєкторії коливань робочих камер. Згідно з теоретичними

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



корпусу становить (5–7)g мелючі тіла (кулі) відриваються від робочої поверхні; їхні подальші зіткнення з дном камери та між собою забезпечують руйнування часток матеріалу, що обробляється.

Дана конструкція класифікується як агрегат з односторонньою взаємодією технологічного завантаження з дном камери. Це зумовлено тим, що дистанція між верхнім шаром куль та дном вищої секції перевищує максимальну величину їхніх відносних переміщень. Завдяки значному розрідженню маси мелючих тіл у фазі вільного польоту, апарати такого типу характеризуються високою пропускною здатністю. Це дозволяє використовувати їх для первинного подрібнення сировини з відносно великим розміром часток .

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

***Рисунок 1.3 — Конструктивна схема ветрикального вібраційного млина***

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Процеси тонкого та надтонкого подрібнення дрібнодисперсної сировини (із розміром часток до 0,5 мм) доцільно реалізувати у вібраційних млинах із двосторонньою взаємодією мелючих тіл із верхнім та нижнім днищами робочої секції. Схему двох секцій помольної камери такого типу наведено на рис. 1.4. Основною конструктивною відмінністю від попереднього варіанта є наявність верхніх робочих кришок у кожній секції. Величина проміжку А між верхнім шаром мелючих тіл та кришкою розраховується таким чином, щоб у процесі роботи забезпечити зіткнення куль як із нижньою, так і з верхньою поверхнями секції.

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

***Рисунок 1.4 – Робоча камера вертикального вібраційного млина з двосторонньою взаємодією технологічного навантаження з дном помольної камери***

Отже, упродовж одного періоду коливань мелючі тіла та матеріал, що обробляється, двічі зазнають ударної взаємодії з робочими поверхнями камери, що забезпечує інтенсифікацію процесу подрібнення. За ідентичних параметрів руху робочої камери енергонапруженість технологічного завантаження в агрегатах такого типу понад удвічі перевищує аналогічний показник млинів з односторонньою взаємодією. Рівень енергонапруженості завантаження в млинах із двосторонньою взаємодією лімітується переважно показниками механічної міцності корпусу агрегата.

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

### 1.3 Вертикальний вібраційний млин [REDACTED]

Інерційні приводи широко використовують у конструкціях вібраційного технологічного устаткування різного цільового призначення. Варіанти застосування інерційних приводів у млинах було розглянуто в попередніх підрозділах. Водночас у конструкціях вібраційних млинів використовують також ексцентрикові приводи. Нижче наведено опис конструктивних особливостей вібраційного млина з таким типом привода [REDACTED] (рисунок 1.5).

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

**Рисунок 1.5 – Конструктивна схема вертикального вібраційного млина [REDACTED]**

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 1.4 Види пружних зв'язків

Під пружними зв'язками вібраційних машин розуміють звичайно сукупність еластичних елементів, які об'єднують коливальні маси в єдину пружну систему. В залежності від виконуваних у вібротехніці функцій пружні зв'язки підрозділяються на привідні, основні, підтримуючі і амортизаційні.

Група пружних елементів, що з'єднують коливальні маси з приводом, являє собою привідні пружні зв'язки. Привідні пружні зв'язки передають коливальні рухи вібраційній машині за рахунок сил пружності, виникаючих у них внаслідок деформації при роботі привідного механізму.

Сукупність пружних елементів, що з'єднують між собою основні коливні маси вібраційної машини (лотки, короби, раму) і головним чином визначають коливальний режим системи, становить основні пружні зв'язки.

Підтримуючі пружні зв'язки, як показує їх назва, підтримують лотки, короби й рами вібротехніки в певному заданому положенні і в більшості випадків лише мало впливають своїми пружними властивостями на режим коливань системи.

За допомогою амортизаційних зв'язків рама машини спирається на основу. Призначення амортизаційних опорних зв'язків полягає в зниженні динамічних навантажень на фундамент або перекриття будівель.

Необхідно зауважити, що окремі пружні зв'язки дуже часто поєднують в собі різні функції. Так, амортизаційні зв'язки найчастіше є одночасно і підтримуючими. Функції підтримуючих зв'язків іноді виконують основні пружні зв'язки і т. д..

Пружні зв'язки розрізняють також за матеріалом, з якого вони виготовлені. У вібротехніці в даний час застосовують пружні зв'язки у вигляді сталевих пружин або ресор, гумових та гумово-металевих деталей, а також у вигляді еластичних деталей, виготовлених з дерева, дерев'яно шарових і скловолокнистих пластиків, капрону та інших синтетичних матеріалів.

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

В останні роки в вібромашинах знаходять застосування пневмо пружні зв'язки, що відрізняються простотою конструкції і можливістю зміни в широких межах їх пружних характеристик. Відомі також випадки використання пружних властивостей рідин, проте в вібромашинах гідро пружні зв'язки поки ще не набули поширення.

Пружні зв'язки вібромашин розрізняються також по виду деформації, випробовуваної пружними елементами при роботі, і поділяються на працюючі на стиск, вигин, зсув та удар. Сталеві пружини і ресори працюють у більшості випадків на кручення, вигин і стиснення, резино-металеві деталі на стиск, зсув і удар, а деталі з деревних і синтетичних пластиків, які виконують, як правило, функції основних і підтримуючих пружних зв'язків, працюють на вигин. Еластичні елементи пневмопружних зв'язків при роботі відчують деформації вигину і розтягування одночасно.

Кожен з перелічених видів пружних зв'язків в залежності від виду і режиму деформації і матеріалу має свої характерні, властиві йому пружні властивості, які накладають специфічні особливості на вибір і розрахунок механічних параметрів пружних зв'язків. Разом з тим, визначення дійсних механічних характеристик пружних зв'язків є однією з найважливіших задач розрахунку, від правильності вирішення якої багато в чому залежить робота самої вібромашини та виконання нею заданого технологічного процесу. Тому методам розрахунку і вибору параметрів пружних зв'язків при розробці вібраційних машин повинна приділятися найсерйозніша увага.

Гумові та гумово-металеві деталі отримали в даний час широке поширення в різних вібраційних машинах, виконуючи в них функції як амортизаторів, так і пружних зв'язків. Висока еластичність, стійкість до впливу різних хімічних і фізичних чинників, високі амортизаційні здатності зумовили повсюдне і всебічне застосування гуми як матеріалу пружних ланок машини Застосування гуми в машинобудуванні як конструкційного матеріалу стало особливо широким останнім часом у зв'язку з розробкою надійних

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

методів її кріплення до металів і можливостями виготовлення так званих резино-металевих деталей. У ряду випадків резино-металеві деталі простіші і надійніші, ніж гумові; вони прикріплюються до прилеглих частин машини і забезпечують більш правильні умови деформації гуми в процесі роботи. Застосування резино-металевих деталей виключає в більшості випадків шкідливий вплив тертя на торцях гумових деталей, дотичних з рухомими частинами машини.

Гумово-металеві деталі можуть бути отримані декількома способами. Найбільш поширена вулканізація гумової суміші в прес-формах, в процесі якої відбувається приєднання суміші до металевих частин, заздалегідь встановлених в прес-форму. Метод приєднання гуми до металу шляхом вулканізації вимагає, як правило, застосування складних прес-форм, спеціальної підготовки металевих поверхонь і може бути здійснений тільки в умовах заводів гумових технічних виробів, що мають спеціальне обладнання.

Гумово-металеві деталі можуть бути отримані також шляхом приклеювання до металевих частин гумових елементів, попередньо виготовлених в прес-формах шляхом вулканізації або вирізаних з техпластини. Ці методи порівняно прості і практично доступні кожному підприємству.

Нарешті, резино-металеві деталі можуть бути отримані механічним способом, при якому надійне з'єднання гумових і металевих частин досягається пресом, заклиненням або затягуванням гумових елементів між металевими частинами. Механічний спосіб кріплення особливо зручний у тих випадках, коли необхідне приєднання гумових частин до великих, громіздким деталей. Як приклад резино-металевої деталі, отримані механічним шляхом, можна назвати пружними шарнірами, що одержали широке застосування в вібраційних машинах, гусеницях тракторів і т. д.

Правильне застосування кожного з названих способів може забезпечити отримання надійних працездатних резино-металевих деталей. При цьому, крім відповідності типу гуми фізико-механічних властивостей заданим умовам

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

роботи в конкретній машині, резино-металева деталь повинна бути сконструйована так, щоб була забезпечена раціональна деформація гуми, що є найважливішою умовою надійної і тривалої експлуатації гумових виробів.

Остання вимога виходить з того, що гума аналогічно рідинам володіє високою об'ємною пружністю і практично може вважатися нестисливою. Тому для того, щоб гумова деталь деформувалася в одному напрямку, необхідно передбачити можливість її розширення в одному або двох інших напрямках. Для ілюстрації викладеного на рисунку 1.5 наведено дві конструкції резино-металевого амортизатора. Як видно, амортизатор на рисунку 1.6, а не забезпечує вільне розширення гуми і тому не може виконувати своїх функцій, так як жорсткість його буде надмірно велика. Амортизатор, показаний на рисунку 1.6 б, забезпечує бічну деформацію гуми і необхідну еластичність опори.

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

### ***Рисунок 1.6 – Гумові амортизатори, що працюють на стискання [2]***

Розглядаючи гуму як нестисливий матеріал, можна усвідомити вплив форми і розмірів на здатність гуми до деформації. Очевидно, гумова деталь буде володіти більшою здатністю до деформації, чим більша її вільна, не пов'язана з опорними частинами поверхня. Так, наприклад, якщо резино-металева деталь працює на стиск, то вона буде тим «м'якше», чим більша її висота при тому ж поперечному перерізі.

В сучасних вібраційних машинах гумові та гумово-металеві деталі можна розподілити по виконуваних функціях, по виду і режиму їх деформації.

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Гумові та гумометалеві деталі в вібромашинах можуть виконувати функції всіх пружних ланок: приводних, основних, амортизаційних і підтримуючих. Крім цього, у вібромашинах застосовуються гумометалеві блок-шарніри похилих стійок і підвісок, що з'єднують лотки конвеєрів або короби грохотів між собою або з рамою машини.

У процесі роботи у вібромашинах гумові та гумово-металеві деталі можуть піддаватися однієї з деформацій - зсуву, стиснення або кручення, або випробувати одночасно дві з них. Режим деформації гумових деталей носить, як правило, періодичний багаторазово з високою частотою повторюваний характер при гармонійному (або близькому до нього) або ударному додатку деформуючих сил.

Гума для виготовлення деталей вібромашин повинна мати високу міцність, еластичність і мінімальну залишкову деформацію. Дуже серйозні вимоги повинні пред'являтися до величини так званих внутрішніх гістерезисних опорів, від яких залежать демпферуючі здатності гуми і теплоутворення, істотно впливає на термін служби гумових деталей. Гума, що експлуатується в вібромашинах, повинна володіти також підвищеною теплопровідністю з тим, щоб утворилося при багаторазових циклічних деформаціях гуми тепло швидко виводилося до зовнішніх поверхнях і віддавалася в навколишнє середовище. В окремих випадках, залежно від умов експлуатації вібротранспортних машин, до гуми пред'являються вимоги підвищена морозостійкість і хімічна стійкість до шкідливого впливу навколишнього середовища.

Цей висновок має велике значення для конструювання і розрахунку гумометалевих деталей стиснення, коли за результатами випробувань деталей одних розмірів повинні розроблятися деталі інших розмірів, що володіють таким же фактором форми, як і відчувають. Маючи в своєму розпорядженні в цьому випадку дані про залежність модуля пружності деталей від факторе форми, можна проектувати гумометалеві деталі з необхідними пружними характеристиками практично всіх необхідних розмірів.

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 1.5 Розрахункова частина

### 1.5.1 Вихідні дані

Вихідні дані для помольної камери:

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.1)

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.2)

### 1.5.2 Вибір та розрахунок пружних елементів

Під час розрахунку аналізується верхня камера з приводною секцією. Математична модель для нижньої камери є аналогічною. Пружна система верхнього робочого вузла разом із приводною секцією спирається на чотири амортизатори, що сприймають статичне навантаження  $P$  та працюють у режимі стискання-розтягання під впливом вимушених коливань. Надійна експлуатація млина можлива за умови, що величина статичного стиснення амортизаторів  $\delta_{ст}$  під дією ваги частин, що коливаються, перевищує амплітуду коливань агрегата.

$$\delta_{ст} > a \quad (1.3)$$

Розрахункова амплітуда коливань млина становить ██████████. Величину статичного стиснення амортизаторів під дією маси частин млина, що коливаються, виходячи з умов віброізоляції, прийнято рівною

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Коливання камери відносно початкового статичного стискання амортизаторів відбувається з амплітудою  $a$  вгору і вниз. Тоді максимальне стискання амортизаторів складе

(1.4)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.5)

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(1.6)

(1.7)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.8)

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

(1.9)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.10)

(1.11)

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

(1.12)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

Розрахований динамічний ефект у десять разів менший за статичний. Відповідно до розрахунку (1.12), навантаження, що передається на раму млина, у 10 разів менше за масу коливальної частини ( [REDACTED] ). Дане явище зумовлене тим, що високочастотна збурювальна сила (із частотою [REDACTED] рад/с) не спричиняє значних амплітуд у низькочастотній пружній системі рами. Через високу інерційність система не реагує на високочастотні зміни вимушених коливань.

На основі проведеного розрахунку пружних зв'язків встановлено, що для ефективної віброізоляції швидкохідних машин коефіцієнт динамічності повинен відповідати умові [REDACTED] [7]. З огляду на це, раму млина доцільно встановлювати на бетонний фундамент із використанням додаткових віброізолювальних елементів (амортизаторів).

### 1.5.3 Розрахунок зусилля у приводі

На рис. 1.7 зображено розрахункову схему системи з кінематичним збудженням масивного елемента. Амплітуда коливань останнього визначається геометричними параметрами приводу і, за даною моделлю, не залежить від частоти збудження.

Об'єкт 1 масою  $m$  сполучений із нерухомою опорою 2 за допомогою пружного елемента (пружини) 3 та дисипативної ланки (демпфера) 4. Гармонічні коливання маси 1 генеруються кривошипно-шатунним механізмом, до складу якого входять шатун 5 та шток 6.

Враховуючи відношення довжини кривошипа до довжини шатуна можна встановити закон руху поршня (штока) у вигляді

(1.12)

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(1.13)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

***Рисунок 1.7 – Система з примусовим рухом масивного елемента***

Запишемо відносно принципу Д'аламбера умову динамічної рівноваги тіла масою  $m$

(1.14)

(1.15)

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

(1.16)

–(1.17)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.18)

(1.19)

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

(1.20)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

*Рисунок 1.7 – Амплітудно-частотні характеристики зусилля у приводі*

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

*Рисунок 1.8 – Розраховані амплітудно–частотні характеристики зусилля у приводі*

**1.5.4 Урахування циклічної дії зусилля в шатуні**

(1.21)

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

(1.22)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

### 1.5.5 Розрахунок підшипників млина

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

(1.24)

(1.25)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

## **1.5.6 Розрахунок болтового кріплення помольної камери до приводної секції вібраційного млина**

### **1.5.6.1 Вихідні дані**

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

(1.26)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

(1.27)

(1.28)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.29)

(1.30)

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						28
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

(1.31)

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.32)

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.33)

(1.34)

(1.35)

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.36)

(1.37)

Коефіцієнт запасу міцності за пластичними деформаціями в нарізній частині болта

(1.38)

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

(1.39)

Допустиме  $n_B = 1,5 \dots 4$ .

Отже, болти мають достатній запас міцності.

### 1.5.7 Перевірочний розрахунок шпонок

Розрахунок шпонок робиться за напругами зім'яття і зрізу

(1.40)

(1.41)

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

## 1.6 Висновки за розділом

1. Наведена інформація з історії розвитку конструкцій і напрямків використання вібраційних млинів.
2. Проведено огляд конструктивних схем і конструкцій вібраційних млинів.
3. Розглянуті конструкції вертикальних вібраційних млинів.
4. Описана принципова схема динамічного врівноваження вертикального вібраційного млина [REDACTED].
5. Проведено розрахунок пружної системи млина.
6. Визначено зусилля у шатуні з урахуванням циклічності дії навантаження.
7. Проведено розрахунок підшипників, болтів кріплення помольної камери і шпонок.

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

## РОЗДІЛ 2 ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ

### 2.1 Технічні вимоги

Конструкція вертикального вібраційного млина [REDACTED] має відповідати розробленому комплекту технічної документації та вимогам чинних стандартів (наприклад, ДСТУ чи ТУ).

У підрозділі проаналізовано технічні характеристики агрегата, його габаритні параметри, а також вимоги до якості зварних з'єднань та характеристик вихідної сировини.

#### 2.1.1 Основні параметри, розміри і характеристики

Основні геометричні та експлуатаційні параметри обладнання повинні узгоджуватися зі складальним кресленням та формуляром виробу.

#### 2.1.2 Вимоги до початкової продукції

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.к</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив.</i>		<i>Дорожко</i>			<b>Розділ 2 Експлуатаційний</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>К.розділу</i>		<i>Анциферов</i>					<i>1</i>	<i>14</i>
<i>Керівник</i>		<i>Анциферов</i>				<b>НТУ «ДП», ММФ, 133-20-1</b>		
<i>Н. Контроль</i>		<i>Анциферов</i>						
<i>Затвердив</i>		<i>Заболотний</i>						

### 2.1.3 Вимоги до зварних виробів

2.1.3.1. Виготовлення зварних складальних одиниць і деталей має здійснюватися згідно з вимогами [REDACTED] або відповідно до вказівок на робочих кресленнях за технологією підприємства-виробника.

2.1.3.2. Допускається виконання зварювальних робіт у середовищі вуглекислого газу згідно з [REDACTED] та внутрішньою методикою підприємства-виробника

2.1.3.3. Перед початком зварювання кромки та прилеглі поверхні металу завширшки не менше ніж 10 мм необхідно очистити від забруднень, мастил, металевого пилу тощо

2.1.3.4. При виконанні зварних швів не допускаються:

- а) тріщини, напливи, прожо, незаварені кратери, свищі, виведення кратера на основний метал, суцільний ланцюжок або сітка пір і включень;
- б) методу підгонки, що викликають додаткове напруження в металі;
- в) накладення неправдивих швів для виправлення викривлення.

2.1.3.5. При виконанні зварних швів допускаються:

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.3.6. Після завершення зварювальних робіт зварні шви та прилеглі поверхні конструкції необхідно очистити від шлаку, окалини, напливів і бризок металу.

2.1.3.7. Розкрій прокатної сталі для елементів млина слід виконувати за допомогою механічних пил або ножиць. Застосування електродугового різання металу не допускається з метою запобігання термічній деформації та зміні структури матеріалу в зоні зрізу.

2.1.3.8. Під час механічного розрізання металу на ножицях на кромках заготовок не допускається наявність тріщин, розшарувань або зім'яття.

2.1.3.9. Допускається застосування газового різання прокатної сталі за умови наступного механічного оброблення кромки для видалення дефектного шару (зони термічного впливу) та забезпечення параметрів шорсткості, визначених у робочих кресленнях.

#### **2.1.4 Вимоги до з'єднань на високоміцних болтах**

Для кріплення помольної камери до перехідної секції застосовують високоміцні болти, що працюють в умовах циклічного навантаження. З огляду на специфіку роботи з'єднання, до металовиробів та процесу їхнього монтажу висуваються такі вимоги.

2.1.4.1. Контактні поверхні, що з'єднуються високоміцними болтами, необхідно очистити від іржі, мастильних плям, бруду та окалини для забезпечення їхнього щільного прилягання. Очищення поверхонь має здійснюватися безпосередньо перед монтажем (як правило, не раніше ніж за 12 годин до встановлення болтів у з'єднання). При складанні дотичні поверхні мають бути сухими.

2.1.4.2. Кріпильні елементи (болти, гайки та шайби) перед монтажем підлягають знежиренню та обробці сухим обтиральним матеріалом для видалення консерваційного мастила, забруднень або слідів корозії з робочих поверхонь та різі. Перед монтажем необхідно перевірити вільне обертання гайок по всій довжині робочої різі болтів (виконати контрольне прогвинчування).

2.1.4.3. Перед затягуванням з'єднань різь гайок необхідно змастити жиром мастилом (наприклад, типу 1-13 або солідолом жиром). Нанесення мастила безпосередньо на різь болтів не рекомендується, щоб забезпечити стабільність коефіцієнта тертя та точність зусилля попереднього натягу.

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.4.4. Для забезпечення експлуатаційної надійності необхідно створити розрахунковий попередній натяг болтів, що досягається затягуванням гайок із визначеним крутним моментом. Значення зусилля затягування та крутного моменту для болтів діаметром 20 мм, виготовлених зі сталі [REDACTED].

2.1.4.5. Затягування високоміцних болтів здійснюється динамометричним ключем.

2.1.4.6. Під час контрольного затягування допускається відхилення фактичного моменту від розрахункового значення в межах від -5 % до +10 %.

2.1.4.7. Затягування болтових з'єднань здійснюється у два етапи: створення попереднього зусилля та подальше доведення до остаточного (розрахункового) значення натягу.

2.1.4.8. Попереднє затягування здійснюється крутним моментом [REDACTED] Н·м за допомогою монтажних накидних ключів із важелем завдовжки 1,2 м. Кінцеве (розрахункове) зусилля натягу забезпечується за допомогою динамометричного ключа.

2.1.4.9. Для запобігання нерівномірному розподілу зусиль затягування високоміцних болтів має здійснюватися послідовно від середини стику до його країв. Кінцеві болти з'єднання підлягають затягуванню на завершальному етапі монтажу.

2.1.4.10. Після завершення монтажу всього з'єднання необхідно виконати контрольну перевірку натягу встановлених раніше болтів, оскільки їхнє затягування могло послабитися в процесі подальшого складання.

## 2.2 Програма і методика випробувань млина

Програма та методика випробувань визначають порядок підготовки та проведення попередніх і приймальних випробувань вертикального вібраційного млина (надалі — млин), а також регламентують їхній обсяг і методику реалізації.

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

### **2.2.1 Перевірка відповідності млина технічним умовам і комплекту конструкторської документації**

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

### **2.2.2 Перевірка забезпечення стабільності роботи млина**

### **2.2.3 Перевірка зручності обслуговування та проведення ремонту млина**

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

#### **2.2.4 Перевірка відповідності млина вимогам безпеки**

#### **2.2.5 Підготовка млина до випробувань**

#### **2.2.6 Тривалість і режими випробувань, вимірювання під час випробувань**

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

### **2.2.7 Заходи безпеки при випробуваннях**

### **2.2.8 Оформлення результатів випробувань**

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2.3 Заходи безпеки при роботі на вібраційному млині MBV-0,3-2

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Висновки за розділом

1. Розглянуті технічні вимоги на виготовлення млина, на комплектуючі млина і вимоги до їх зборки.
2. Сформульовані вимоги до зварних виробів.
2. Розроблено програму і методику випробувань млина.
3. Сформульовані вимоги до з'єднань на високоміцних болтах.
4. Розроблені та обґрунтовані заходи щодо техніки безпеки при обслуговуванні й експлуатації млина.

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано принципи функціонування та сучасні конструктивні рішення вібраційних млинів.
2. Досліджено будову вертикального вібраційного млина, зокрема його основного робочого вузла — помольної камери
3. Обладнання належить до агрегатів безперервної дії з гравітаційним переміщенням матеріалу через помольні секції. Технічний параметр у назві моделі відповідає внутрішньому діаметру помольної камери в метрах.
4. Для приводу обрано два електродвигуни типу [REDACTED] розраховано їхню потужність [REDACTED] кВт та частоту обертання [REDACTED] об/хв на основі силового розрахунку системи.
5. Виконано розрахунок та підбір дворядних радіальних сферичних роликотидшипників для ексцентрикових валів приводу. Коефіцієнти динамічної та статичної вантажопідйомності становлять [REDACTED] відповідно.
6. Визначені основні вимоги до монтажу вібробудника.
7. Сформульовано правила техніки безпеки та охорони праці під час експлуатації й технічного обслуговування млина.

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>Висновки</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив.</i>	<i>Дорожко</i>						<i>1</i>	<i>1</i>
<i>К.розділу</i>	<i>Анциферов</i>							
<i>Керівник</i>	<i>Анциферов</i>							
<i>Н. Контроль</i>	<i>Анциферов</i>							
<i>Затвердив</i>	<i>Заболотний</i>					НТУ «ДП», ММФ, 133-20-1		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Основи динаміки машин. Ч. 1. Основи прикладної теорії коливань: навчальний посібн. / В.П. Франчук, О.В. Анциферов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: 2022. –127 с. [Електронний ресурс].
2. [REDACTED]
3. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів. – Київ.: Знання, 2016. – 407 с.
4. Карнаух С. Г. Розрахунки механічних передач : навчальний посібник до курсового й дипломного проектування / С. Г. Карнаух, Н. В. Чоста. – Краматорськ : ДДМА, 2008. – 204 с.
5. Шваб'юк В.І. Динамічні задачі в опорі матеріалів: навчальний посібник для студентів механічних та матеріалознавчих спеціальностей / В.І. Шваб'юк, В.М. Максимович, О.А. Мікуліч, М.І. Морозов. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – 220 с.
6. Назаренко І.І. Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії / І.І. Назаренко. – К.: КНУБА, 207. – 203 с.
7. Бизов В.Ф., Франчук В.П. Гірничі машини. – Кривий Ріг: «Мінерал» – 2004. – 468 с.

Критичну інформацію з матеріалів вилучено на підставі рекомендацій експертного висновку від 24.06.2025

					<i>ІДМБ.РК.24.17-00.00.000 ПЗ</i>					
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	<b>Перелік посилань</b>			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив.		Дорожко						1	1	1
К.розділу		Анциферов								
Керівник		Анциферов								
Н. Контроль		Анциферов								
Затвердив		Заболотний								
								НТУ «ДП», ММФ, 133-20-1		