

До захисту  
25.06.21р.

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

студента Борисенка Кирила Володимировича  
(ПІБ)

академічної групи 133-17-1  
(шифр)

спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації Гірничі машини та комплекси  
(офіційна назва)

за освітньо-професійною програмою «Гірничі машини та комплекси»  
(офіційна назва)

на тему **Зворотний інжиніринг робочого органа вібраційного млина  
безперервної дії МВВ-0,7**

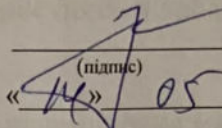
| Керівники                 | Прізвище,<br>ініціали | Оцінка за шкалою |               | Підпис           |
|---------------------------|-----------------------|------------------|---------------|------------------|
|                           |                       | рейтинговою      | інституційною |                  |
| кваліфікаційної<br>роботи | Анциферов О.В.        | 80               | добре         | <i>Анциферов</i> |
| розділів:                 |                       |                  |               |                  |
| Конструкторський          | Анциферов О.В.        | 80               | добре         | <i>Анциферов</i> |
| Експлуатаційний           | Анциферов О.В.        | 80               | добре         | <i>Анциферов</i> |

Рецензент Младецький І.К. 80 добре *Младецький*

Нормоконтролер Анциферов О.В. 80 добре *Анциферов*

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
інжинірингу та дизайну в  
машинобудуванні

 Заболотний К.С.  
(прізвище, ініціали)  
«14» 05 2021 року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня бакалавра**

студенту Борисенку Кирилу Володимировичу академічної групи 133-17-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації Гірничі машини та комплекси  
(офіційна назва)

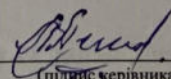
за освітньо-професійною програмою «Гірничі машини та комплекси»  
(офіційна назва)

на тему Зворотний інжиніринг робочого органа  
вібраційного млина безперервної дії МВВ-0,7

затверджену наказом ректора НТУ «ДП» № 260-с від 14 травня 2021 р., додаток № 3

| Розділ           | Зміст  | Термін виконання |
|------------------|--|------------------|
| Конструкторський | На основі наданої конструкторської документації, матеріалів виробничих практик і науково-технічних джерел провести зворотний інжиніринг робочого органу вертикального вібраційного млина безперервної дії.<br>Провести розрахунок пружної системи млина, основних елементів приводу, потрібної потужності з вибором електродвигунів, дебалансу інерційного приводу.<br>Розробити конструкторську документацію: робочий орган млина і його деталі | 21.06.2021 р.    |
| Експлуатаційний  | Розробити технічні вимоги на виготовлення млина, програму і методику його випробувань. Розробити та обґрунтувати заходи щодо техніки безпеки при обслуговуванні й експлуатації млина.  | 23.06.2021 р.    |

Завдання видано


  
(підпис керівника)

Анциферов О.В.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 05.05.2021 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 25.06.2021 р.

Прийнято до виконання

  
(підпис студента)

Борисенко К.В.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 сторінок, 13 рисунків, 4 таблиці, 5 джерел інформації, 7 додатків.

**Об'єкт роботи** – процес гравітаційного переміщення матеріалу в камері вертикального вібраційного млина безперервної дії.

**Предмет роботи** – параметри робочого органа вібраційного млина МВВ-0,7.

**Мета кваліфікаційної роботи** – конструктивна модернізація помольної камери вертикального вібраційного млина МВВ-0,7 для підвищення ефективності подрібнення шляхом збільшення робочих секцій подрібнення.

У вступі наведенні загальні відомості про виробництво вібраторів, їх класифікація, дослідження та розробка теорії вібрації

У конструкторському розділі розглянуті: загальні відомості про вібратори та їх типи. Детально розглянута конструкція робочого органу вібраційного млина МВВ-0,7, проведений аналіз та зроблені розрахунки основних елементів приводу.

У експлуатаційному розділі розглянуті небезпечні та шкідливі виробничі фактори при монтажі та експлуатації млина, а також заходи, щодо безпечного обслуговування млина. Розглянуті можливі поломки млина та їх подальше усунення.

ВІБРАЦІЙНИЙ МЛИН, РОБОЧИЙ ОРГАН, ПРУЖНА СИСТЕМА, ПРИВІД, РОЗРАХУНОК, ЕКСПЛУАТАЦІЯ

Графічна частина проекту складає 3 аркуша креслень формату А1.

|           |      |            |       |       |                                 |      |        |
|-----------|------|------------|-------|-------|---------------------------------|------|--------|
|           |      |            |       |       | <b>ІДМРК.21.03-00.00.000 ГЗ</b> |      |        |
| Зм.       | Арк. | Надокум.   | Підп. | Дата  | <b>Реферат</b>                  |      |        |
| Розробив  |      | Борисенко  |       | 25.06 |                                 |      |        |
| Перевірив |      | Анциферов  |       | 25.06 | Літ.                            | Арк. | Аркуше |
|           |      |            |       |       |                                 | 1    | 1      |
| Нконтр.   |      | Анциферов  |       | 25.06 | <b>НТУ "ДТ"</b>                 |      |        |
| Затверд.  |      | Заболотний |       | 25.06 | <b>133-17-1</b>                 |      |        |

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 6  |
| Розділ 1 Конструкторський.....   | 8  |
| 1.1 Способи збудження коливань.....                                    | 8  |
| 1.2 Електромагнітні вібратори.....                                     | 9  |
| 1.3 Інерційні вібратори.....   | 10 |
| 1.4 Вібраційні млини.....  | 19 |
| 1.5 Млин МВВ-0,7.....  | 22 |
| 1.6 Розрахунок основних елементів приводу.....                         | 27 |
| 1.6.1 Вихідні дані для розрахунку.....                                 | 27 |
| 1.6.2 Розрахунок пружної системи млина.....                            | 27 |
| 1.6.3 Розрахунок споживаної потужності та вибір<br>електродвигуна..... | 31 |
| 1.6.4 Розрахунок підшипників вібратора .....                           | 33 |
| 1.6.5 Розрахунок дебаланса на міцність .....                           | 36 |
| 1.7 Висновки за розділом.....  | 39 |
| Розділ 2 Експлуатаційний.....  | 41 |
| 2.1 Об'єкт випробувань.....  | 41 |
| 2.2 Загальні положення.....  | 42 |
| 2.3 Цілі та задачі випробувань.....                                    | 42 |
| 2.4 Умови проведення випробувань.....                                  | 43 |
| 2.5 Визначаючі показники.....  | 44 |
| 2.6 Засоби випробувань.....  | 45 |
| 2.7 Вимови безпеки.....  | 47 |
| 2.8 Підготовка до випробувань.....                                     | 48 |

|                           |      |            |       |       |       |                      |      |        |
|---------------------------|------|------------|-------|-------|-------|----------------------|------|--------|
| ІДМ.РК.21.03-00.00.000 ПЗ |      |            |       |       |       |                      |      |        |
| Зм.                       | Арк. | № докум.   | Підп. | Дата  |       | Літ.                 | Арк. | Аркуші |
| Розробив                  |      | Борисенко  |       | 25.06 | Зміст |                      | 1    | 2      |
| Перевірив                 |      | Анциферов  |       | 25.06 |       |                      |      |        |
| Н-контр.                  |      | Анциферов  |       | 25.06 |       |                      |      |        |
| Затверд.                  |      | Заболотний |       | 25.06 |       |                      |      |        |
| ІДМ.РК.21.03-00.00.000 ПЗ |      |            |       |       |       | НТУ "ДП"<br>133-17-1 |      |        |

|  |    |
|--|----|
| 2.9 Порядок проведення випробувань.....                    | 48 |
| 2.10 Методика проведення випробувань.....                  | 50 |
| 2.11 Експлуатація вібраторів.....                          | 55 |
| 2.12.Висновки за розділом.....                             | 59 |
| Висновки.....  | 60 |
| Перелік посилань.....                                      | 61 |
| Додаток А Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи..... | 62 |
| Додаток Б Специфікація до складальних креслеників.....     | 63 |
| Додаток В Презентація кваліфікаційної роботи.....          | 68 |
| Додаток Г Протокол кафедри.....                            | 70 |
| Додаток Д Перевірка кваліфікаційної роботи на плагіат..... | 73 |
| Додаток Е Відгук керівника кваліфікаційної роботи.....     |    |
| Додаток Ж Рецензія на кваліфікаційну роботу.....           |    |

визначення частини. Залежно від функціональних властивостей матеріалу способ руйнування, здійснюваний в подрібнювачі, може виконуватися радіальною для проведення поперу або тангенційно у горизонтальній або вертикальній площині при крутовій або сліпучій деформації при роботі на крутотормі. Матеріал подрібнюється з основною метою: визначення ударної

власності матеріалами за допомогою подрібнювача тестового матеріалу матеріал виготовляється з використанням подрібнювача з тангенційною деформацією. У даній технології подрібнювачі використовують матеріал, який виготовляється в спеціальному устаткуванні. Висновки щодо того, що подрібнювачі використовують в інших роботах дослідження і що вони використовують з ударом. Таким чином, в інших інших чині подрібнювачі використовують способ подрібнювача.

ІДМРК.2103-00.00.000 ГЗ

|    |      |         |       |      |                         |      |
|----|------|---------|-------|------|-------------------------|------|
|    |      |         |       |      | ІДМРК.2103-00.00.000 ГЗ | Арх. |
| Зм | Арх. | Недокум | Підп. | Дата |                         | 2    |

## ВСТУП

У різних областях виробництва багато процесів вимагають тонкого подрібнення продукту. Основними споживачами дрібнодисперсних матеріалів виступає порошкова металургія, хімічна промисловість і будівництво. На даний час найбільш ефективним є вібраційний метод подрібнення, що здійснюється в вібраційних млинах в середовищі тіл, що подрібнюють. Ці млини використовують для тонкого і надтонкого помолу різних матеріалів.

Робочим органом будь-якого вібраційного млина є помольна камера, яка заповнена тілами, що подрібнюють. Залежно від конструктивного розташування циліндричної помольної камери вібраційні млини поділяються на горизонтальні і вертикальні. Кожен тип подрібнювача створює певний вид навантаження частинок. Залежно від фізико-хімічних властивостей матеріалу спосіб руйнування, реалізований в подрібнювачі, може виявитися раціональним для проведення помелу або навпаки. У горизонтальних вібраційних млинах при кругової або еліптичної траєкторії руху робочого органу, матеріал подрібнюється в основному стиранням і частково ударом.

Великими можливостями по тонкому подрібненню твердих і крихких матеріалів володіють млини з вертикальним розташуванням помольної камери. У них вертикально розташовано циліндричний корпус млина, який повідомляються коливанням уздовж його осі. Внаслідок цього тіла, що подрібнюють взаємодіють з днищем робочого циліндра і між собою переважно з ударом. Таким чином, в млинах цього типу реалізується віброударний спосіб навантаження.

|                                 |      |            |       |         |
|---------------------------------|------|------------|-------|---------|
| <b>ІДМРК.21.03-00.00.000 ПЗ</b> |      |            |       |         |
| Зм                              | Арк. | Недокум.   | Підп. | Дата    |
| Розробив                        |      | Борисенко  |       | 25.06   |
| Перевірив                       |      | Анциферов  |       | 25.06   |
| Нконтр.                         |      | Анциферов  |       | 25.06   |
| Затверд.                        |      | Заболотний |       | 25.06   |
| <b>Вступ</b>                    |      |            |       |         |
|                                 |      | Літ.       | Арк.  | Аркушів |
|                                 |      |            | 1     | 2       |
| НТУ "ДТ"<br>133-17-1            |      |            |       |         |

Вібраційні млини застосовують при особливо тонкому подрібненні матеріалів у виробництві залізобетонних деталей, кераміки, скла, блоків та інших видів виробів.

Інерційний привід типу дебаланс відрізняється простотою конструкції, малою металоємністю, має найменш розвинену поверхню опорної частини в порівнянні з іншими типами вібраторів.

**Мета роботи** – конструктивна модернізація помольної камери вертикального вібраційного млина МВВ-0,7 для підвищення ефективності подрібнення шляхом збільшення робочих секцій подрібнення.

**Об'єкт дослідження** процес гравітаційного переміщення матеріалу в камері вертикального вібраційного млина безперервної дії.

**Предмет дослідження** – параметри робочого органу вібраційного млина МВВ-0,7.

**Задачі :**

- 1) Переведення креслеників робочого органу вертикального вібраційного млина до електронного виду.
- 2) Огляд конструктивної схеми вібраційних млинів і віброзбудників загального призначення.
- 3) Вивчення конструкції млина МВВ-0,7 і його робочого органу.
- 4) Розрахувати пружну систему млина і обрати амортизатор; визначити споживану потужність та обрати електродвигун; розрахувати підшипники вібратора та провести розрахунок дебаланса на міцність.
- 5) Розробка правила експлуатації і обслуговування привода та заходи безпеки при роботі на млині МВВ-0,7.

ІДМРК.21.03-00.00.000 ГЗ

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Зм. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата |
|     |      |          |       |      |

Арк.

2

## РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 1.1 Способи збудження коливань

Механічні коливання робочих органів вібраційних пристроїв порушуються декількома різними способами. Серед них основними є способи збудження коливань за допомогою:

- 1) механічних пристроїв;
- 2) дебалансних вантажів (інерційних мас);
- 3) електромагнітних і електродинамічних вібраторів;
- 4) пневматичних і гідравлічних пристроїв;
- 5) комбінованих способів збудження.

Основними і найбільш широко вживаними є способи збудження коливань за допомогою електромагнітних механізмів. Живлення цих механізмів здійснюється пульсуючим (однополуперіодним випрямленою) або змінним струмом.

У механічних пристроях збудження коливань здійснюється за допомогою кулачкових, кривошипно-шатунних або ексцентрикових механізмів.

Збудження коливань за допомогою дебалансних вантажів ґрунтується на виникненні і дії інерційних відцентрових сил при обертанні неврівноважених мас. приводом для повідомлення їм обертального руху є електродвигуни, пневматичні роторні двигуни, гідродвигуни і т. п. Тому з цієї точки зору пристрої, що використовують інерційні віброприводи, є комбінованими. Це ж зауваження може бути віднесено і до пристроїв механічного типу, які зазвичай наводяться в рух електродвигунами і тільки в окремих випадках - від розподільних валів робочих машин

|           |      |            |                 |       |                                 |      |      |        |
|-----------|------|------------|-----------------|-------|---------------------------------|------|------|--------|
|           |      |            |                 |       | <b>ІДМРК.21.03-00.00.000 ГЗ</b> |      |      |        |
| Зм.       | Арк. | Надокум.   | Підп.           | Дата  | Розділ 1<br>Конструкторський    | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Розробив  |      | Борисенко  | <i>[Підпис]</i> | 25.06 |                                 |      | 1    | 33     |
| Перевірив |      | Анциферов  | <i>[Підпис]</i> | 25.06 |                                 |      |      |        |
| Нкантр.   |      | Анциферов  | <i>[Підпис]</i> | 25.06 |                                 |      |      |        |
| Затверд.  |      | Заболотний | <i>[Підпис]</i> | 25.06 |                                 |      |      |        |
|           |      |            |                 |       | НГУ "ДП"<br>133-17-1            |      |      |        |



Підставляємо сюди (1.23) та отримуємо

$$\sigma_{\text{екв}} = P_{\text{Д}} \frac{2b^2}{t(b^2+a^2)(b-a)}. \quad (1.25)$$

Підставляємо сюди чисельні значення

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{екв}} &= 74215 \times \frac{2 \times 0,052^2}{0,16 \times (0,052^2 + 0,0425^2) \times (0,052 - 0,0425)} \\ &= 58544240 \text{ (Па)} = 58,5 \text{ (МПа)}. \end{aligned}$$

Напруга яка допускається для матеріалу дебаланса (ст.3)

$$[\sigma] = 120 - 140 \text{ МПа.}$$

Для розглянутого випадку

$$\sigma_{\text{екв}} < [\sigma].$$

### 1.7. Висновки за розділом

Вібраційні млини можуть працювати у періодичному і безперервному режимі. Вони можуть застосовуватись для сухого і мокрого подрібнення. Подрібнений продукт вібраційних млинів більш однорідний за крупністю ніж барабанних млинів.

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Зм. | Арк. | Недокум. | Підп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

ІДМРК.21.03-00.00.000 ГЗ

Арк.  
32

Вібраційні млини застосовуються для тонкого і надтонкого подрібнення різних матеріалів крупністю до 0,25 мм в хімічній промисловості, при виробництві будівельних матеріалів, силікатних та інших виробів.

Інерційний вібраційний млин. При обертанні дебалансного вала з частотою від 1000 до 3000 хв барабану з кулями і матеріалом, що подрібнюється, надається коливальний рух по еліптичній траєкторії, близькій до колового розпушення, коливання й інтенсивне взаємне переміщення подрібнювальних тіл зумовлює подрібнення матеріалу у млині

У ході розрахунків визначили висоту амортизатора, яка дорівнює 90 мм., тому в якості матеріалу гнучких елементів прийmemo гумову суміш 2959 з твердістю 45-50 одиниць ДСТУ 263-53.

Розрахувавши стискання гумових амортизаторів отримали значення 0,01м. Отримане значення менше максимального значення амплітуди, тобто умова не виконується. Тому прийняли висоту амортизатора 0,2 м. і отримаємо значення стискання амортизатора 0,022 м. Тоді умова буде виконана.

Визначивши потужність одного електродвигуна отримали 15334 Вт. Прийняли електродвигун 4Ф180М6У3 потужністю 18,5 кВт та частотою обертань  $970 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

ІДМРК.2103-00.00.000 ГЗ

|     |      |          |       |      |
|-----|------|----------|-------|------|
| Зм. | Арх. | Надокум. | Підп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

Арх.

33

## РОЗДІЛ 2. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ

### 2.1. Об'єкт випробувань

2.1.1. Об'єктом випробувань є експериментальний зразок вібраційного млина МВВ-0,7, млин використовують для помелу доменного гранульованого шлаку.

2.1.2. Основні розміри і параметри млину приведені в табл.1.

Таблиця 2.1

| № | Назва параметру                                       | Величина             |
|---|---|----------------------|
| 1 | Місткість помольної камери, м <sup>3</sup>            | 0,45                 |
| 2 | Амплітуда коливань, мм                                | 5-8                  |
| 3 | Частота коливань, Гц                                  | 16,2                 |
| 4 | Габаритні розміри, мм,<br>довжина<br>ширина<br>висота | 2560<br>1640<br>2060 |
| 5 | Маса коливних частин, кг                              | 3950                 |
| 6 | Число оборотів електродвигуна, об/хв                  | 970                  |
| 7 | Потужність електродвигуна, кВт                        | 2x18,5               |
| 8 | Маса помольної камери (без шарів), кг                 | 3010                 |

|                                    |            |                 |       |                      |
|------------------------------------|------------|-----------------|-------|----------------------|
| <b>ІДМРК.21.03-00.00.000 ПЗ</b>    |            |                 |       |                      |
| Зм. Арк.                           | Недокум.   | Підп.           | Датв. |                      |
| Розробив                           | Борисенко  | <i>[підпис]</i> | 25.06 |                      |
| Перевірив                          | Анциферов  | <i>[підпис]</i> | 25.06 |                      |
| Нконтр.                            | Анциферов  | <i>[підпис]</i> | 25.06 |                      |
| Затверд.                           | Заболотний | <i>[підпис]</i> | 25.06 |                      |
| Розділ 2<br>Експлуатаційна частина |            |                 |       | Літ. Арк. Аркушів    |
|                                    |            |                 |       | 1 19                 |
|                                    |            |                 |       | НТУ "ДІ"<br>133-17-1 |

Робота вібромеханізмів не повинна надавати шкідливий вплив на обслуговуючий персонал; для цього величина вібрації не повинна перевищувати встановлених норм.

Неможна довільно переробляти вібратори, так як при цьому нерідко нульова точка змінює положення та вібрація на рукоятці сильно зростають.

## 2.12. Висновки за розділом

### 1. Розроблено загальні вказівки з експлуатації

- призначення;
- перевірка технічного стану;
- регулювання і налаштування;
- підготовка до роботи;
- правила експлуатації і технічне обслуговування млина;

### 2. Розроблено вимоги з техніки безпеки при роботі на млині.

ІДМРК.21.03-00.00.000 ГЗ

|     |      |          |       |       |
|-----|------|----------|-------|-------|
| Зм. | Арк. | Надокум. | Підп. | Датв. |
|     |      |          |       |       |

Арк.  
19

## ВИСНОВКИ

Виконана кваліфікаційна робота присвячена рішення актуальної інженерної задачі – зворотному інжинірингу робочого органа вібраційного млина МВВ-0,7.

У вступі наведенні загальні відомості про виробництво вібраторів, їх класифікація, дослідження та розробка теорії вібрації

У конструкторському розділі розглянуті: загальні відомості про вібратори та їх типи, також їх суть роботи. Детально розглянута конструкція робочого органа вібраційного млина МВВ-0,7, проведений аналіз та зроблені розрахунки основних елементів приводу. У ході розрахунків визначили висоту амортизатора, яка дорівнює 90 мм., тому в якості матеріалу гнучких елементів прийємо гумову суміш 2959 з твердістю 45-50 одиниць ДСТУ 263-53.

Розрахувавши стискання гумових амортизаторів отримали значення 0,01м. Отримане значення менше максимального значення амплітуди, тобто умова не виконується. Тому прийняли висоту амортизатора 0,2 м. і отримаємо значення стискання амортизатора 0,022 м. Тоді умова буде виконана. В ході розрахунків був прийнятий електродвигун 4Ф180М6У3 потужністю 18,5 кВт та частотою обертань  $970 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ . Згідно розрахунками, обрали радіальний сферичний дворядний роликпідшипник середньої серії типу 3600, а саме 3622 та розрахували дебаланс на міцність.

У експлуатаційному розділі були перевірені вимоги показників млина, розроблена інструкція з експлуатації, монтажу та обслуговування млина, а також запобіжні заходи для усунення несправностей.

|           |      |            |       |                                 |                 |      |
|-----------|------|------------|-------|---------------------------------|-----------------|------|
|           |      |            |       | <b>ІДМРК.21.03-00.00.000 ГЗ</b> |                 |      |
| Зм        | Арк. | Надокум.   | Підп. | Дата                            | <b>Висновки</b> |      |
| Розробив  |      | Борисенко  | Бор   | 25.06                           |                 |      |
| Перевірив |      | Анциферов  | Анц   | 25.06                           | Лім             | Арк. |
| Ніконтр.  |      | Анциферов  | Анц   | 25.06                           | 1               | 1    |
| Затверд.  |      | Заболотний | Заб   | 25.06                           | <b>НГУ "ДТ"</b> |      |
|           |      |            |       |                                 | <b>133-17-1</b> |      |

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гладков С.Н. Электромеханические вибраторы. – Изд-во «Машиностроение»: М., 1966. – 79 с.
2. Рабинович А.Н., Яхимович В.А., Боечко Б.Ю. Автоматические грузочные устройства вибрационного типа – К, «Техніка», 1965. – 380 с.
3. Бауман В.А., Быховский И.И. Вибрационные машины и процессы в строительстве. Учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов. – М, «Высшая школа», 1977. – 255 с.
4. Фролов К.В. Вибрация – друг или враг? (Серия «Наука и технический прогресс»). – М.: Наука, 1984. – 144 с.
5. Артоблевский И.И., Бессонов А.П., Шляхтин А.В. О машинах вибрационного действия. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1956. – 80с.

ІДМ.РК.21.03-00.00.000 ГЗ

| Зм.       | Арк. | Назва докум. | Підп.              | Дата  | Літ. | Арк. | Аркуші |
|-----------|------|--------------|--------------------|-------|------|------|--------|
| Розробив  |      | Борисенко    | <i>[Signature]</i> | 25.06 |      | 1    | 1      |
| Перевірив |      | Анциферов    | <i>[Signature]</i> | 25.06 |      |      |        |
| Ніконтр.  |      | Анциферов    | <i>[Signature]</i> | 25.06 |      |      |        |
| Затверд.  |      | Заболотний   | <i>[Signature]</i> | 25.06 |      |      |        |

Перелік посилань

НТУ "ДТ"  
133-17-1

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

**Витяг з протоколу № 12**

засідання кафедри інжинірингу та дизайну в машинобудуванні

м. Дніпро

24 червня 2021 р.

**ПРИСУТНІ:** зав. каф. ІДМ, проф. Заболотний К.С., професори: Франчук В.П., Надутий В.П., Бондаренко А.О., доценти: Запара Є.С., Анциферов О.В., Титов О.О., Ганкевич В.Ф., Полушина М.В., Панченко О.В., Кухар В.Ю., Москальова Т.В., нач. пол. Меліхов В.П., зав. лаб. Коротков О.О., інж.-мех. Куниця В.Ф., аспіранти кафедри та інші.

**СЛУХАЛИ:** апробацію кваліфікаційної роботи бакалавра Борисенка Кирила Володимировича групи 133-17-1 на тему: «Зворотний інжиніринг робочого органа вібраційного млина безперервної дії МВВ-0,7». Керівник –доцент Анциферов Олександр Володимирович.

**Питання задали:** зав. каф. ІДМ, проф. Заболотний К.С., зам. зав. каф. ІДМ, доц. Запара Є.С., доценти: Титов О.О. та Кухар В.Ю.

**УХВАЛИЛИ:**

1. Визнати, що студент Борисенко Кирило Володимирович успішно виконав кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра.
2. Рекомендувати кваліфікаційну роботу бакалавра Борисенко Кирило Володимирович на тему: «Зворотний інжиніринг робочого органа вібраційного млина безперервної дії МВВ-0,7» до захисту на присвоєння освітньої кваліфікації бакалавра зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування за освітньо-професійною програмою «Гірничі машини та комплекси».

Зав. каф. ІДМ, проф.

К.С. Заболотний

Секретар каф. ІДМ

Г.М. Піцик

## ВІДЗИВ

на кваліфікаційну роботу бакалавра на тему  
«Зворотний інжиніринг робочого органа  
вібраційного млина безперервної дії МВВ-0,7»

студента групи 133-17-1

Борисенка Кирила Володимировича

1. Мета дипломного проекту – конструктивна модернізація помольної камери вертикального вібраційного млина МВВ-0,7 для підвищення ефективності подрібнення шляхом збільшення робочих секцій подрібнення.

2. Актуальність теми слідує з підвищення попиту порошкової металургії на млини даного типу для тонкого подрібнення металевих порошоків, що використовуються як леговані добавки до інших матеріалів. Тому перевірка конструкторської документації та додаткові розрахунки необхідні.

3. Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності бакалавра з напрямку підготовки за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування – конструювання помольної камери вібраційного млина.

4. Завдання дипломного проекту: створення електронної конструкторської документації робочого органу вертикального вібраційного млина безперервної дії, вивчення конструкції робочого органу і його основних деталей, розрахунок пружної системи млина, визначення потужності електродвигуна і розрахунок дебалансів на міцність.

5. Оригінальність технічного рішення полягає у конструктивних змінах робочого органу з метою розміщення додаткової помольної секції, що приведе до збільшення ефективності здрібнення.

6. Практичне значення результатів проектування полягає у підвищенні ефективності здрібнення за рахунок модернізації помольної камери.

7. Розрахунки, що підтверджують працездатність вузлів приводу інерційного збуджувача, виконані з використанням стандартних методик.

8. Оформлення креслень та пояснювальної записки дипломної роботи виконано з окремими відхиленнями від стандартів.

9. Ступінь самостійності виконання дипломного проекту задовільна.

10. Дипломний проект в цілому заслуговує оцінки «добре».

11. Зниження оцінки пояснюється наявністю таких недоліків:

- слабка самостійність студента при написанні тексту записки;

- несвоєчасна підготовка матеріалів згідно графіка їх подачі.

12. Пропозиції щодо удосконалення підготовки дипломників: участь у науковій студентській конференції з доповіддю за матеріалами диплому, повинні стати обов'язковими, розглядаючи їх як попередню репетицію перед виступом на захисті дипломного проекту.

Керівник кваліфікаційної роботи,  
доцент кафедри інжинірингу  
та дизайну в машинобудуванні



О.В. Анциферов



## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра, студента гр. 133-17-1

Борисенка Кирила Володимировича

«Зворотний інжиніринг робочого органа  
вібраційного млина безперервної дії МВВ-0,7»

Мета кваліфікаційної роботи – конструктивна модернізація робочого органу вертикального вібраційного млина для підвищення ефективності подрібнення шляхом збільшеною кількості помольних секцій.

Актуальність теми полягає в тому, що в даний час з'явилась потреба у невеликих кількостях дрібнодисперсних порошоків, що використовуються як леговані добавки до інших матеріалів. Тому перевірка конструкторської документації та додаткові розрахунки млинів даного типу необхідні.

Об'єкт діяльності випускника напряму підготовки 133 Галузеве машинобудування безпосередньо пов'язаний з темою кваліфікаційної роботи.

У завдання диплома входило: огляд конструкцій вертикальних вібраційних млинів і відмінності їх від інших типів млинів, вивчення конструкцій інерційних приводів та основних елементів помольних камер, ознайомлення з методикою розрахунку на міцність дебалансів, переведення конструкторської документації в електронний вигляд. Виходячи з поставлених задач, пошукувачем проводиться зворотній інжиніринг даної конструкції помольної камери млина безперервної дії.

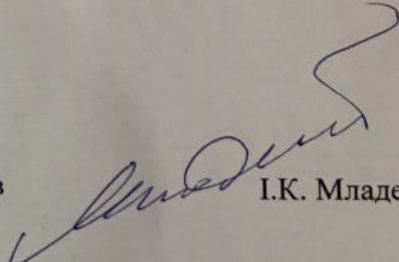
Оформлення пояснювальної записки виконано з деякими відхиленнями від стандартів. Знайомство зі змістом записки показало, що розрахункова частина дещо спрощена. Відсутні розрахунки болтів кріплення помольної камери. Іноді недостатньо текстового матеріалу для аргументованості та обґрунтування обраної методики і використання окремих формул.

Співбесіда з претендентом показала, що він добре орієнтується в поданому ним матеріалі пояснювальної записки.

Комплект конструкторської документації має об'єм 3 листи формату А1, але не може бути проаналізований досить точно рецензентом.

За результатами викладеного вище вважаю, що дипломний проект заслуговує оцінку «добре».

Д. т. н., професор, професор  
кафедри технологічного  
інжинірингу переробки матеріалів



І.К. Младецький

## Операция поиска #1

### Исходный текст

#### ВСТУП

У різних областях виробництва багато процесів вимагають тонкого подрібнення продукту. Основними споживачами дрібнодисперсних матеріалів виступає порошкова металургія, хімічна промисловість і будівництво. На даний час найбільш ефективним є вібраційний метод подрібнення, що здійснюється в вібраційних млинах в середовищі тіл, що подрібнюються. Ці млини використовують для тонкого і надтонкого помолу різних матеріалів. Робочим органом будь-якого вібраційного млина є помольна камера, яка заповнена тілами, що подрібнюються. Залежно від конструктивного розташування циліндричної помольної камери вібраційні млини поділяються на горизонтальні і вертикальні. Кожен тип подрібнювача створює певний вид навантаження частинок. Залежно від фізико-хімічних властивостей матеріалу спосіб руйнування, реалізований в подрібнювачі, може виявитися раціональним для проведення помелу або навпаки. У горизонтальних вібраційних млинах при кругової або еліптичної траєкторії руху робочого органу, матеріал подрібнюється в основному стиранням і частково ударом. Великими можливостями по тонкому подрібненню твердих і крихких матеріалів володіють млини з вертикальним розташуванням помольної камери. У них вертикально розташовано циліндричний корпус млина, який повідомляється коливанням уздовж його осі. Внаслідок цього тіла, що подрібнюються взаємодіють з днищем робочого циліндра і між собою переважно з ударом. Таким чином, в млинах цього типу реалізується віброударний спосіб навантаження.

Вібраційні млини застосовують при особливо тонкому подрібненні матеріалів у виробництві залізобетонних деталей, кераміки, скла, блоків та інших видів виробів. Інерційний привід типу дебаланс відрізняється простотою конструкції, малою металоємністю, має найменш розвинену поверхню опорної частини в порівнянні з іншими типами вібраторів. Мета роботи – конструктивна модернізація помольної камери вертикального вібраційного млина MBV-0,7 для підвищення ефективності подрібнення шляхом збільшення робочих секцій подрібнення. Об'єкт дослідження процес гравітаційного переміщення матеріалу в камері вертикального вібраційного млина безперервної дії. Предмет дослідження – параметри робочого органу вібраційного млина MBV-0,7. Задачі: Переведення креслеників робочого органу вертикального вібраційного млина до електронного виду. Огляд конструктивної схеми вібраційних млинів і віброзбудників загального призначення. Вивчення конструкції млина MBV-0,7 і його робочого органу. Розрахувати пружну систему млина і обрати амортизатор; визначити споживану потужність та обрати електродвигун; розрахувати підшипники вібратора та провести розрахунок дебаланса на міцність. Розробка правила експлуатації і обслуговування привода та заходи безпеки при роботі на млині MBV-0,7.

#### РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

##### Способи збудження коливань

Механічні коливання робочих органів вібраційних пристроїв порушуються декількома різними

способами. Серед них основними є способи збудження коливань за допомогою:

- 1) механічних пристроїв;
- 2) дебалансних вантажів (інерційних мас);
- 3) електромагнітних і електродинамічних вібраторів;
- 4) пневматичних і гідравлічних пристроїв;
- 5) комбінованих способів збудження.

Основними і найбільш широко вживаними є способи збудження коливань за допомогою електромагнітних механізмів. Живлення цих механізмів здійснюється пульсуючим (однополуперіодним випрямленою) або змінним струмом.

У механічних пристроях збудження коливань здійснюється за допомогою кулачкових, кривошипно-шатунних або ексцентрикових механізмів.

Збудження коливань за допомогою дебалансних вантажів ґрунтується на виникненні і дії інерційних відцентрових сил при обертанні неврівноважених мас. приводом для повідомлення їм обертального руху є електродвигуни, пневматичні роторні двигуни, гідродвигуни і т. п. Тому з цієї точки зору пристрої, що використовують інерційні віброприводи, є комбінованими. Це ж зауваження може бути віднесено і до пристроїв механічного типу, які зазвичай наводяться в рух електродвигунами і тільки в окремих випадках - від розподільних валів робочих машин. Способи, що використовують пневматичні та гідравлічні пристрої для приведення в коливальний рух вібросистеми, засновані на впливі робочих елементів вібратора (поршня, мембрани) на вібросистему пристрою. До комбінованих способам віднесені поєднання декількох зазначених вище способів. Так, спосіб порушення коливань пристрою, в якому переміщення в одному напрямку **відбуваються під дією** електромагнітної сили, а в зворотному **- під дією сили** стисненого повітря, є комбінованим, електропневматичним.

Всі способи збудження коливань об'єднуються тим, що порушені коливання мають яскраво виражений направлений характер.

Пневматичні і гідравлічні вібратори поки не знайшли широкого поширення, однак цілий ряд переваг, властивих цього типу приводів, дає підставу вважати, що в майбутньому вони будуть успішно застосовуватися поряд з електричними, дебалансними і іншими вібраторами. основними відмінними рисами вібраційних пристроїв з пневмовібратори є можливість здійснення регулювання частоти і амплітуди коливань, робота на знижених частотах, отримання асиметричного закону коливань, можливість здійснення коливань з ходом до 10- 12 мм. При цьому деякі конструкції пневмоприводів дозволяють відмовитися від несучих похилих пружин, а в деяких випадках-забезпечити потрібну жорсткість системі не пружинами, а стисненим повітрям. Пристрої з пневматичним і гідравлічним приводами відрізняються простотою і високою надійністю в експлуатації. Істотним їх перевагою є повна вибухо і пожежна безпека.

### Електромагнітні вібратори

Синхронні електромагнітні вібратори, які є основним видом приводу вібраційних пристроїв, мають безліч різновидів.

Суть роботи електромагнітного вібратора полягає в тому, що магнітний потік, що збуджується струмом в котушці магніту, впливає на якор з силою, пропорційною квадрату струму і числа витків і назад пропорційноній величиною магнітного зазору між якорем і ярмом. При подачі в котушку електромагніту імпульсів струму, зусилля на якорі магніту змінюється відповідно до зміни струму від мінімального до максимального значення, і вся система приходить в коливальний рух.

### 1.3 Інерційні вібратори

Вібраційні машини, використовувані для механізації транспортних операцій, є допоміжними механізмами, які надаються основним засобам (вагонів, автомобілів, екскаваторів та ін.). Вони діють за принципом створення вібрацій і передачі їх оброблюваної середовищі через спеціальний робочий орган або елементи конструкції основного обладнання. Тому основним вузлом

вібромашини є її привід – вібратор. Вібратор є джерелом коливань і створює збурювальну силу, необхідну для подолання внутрішніх і зовнішніх опорів в кінематичних парах машини і оброблюваному матеріалі.

Існує велика різноманітність типів і модифікацій вібраційних машин, механізуючих трудомісткі роботи, пов'язані з навантаженням і розвантаженням сипких та кускових матеріалів. Не менш різноманітні і умови їх використання. Для кожного процесу, будь то очищення вагона від залишків вантажу, віброущільнення матеріалу для підвищення вантажопідйомності рухомого складу та ін., існують свої оптимальні значення основних параметрів коливання – частот і амплітуд, а також енергетична характеристика, яка визначає залежність потужності, необхідної для підтримки технологічного процесу, від основних параметрів коливань. Крім того, в кожному типі вібраторів існує певна залежність максимального значення переданої потужності від основних характеристик збуджуваних коливань.

Ці обставини є основними причинами існування різноманітних за принципом дії і конструкції збудників коливань. Вони також обумовлюють наявність багатогранних вимог до принциповому пристрою, конструктивному виконанню і експлуатаційними характеристиками вібропривіда.

В даний час застосовуються інерційні, електромагнітні, ексцентрикові і поршневі вібратори, кожен з яких має свою область застосування.

У інерційних вібраторах збурювальна сила створюється обертанням однієї або декількох невірноважених мас. Утворювальна збурювальна сила може бути спрямованою або обертальною тобто безперервно змінюючи свій напрям.

Рисунок 1.1. - Схема принципового пристрою (а) та принцип роботи (б) вібраторів типу дебаланс

До віброприводів з обертально збурювальною силою відносять вібратори типу дебаланс, в яких обертається одна невірноважена маса. Такий вібратор складається з дебаланса 1 (рисунок 1.1., а) обертального з постійною кутовою швидкістю на валу 2 в підшипниках опорної частини 3, яка жорстко кріпиться до вібраційної машини. При обертанні дебаланса створюється збурювальна сила, постійна за величиною (рисунок 1.1,б):

$$P_k = m r_0 \omega^2 \quad (1.1)$$

де:  $m$  – маса дебалансу;

$r_0$  – відстань від центру ваги дебалансу до осі обертання;

$\omega$  – кутова швидкість обертання дебалансу.

Сила  $P_k$ , безперервно змінюючи свій напрямок, створює колові коливання, повідомляючи робочому органу рух по замкнутій кривій, якщо на нього не накладено додатково обмежувачі зв'язки.

Інерційний привід типу дебаланс відрізняється простотою конструкції, малою металоємністю, має найменш розвинену поверхню опорної частини в порівнянні з іншими типами вібраторів. Загальні види вібраторів типу дебаланс представлені на рисунку 1.2. і 1.3.

Вібратори типу, дебаланс приводяться в обертання від окремо стоячого двигуна за допомогою клинопасової передачі або муфти (рисунок 3). Широке поширення отримали також вібратори, що створюють обертову збурювальну силу, у яких невірноважений ротор вбудований в електродвигун (Мотор-вібратори). Така конструкція вібропривіду має суттєві переваги щодо компактності і зручності кріплення до робочого органу. Представляючи собою незалежний агрегат, мотор-вібратори відкривають ширші можливості в розробці вібраційних машин різного призначення. З цією метою мотор-вібратори конструюються з таким розрахунком, щоб задовольнити багатообразним запитам практики.

1 - опорна плита; 2 - вал віброелементу; 3 - основний дебаланс; 4 - змінний дебаланс  
Рисунок 1.2. - Віброелемент регульованого приводу типу дебаланс вібропристрою для розвантаження думпкар

1 - електродвигун; 2 - дебаланс; 3 - опора валу вібратора; 4 - захисний кожух; 5 – прокладка  
Рисунок 1.3. - Нерегулюючий вібратор типу дебаланс для зачистки шахтних вагонеток

Мотор-вібратор складається з електродвигуна, який міститься зазвичай в алюмінієвий корпус, і дебалансів, що встановлюються на кінцях вала ротора.  
Конструкція електродвигуна виконується з підвищеною стійкістю до вібрацій. Для забезпечення тривалої безперебійної роботи мотор-вібратори забезпечені більш довговічними підшипниками кочення, ніж звичайні електродвигуни тієї ж потужності.

Рисунок 1.4 - Мотор-вібратор С-433А з висувними дебалансами

Для вібраційних пристроїв, що працюють на зарезонансному режимі, доцільно використовувати вібратори з висувними дебалансами. До цього типу інерційного приводу відноситься мотор-вібратор типу дебаланс С-433А (рисунок 4). У корпусі 1 вібратора поміщений асинхронний електродвигун 2 трифазного струму з коротко замкнутим ротором. На кінцях вала ротора встановлені висувні дебаланси 3. Вібратор закривається кришками 4 за допомогою болтів 5. Мотор-вібратори рекомендується використовувати в тих випадках, коли конструкція вібромашини допускає установку тільки одного вібратора.

У подовжених конструкціях вібропристрою, установка одного мотор-вібратора не забезпечує рівномірного розподілу по довжині амплітуд коливань, з'являються зони з амплітудою, що дорівнює нулю. Установка декількох вібраторів не покращує становища, так як мотор-вібратори працюють, як правило, несинхронно або в протифазі. Ця обставина обмежує області використання мотор-вібраторів і в подовжених конструкціях вібромеханізмів з приводом типу дебаланс доводиться вдаватися до кінематичного зв'язку окремих віброелементів, як це здійснено у віброприводі установки для розвантаження думпкар.

Останнім часом починають застосовуватися вібраційні установки з самосинхронізуючими мотор-вібраторами типа дебаланс, в яких синхронне і синфазне обертання дебалансів, досягається без будь-якої спеціального зв'язку зубчастими передачами. В основу самосинхронізації і самофазировці покладено явище, яке полягає в тому, що за певних умов, що визначаються розрахунком, кілька вібраторів, приводяться в рух незалежними асинхронними електродвигунами і закріплених на одному жорсткому робочому органі, обертаються з однаковою середньою швидкістю і постійними зрушеннями фаз. Самосинхронізація мотор-вібраторів забезпечує можливість отримання простого в конструктивному відношенні вібропривід з декількома вібраторами. Однак розрахунок і налагодження установок з самосинхронізуючими вібраторами представляють значні труднощі.

Вібратори з обертової збурювальною силою повідомляють робочому органу рух по замкнутій кривій. Внаслідок цього в робочому органі виникають знакозмінні напруги у взаємно-перпендикулярних напрямках. Це знижує його довговічність і негативно позначається на болтових з'єднаннях його з робочим органом.

У інерційних вібраторах з спрямованої збурювальною силою остання в будь-який момент часу діє в одному і тому ж напрямку і змінюється тільки за величиною.

Тому робочому органу повідомляються прямолінійні коливання, які викликають в ньому

знакозмінні напруги тільки в одному напрямку, що сприяє забезпеченню експлуатаційної надійності вібраційних пристроїв. У ряді випадків, в силу особливостей основного обладнання (наприклад, вагонів) і процесу, для інтенсифікації якого використовується віброметод, допускається використання тільки спрямованих коливань. Цим і пояснюється широке використання приводів такого типу. Для отримання спрямованої вимушених коливань застосовуються зазвичай два способи:

- 1) складові, що діють в небажаному напрямку, врівноважуються рівними за величиною, але протилежно спрямованими силами;
- 2) використовується властивість шарніра передавати зусилля тільки **в напрямку, перпендикулярному до його осі**.

Перший спосіб використаний в вібраторах типу самобаланс, що представляють собою дебалансні вібратори, кінематично пов'язані зазвичай за допомогою зубчастих коліс. Принципова схема двухмасного інерційного вібратора з дебалансами, обертаючими в протилежному боці, наведена на рисунку 5. При обертанні дебалансів з однаковою кутовою швидкістю горизонтальні складові  $P_x$  відцентрованої сили взаємно врівноважуються, а вертикальні складові  $P_y$  – складаються, створюючи, таким чином, постійну по напрямку і змінну за величиною збурювальної сили:

$$P_y = 2P_0 \cos \omega t. \quad (1.2)$$

Вібратори типу самобаланс, так само як і дебалансні вібратори, можуть бути регульовані і нерегульовані. На рисунку 6 показаний нерегульований двовальний вібратор направленої дії конструкції інституту «Донгіпровуглемаш», який використовується в машинах для зачистки шахтних вагонеток.

1,2 - дебаланси; 4 - осі дебалансів; 5 – опора

Рисунки 1.5 - Принципова схема (а) та принцип роботи (б) вібраторів типу самобаланс

При виборі вібропривіду або конструюванні його перевагу потрібно віддавати регульованим вібраторів, які дозволяють змінювати режим роботи вібропристрою в залежності від вологості, дисперсності, кусковатості, ступеня змерзаємості оброблюваного матеріалу та інших умов. Цю обставину необхідно враховувати особливо в тих випадках, коли один і той же віброприлад використовується не тільки в різних експлуатаційних умовах, але і мають виконувати різні за своїм характером операції. Так наприклад, вібромашина, призначена для розвантаження відкритих вагонів, повинна бути оснащена змінним обладнанням, що забезпечує розпушування змерзлого матеріалу, очищення налипшого і злежалого матеріалу і ущільнення його при навантаженні для поліпшення використання вантажопідйомності. Ефективність ж віброметода при виконанні цих операцій забезпечується тільки при відповідних, що відрізняють один від одного оптимальних режимах вібрацій.

Зміна частоти коливань регульованих вібраторів здійснюється зміною швидкості обертання або приводного двигуна, або валу вібратора. Сучасні конструкції таких вібраторів найчастіше допускають регулювання величини вимушених коливань зміною маси або ексцентриситету дебалансів.

У першому випадку це досягається наявністю змінних дебалансів, у другому зміною взаємного положення поворотних дебалансів, з яких один жорстко посаджений на вал, а другий може вільно повертатися щодо першого. Прикладом регульованого вібропривіду є вібратор ГРК, що встановлюється на вібромашинах для зачистки відкритих вагонів і розпушування змерзлих в них матеріалів.

1 - корпус; 2 - електродвигун; 3 - дебаланси; 4 - синхронізуючі шестерні  
Рисунок 1.6 - Нерегулюючий вібратор типу самобаланс  
(розріз в плані) для зачистки вагонеток

Вібратор складається з корпусу 1 (рисунок 6) звареної конструкції, в якому на дворядних сферичних роликотішипників встановлені вали 2 і 3 з синхронізуючими шестернями 4 і двома парами дебалансів на кожному валу. Дебаланси 5 сидять нерухомо на шпонках, дебаланси 6 можуть на втулках 7 повертатися щодо нерухомих дебалансов, чим досягається зміна положення центра ваги дебалансної системи і, отже, величини збурювальної сили.

Для цього нерухомі дебаланси мають вісім отворів, а рухливі – одне.  
Фіксування рухомих дебалансів в необхідному положенні здійснюється за допомогою фіксаторів 8.

#### 1.4. Вібраційні млини

З всього різновиду типів вібраційних млинів найбільшого розповсюдження набули однокамерні млини з центральним розташуванням одновального інерційного вібратора (рисунок 7, а) або з винесеними

Рисунок 1.7 – Схеми вібраційних млинів

двохвальними (рисунок 7, б) або одновальним (рисунок 7, в) вібраторами. Для збільшення продуктивності застосовуються вібраційні млини з двома, трьома та чотирма камерами. Млини з двома робочими камерами можуть бути як однокорпусні (рисунок 7, г), тобто жорстко пов'язані між собою та коливаються як одне ціле, так і двокорпусними (рисунок 7, д). Чотирьох камерні млини виконуються, як правило, двокорпусними (рисунок 7, ж).

Приводом таких млинів служить ексцентриковий вібратор, який повідомляє корпусам протифазний рух, сили інерції обох корпусів взаємно урівноважується та на підставі динамічного навантаження практично не передаються.

Недоліком наведених типів млинів є те, що для збільшення продуктивності необхідне збільшення кількості камер або їх довжини. Це призводить до ускладнення конструкції млина і зменшення надійності його роботи.

Майже позбавлений перерахованих недоліків вібраційний млин з вертикальним розташуванням помольної камери (рисунок 7, є), розділеним горизонтально розташованими перфорованими днищами на ряд секцій. У коливальному русі млина наводиться двухвальним інерційним вібратором направленої дії. Збільшення продуктивності такого млина досягається простим збільшенням діаметра помольної камери. На відміну від інших типів корпусів млина повідомляються вертикальні коливання. Молотні тіла взаємодіють не з корпусом помольної камери, а з днищем робочої секції.

Рисунок 1.8 – Конструктивна схема вібраційного млина

Вертикальний вібраційний млин (рисунок.8) складається з помольних камер 1, завантажувальної 2 та розвантажувальної камер 3 та приводної секції 4. Вихідний продукт потрапляє в завантажувальну камеру через центральну трубу 5 на розподільний пристрій 6. Кінцевий продукт вивантажується через отвір 7. Млин приводиться в коливальний рух уздовж вертикальної осі двухвальним інерційним вібратором, що складається з валів-дебалансів 8 та 9. Вали-дебалансів з'єднані пружними муфтами 10 з синхронізаторами 11. Млин встановлюється на фундаменті за допомогою еластичних амортизаторів.

Вібраційні млини по конструкції поділяють на два типи:

1) Інерційні, в яких вібрація корпусу разом з молольними тілами та матеріалом викликається відцентрованими силами інерції, виникаючими при обертанні дебаланса, встановленого ексцентрично в відношенні до осі обертання;

1 - корпус; 2 - вібратор; 3 - опорна рама; 4 - пружини;  
5 - дебалансний вал

Рисунок 1.9 – Вібраційний млин

2) Гіраційні, в яких кругове хитання корпусу млина з молольними тілами та матеріалом здійснюється за допомогою обертання ексцентрикового валу, вмонтованого у корпус млина. Такі млини розповсюдження не отримали і тому тут не розглядаються.

Коефіцієнт заповнення корпусу млина молольними тілами дорівнює 0,7-0,8.

Області застосування вібраційних млинів:

- 1) Раціональна – подрібнення матеріалів до розмірів основної маси частинок менше 60 мкм;
- 2) Ефективна – подрібнення матеріалів до розмірів основної маси частинок менше 10-20 мкм;
- 3) Особливо ефективна, практично не досяжна в найбільш розповсюджених млинах (шарові, роликові, ударні) – подрібнення частинок до розмірів менше 1-3 мкм.

#### 1.5. Млин MBV-0,7

Цей млин відноситься до подрібнювача безперервної дії, коли вхідний продукт подається зверху, він проходить через молольні тіла в помольній камері і відразу виводиться знизу. Число 0,7 означає діаметр робочого органу (помольної камери) в метрах.

Вертикальний вібраційний млин MBV-0,7 (рисунок 10) складається з помольної камери 1, встановленої на рамі 2. Млин приводиться в коливальний рух уздовж вертикальної осі чотирма інерційними вібраторами 3, з'єднаних між собою попарно двома валами 4. два вібратора з валом, розташовані на одній осі, через пелюсткову муфту 5 з'єднані з електродвигуном 6. Напрямок обертання двох електродвигунів - в протилежні сторони. Рама млина 2 спирається на чотири еластичних амортизатора 7, встановлених на фундаменті 8.

Технічна характеристика млина MBV-07 та його приводу, наведені у таблицях 1.1 та 1.2.

Рисунок 1.10 – загальний вигляд млина MBV-0,7

Таблиця 1.1

№ Назва параметру Величина

1 Призначення: помел доменного гранульованого шлаку, не більше, т/год 12

2 Крупність шматків живлення, не більш, мм 10

3 Амплітуда коливань, мм 5-8

4 Частота коливань, Гц 16,2

5 Маса, коливних частин, кг 3950

6 Габаритні розміри, мм,

висота

в плані

2060

1640 x 2560

Таблиця 1.2

№ Назва параметру Величина



- 1 Тип приводу Інерційний самосинхронізуючий
- 2 Вимушена сила, кН 4х (47,7..80)
- 3 Динамічне навантаження на опорні конструкції, кН 30..50
- 4 Електродвигун 4А180М6У3
- 5 Потужність, кВт 2х18,5
- 6 Частота обертання, об/хв. 970

Конструктивна схема помольної камери млина МВВ-0,7 показана на рисунку 1.1. Вхідний продукт потрапляє через завантажувальний патрубок 1 на розподільний пристрій 2. Розподільний пристрій представляє собою конічну обичайку з отворами, котра розподіляє потрапленний до завантажувальної секції 3 матеріал рівномірно поперечному перерізі камери. Далі під дією сили тяжіння матеріал проходить через шість помольних секцій 4. При роботі млина під дією знакозмінної мили вібраторі її корпус здійснює коливання у вертикальній площині з амплітудою прискорення корпусу (6-8) g. Шари відриваються від робочої поверхні та при подальшому їх зіткненні з кришкою, днищем помольної секції та між собою, руйнують частини подрібнюваного матеріалу. Кінцевий продукт потрапляє до розвантажувальної секції 5 та розвантажується через розвантажувальний патрубок 6 на грохот або до прийомного бункеру.

- 1 - завантажувальний патрубок; 2 – розподільний пристрій;  
 3 – завантажувальна секція; 4 – помольні секції; 5 – розвантажувальна секція; 6 – розвантажувальний патрубок

Рисунок 1.11 – Конструктивна схема помольної камери вертикального вібраційного млина МВВ-0,7

Технічна характеристика помольної камери наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

№ Назва параметру Величина

- |   |  |               |
|---|--|---------------|
| 1 | Об'єм помольної камери, м <sup>3</sup> | 0,45          |
| 2 | Подрібнюючі тіла робочих секцій -      |               |
| 3 | Діаметри подрібнюючих тіл, мм.         |               |
|   | верхня секція                          | 28,575..31,75 |
|   | нижні секції                           | 17,00..19,84  |
| 4 | Маса молольних тіл у кожній секції, кг | 260..270      |
| 5 | Маса помольної камери, кг              | 3010          |

Подрібнюючі тіла робочих секцій – шарики не відповідають вимогам ДСТУ 3722-81 в будь-якому з параметрів, окрім твердості поверхні.

#### 1.6. Розрахунок основних елементів приводу

##### 1.6.1. Вихідні дані для розрахунку:

Амплітуда коливань  $a = 5 \cdot 8$  мм.

Частота коливань  $n = 1000$  об/хв.

Маса коливальних частин  $m = 3950$  кг.

Кількість амортизаторів  $k = 4$ .

Пружна підвіска – опорна на резинових амортизаторах.

Тип приводу – 4 інерційних віброзбудника, з'єднаних попарно з двома електродвигунами пелюстковими муфтами.

#### 1.6.2. Розрахунок пружної системи млина

Пружна система млина складається з чотирьох амортизаторів, які сприймають статичне навантаження  $P$  і працюють на стиск - розтягнення від дії вимушених коливань. Правильна робота млини забезпечується за умови, що величина статичного стиснення амортизаторів  $\delta$  під дією ваги коливаючої частини більше амплітуди коливань млина

$$\delta_{(ст.)} > a \quad (1.3)$$

Максимальна задана амплітуда коливань млина  $8$  мм.

Приймаємо  $\delta_{(ст.)} = 10$  мм - величина стиснення амортизаторів при статичному навантаженні їх вагою коливальної частини млина.

Коливання млина щодо початкового статичного стиснення амортизаторів відбуваються з амплітудою  $a$  вгору і вниз. Тоді максимальне стиснення амортизатора складе  $\delta_{max} = 18$  мм.

Допустима відносна деформація стиснення гуми  $[\epsilon]_{сж} = 0,2$ . Звідси висота амортизатора визначиться з виразу (1.4).

$$h = \delta_{max} / [\epsilon]_{сж} = 90 \text{ (мм)}. \quad (1.4)$$

В якості матеріалу гнучких елементів приймемо гумову суміш 2959 з твердістю 45-50 одиниць ДСТУ 263-53.

Площа опорної поверхні амортизатора визначаємо за умовою його стиснення до величини  $\delta_{max}$ . Стиснення на величину  $\delta_{(ст.)}$  відбувається під дією ваги коливаючої частини  $mg$ . Отже, це навантаження потрібно збільшити на коефіцієнт  $\delta_{max} / \delta_{(ст.)}$ , тоді з відомої формули закону Гука маємо

$$F = mg / ([\epsilon]_{сж} k) \delta_{max} / \delta_{(ст.)}, \quad (1.5)$$

де  $E$  – модуль гнучкості гуми при стисканні ( $E = 6 \times [10]^6 \text{ Н/м}^2$ );

Після підстановки числових даних в (1.5) отримаємо

$$F = (3950 \times 9.81) / (6 \times [10]^6 \times 0.2 \times 4) \times 18 / 10 = 0,0145 \text{ м}^2.$$

Звідси розраховуємо діаметр амортизатора

$$D = \sqrt{4F/\pi}, \quad (1.6)$$

$$D = \sqrt{(4 \times 0,0145) / 3,14} = 0,136 \text{ (м)};$$

Для амортизаторі відношення діаметру до висоти називається фактором форми. В нашому випадку ми маємо

$$\Phi = D/h = 1,51. \quad (1.7)$$

З конструктивних міркувань можна змінити ці розміри, Наприклад, прийнявши діаметр  $D = 0.2$  м, отримаємо  $h = 0,14$  м. Визначимо стиснення чотирьох гумових амортизаторів з цими розмірами під дією відомої маси  $m$

$$\Delta h = mgh / kEF. (1.8)$$

$$\Delta h = (3950 \times 9.81 \times 0.091) / (4 \times 60 \times 10^6 \times 1.45) = 0,01 \text{ (м)}$$

Отримане значення менше  $\delta_{\text{ст}}$  та навіть менше максимального значення амплітуди, тобто умова (1.1) не виконується. Прийmemo висоту амортизатора  $h = 0,2$  м. Тоді з (1.5) отримаємо  $\Delta h = 0,022$  м. Умова (1.3) виконана.

Остаточно прийmemo амортизатори з розмірами  $D = 0,2$  м,  $h = 0,2$  м.

Жорсткість системи з 4-х амортизаторів

$$c = (m g) / \Delta h. (1.9)$$

$$c = (3950 \times 9,81) / 0,01 = 3762087 \text{ ( Н/м )}.$$

Власна частота такої системи визначається з виразу

$$p = \sqrt{c/m}, (1.10)$$

$$p = \sqrt{3762087/3950} = 30,8 \text{ ( 1/с )}.$$

Кутова частота обертання електродвигуна

$$\omega = (2\pi n) / 60. (1.11)$$

$$\omega = (2 \times 3,14 \times 1000) / 60 = 104,6 \text{ ( 1/с )}.$$

Ефективність віброізоляції визначається коефіцієнтом динамічності по формулі

$$\mu = 1 / (\sqrt{(\omega/p)^2 - 1}). (1.12)$$

$$\mu = 1 / (\sqrt{(104,6/30,8)^2 - 1}) = 0,095.$$

Динамічний ефект в нашому випадку менше статичного в десять разів, тобто на раму млина згідно розрахунку (1.11) передається навантаження в 10 разів менше маси колювальної частини  $m$  (395 кг). Це означає, що сила високої частоти ( у нашому випадку 101,7 1/с) не викликає відчутних коливань в низькочастотній гнучкій рамі, остання не встигає відгукатися на вельми швидкі зміни збурювальних коливань. Вище було проведено розрахунок основних гнучких зв'язків. Однак, при віброізоляції бистрохідних машин потрібно, щоб коефіцієнт динамічності  $\mu < 1/15$ . Тому рама млина повинна бути встановлена на додаткові амортизатори.

### 1.6.3. Розрахунок споживаної потужності та вибір електродвигуна

Збурювальна сила, створювана дебалансом при відомих параметрах системи

$$P = a m (\omega^2 - p^2). (1.13)$$

Визначимо необхідну збурювальну силу, створювану одним з чотирьох дебалансів для отримання максимальної заданої амплітуди коливань

$$P_{\text{д}} = 1/4 a m (\omega^2 - p^2),$$

$$P_{\text{д}} = 1/4 \times 0,008 \times 3950 \times ((101,7)^2 - (30,8)^2) = 74215 \text{ (Н)} ;$$

Потужність, споживана вібратором при сталому режимі роботи

$$N=(\omega M_K)/((\eta_{\text{підш}})^2), (1.14)$$

де  $M_K$  – кінематичний момент дебаланса вібратора:

$\eta_{\text{подш}}$  – к.к.д. підшипнику кочення ( $\eta_{\text{підш}} = 0,99$ ).

Кінематичний момент дебаланса вібратора

$$M_K=(P_{(D)} g)/\omega^2, (1.15)$$

$$M_K=(74215 \times 9,81)/((104,6)^2) = 66,5 \text{ (Н}\cdot\text{м)}$$

Потужність електродвигуна, передавального через пелюсткову муфту коливальний момент для обертання двох вібраторів з урахуванням (1.14)

$$N_{\text{ДВ}}=(2\omega M_K)/((\eta_{\text{підш}})^2 \eta_{\text{(муф.)}}), (1.16)$$

де  $\eta_{\text{(муф.)}}$ - к.к.д. пелюсткової муфти ( $\eta_{\text{(муф.)}}=0,9$ ).

Визначаємо потужність одного електродвигуна:

$$N_{\text{ДВ}}= (2 \times 101,7 \times 66,5)/((0,99)^2 \times 0,9) = 15334 \text{ (Вт)}. (1.17)$$

Приймаємо електродвигун 4Ф180М6У3 потужністю 18,5 кВт та частотою обертань 970 об/хв.

#### 1.6.4. Розрахунок підшипників вібратора

Підшипники кочення часто піддаються спільної дії радіальних та осьових навантажень, котрі можуть буди постійними або супроводжуватись поштовхами і ударами; обертатись може внутрішнє або зовнішнє кільце; на довговічність підшипника суттєво впливає температурний режим роботи. Вибір підшипнику та визначення номінальної довговічності проводиться по так званій еквівалентній динамічному навантаженні  $P$ . Для радіальних та радіально-упорних підшипників це – постійне радіальне навантаження, котре при додатку його до підшипнику з обертальним внутрішніми та нерухомими зовнішніми кільцями забезпечує такий же розрахунковий строк служби, як при дійсних умовах навантаження та обертання. У віброзбуджувачах інерційного типу для важкий вібраційних машин приймають радіальні дворядні сферичні роликпідшипники.

Радіальні дворядні сферичні роликпідшипники (ДСТУ 5721-75 та ДСТУ 8545-75) призначені в основному для сприйняття радіальних навантажень, але можуть водночас сприймати і осьове навантаження, діючу у обох напрямках і не перевищує 25 % величини невикористаного допустимого радіального навантаження. Радіальні дворядні сферичні роликпідшипники володіють значно вищою вантажопідйомністю, чим рівно габаритні сферичні шарикпідшипники. Допустимі швидкості обертання їх значно нижчі, чим підшипників з короткими циліндричними роликами. Розглянуті роликпідшипники можуть нормально працювати при значному (до 2-3) перекосі зовнішнього кільця відносно внутрішнього.

Радіальні дворядні сферичні роликпідшипники застосовують для установки важконавантажених багатоопорних та двохопорних валів, а також для встановлення валів, схильним значними прогинами під впливом зовнішніх сил: в вузлах, в котрих технологічно не забезпечується висока співвісність посадочних місць, наприклад, при встановленні підшипників в окремих корпусах, при розточуванні посадочних отворів з декількох установок тощо.

Вал дебаланса всередині корпусу вібратора спирається на два підшипники. Тоді радіальне навантаження на один підшипник з (1.13)

$$F_r= p_{\text{д}}/2. (1.18)$$

$$F_r = 74215/2 = 37108 \text{ (Н)} = 3711 \text{ (кг)}$$

Згідно умови роботи дебаланса осьове навантаження  $F_a = 0$ .

Еквівалентне динамічне навантаження визначається за формулою [6]

$$P = (VX F_r + Y F_a) K_b K_t, \quad (1.19)$$

де  $F_r$  та  $F_a$  – відповідно радіальне та осьове навантаження, кг;

$V$  – коефіцієнт обертання (при внутрішньому кільці, нерухомому по відношенню до навантаження,  $V = 1,2$ );

$X$  та  $Y$  – відповідно коефіцієнти радіального та осьового навантаження, залежні від типу підшипника, кута контакту  $\alpha$  (кут поміж лінією дії навантаження на тіло кочення та площини, перпендикулярної до осі підшипника) та відношення  $F_a / (V F_r)$  ( $X = 1$ ,  $Y$  не визначаємо, тому що,  $F_a = 0$ );

$K_b$  – коефіцієнт безпечності, враховуючи вплив динамічного навантаження на довговічність підшипників кочення ( $K_b = 1$ , тому що, відсутні поштовхи або перенавантаження);

$K_t$  – коефіцієнт, враховуючий вплив температурного режиму роботи на довговічність підшипника ( $K_t = 1$ ).

Підставляємо дані в (1.19) та отримуємо значення еквівалентного динамічного навантаження

$$P = 1,2 \times 1 \times 3711 \times 1 \times 1 = 4454 \text{ (кг)}. \quad (1.20)$$

Тепер задамо номінальною довговічністю підшипника в годинах його роботи  $L_h$ .

Вибір номінальної довговічності підшипника визначається техніко-економічними показниками експлуатації машини, складністю розбирання при заміні підшипника і вимогами до її надійності.

Для машин, працюючих з перервами, середні значення номінальної довговічності приймаються в межах 2500-10000 год. Для підшипників, встановлених у механізмах, до яких не пред'являються особливо високі вимоги у відношенні щодо надійності, задовільно є довговічність  $L_h = 3000 \dots 5000$  год.

Для підшипників, встановлених в механізмах, у котрих ревізія опор і заміна підшипника утруднені, а вихід з ладу одного підшипника може привести до небажаних простоїв виробництва, можна рекомендувати номінальну (розрахункову) довговічність, рівну часу роботи підшипника в період ремонтного циклу, тобто між двома капітальним ремонтом. Так, наприклад, якщо механізм працює 2000 год. у рік, а ремонтний цикл дорівнює 6 років, то  $L_h = 12000$  год.

Обираємо радіальних сферичний дворядний роликпідшипник середньої серії типу 3600 з номінальною довговічністю  $L_h = 2000$  год.

Згідно таблиці XI-17 [6] при  $n = 1000$  об/хв та  $L_h = 2000$  год., відношення  $C/P = 4,2$ . Звідси  $C = 4,2$ ;  $P = 4,2 \times 4454 = 18707$  кг.

Цій умові задовольняє підшипник 3616, маючий динамічну вантажопідйомність  $C = 20000$  кг (таблиця XI-23).

Якщо вибрати коефіцієнт безпечності  $K_b = 2,5$  (дробильні машини, кривошипно-шатунні механізми, потужні вентилятори з таблиці XI-14), тоді з (1.17)  $P = 11118$  кг і відповідно  $C = 4,2$ ;  $P = 4,2 \times 11118 = 46694$  кг.

Цій умові буде відповідати підшипник 3622, маючий динамічну вантажопідйомність  $C = 45900$  кг (таблиця XI-23). Ця величина декілька менша 46694 кг, але врахуємо, що вибрані електродвигуни мають частоту обертання 970 об/хв – декілька меншу 1000 об/хв. Також для умов роботи наших вібраторів коефіцієнт безпечності явно завищений.

#### 1.6.5. Розрахунок дебаланса на міцність

Визначимо напруження в найтоншій частині стінки дебаланса навколо отвору для валу (рисунок 1.12). Ця частина називається шийкою дебаланса.

Розглянемо задачу в статичній постановці для циліндра, навантаженого внутрішнім тиском (рисунок 1.13). Задача визначення напруги та переміщення в товстостінному циліндрі носить назву

задачі Ламе, за ім'ям вченого XIX століття, дав його рішення.

1-вісь дебанса; 2- отвори підзакладної частини  
Рисунок 1.12 – Дебаланс

Рисунок 1.13 – Розрахункова схема

На рисунку 1.13 вказані епюри змінення радіального  $\sigma_r$  та окружного  $\sigma_t$  напружень по товщині циліндру при навантаженні внутрішнім тиском  $p$ .

Окружна напруга являється розтягуючою, а радіальна - стискаючою.

У нашому випадку вважаючи висоту циліндра малою, рахуємо його кільцем ширини  $t$ .

У внутрішній поверхні кільця  $\sigma_t$  досягає найбільшого значення.

$$\sigma_t = p \frac{(b^2 + a^2)}{(b^2 - a^2)}, \quad (1.21)$$

де  $a$  – внутрішній радіус шийки дебаланса ( $a = 0,0425$  м);

$b$  – зовнішній радіус шийки дебаланса ( $b = 0,052$  м).

Радіальне напруження у внутрішній поверхні дорівнює  $-p$ .

Визначимо внутрішній тиск  $p$ .

На шийку дебаланса діє збурювальна сила, створювана дебалансом  $P_D$ , визначається за формулою (1.12). Якщо подумки розрізати кільце по горизонталі, то половина зусилля  $P_D$  урівноважиться напругою  $\sigma_t$ , розподілений за площею його дії

$$0,5P_D = \sigma_t t(b-a). \quad (1.22)$$

З (1.22) визначаємо  $\sigma_t$  та підставляємо в ліву частину (1.21). Після перестановок отримуємо вираз  $p = P_D \frac{(b+a)}{t(b^2+a^2)}$ . (1.23)

За теорією найбільших дотичних напружень (в разі відсутності осьової сили)

$$\sigma_{\text{екв}} = \sigma_1 - \sigma_3 = p \frac{(b^2 + a^2)}{(b^2 - a^2)} - (-p) = p \frac{2b^2}{(b^2 - a^2)}. \quad (1.24)$$

Підставляємо сюди (1.23) та отримуємо

$$\sigma_{\text{екв}} = P_D \frac{2b^2}{t(b^2 + a^2)(b-a)}. \quad (1.25)$$

Підставляємо сюди чисельні значення

$$\sigma_{\text{екв}} = 74215 \times \frac{2 \times [0,052]^2}{0,16 \times ([0,052]^2 + [0,0425]^2) \times (0,052 - 0,0425)} = 58544240 \text{ (Па)} = 58,5 \text{ (МПа)}.$$

Напруга яка допускається для матеріалу дебаланса (ст.3)

$$[\sigma] = 120 - 140 \text{ МПа}.$$

Для розглянутого випадку

$$\sigma_{\text{екв}} < [\sigma].$$

1.7. Висновки за розділом

Вібраційні млини можуть працювати у періодичному і безперервному режимі. Вони можуть застосовуватись для сухого і мокрого подрібнення. Подрібнений продукт вібраційних млинів більш однорідний за крупністю ніж барабанних млинів.

Вібраційні млини застосовуються для тонкого і надтонкого подрібнення різних матеріалів крупністю до 0,25 мм в хімічній промисловості, при виробництві будівельних матеріалів, силікатних та інших виробів.

Інерційний вібраційний млин. При обертанні дебалансного вала з частотою від 1000 до 3000 хв барабану з кулями і матеріалом, що подрібнюється, надається коливальний рух по еліптичній траєкторії, близькій до колового розпушення, коливання й інтенсивне взаємне переміщення подрібнювальних тіл зумовлює подрібнення матеріалу у млині

У ході розрахунків визначили висоту амортизатора, яка дорівнює 90 мм., тому в якості матеріалу гнучких елементів прийmemo гумову суміш 2959 з твердістю 45-50 одиниць ДСТУ 263-53.

Розрахувавши стискання гумових амортизаторів отримали значення 0,01м. Отримане значення менше максимального значення амплітуди, тобто умова не виконується. Тому прийняли висоту амортизатора 0,2 м. і отримаємо значення стискання амортизатора 0,022 м. Тоді умова буде виконана.

Визначивши потужність одного електродвигуна отримали 15334 Вт. Прийняли електродвигун 4Ф180М6У3 потужністю 18,5 кВт та частотою обертань 970 об/хв.

## РОЗДІЛ 2. ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ

### 2.1. Об'єкт випробувань

**2.1.1.** Об'єктом випробувань є експериментальний зразок вібраційного млина МВВ-0,7 , млин використовують для помелу доменного гранульованого шлаку.

**2.1.2.** Основні розміри і параметри млину приведені в табл.1.

Таблиця 2.1

| № | Назва параметру                                       | Величина             |
|---|---|----------------------|
| 1 | Місткість помольної камери, м <sup>3</sup>            | 0,45                 |
| 2 | Амплітуда коливань, мм                                | 5-8                  |
| 3 | Частота коливань, Гц                                  | 16,2                 |
| 4 | Габаритні розміри, мм,<br>довжина<br>ширина<br>висота | 2560<br>1640<br>2060 |
| 5 | Маса коливних частин, кг                              | 3950                 |
| 6 | Число оборотів електродвигуна, об/хв                  | 970                  |
| 7 | Потужність електродвигуна, кВт                        | 2x18,5               |
| 8 | Маса помольної камери (без шарів), кг                 | 3010                 |

### 2.2 Загальні положення

**2.2.1.** Випробування проводять на підставі наступних документів:

1) справжнє програмування та, метод дослідних випробувань МВВ07.00.00.000ПМ;

2) технічного завдання, НІР

3) конструкторської документації згідно МВВ-07.00.00.000;

#### 2.2.2 Етапи дослідів

1) контроль показників та вимог ТЗ НІР та конструкторської документації;

2) експлуатація млина протягом всього терміну випробувань;

3) відбір та обробка технологічних проб;

4) оформлення результатів випробувань.

#### 2.2.3 Місце проведення випробувань – НТУ «ДП».

#### 2.2.4 Учасники випробувань:

1) ДФ «Гипромашуглеобогащение»;

2.2.5 У період випробувань ведеться журнал, в котрому повинні відображатись виявлені недоліки, їх причини, відомості про їх усунення, відомості про контрольні опробування.

### 2.3 Цілі та задачі випробувань

2.3.1. Дослідні випробування експериментального зразка млина проводяться для визначення відповідності її технічному завданню на науково-дослідну роботу, робочої конструкторської документації, з цілю отримання вихідних даних і рекомендацій розробки технічного завдання на дослідно-конструкторські роботи.

2.3.2. Задачі, які вирішуються під час випробувань;

1) визначення працездатності основних вузлів та елементів млина;

2) визначення параметрів руху елементів млина та її шумові характеристики;

3) визначення технологічних показників млина.

2.3.2. Задачі, які вирішуються під час випробувань.

2.3.2.1. Визначення працездатності основних вузлів та елементів млина.

2.3.2.2. Визначення енергоспоживання на холостому ході, при різному навантаженні молотильними тілами, при завантаженні шарами та подрібнювальним матеріалом.

2.3.2.3. Визначення величин неурівноважених зусиль від ексцентричних мас, переданих на фундамент та елементи конструкції.

2.3.2.4. Визначення навантажень (деформації) в найбільш відповідальних вузлах конструкції.

2.3.2.5. Визначення шумових характеристик млина.

2.3.2.6. Визначення показників на різних режимах (ступенів заповнення шарами, розмірами шарів, ступеню заповнення матеріалом, продуктивністю (пропускна спроможність), ступінь подрібнення, (ступінь активації).

### 2.4. Умови проведення випробувань

2.4.1 Умови проведення випробувань повинні відповідати умовам експлуатації УХЛ, категорія розміщення 4 по ДСТУ15 1550-69.

2.4.2 Млин повинен бути встановлений у приміщенні 1а, згідно Правил влаштування електроустановок. Пульт керування повинен бути встановленим на відстані не менш 15м від млина.

2.4.3 В приміщенні повинна бути передбачена вентиляція (витяжка).

### 2.5. Визначаючі показники

2.5.1. У процесі випробувань повинні бути перевірені наступні показники:

2.5.1.1. Відповідність конструкції млина вимогам безпеки;

2.5.1.2. Визначення зручності проведення технічного обслуговування та ремонту;

2.5.1.3. Визначення показників з табл.1 п.п.1-7.

2.5.1.4. При роботі млина без навантаження (без шарів та матеріалу), повинні бути перевірені та визначені:

2.5.1.4.1. Працездатність вузлів і елементів млина.



- 2.5.1.4.2. Температура підшипникових вузлів.
- 2.5.1.4.3. Частота коливань ексцентрикових валів.
- 2.5.1.4.4. Допустима невірноваженість при різних частотах по навантаженнях на фундамент та напруга в окремих складових частинах конструкції млина.
- 2.5.1.4.5. Споживання електроенергії у різних режимах.
- 2.5.1.5. При роботі млина завантаженими молольними шарами та подрібнювальним матеріалом повинні бути перевірені та визначені показники.
- 2.5.1.5.1. Енергоспоживання.
- 2.5.1.5.2. Величини навантажень на фундаменти.
- 2.5.1.5.3. Коректувальні добавки до противаги в різних режимах роботи. Технологічні показники.
- 2.5.1.5.4. Кінетика зміни крупності та показників механоактивації в періодичному та безперервному режимах помелу.
- 2.5.1.5.5. Максимальна продуктивність по вихідному живленню.
- 2.5.1.5.6. Фактори, що обмежують пропускну здатність.
- 2.5.1.5.7. Середній час перебування матеріалу в барабані. Показники міцності.
- 2.5.1.5.8. Прискорення та переміщення окремих вузлів несучої конструкції.
- 2.5.5.5.9. Напружений стан в елементах конструкції млина.

## 2.6. Засоби випробувань

2.6.1 Для проведення випробувань повинні застосовуватися такі засоби:

- 1) рулетка ЗРК2-10АІТ/1
- 2) вібро-вимірювальна апаратура ВІ-6-5МА 6 каналів. Живлення постійним струмом 27В. Похибка  $\pm 2,5\%$
- 3) кліщі електровимірювального типу Ц91 ТУ25Т04.8571/76
- 4) вимірювальний комплект К-55. Напруга до 600В, потужність 360 кВт, похибка  $0,5\%$
- 5) омметр М4125/1 ДСТУ23706-79, клас з точністю 0,5;
- 6) мегомметр М110211 ТУ25-04.798-78;
- 7) осцилограф Н117-12 каналів, живлення 220В, похибка  $\pm 2$  об/хв
- 8) секундомір ДСТУ5072-79
- 9) тахометр 8ТМО.06-01 ТУ25-02.111568-77
- 10) термометр термоелектричний ТХК-0379-0110мм по ТУ25.02.702-289-80;
- 11) ваги Т1000, гирі Г1111-10 або динамометр
- 12) датчики переміщення ДП-3. Амплітуда коливань  $\pm 20$  мм
- 13) датчики прискорення ДУ-5. Діапазон 0,1-45 м/с<sup>2</sup>, по частоті 0-200 Гц, погрішність  $\pm 2,5\%$
- 14) «тензоусилитель» Топаз Ш – 0,1 10 каналів, напруга живлення 11-15 В, погрішність  $\pm 1,5\%$
- 15) віброграф та шумомір
- 16) магнітофон Н-068 – 14, робочі 0-40 кГц, погрішність в швидкості дентопротяжки  $\pm 0,2\%$
- 17) джерела живлення ВС-26 А. Напруга 0-37 В та 11-15 В, погрішність напруги  $\pm 0,1$  В.
- 18) тензорезистор 2ПКБ-20-200
- 19) дріт монтажний м'який (1000 м)
- 20) фотопапір УФ-62 – 500 м в рулонах 120x5000 мм або 120x2500 мм
- 21) фотохімреактиви –  
проявник - УП-3 – 20 пачок  
фіксаж кислий – 20 пачок
- 22) склотекстоліт фольгований – 0,5 м<sup>2</sup>
- 23) клей БФ-2 – 0,5 л
- Спирт реактифікат – 1 л.
- 24) Подовжувач на 6 розеток
- 25) кронштейн для датчиків ДП, ДУ

26) слюсарний набір, електродріль

## 2.7. Вимоги безпеки

2.7.1. При проведенні випробувань необхідно дотримуватись мір безпечності, викладених в «Інструкції з експлуатації» МВВ-07.00.00.000ПЄ.

2.7.2. Відповідальність за безпеку при підготовці до проведення випробувань покладається на керівника підприємства, де проводяться випробування млина.

Керівник підприємства своїм розпорядженням назначає керівника випробувань з числа найбільш досвідчених по техніці безпеки інженерно-технічних робітників.

2.7.3. Представники організації, приймаючи участь у випробуваннях, повинні пройти вступний інструктаж з техніки безпеки.

2.7.4. До початку випробування керівники випробувань повинні:

1) перевірити відповідність млина вимогам розділу 2 «Інструкція з експлуатації» МВВ-07.00.00.000ПЄ;

2) перевірити надійність кріплення складових частин та захисних пристроїв млина.

3) перевірити справність електрообладнання, електропроводки, заземлених пристроїв млина.

2.7.5 При вмиканні та при роботі млина обслуговуючий персонал повинен знаходитись поза зоною обертання противаг.

## 2.8. Підготовка до випробувань

2.8.1. До початку випробувань учасники повинні бути ознайомлені з справжньою програмою та методикою випробувань.

2.8.2. Підготовка до випробувань включає:

а) зовнішній огляд та перевірка комплектності;

б) монтаж, наладка та обкатка;

Обкатку млина проводити при максимально відхилених малих дебалансах від вертикального положення на обох валах, починаючи з найменшої частоти обертання. Час обкатки при кожній частоті 3-5 хв;

в) перевірка наявності інструмента для відновлення працездатності млина в процесі випробувань.

## 2.9. Порядок проведення випробувань

2.9.1. Випробування повинні проводитись в наступній послідовності:

2.9.1.1. Перевірка відповідності конструкції млина вимогам безпеки;

2.9.1.2. Визначення зручності проведення технічного обслуговування та ремонту;

2.9.1.3. Визначення показників табл. по пп. 1-7.

2.9.1.4. Перевірка роботи млина без навантаження (без шарів та матеріалу) та визначення;

1) працездатності приводу;

2) температура підшипникових вузлів;

3) допустимої невірноваженості;

4) потужності в різних режимах.

2.9.1.5. Перевірка роботи млина завантаженої молотильними шарами та подрібнювальним матеріалом та визначення:

1) потужності;

2) коригуючих добавок до противаги на різних режимах роботи;

3) кореляції поміж збільшенням невірноваженої сили та збільшенням потужності;

4) потужність при раціональному навантаженні шарами та матеріалом;

5) вплив крупності шарів (при однаковій масі завантаження) на споживану потужність;

6) кінетики зміни крупності та показників при періодичному та неперервному помолі;

7) максимальної продуктивності по вихідному живлені при безперервному помолі;

8) факторів, обмежуючих пропускну здібність;

9) залежність пропускну здібності від ступеню заповнення та крупності шарів на робочих

частотних режимах;

10) середнього часу перебування матеріалу в помольному барабані при постійній витраті живлення;

11) величини навантажень на фундамент;

12) прискорення та амплітуди переміщень стійок рами в місцях опори на віброізолятори;

13) згинальних напружень в несучих елементах конструкції стійок та основи (при опорі на віброізолятори), рами, в середньому січені коромисла;

14) напруга розтягнення (стискання) в несучих елементах конструкції: стійках рами (при жорсткому кріпленні на фундаменті), розтяжках, коромислі;

2.9.2. В проведенні випробувань повинна брати участь робоча бригада виробничого персоналу в складі:

один лаборант-оператор для проведення технологічних опробувань, відбору та обробці технологічних проб;

один слюсар-ремонтник 5 розряду для оперативного усунення можливих несправностей механічної частини млина;

один електрик 4 розряду для оперативного усунення можливих несправностей електричної частини млина та замірів використовуваної потужності.

Члени робочої бригади повинні бути попередньо ознайомлені з приладом та роботою млина.

2.9.3. При перевірці відповідності млина вимогам безпеки перевіряється фіксація болтових з'єднань від відгвинчування, герметичність з'єднань равлика та воронки, системи охолодження.

Перевіряється рівень звукового тиску на робоче місце оператора, а також рівень звукового навантаження млина.

2.9.4. Технічне обслуговування млина повинно проводитись згідно з «Інструкцією з експлуатації» МВВ-07.00.00.000ІЄ.

## 2.10. Методика випробувань

2.10.1. Перевірка вимог показників табл.1.

2.10.1.1. Вимоги п.1, табл.1 перевіряти замірами металевою вимірювальною рулеткою ЗПК2-10АНТ/1 ДСТУ7502-80 з подальшим розрахунком за формулою

$$V=(\pi D^2)/4 \times H,л, (2.1)$$

де D – внутрішній діаметр камери, дм ,

H – внутрішня висота камери, дм

2.10.1.2. Вимогу п.4, табл.1 перевірити замірами металевою вимірювальною рулеткою ЗПК2-10АНТ/1 ДСТУ7502-80

2.10.1.3. Вимогу п.2, табл.1 проводиться шляхом порівняння координат довільної точки на барабані в діаметрально протилежних технічних положеннях ексцентрикових валів

2.10.1.4. Перевірка п.7, табл.1 здійснюється візуально, відповідно до технічної документації

2.10.1.5. Вимоги п.8, табл.1 перевіряються зважуванням на вагах середнього класу точності ДСТУ23678-79 в межах зважування не менше 15 т

2.10.1.6. Вимогу п.3, табл.1 слід перевіряти тахометром 8ТМО.06-01 ТУ25-02.111568-77 або іншим приладом з точністю вимірювання не нижче вказаної

2.10.1.7. Вимоги пп.5.1.1, 5.1.2 слід перевіряти візуально на відповідність конструкторської документації

2.10.1.8. Вимогу п.5.1.4.1 слід перевіряти протягом всього часу випробувань

2.10.1.9. Вимогу п.5.1.4.2 слід перевіряти термометром термоелектричним ТХК-0379-01 10 мм по ДСТУ 25.02.702289-80, встановленим в отвір кришки підшипника. Погрішність вимірів  $\pm 10^\circ\text{C}$ .

2.10.1.10. Вимогу пункту 5.1.4.3 перевіряють шляхом порівняння показників пристрою на пульті управління млина та паралельних вимірювань швидкості обертання ексцентрикових валів тахометром 8ТМО.06-01 ТУ25-02.111568-77 (або ТЦ-3М) з подальшим коригуванням показників пристроїв в усіх діапазонах вимірів (від 10 до 35 рад/с).

2.10.1.11. Вимоги п.5.1.4.4, 5.1.5.2, 5.1.5.3 передбачають встановлення дебалансів-противаг в відповідності з конструкторською документацією та сумарною вагою барабану, молольних тіл та подрібненого матеріалу. Висока ступінь урівноваження барабану та дебалансів (збіг центру ваги з центром підвісу) повинна забезпечувати вільне ручне прокручення коромисла на валах та байдужу рівновагу в будь-якому положенні траверсі з барабаном. Остаточна допустима неуврівноваженість конструкції встановлюється шляхом виміру навантажень на фундаментах вібрографом або апаратурою ВЧ-6 при різних частотних режимах. Мінімізація навантажень шляхом коригування кутів розсунення дебалансів дозволяє домогтись допустимої неуврівноваженості та скласти таблицю установки дебалансів для різних частотних режимів, величини та характеру руху технологічного завантаження.

2.10.1.12. Вимоги п.5.1.4.5, 5.1.5.1 здійснюється вимірювальним комплектом к-55 або іншими аналогічними приладами для виміру споживаної потужності. Заміри потужності в режимах обкатки млина без молольних тіл та матеріалу характеризують непродуктивні витрати енергії в різних частотних режимах та можуть служити точками відліку при оцінці енергоспоживання на робочі процеси при наявності завантаження.

При роботі млина, завантаженої молольними шарами да подрібнювальним матеріалом споживана потужність в різних частотних режимах залежить від маси, розмірів, та в кінцевому рахунку, характеру руху молольного середовища. По мірі збільшення частоти коливань та ступені заповнення барабану шарами повинні спостерігатись всі великі відхилення вживаної потужності в порівнянні з аналогічними випробуваннями без завантаження. Не виключається екстремальний характер вживаної на робочий процес енергії від ступені заповнення барабану шарами, що дозволяє говорити про оптимальні режими (з максимальним енергоспоживанням на робочий процес). Фактичне споживання енергії на робочий процес (різниця відповідних показників при завантаженому та незавантаженому шарами барабані) має корелювати з фазовим кутом запізнювання молольного середовища по відношенню до вектора кругових коливань барабану та відповідною величиною неуврівноважених зусиль, передане на фундамент та несучі елементи конструкції. За результатами досліджень енергоспоживання можна також скласти таблицю коректування установки дебалансів в залежності від частоти коливань та завантаження барабану.

2.10.1.13. Вимоги п.5.1.5.4 виконується шляхом проведення технологічних випробувань в найбільш енергоємних (енергонапружених) режимах роботи млина, визначених в п.10.1.12. В періодичному режимі млин завантажується відповідною кількістю (100 % міжшарових пустот) подрібненого матеріалу з відомими гранулометричною характеристикою та показниками механоактивації. В процесі подрібнення через рівний протяг часу (2-5 хв – уточнюється експериментально) млин вимикається та проводиться відбір проб для грануло-метричного та хімічного аналізу. За результатами аналізу будуються кінематичні криві – залежність показників подрібнення та механоактивації від часу подрібнення.

При безперервному помолі вихідне живлення з постійною витратою надходить в завантажувальний равлик барабану, а подрібнений матеріал з тими ж витратами (при стаціонарному режимі) висипається через розвантажувальну течку. Проби для оцінки технологічних показників помолу відбирають протягом меншого проміжку часу (5-10 хв), але частіше (через 1-2хв) та через певний час виходу на встановлений режим (встановлюється експериментально). Якщо відмінність в гранулометрії та хімічній активності матеріалу у всіх пробах невелика, то режим подрібнення можна вважати сталим, отримані технологічні результати можна вважати достовірними. Оцінка режимів роботи млинів за технологічними результатами проводиться замовником.

2.10.1.14. Вимоги п.5.1.5.5, 5.1.5.6 перевіряють шляхом збільшення витрати живлення в млин при роботі його без молольного навантаження (що дозволить встановити пропускну здатність завантажувального пристрою) та спільного з молольним середовищем (різних розмірів шарів та ступенів заповнення ними барабану). Рівень подачі, при якому спостерігається переповнення завантажувального равлика (зворотній рух матеріалу), фіксується, а потім вимірюється шляхом розвантаження живлячого пристрою в мірну ємкість за визначений час за секундоміром. Очевидно пропускну здібність млина залежить також і від частотних режимів, які таким чином впливають і на якість та на продуктивність безперервного помолу. При виборі оптимального

режиму можливий компроміс.

2.10.1.15. Вимога п.5.1.5.7 виконується за допомогою введення в потік живлення індикаторних частинок однорозмірних з основною масою матеріалу, подрібнювального матеріалу (наприклад, металевих шариків діаметром 1-2 мм) з послідовним відбором їх в потоці розвантаження через фіксовані проміжки часу (0,5-1 хв.). Залежність числа індикаторних частин пробі від часу відбору дає криву розподілення їх по часу перебування у барабані, а максимум цієї кривій – середній час перебування (подрібнення) частин в барабані.

2.10.1.16. Вимога п.5.1.5.8, 5.1.5.9 перевіряється датчиками переміщення ДП-3, прискорення ДУ-5 терморезисторами 2ПКБ-20, встановленими та наклеюваними в вибраних місцях несучих елементів конструкції: рами, коромисла, розтяжок та ін. Вимірювальна апаратура (ВИ-6, Топаз Ш, осцилограф Н117 з джерелом живлення ВС-26). Встановлюється у відведеному місці та підключається до датчиків, монтуються та перевіряються комутаційні ланцюга тензорезисторів. Запис осцилограм проводиться відповідно до методики механічних випробувань при роботі млина без молольної середовища та з максимальним динамічним навантаженням від шарів та подрібнювального матеріалу.

## 2.11. Експлуатація вібраторів.

а) використання вібрації. Коливання від вібраторів передаються частинками віброуючого матеріалу, котрі в результаті цього приходять до рухомого стану. При цьому сила зчеплення між ними зменшується та віброуючий матеріал набуває якості рідини, тобто стає текучим. Окремі частинки, прагнуть займати нижнє положення, заповнюючи вільний проміжок.

Велике значення має вібрація при виробництві бетонних робіт. Засипана в форму або будівничий блок бетонна суміш має багато внутрішніх пустот. Розрівняти та щільно укласти її за допомогою лопат дуже складно. При виготовленні армованих конструкцій з укладанням вручну взагалі неможливо досягти задовільного ущільнення.

При впливі вібрації бетонна суміш стає рухомою та добре заповнює форми. Бетон виходить щільним, міцність його зростає. З застосуванням вібраторів продуктивність праці збільшується в декілька разів та разом з тим покращується якість бетонних споруд та виробів.

б) монтаж та вимоги до установки. Поверхня, на котрій встановлюється вібратор, повинна бути рівною, щоб при затягуванні болтів забезпечувалось рівномірне прилягання всіх лап корпусу. Чим щільніше стискається площини кріплення, тим надійніше працює установка.

Система кріплення залежить від характеру збуджуваних коливань: наприклад, коли вібратор встановлюється на бункері, то його прикріплюють до стінки останнього, щоб передати через неї вібрацію матеріалу; якщо необхідно, щоб вібрував весь бункер, то конструкцію його роблять більш жорсткою та вібратор встановлюють на швелерах, зварених з зовнішньої поверхнею бункеру по всій площі.

При встановленні вібраторів потужністю 0,4-0,8 кВт на стінках товщиною 3-4 мм в місцях кріплення приварюють фланці або платики товщиною 4-6 мм для уникнення зриву голівок болтів. Для монтажу на конусних бункерах застосовують швелери. Усі кріпильні деталі повинні бути ретельно затягнуті. Зазори в з'єднаннях недопустимі, так як при вібрації вони швидко зростають, що неминуче призводить до поломки деталей. Потужність, вживана вібратором, при появі люфтів в з'єднанні зростає. Удари, виникаючі при роботі механізму, не повинні передаватись на вібратор. З'єднувати вали з вібраторами треба так, щоб ексцентрики в останніх займали однакове положення.

При монтажі необхідно слідкувати за тим, щоб потужність джерел та січення кабелів відповідало встановленої потужності вібраторів.

в) підготовка до роботи. Перед тим, як встановлювати вібратор, необхідно:

- 1) переконавшись у відсутності пошкоджень;
- 2) перевірити чи відповідає його тип, потужність та напруга запроектованим;
- 3) відкрити кришку клемної коробки та встановити, чи не пошкоджені контакти; перевірити їх чистоту; у вібраторах на 220/330В перевірити, чи правильно з'єднані кінці обмотки з напругою мережі;

- 4) переконатися, чи не відсиріли обмотки статору електродвигуна або трансформатору; при необхідності їх потрібно просушити та перевірити на пробій;
  - 5) приєднати усі струмопровідні жили кабелю; затягнути гайки контактівж; закрити кришку клемної коробки, щільно загорнути її гвинтами та закріпити вивідний кабель гвинтовим затискачем;
  - б) у регулюючих ексцентриках встановити потрібний кінетичний момент; з заводу вібратори випускають з ексцентриками, встановленими на максимальний кінематичний момент;
  - 7) у вібраторах з гнучким валом перевірити стан останнього; якщо потрапив бруд всередину броні, промити вал та змазати;
  - 8) забраний вібратор протягом декількох хвилин, слід обкатати вхолосту, поклавши під нього лист резины; обкатувати на твердій поверхні неможна.
- При збірці необхідно прослідкувати, щоб під головками кріпильних гвинтів, болтів та гайками були встановлені пружинні шайби для запобігання від самовідгвинчування.
- Після монтажу вібратора треба перевірити правильність всіх з'єднань, наявність заземлення, а потім перевірити механізм в роботі, заміряючи величини струму, споживаним вібратором.
- г) обслуговування стаціонарної установки. Якщо дотримані всі вимоги при збірці установки та правильно підібраний тип вібратора, догляд за останнім нескладний. В процесі роботи, в особливості в перший час, необхідно слідкувати, щоб не ослабли різьбові з'єднання та температура корпусу вібратора не перевищувала 55°C. Періодично потрібно перевіряти стан контактів в клемної коробці та відсутність пошкоджень в кабелі, котрі можуть з'явитися в результаті вібрацій.
- Строк служби вібратора значно стане більше при правильному використанні та хорошому догляді.
- д) правила техніки безпеки. До роботи з вібраторами повинні допускатись люди, ознайомлені з інструкцією по його експлуатації.
- Працювати з ручними вібраторами потрібно в резинових чоботах та рукавицях.
- Забороняється працювати з несправним вібратором.
- Вібратори на 220/380В та понижуючі трансформатори повинні бути заземлені. Без заземлення працювати неможна.
- Перед вмиканням вібратора потрібно переконатись в його справності та в відповідності під'єднуваної напруги.
- Не допускається монтувати вилку штепсельного з'єднання на кабелі, що йде від джерела живлення електрострумом. При монтажі штепсельного з'єднання на 220/330В до заземлюючих контактів повинно бути приєднані заземлюючі жили кабелів.
- Кришки на клемних коробках, вимикачів, над ексцентриками повинні бути закриті. Кабель повинен бути укріплений гвинтовими затискачами та не мати оголених жил.
- В блоках вібраторів над синхронізуючими валами повинні бути встановлені огороження, яка виключає можливість дотику руки до обертаючого валу.
- В амортизаторах вібробулав болти повинні бути правильно затягнуті. При втраті резиною еластичності її слід замінити.
- Робота вібромеханізмів не повинна надавати шкідливий вплив на обслуговуючий персонал; для цього величина вібрації не повинна перевищувати встановлених норм.
- Неможна довільно переробляти вібратори, так як при цьому нерідко нульова точка змінює положення та вібрація на рукоятці сильно зростають.

## 2.12. Висновки за розділом

Розроблено загальні вказівки з експлуатації

призначення;

перевірка технічного стану;

регулювання і налаштування;

підготовка до роботи;

правила експлуатації і технічне обслуговування млина;

2. Розроблено вимоги з техніки безпеки при роботі на млині.

## ВИСНОВКИ

Виконана кваліфікаційна робота присвячена рішенням актуальної інженерної задачі – зворотному інжинірингу робочого органу вібраційного млина MBV-0,7.

У вступі наведені загальні відомості про виробництво вібраторів, їх класифікація, дослідження та розробка теорії вібрації

У конструкторському розділі розглянуті: загальні відомості про вібратори та їх типи, також їх суть роботи. Детально розглянута конструкція робочого органу вібраційного млина MBV-0,7, проведений аналіз та зроблені розрахунки основних елементів приводу. У ході розрахунків визначили висоту амортизатора, яка дорівнює 90 мм., тому в якості матеріалу гнучких елементів прийmemo гумову суміш 2959 з твердістю 45-50 одиниць ДСТУ 263-53.

Розрахувавши стискання гумових амортизаторів отримали значення 0,01м. Отримане значення менше максимального значення амплітуди, тобто умова не виконується. Тому прийняли висоту амортизатора 0,2 м. і отримуємо значення стискання амортизатора 0,022 м. Тоді умова буде виконана. В ході розрахунків був прийнятий електродвигун 4Ф180М6У3 потужністю 18,5 кВт та частотою обертань 970 об/хв. Згідно розрахунками, обрали радіальний сферичний дворядний роликотдшипник середньої серії типу 3600, а саме 3622 та розрахували дебаланс на міцність. У експлуатаційному розділі були перевірені вимоги показників млина, розроблена інструкція з експлуатації, монтажу та обслуговування млина, а також запобіжні заходи для усунення несправностей

- [21:52:13] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://studopedia.org/7-156863.html>
- [21:52:27] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://school.home-task.com/kolivalnij-rux-mayatniki/>
- [21:52:27] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://school.home-task.com/kolivalnij-rux-2/>
- [21:52:41] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://helpiks.org/2-103680.html>
- [21:52:43] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://core.ac.uk/download/pdf/76238465.pdf>
- [21:52:51] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: [http://college.zsmu.edu.ua/upload/distance\\_learning-2/MS/1/FIZUKA\\_2\\_MS.pdf](http://college.zsmu.edu.ua/upload/distance_learning-2/MS/1/FIZUKA_2_MS.pdf)
- [21:53:10] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://vseosvita.ua/library/dinamika-obertovogo-ruhu-tverdogo-tila-2118.html>
- [21:53:13] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: [https://zp.edu.ua/uploads/kafedra\\_fizika/problems/Probl\\_mechanic.doc](https://zp.edu.ua/uploads/kafedra_fizika/problems/Probl_mechanic.doc)
- [21:53:22] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: [https://kafvp.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/03/prom\\_lb2.pdf](https://kafvp.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/03/prom_lb2.pdf)
- [21:53:23] Не загрузена страница из запроса №40-2 (30056 миллисек., превышен таймаут в 30000 миллисек.): <https://core.ac.uk/download/pdf/83143629.pdf>
- [21:53:23] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://xreferat.com/76/3034-1-viznachennya-parametr-v-elektroprivoda-verstata-z-chpk-z-p-dporoyadkovanim-regulyuvannyam-koordinat.html>
- [21:53:44] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=19718>
- [21:53:53] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: [http://ci.kpi.ua/METODA/nadiynist\\_praktuka.pdf](http://ci.kpi.ua/METODA/nadiynist_praktuka.pdf)
- [21:54:02] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: <https://sites.google.com/site/programuvanny/urok-8-masivi>
- [21:54:56] **Yah** **Найдено 1% совпадений** по адресу: [https://moz.gov.ua/uploads/1/9647-pro\\_20190115\\_1.pdf](https://moz.gov.ua/uploads/1/9647-pro_20190115_1.pdf)

- [21:55:14] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <https://ukrparts.com.ua/category/amortizatori/c-109/citroen/c5/>
- [21:55:23] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/23785/1/ITE\\_2015\\_3\\_Kondratets\\_Modeliuvannia.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/23785/1/ITE_2015_3_Kondratets_Modeliuvannia.pdf)
- [21:55:45] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/1/3/1-2-mz4.pdf>
- [21:56:04] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <https://infourok.ru/mehanichni-kolivannya-i-hvili-navchalniy-posibnik-z-fiziki-dlya-studentiv-i-kursu-vnz-iii-rivniv-akreditacii-1065971.html>
- [21:56:13] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <https://www.geteasysolution.com/1/5k=15>
- [21:56:14] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <https://www.totallybelted.com/1-15-16in-Round-1045-Steel-Shaft-No-Key-Unkeyed-p345.html>
- [21:56:48] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [https://stud.com.ua/84703/tehnika/markuvannya\\_pidshipnikov\\_kochennya](https://stud.com.ua/84703/tehnika/markuvannya_pidshipnikov_kochennya)
- [21:56:48] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <http://budtehnika.pp.ua/220-rozbirannya-mashin-agregatv.html>
- [21:56:49] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <http://www.znanius.com/2348.html>
- [21:57:00] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [http://ua.onlinemschool.com/math/formula/order\\_table/](http://ua.onlinemschool.com/math/formula/order_table/)
- [21:57:20] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [https://stud.com.ua/80738/geografiya/viznachennya\\_harakteristik\\_deformovanosti\\_kompresiynih\\_viprobuva\\_nnyah\\_dispersnih\\_gruntiv](https://stud.com.ua/80738/geografiya/viznachennya_harakteristik_deformovanosti_kompresiynih_viprobuva_nnyah_dispersnih_gruntiv)
- [21:57:24] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [http://tnp.motorsich.com/uploads/catalog/106pdf-LP\\_RE\\_elektronnyiy\\_dokument-1.pdf](http://tnp.motorsich.com/uploads/catalog/106pdf-LP_RE_elektronnyiy_dokument-1.pdf)
- [21:57:39] **Go** Найдено 1% совпадений по адресу: [https://www.google.ru/imgres?imgurl=https://ru-static.z-dn.net/files/d23/c632ababdbac32966fe5060dcef5d90.jpg&imgrefurl=https://znaniya.com/task/20688507&h=2448&w=3264&tbnid=4h-OZDsxmEKqM&q=\(+2+a+2+b+2+\)|+\(+a+2+p+p+\)&tbnh=113&tbnw=150&usg=AI4\\_kSiMjWcFA4yVloOk9YNwLKdTg6MjQ&vet=1&docid=Htv-FYzqDdZg8M&sa=X&ved=2ahUKEwjx6LXG-bDxAhXJIsKHQHWDI0Q9QEwCHoECAyQBA](https://www.google.ru/imgres?imgurl=https://ru-static.z-dn.net/files/d23/c632ababdbac32966fe5060dcef5d90.jpg&imgrefurl=https://znaniya.com/task/20688507&h=2448&w=3264&tbnid=4h-OZDsxmEKqM&q=(+2+a+2+b+2+)|+(+a+2+p+p+)&tbnh=113&tbnw=150&usg=AI4_kSiMjWcFA4yVloOk9YNwLKdTg6MjQ&vet=1&docid=Htv-FYzqDdZg8M&sa=X&ved=2ahUKEwjx6LXG-bDxAhXJIsKHQHWDI0Q9QEwCHoECAyQBA)
- [21:57:41] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <https://physics.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/Nuclear.pdf>
- [21:57:45] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [http://ibhb.chnu.edu.ua/uploads/files/soilscience/syllabus/syllabus\\_sci\\_research\\_in\\_agronomy.pdf](http://ibhb.chnu.edu.ua/uploads/files/soilscience/syllabus/syllabus_sci_research_in_agronomy.pdf)
- [21:58:05] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: <http://kulykvv.vk.vntu.edu.ua/file/posibn/115c6fbb6a652a204c3d43989540d1c.pdf>
- [21:58:20] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/S\\_D-I-II-gr\\_2013.pdf](https://udhtu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/S_D-I-II-gr_2013.pdf)
- [21:58:24] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [https://ulitka.kharkov.ua/wp-content/uploads/dstu/dstu\\_b\\_v.2.6-10-96.PDF](https://ulitka.kharkov.ua/wp-content/uploads/dstu/dstu_b_v.2.6-10-96.PDF)
- [21:58:50] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [https://lab-eurostandart.com/files/dstu\\_b\\_v-1-1-4-98.pdf](https://lab-eurostandart.com/files/dstu_b_v-1-1-4-98.pdf)
- [21:58:59] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [https://pidru4niki.com/1008062253670/ekonomika/pokazniki\\_konkurentospromozhnosti\\_tehnika\\_rozrahunku\\_harakteristika](https://pidru4niki.com/1008062253670/ekonomika/pokazniki_konkurentospromozhnosti_tehnika_rozrahunku_harakteristika)
- [21:58:59] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/for\\_lib/stats-tab.doc](http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/for_lib/stats-tab.doc)
- [21:59:04] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [https://ut.nmu.org.ua/ua/information-to-student/Методические\\_указания/ПР\\_ПП.pdf](https://ut.nmu.org.ua/ua/information-to-student/Методические_указания/ПР_ПП.pdf)
- [21:59:13] **Yah**Найдено 1% совпадений по адресу: [https://pidru4niki.com/80981/tehnika/rozrahunok\\_zaryadiv\\_pidrivannya\\_elementiv\\_konstruktsiy\\_tseqli\\_kaminy\\_betonu\\_zalizobetonu](https://pidru4niki.com/80981/tehnika/rozrahunok_zaryadiv_pidrivannya_elementiv_konstruktsiy_tseqli_kaminy_betonu_zalizobetonu)



[21:59:21] YahНайдено 1% совпадений по адресу: <https://core.ac.uk/download/pdf/84825941.pdf>

[21:59:26] YahНайдено 1% совпадений по адресу: <http://sb-keip.kpi.ua/article/download/47542/43625>

[21:59:59] YahНайдено 1% совпадений по адресу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0309874-18>

[22:00:00] YahНайдено 1% совпадений по адресу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0819-07>

[22:00:09] YahНайдено 1% совпадений по адресу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/feeem/4lagutin\\_vyprobuv\\_elektrmashin\\_transformatoriv/p30.htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/feeem/4lagutin_vyprobuv_elektrmashin_transformatoriv/p30.htm)

[22:00:59] YahНайдено 1% совпадений по адресу: [https://zakononline.com.ua/documents/show/65537\\_65537](https://zakononline.com.ua/documents/show/65537_65537)

[22:01:15] YahНайдено 1% совпадений по адресу: [https://optim.ua/media/upload/manual\\_ahb30-36\\_ukr\\_nev\\_pult.pdf](https://optim.ua/media/upload/manual_ahb30-36_ukr_nev_pult.pdf)

[22:01:17] YahНайдено 1% совпадений по адресу: <https://epicentrk.ua/ua/shop/kabel-i-provod/>

[22:01:23] YahНайдено 1% совпадений по адресу: <https://xreferat.com/76/403-1-proektuvannya-ta-dosl-dzhennya-mehan-zmu-privoda-konve-ra.html>

[22:01:25] YahНайдено 1% совпадений по адресу: <https://core.ac.uk/download/pdf/47229887.pdf>

[22:02:16] Тип проверки: *Стандартная* (Поисковики = Go,Ra,Bi,Yah)

[22:02:16] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 27%)**

[22:02:16] **Уникальность текста 97%** © (Проигнорировано подстановок: 0%)

---