

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка універсального побутового подрібнювача для приватних садиб

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

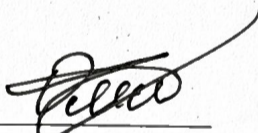
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

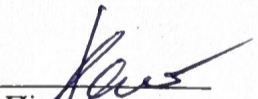
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-24-1


Підпис

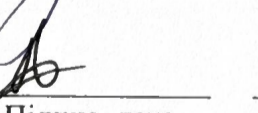
Олішевський А.Б.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

проф. Скиба М.Є.
Ініціали, прізвище

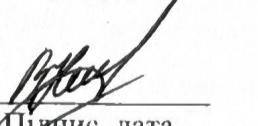
Нормоконтролер


Підпис, дата

С.І. Луцький
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

10 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр і назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр і назва
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доц. Неймак В.С.

10.12 .2025р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Олішевський Андрій Борисович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка універсального побутового подрібнювача для приватних садиб

керівник роботи проф. Скиба М.Є.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики подрібнювачів - аналогів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка універсального побутового подрібнювача для приватних садиб. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність універсального подрібнювача. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Пристрої для подрібнення. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Технологія подрібнення сировини. Документ технологічний (A1). Аркуш 3. Подрібнювач універсальний. Схема кінематична (A1). Аркуш 4. Універсальний подрібнювач. Вид загальний (A1). Аркуш 5. Універсальний подрібнювач з приводом. Складальне креслення (A1). Аркуш 6. Універсальний молотковий подрібнювач. Складальне креслення (A1) Аркуш 7. Подрібнювач універсальний. Схема електрична (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

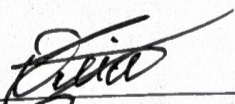
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

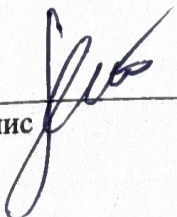
| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|-------------------------------|----------|
| 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи | до 28.10.24р. | |
| 2. Розробка універсального побутового подрібнювача для приватних садиб | до 15.11.24р. | |
| 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність універсального подрібнювача | до 17.11.24р. | |
| 4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу | до 12.12.24р. | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Студент


Підпис

А.Б. Олішевський
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

М.Є. Скиба
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові _____

Олішевський Андрій Борисович

2. Тема магістерської роботи Тема роботи Розробка універсального побутового подрібнювача для приватних садиб

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 95

5. Універсальні побутові подрібнювачі, побудовані на принципах комбінованої дії робочих органів, становлять перспективний напрям удосконалення обладнання для приватних господарств, оскільки забезпечують можливість переробки різноманітних видів сировини без зміни базової конструкції. Поєднання ударного, різального та стирального механізмів у межах одного агрегату дозволяє отримувати стабільну гранулометричну структуру продукту, зменшує втрати енергії на повторне подрібнення та скорочує час технологічного циклу. Завдяки цьому такі подрібнювачі характеризуються високою продуктивністю, універсальністю застосування та простотою обслуговування, що особливо важливо для приватних садиб і малих фермерських господарств. Отже, створення конструкції універсального подрібнювача з адаптивними робочими органами є актуальним завданням, спрямованим на підвищення енергоефективності, надійності та технологічної гнучкості обладнання для сільськогосподарських потреб.

В магістерській роботі розроблено конструкцію універсального побутового подрібнювача для приватних садиб. В першому розділі зроблено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи В другому здійснено розробку універсального побутового подрібнювача для приватних садиб. В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність універсального подрібнювача.

Підпис студента _____

" 10 " 12 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 18 " 12 2025 р.

Оцінка проекту ЕК відмінно 141/100

Рекомендації ЕК впровадження у виробництво

Особливі відмітки - _____

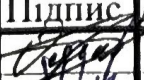



Технічний секретар _____

" 18 " 12 20 25 р.

ЗМІСТ

| | | стор. |
|-----|--|-------|
| | Вступ | 6 |
| 1 | Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи | 8 |
| 1.1 | Огляд існуючих технологій подрібнення | 8 |
| 1.2 | Огляд методів подрібнення сировини | 12 |
| 1.3 | Огляд параметрів, що впливають на процес подрібнення сировини | 16 |
| 1.4 | Огляд патентів по обладнанню для подрібнення | 18 |
| 1.5 | Огляд електросхем живлення обладнання для подрібнення | 28 |
| ✕6 | Висновки до першого розділу | 31 |
| 2 | Розробка універсального побутового подрібнювача для приватних садиб | 33 |
| 2.1 | Обґрунтування на розробку універсального побутового подрібнювача для приватних садиб | 33 |
| 2.2 | Вимоги до технології подрібнення сировини сільськогосподарського призначення | 35 |
| 2.3 | Розробка технології подрібнення сировини сільськогосподарського призначення | 37 |
| 2.4 | Розробка кінематичної схеми універсального подрібнювача | 48 |
| 2.5 | Розробка конструкції універсального подрібнювача | 51 |
| 2.6 | Розробка електричної схеми універсального побутового подрібнювача | 56 |
| 2.7 | Принцип роботи побутового універсального подрібнювача | 59 |

МРМА25.00.00.000 ПЗ

| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | | | |
|----------|------|-------------|---|------|---|--------|-------|---------|
| Виконав | | Олішевський |  | | Розробка універсального побутового подрібнювача для приватних садиб Пояснювальна записка | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Перевір. | | Скиба |  | | | М | 4 | 95 |
| Н.контр. | | |  | | ХНУ гр.ЕТм-24-1 | | | |
| Затвер. | | Неймак |  | | | | | |

| | | |
|-----------------|---|----|
| 2.8 | Монтаж, експлуатація та ремонт універсального подрібнювача | 61 |
| 2.9 | Висновки до другого розділу | 63 |
| 3 | Розрахунки, що підтверджують працездатність універсального подрібнювача | 65 |
| 3.1 | Вихідні дані для розрахунків | 65 |
| 3.2 | Розрахунок елементів ротора подрібнювача | 66 |
| 3.3 | Розрахунок міцності молотка універсального подрібнювача | 72 |
| 3.4 | Розрахунок продуктивності молоткової дробарки | 75 |
| 3.5 | Розрахунок потужності електродвигуна | 76 |
| 3.6 | Розрахунок продуктивності дискового подрібнювача | 77 |
| 3.7 | Розрахунки клинопасової передачі | 78 |
| 3.8 | Розрахунок вала на міцність | 83 |
| 3.9 | Перевірочний розрахунок вала на витривалість | 86 |
| 3.10 | Розрахунок шпонкових з'єднань | 89 |
| 3.11 | Перевірка на довговічність підшипників кочення | 90 |
| 3.12 | Висновки до третього розділу | 91 |
| | Висновки | 92 |
| | Перелік джерел посилання | 93 |
| | Додаток А | |

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу вимагає впровадження ефективних, економічно обґрунтованих та технологічно надійних технічних засобів для первинної обробки сировини [1]. Одним із ключових етапів підготовки кормів, технічних культур та побутових органічних відходів є процес подрібнення, від якого залежить якість подальших технологічних операцій, рівень засвоюваності кормів тваринами, зручність транспортування та можливість використання сировини у різних виробничих циклах. Незважаючи на широкий спектр існуючого обладнання, в умовах приватних господарств та малих фермерських підприємств все ще спостерігається потреба у компактних, енергоощадних і багатфункціональних подрібнювачах, здатних обробляти різні види матеріалів - зернові, корене-бульбоплоди, листостеблову масу тощо.

Більшість стандартних промислових подрібнювачів орієнтовані на переробку одного виду сировини та вимагають значних енергетичних витрат або складного технічного обслуговування. Універсальні ж побутові подрібнювачі, що представлені на ринку, часто мають обмежену продуктивність, недостатній ресурс роботи робочих органів чи не забезпечують необхідної якості кінцевого продукту. Тому розроблення сучасного універсального побутового подрібнювача, який поєднує в собі надійність, простоту конструкції та високі технологічні показники, є актуальною інженерною задачею.

Аналіз існуючих технологічних рішень, способів подрібнення та сучасних патентних розробок показує, що ефективність обладнання визначається не лише якістю робочих органів, але й правильним поєднанням кінематичних, геометричних та конструктивних параметрів. У цьому контексті важливим є забезпечення рівномірності навантаження, зниження питомих енерговитрат, покращення гранулометричного складу продукту та підвищення довговічності елементів подрібнювального механізму.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Метою даної магістерської роботи є розробка універсального побутового подрібнювача для приватних садиб, який здатний ефективно подрібнювати різні види сировини, забезпечуючи оптимальний баланс між продуктивністю, енергоефективністю та простотою експлуатації.

Таким чином, дана робота спрямована на створення універсального, технологічно безпечного подрібнювального обладнання, що відповідає сучасним вимогам енергоощадності та функціональної гнучкості.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 7 |

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Огляд існуючих технологій подрібнення

Подрібнення твердих матеріалів є технологічною операцією, під час якої за рахунок дії зовнішніх сил відбувається руйнування структури тіла та його поділ на частини. Руйнування настає в момент, коли зовнішнє навантаження перевищує сили молекулярного зчеплення частинок. У технічній практиці використовують терміни розмол, дроблення, різання, подрібнення, які відрізняються за характером навантаження, областю застосування та кінцевим гранулометричним складом продукту. Так, у гірничій промисловості «дроблення» пов'язують із грубим поділом матеріалу, тоді як у сільському господарстві цей термін здебільшого асоціюють з роботою молоткових дробарок, що дають значну частку крупної фракції. Операція різання традиційно використовується під час переробки коренебульбоплодів і листостеблової сировини за допомогою ножових механізмів [2].

Для подрібнення коренебульбоплодів застосовують декілька груп машин, які класифікують за призначенням та характером впливу робочих органів на матеріал. До універсальних належать машини, здатні переробляти різні види сировини; спеціальні – оптимізовані суто під коренеплоди; комбіновані – поєднують подрібнення із додатковими технологічними операціями (змішуванням, перетиранням тощо). Спеціальні машини забезпечують вищу якість подрібнення та меншу енергоємність, оскільки їхня конструкція максимально адаптована до властивостей коренеплодів.

Залежно від конструкції та принципу взаємодії робочих органів із матеріалом, виділяють такі типи подрібнювачів [2]:

- терткові (лускоподібні) – забезпечують зішкрібання стружки;
- ножові – працюють за принципом різання;
- молоткові та штифтові – руйнують матеріал ударною дією;

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- комбіновані – поєднують декілька механізмів руйнування.

Найкращі показники якості подрібнення при мінімальних енерговитратах демонструють коренерізки, оскільки процес різання є найменш енерговитратним серед механічних способів руйнування. Деяко гірші показники мають коренетерки, для яких важливим є стан ножів та чистота сировини. Молоткові та штифтові подрібнювачі є більш універсальними, проте поступаються спеціалізованим машинам за якістю продукту та питомими енергетичними витратами.

Класифікація коренерізок.

За конструкцією коренерізки поділяються на (рис. 1.1):

- вертикально-дискові,
- горизонтально-дискові,
- барабанні,
- циліндричні (відцентрові).

Їхню ефективність оцінюють за коефіцієнтом застосування ножів K_n . Вищі значення K_n відповідають більшій пропускну здатності ріжучого апарата та продуктивності машини. Типові значення коефіцієнта становлять [2]:

- горизонтально-дискові ($K_n = 0,7 \dots 0,8$),
- відцентрові ($K_n = 0,3 \dots 0,4$),
- барабанні ($K_n = 0,1 \dots 0,15$).

Горизонтально-дискові коренерізки використовують найчастіше через простоту конструкції та комфортну експлуатацію. Відцентрові конструкції забезпечують високу продуктивність – завдяки можливості встановлення багатьох ножів, що зумовлює їх застосування в харчовій та цукровій промисловості.

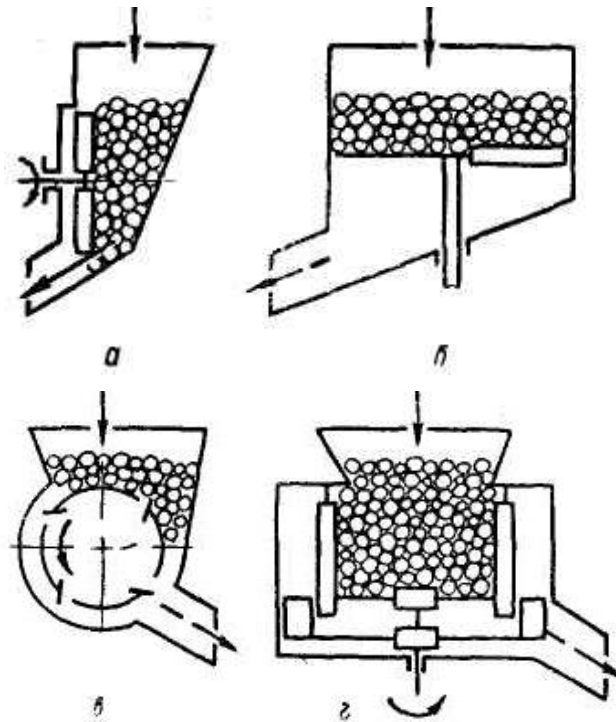
Усі технологічні схеми подрібнення ґрунтуються на чотирьох базових принципах механічної дії (рис. 1.2).

Основні способи подрібнення матеріалів

- роздавлювання,
- перетирання,
- розбивання (удар),

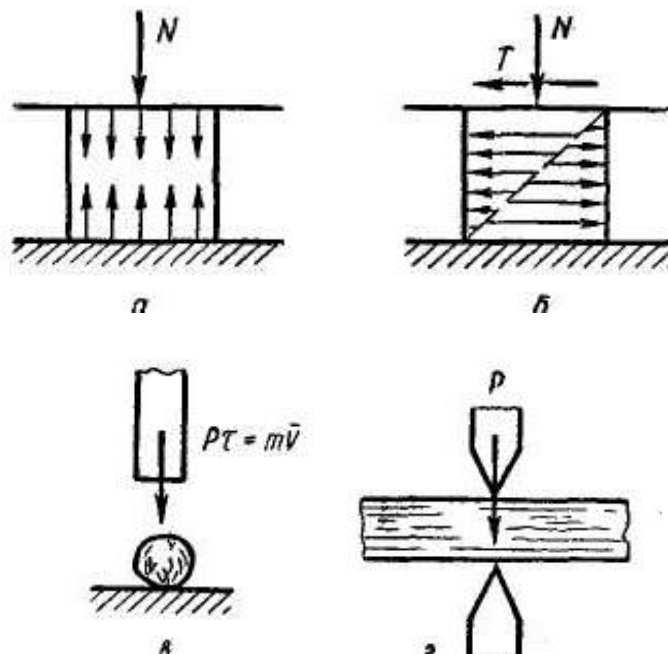
| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- різання.



а – вертикально-дисківа; б – горизонтально-дисківа;
в – барабанна; г – відцентрова (циліндрична)

Рисунок 1.1 – Типи коренерізків:



а – роздавлювання; б – перетирання; в – розбивання; г – різання

Рисунок 1.2 – Основні способи подрібнення матеріалів:

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

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
10

Кожен спосіб характеризується власним типом напруженого стану матеріалу та різною енергоємністю процесу. Роздавлювання створює всебічний стиск, що призводить до руйнування переважно крихких матеріалів; перетирання супроводжується дотичними напруженнями та об'ємною деформацією; розбивання забезпечує руйнування за короткий час шляхом динамічного удару; різання є найбільш ефективним способом для матеріалів із великою пластичністю.

У практиці інтенсивність руйнування визначається формою, розмірами, орієнтацією та швидкістю руху робочого органа відносно матеріалу. Саме конструкція інструмента визначає, які напруження (дотичні, нормальні, розтягальні) домінуватимуть у процесі подрібнення. Дослідження показують, що незалежно від механізму зовнішнього впливу руйнування матеріалу зумовлене перевищенням місцевої міцності за дотичними або розтягальними напруженнями [2].

Особливості способу подрібнення визначають також форму та дисперсність отриманих частинок. Наприклад:

- дуже дрібні (пилоподібні) фракції найпростіше отримати під час перетирання;
- рівномірний гранулометричний склад формують високошвидкісні удари;
- різання забезпечує мінімальний вміст пилу та незначне виділення соку при подрібненні коренеплодів;
- статичні методи (роздавлювання) є менш ефективними через високі енергетичні втрати.

Таким чином, вибір технології подрібнення визначається типом сировини, вимогами до фракційного складу продукту та допустимою енергоємністю процесу. У сільськогосподарських умовах пріоритет надають ножовим та комбінованим системам, які дозволяють отримувати продукт високої якості при оптимальних витратах енергії.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

1.2 Огляд методів подрібнення сировини

Подрібнення сировини сільськогосподарського призначення є критично важливою технологічною операцією, яка забезпечує необхідну дисперсність матеріалу для подальших процесів приготування кормів, переробки рослинної продукції або підготовки біомаси. Ефективність подрібнення визначається не лише конструкцією обладнання, але й правильно обраним методом дії на матеріал. Вибір конкретного способу обумовлений фізико-механічними властивостями сировини, її формою, вологістю, щільністю та вимогами до кінцевого гранулометричного складу продукту [3-5].

У технічній літературі виділяють чотири основні методи подрібнення: роздавлювання, перетирання, ударне розбивання, різання. Крім них існують комбіновані способи, що поєднують дію двох або більше силових механізмів, забезпечуючи підвищення продуктивності та адаптацію процесу до широкого спектру сировини. Нижче наведено огляд основних методів з аналізом їх застосування.

1.2.1 Подрібнення шляхом роздавлювання

Роздавлювання базується на прикладанні нормальної сили до матеріалу, розміщеного між двома робочими поверхнями. Під дією навантаження частинки зазнають стискання, а при перевищенні межі міцності відбувається руйнування. Метод є ефективним для:

- крихких матеріалів (зерно, сухі корми, гранули);
- структурованих тіл з низькою пластичністю.

При роздавлюванні виникають переважно нормальні напруження, а руйнування відбувається по площинах з максимальними розтягальними напруженнями. Цей метод характерний для вальцьових дробарок, пресів та обладнання для попереднього подрібнення коренеплодів. Перевагами методу є простота конструкції та низькі витрати енергії, проте він не забезпечує якісного тонкого подрібнення.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

1.2.2 Подрібнення шляхом перетирання

Перетирання виникає в умовах, коли матеріал притискається до поверхні робочого органа, а руйнування зумовлене дотичними напруженнями. Як правило, застосовується у пристроях з рифленими поверхнями, абразивними елементами або при малих зазорах між робочими органами.

Метод ефективний для:

- м'яких або волокнистих матеріалів (листочестеблова маса, сіно);
- вологих та пластичних продуктів;
- тонкого подрібнення або доведення структури.

Перетирання дає можливість отримання дрібнодисперсного продукту, однак супроводжується високими енергетичними витратами та утворенням значної кількості пилу або м'язги, що небажано при підготовці кормів.

1.2.3 Ударне подрібнення (розбивання)

Удар є найпоширенішим методом подрібнення у молоткових та штифтових дробарках. Сутність процесу полягає у тому, що матеріал за дуже короткий проміжок часу зазнає динамічного навантаження:

- зосередженого удару, що діє на невелику площу;
- розподіленого удару, що спричиняє руйнування всього об'єму частинки.

Переваги ударного методу:

- висока продуктивність;
- можливість подрібнення твердих, сухих і забруднених матеріалів;
- хороша однорідність фракційного складу при великих швидкостях ротора.

Недоліки:

- підвищена енергоємність;
- можливість надмірного утворення пилу;

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- підвищені вимоги до балансування ротора та міцності молотків.

Ударне подрібнення особливо цінне при переробці зерна, сухих стеблових кормів, комбікормових сумішей та твердих фракцій рослинної сировини.

1.2.4 Подрібнення шляхом різання

Різання є найекономічнішим методом механічного руйнування, оскільки навантаження локалізується лише в зоні контакту ріжучої кромки з матеріалом. Для різання характерні мінімальні енергетичні втрати та значно краща якість кінцевого продукту.

Метод застосовують для:

- коренеплодів (буряк, морква, картопля);
- баштанових культур;
- соковитих кормів;
- листостеблової сировини.

Переваги:

- мінімальне виділення соку;
- рівномірність фракції;
- низькі енерговитрати;
- низька частка пиловидних фракцій.

Ножові подрібнювачі (дискові, барабанні, відцентрові) забезпечують найбільш якісний продукт і широко використовуються в аграрному секторі.

1.2.5 Комбіновані методи подрібнення

Багато сучасних подрібнювачів поєднують два або більше способів механічної дії. Комбіновані методи дозволяють:

- підвищити універсальність обладнання;
- зменшити енергоємність;

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- покращити якість фракційного складу;
- адаптувати технологію до різних типів сировини.

Прикладом можуть бути:

- шнеково-ножові подрібнювачі, де поєднується стискання та різання;
- молотково-терткові механізми, що забезпечують ударне руйнування з подальшим доведенням частинок;
- дискові подрібнювачі з регульованим притиском, де одночасно реалізуються різання та часткове перетирання.

Такі поєднання дозволяють розширити функціональність обладнання та забезпечити стабільний технологічний процес при переробці змішаної або неоднорідної сировини.

1.2.6. Вибір методу подрібнення для універсальних подрібнювачів

Універсальні подрібнювачі побутового та фермерського призначення повинні працювати з різними видами сировини, зокрема:

- зерновими культурами,
- коренеплодами,
- листостебловою масою,
- сухими та вологими кормами.

Тому основні вимоги до технології подрібнення включають:

- стабільність функціонування при зміні властивостей матеріалу;
- безпеку експлуатації;
- можливість регулювання фракційного складу;
- мінімальну енергоємність;
- обмежені габарити та масу обладнання;
- простоту технічного обслуговування.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 15 |

З огляду на це оптимальною є реалізація комбінованих методів: ударного (для зерна), різального (для коренеплодів) і валкового або роторного подрібнення (для листостеблової сировини).

Огляд методів подрібнення показує, що кожен спосіб має власну область раціонального застосування, зумовлену властивостями матеріалу та вимогами до структури кінцевого продукту. Найвищу якість подрібнення забезпечують ножові машини, найвищу універсальність – ударні та комбіновані системи, найменшу енергоємність – операції різання. Для побутових універсальних подрібнювачів найбільш доцільним є поєднання декількох методів, що забезпечує розширення функціональних можливостей і підвищення ефективності роботи.

1.3 Огляд параметрів, що впливають на процес подрібнення сировини

Ефективність процесу подрібнення сировини сільськогосподарського призначення визначається сукупністю параметрів, які охоплюють фізико-механічні властивості матеріалу, технологічні режими роботи обладнання, конструктивні характеристики робочих органів і умови його експлуатації. Від правильного вибору цих параметрів залежить продуктивність машини, якість кінцевого продукту, енергоємність операції та довговічність подрібнювальних механізмів. Оскільки універсальні подрібнювачі повинні працювати з різноманітною сировиною, включаючи зерно, коренеплоди та листостеблову масу, розуміння факторів, що впливають на подрібнення, є ключовим при проектуванні обладнання.

Фізико-механічні властивості матеріалу визначають характер його руйнування під дією робочих органів. Міцність та твердість сировини встановлюють раціональний метод подрібнення: крихкі матеріали оптимально руйнувати ударом або роздавлюванням, тоді як пластичні та вологі коренеплоди ефективніше обробляти різанням. Значну роль відіграє вологість матеріалу, оскільки її підвищення спричиняє злипання частинок, налипання на робочі поверхні та нерівномірне подрібнення, що збільшує опір руху і відповідно енергетичні витрати. Щільність

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

тканини та її внутрішня структура впливають на характер напружень у матеріалі: однорідні матеріали подрібнюються рівномірніше, тоді як волокнисті й неоднорідні маси потребують комбінованої дії різання та перетирання. Геометричні розміри вихідного продукту є важливими під час подрібнення коренеплодів: великі за розмірами елементи вимагають більших початкових зусиль і можуть створювати ударні навантаження на робочі органи. Наявність твердих домішок значно ускладнює процес та викликає небезпечні перевантаження, здатні призвести до швидкого зносу або руйнування ножів і молотків.

Технологічні параметри визначають режим подрібнення та впливають на продуктивність і якість кінцевої фракції. До найбільш значущих належить швидкість обертання робочого органа, яка формує механізм руйнування матеріалу: при низьких швидкостях переважає роздавлювання, при середніх - комбіноване подрібнення, а при високих - ударна дія. Важливим є також рівномірність подачі сировини: надмірне подавання призводить до перевантаження системи, забивання сит та зростання енергоємності, тоді як недостатня подача знижує продуктивність. Регулювання зазорів між робочими частинами визначає ступінь подрібнення та рівномірність фракції, а тривалість перебування матеріалу в камері подрібнення впливає на кількість пиловидних частинок та частку м'язги, що особливо актуально при подрібненні соковитих кормів. Температура процесу також є важливою, оскільки перегрівання спричиняє втрату вологи та зміну структури продукту.

Конструктивні характеристики обладнання значною мірою визначають результат процесу подрібнення. Тип робочого органа задає основний механізм руйнування матеріалу: молоткові ротори формують ударну дію та забезпечують універсальність, ножові диски реалізують економічне та якісне різання, а терткові поверхні забезпечують дрібнодисперсне перетирання. Геометричні параметри ротора - діаметр, довжина, кількість та маса молотків чи ножів — впливають на ударну енергію та пропускну здатність машини. Система сит задає кінцеву дисперсність продукту, а розміри та форма отворів визначають частку дрібної фракції.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Маса та матеріал ножів або молотків впливають на стійкість до абразивного зношування, а спосіб видалення подрібненого матеріалу визначає рівномірність фракційного складу та стабільність роботи.

Експлуатаційні фактори, такі як стан ножів і молотків, натяг клинових пасів, надійність підшипникових опор та рівномірність подачі матеріалу, безпосередньо визначають безвідмовність і довговічність подрібнювача. Несправності або зношення цих вузлів призводять до зростання вібрацій, підвищення навантаження на привід, зниження якості подрібнення та загального ресурсу машини. Ефективність експлуатації залежить також від правильності підготовки сировини - очищення від домішок та регулювання її вологості, що дозволяє мінімізувати навантаження на вузли і забезпечити стабільний технологічний процес.

Між зазначеними параметрами існує тісний взаємозв'язок. Підвищення швидкості ротора збільшує продуктивність, але водночас підвищує енергоємність та зношуваність молотків. Зменшення діаметра сит забезпечує дрібнішу фракцію, проте знижує пропускну здатність і потребує більшої потужності приводу. Збільшення зазорів між ножами і декою підвищує продуктивність, але знижує якість різання та однорідність продукту. Тому вибір параметрів подрібнення здійснюється з урахуванням компромісу між якістю, енергоефективністю та продуктивністю, що особливо важливо для універсальних подрібнювачів, які повинні бути адаптивними до різних видів сировини та режимів роботи.

1.4 Огляд патентів по обладнанню для подрібнення

З метою обґрунтування вибору конструктивної схеми універсального побутового подрібнювача доцільно виконати аналіз уже існуючих технічних рішень, захищених авторськими свідоцтвами та патентами. Огляд патентної інформації дозволяє оцінити рівень розвитку обладнання для подрібнення кормів, визначити основні тенденції удосконалення молоткових дробарок та пристроїв для подрібнення волокнистої сировини, виявити типові конструктивні недоліки й переваги

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

окремих схем, а також окреслити напрями, реалізовані в розроблюваній конструкції. Нижче наведено узагальнений технічний аналіз трьох характерних рішень, які стосуються молоткових дробарок і пристроїв для подрібнення кормів і можуть бути використані як прототипи або аналоги при проектуванні універсального подрібнювача [6–8].

1.4.1 А.С. № 1518008 А1, В02 С 13/04. Молоткова дробарка [6]

Винахід за авторським свідоцтвом № 1518008 А1 відноситься до молоткових дробарок для подрібнення зерна і може бути використаний у сільському господарстві та комбікормовій промисловості. Основною метою розробки є зниження питомих енерговитрат на подрібнення та отримання продукту з вирівняним гранулометричним складом, тобто з більш вузьким діапазоном розмірів частинок, що особливо важливо при виробництві комбікормів.

На рис. 1.3 (аркуш [МРМА25.00.00.000ДО]) наведено вертикальний розріз молоткової дробарки по ширині робочої камери та розріз А–А, що ілюструє взаємне розташування ротора, молотків і решета.

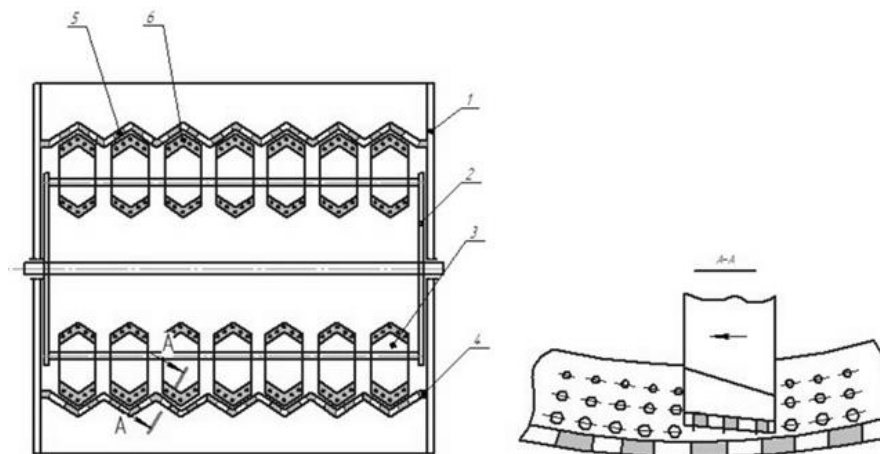


Рисунок 1.3 – Молотковий подрібнювач

Конструктивно молотковий подрібнювач складається з корпусу 1, у якому розташовано ротор 2 із шарнірно підвішеними молотками 3, а також решето 4, на

внутрішній поверхні якого виконано рифлі 5 у вигляді кільцевих канавок. Рифлі 5 мають трикутниковий профіль, що забезпечує інтенсивну локалізацію напружень у зоні контакту частинок з поверхнею решета. Особливістю є те, що молотки 3 виготовлені за формою кільцевих канавок, а їхні робочі грані 6 мають пускоподібну поверхню з лускою 7, відігнутою в бік решета 4. Така геометрія робочої кромки забезпечує утворення гострого кута з дотичною, проведеною до утворюючих канавок решета 4, що сприяє переважанню процесів різання та сколювання над перетиранням.

Отвори 8 у решеті 4 виконані з розмірами, які збільшуються в міру віддалення від осі обертання ротора 2. Це конструкторське рішення вирівнює умови виходу частинок із зони подрібнення по всій довжині решета: частинки, які просуваються повітряно-продуктовим потоком, у різних ділянках робочої поверхні мають приблизно однакову ймовірність потрапляння в отвір, коли їхній розмір досяг потрібної величини.

Технологічний процес роботи даної дробарки можна описати так. Зерно подається в зону подрібнення через завантажувальний пристрій і потрапляє в простір між молотками 3 та рифлями 5 решета 4. У міру обертання ротора 2 зазор між робочими гранями 6 молотків 3 і рифлями 5 зменшується в напрямі, протилежному обертанню ротора. Спочатку повітряно-продуктова суміш ущільнюється, а при подальшому просуванні частинки продукту заклинюються в звуженому зазорі між робочою гранню молотка і рифлями решета. У цих умовах реалізується переважно механізм різання й сколювання, що є більш енергоефективним порівняно з простим перетиранням.

Завдяки тому, що розміри отворів 8 у решеті збільшуються при віддаленні від осі ротора 2, умови їх заповнення подрібненим матеріалом стають більш однорідними. Це знижує ймовірність того, що частинки, які вже досягли необхідного розміру, продовжуватимуть зазнавати ударів і перетирання, тобто усувається

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

переподрібнення. У результаті формується продукт із вирівняним гранулометричним складом, зменшується частка пиловидних фракцій та покращується структурна однорідність корму.

Важливою деталлю є пускоподібна форма робочих граней молотків 3 з лускою 7, відігнутою у бік решета. Така поверхня створює сприятливі умови для видалення дрібних фракцій та пилу із зони інтенсивного подрібнення. Дрібні частинки не затримуються між молотками та решетом, а швидко виносяться повітряним потоком через отвори 8. Це запобігає їхньому переподрібненню, яке є не лише енергетично не вигідним, а й небажаним із зоотехнічної точки зору (надмірна кількість пилу погіршує поїдання корму тваринами та може провокувати респіраторні захворювання).

Застосування описаного технічного рішення дає змогу, за даними авторів, знизити питомі витрати енергії на 15–20% і зменшити вміст пиловидних фракцій у кінцевому продукті на 10–15%, одночасно забезпечуючи більш рівномірний гранулометричний склад [6]. Таке поєднання конструктивних особливостей ротора, молотків і решета робить дану дробарку привабливою як базовий варіант для подальшої модернізації в напрямі універсального подрібнювача побутового призначення.

Формула винаходу сформульована таким чином.

Молоткова дробарка, яка складається з корпусу, встановленого в ньому ротора з шарнірно рухомими молотками і решета з рифлями у вигляді кільцевих канавок, відрізняється тим, що, з метою зниження питомих витрат енергії і отримання продукту з вирівняним гранулометричним складом, рифлі решета мають трикутниковий профіль, а молотки виготовлені за формою кільцевих канавок, причому їхні робочі грані мають пускоподібну поверхню з лускою, відігнутою в бік решета, та утворюють гострий кут із дотичною, проведеною до утворюючих канавок решета. При цьому отвори в решеті виконані з розмірами, що зростають у міру віддалення їх від осі обертання ротора.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

1.4.2 А.С. № 612694, В02 С 13/04. Пристрій для подрібнення кормів [7]

Другий розглядуваний винахід за авторським свідоцтвом № 612694 стосується обладнання для подрібнення кормів, насамперед сіна та соломистих матеріалів. В основу закладено завдання підвищення рівномірності навантаження на вал ротора молоткового подрібнювача при роботі з ущільненими грубими кормами, що особливо актуально для тривалої експлуатації обладнання в умовах фермерських господарств і комбикормових ліній [7].

Відомі подрібнювачі цієї групи, як правило, включають корпус з розташованим у ньому ротором із молотками, деку з ребрами на внутрішній поверхні, а також завантажувальні та розвантажувальні пристрої. Недоліком подібних конструкцій є нерівномірний розподіл ударних навантажень по довжині вала ротора, що спричиняє локальне перевантаження окремих зон, підвищені вібрації та прискорений знос підшипників, опор і елементів кріплення молотків.

Найбільш близьким прототипом до розглядуваного рішення є пристрій для подрібнення кормів, який містить ротор з молотками, корпус, деку та решето, на яких встановлено ряди контрмолотків. У такій схемі кормова маса, що транспортером подається в простір між декою та ротором, захоплюється молотками та підтягується по деці до першого ряду контрмолотків. У цій зоні відбувається її первинне подрібнення на фракції, довжина яких приблизно відповідає відстані між контрмолотками. При подальшому переміщенні по деці та решету маса повторно взаємодіє з наступними рядами контрмолотків, що забезпечує поетапне доведення продукту до потрібної довжини.

Недоліком такого рішення є те, що при однаковому кроці встановлення контрмолотків у кожному ряду (рівному кроку розташування молотків ротора) основне ударне навантаження припадає на перший ряд контрмолотків, особливо під час подрібнення щільних грубих кормів. Наступні ряди значною мірою працюють у режимі перетирання, що збільшує енергетичні втрати та не сприяє рівномірному розподілу навантаження по валу.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

У винаході [7] запропоновано конструктивне рішення, яке усуває зазначений недолік. На рис. 1.4 (аркуш [МРМА25.00.00.000ДО]) показано схему пристрою для подрібнення кормів та розгортку деки і решета з контрмолотками.

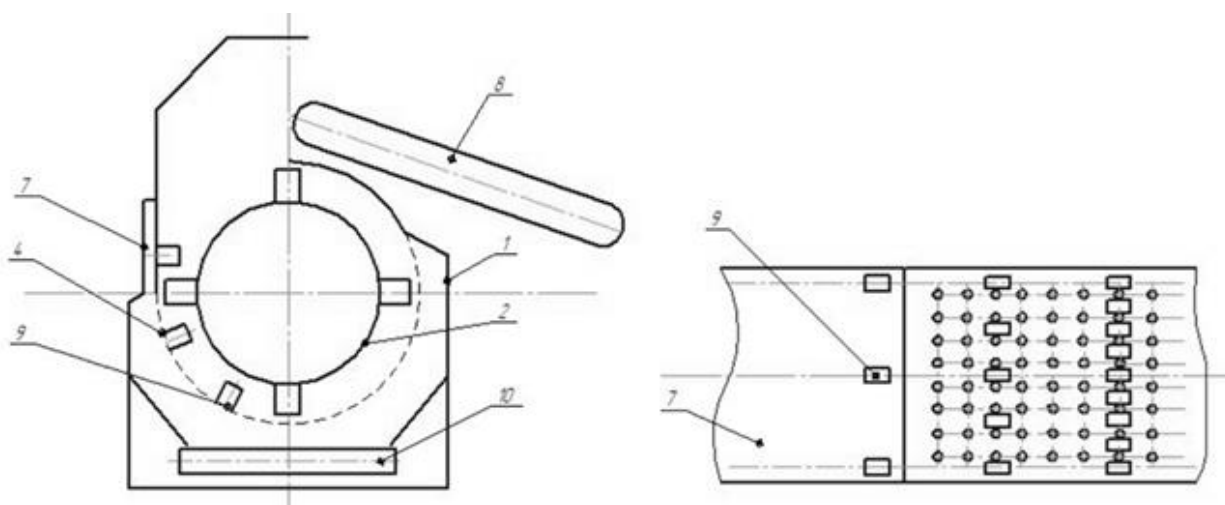


Рисунок 1.4 – Пристрій для змільчення кормів

Пристрій містить корпус 1, у якому встановлено ротор 2 з молотками. Під ротором розташовані дека 3 і решето 4, на яких закріплено контрмолотки 5. Особливість полягає в тому, що крок встановлення контрмолотків у першому ряді збільшений у кілька разів порівняно з кроком розташування молотків ротора, а в кожному наступному ряді він поступово зменшується в напрямі обертання ротора. В останньому ряді крок між контрмолотками стає рівним кроку молотків на роторі. У нижній частині корпуса під декою і решетом розташовано розвантажувальний транспортер 6, тоді як у верхній частині над ротором встановлено завантажувальний (падаючий) транспортер 7.

Технологічний процес роботи пристрою можна описати таким чином. Кормова маса транспортером 7 подається в простір між ротором 2 та декою 3. Молотки захоплюють матеріал і протягують його до першого ряду контрмолотків 5, де відбувається первинне подрібнення. Внаслідок збільшеного кроку в першому ряді

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

одночасно з контрмолотками взаємодіє менша кількість молотків, тому ударні навантаження розподіляються більш рівномірно в часі. Далі частково подрібнена маса просувається до другого та наступних рядів контрмолотків із меншим кроком, де зазнає додаткового подрібнення, причому інтенсивність взаємодії поступово зростає у напрямі руху продукту.

Процес завершується в зоні останнього ряду контрмолотків, де крок їх встановлення дорівнює кроку розташування молотків ротора, що забезпечує максимальний ступінь доведення фракції до потрібних розмірів. Кінцевий подрібнений продукт проходить крізь отвори решета 4 та надходить на розвантажувальний транспортер 6. Таким чином, подрібнення грубих кормів реалізується поетапно, із поступовим зростанням інтенсивності ударної взаємодії, що дозволяє уникнути пікових динамічних навантажень у першій зоні.

З конструктивної точки зору таке розташування контрмолотків забезпечує більш рівномірне навантаження на вал ротора по довжині. Це зменшує вібрацію, підвищує ресурс підшипникових вузлів, знижує ризик локальних перевантажень і полегшує умови роботи приводу. Крім того, енергія, що витрачається на подрібнення, використовується більш раціонально, оскільки значна частина роботи здійснюється в режимі контрольованих ударів, а не неефективного перетирання кормової маси між деками та контрмолотками.

Формула винаходу формулюється таким чином.

Пристрій для подрібнення кормів, який складається з корпусу, ротора з молотками, деки і решета із встановленими на них рядами контрмолотків, завантажуючого і розвантажуючого пристроїв, відрізняється тим, що, з метою підвищення рівномірності навантаження на вал ротора, крок встановлення контрмолотків у кожному наступному ряді зменшується в напрямі обертання ротора до значення, рівного кроку молотків.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 24 |

1.4.3 А.С. № 1491566 А1, В02 С 13/28. Молоткова дробарка [8]

Третій розглядуваний винахід за авторським свідоцтвом № 1491566 А1 стосується вдосконалення конструкції молоткових дробарок, призначених переважно для подрібнення зерна та листестеблових кормів. Основна мета розробки - збільшення міжремонтних інтервалів роботи за рахунок підвищення довговічності молотків, що є одним із найбільш зношуваних елементів подрібнювального обладнання [8].

У традиційних молоткових дробарках молотки виконуються у вигляді суцільних пластин або литих елементів, робочі кромки яких під час роботи піддаються інтенсивному абразивному та ударному зносу. Після досягнення граничного стану за зносом кромки молотки підлягають заміні або перестановці, що пов'язано з простим обладнанням та додатковими витратами. Крім того, нерівномірний знос по ширині молотка погіршує балансування ротора і збільшує вібрацію.

На рис. 1.5 (аркуш [МРМА25.00.00.000ДО]) наведено загальний вигляд ротора молоткової дробарки з удосконаленими молотками.

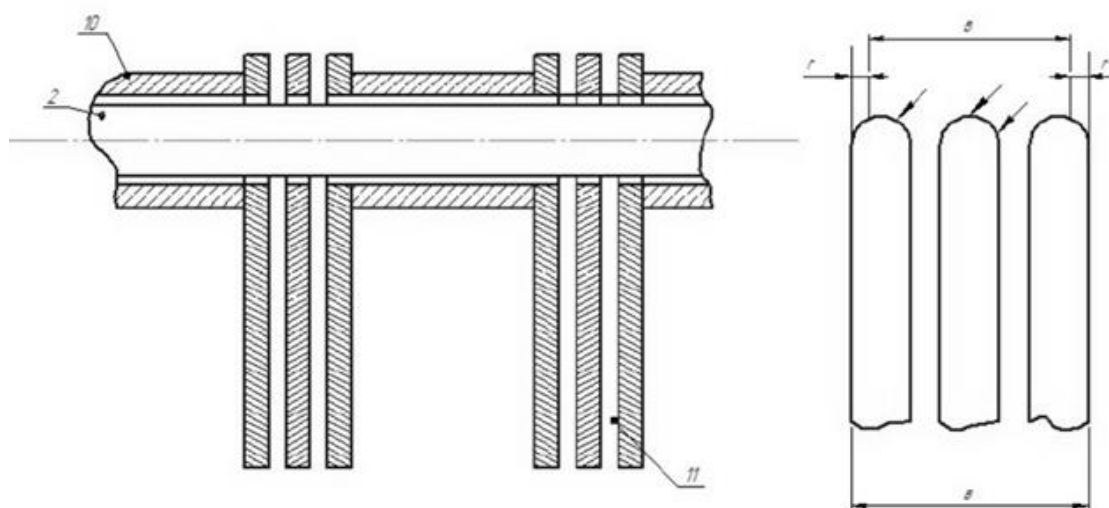


Рисунок 1.5 – Елементи молоткового подрібнювача

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

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
25

Дробарка включає ротор 1 з вмонтованими в нього осями 2, на яких із можливістю вільного обертання встановлені молотки. Молотки розташовані на фіксованій відстані один від одного за допомогою втулок 3 і складаються з пакета пластин 4, паралельних площині обертання молотка. Кожна пластина має власну робочу кромку 5, а між пластинами передбачено зазор А, величина якого регулюється втулками 3 залежно від потрібного розміру частинок подрібненої сировини.

Ключовою відмінністю є те, що пластини 4 в межах одного молотка установлені із можливістю незалежного повороту одна відносно одної. Під час роботи ротора, у процесі взаємодії з подрібнюваним матеріалом, окремі пластини можуть дещо розгортатися в площині обертання відповідно до локальних зусиль, що діють на їхні робочі кромки. У результаті цього знос кожної пластини відбувається більш рівномірно, формуючи дугоподібну форму робочої кромки, а загальна робоча поверхня Б молотка з часом зменшується до величини В, але при цьому ширина пасивних зон Г залишається мінімальною, особливо у випадку використання тонких пластин.

Важливою перевагою такої конструкції є те, що частинки матеріалу, зіскозуючи з пасивних зон Г, додатково взаємодіють з боковими поверхнями пластин, які також виконують функцію активних робочих поверхонь молотка. Таким чином, подрібнення відбувається не лише за рахунок удару по лобовій кромці, а й через повторні удари та перетирання об бокові грані, що підвищує інтенсивність руйнування без значного збільшення енерговитрат.

Установка працює таким чином. При обертанні ротора 1 молотки, сформовані з пакета пластин 4, під дією відцентрових сил займають стале радіальне положення. Під час зустрічі з потоком сировини окремі пластини можуть частково повернутися, адаптуючись до нерівномірностей потоку та твердості окремих фрагментів матеріалу. Це розосереджує ударне навантаження між кількома робочими кромками та запобігає концентрованому зносу однієї поверхні. Відповідно робочий ресурс одного комплекту молотків суттєво зростає, а міжремонтні терміни експлуатації дробарки збільшуються.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Крім підвищення довговічності, така схема має ще кілька позитивних ефектів. По-перше, рівномірніший знос по ширині молотка сприяє кращому балансуванню ротора, що зменшує вібрації й навантаження на підшипники. По-друге, наявність декількох тонких пластин замість однієї товстої дозволяє більш гнучко змінювати характеристики робочого органа шляхом часткової заміни окремих пластин або регулювання зазорів між ними. По-третє, активне залучення бокових поверхонь до процесу подрібнення підвищує загальну ефективність дробарки без суттєвого ускладнення конструкції.

Формула винаходу формулюється наступним чином.

Молоткова дробарка, що включає ротор із вмонтованими в нього осями, на яких із можливістю вільного обертання встановлені молотки, розташовані на фіксованій відстані один від одного і сформовані з пакета пластин, паралельних площині обертання молотка, відрізняється тим, що, з метою збільшення міжремонтних термінів роботи за рахунок підвищення довговічності молотків і зменшення загальної довжини їх робочих кромek, пластини в кожному молотку встановлено з можливістю незалежного обертання одна відносно одної.

Узагальнюючи наведений огляд патентів [6–8], можна відзначити, що основні напрями удосконалення обладнання для подрібнення кормів спрямовані на: зниження питомих енерговитрат шляхом оптимізації форми молотків і решета, забезпечення рівномірного гранулометричного складу продукту за рахунок раціональної організації робочої зони та структури потоків, підвищення рівномірності навантаження на вал ротора та довговічності молотків. Отримані з патентного аналізу технічні рішення доцільно враховувати при розробці універсального побутового подрібнювача, адаптуючи їх до умов роботи в приватних господарствах та до вимог щодо компактності, простоти обслуговування й багатofункціональності обладнання.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 27 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

1.5 Огляд електросхем живлення обладнання для подрібнення

Схеми живлення обладнання для подрібнення сировини є одним із ключових елементів його конструкції, оскільки саме вони забезпечують пуск, зупинку, регулювання режимів роботи та електричний захист приводу [9]. Від типу застосованої схеми живлення залежать енергоефективність, надійність, безпечність експлуатації подрібнювача, а також можливість його використання в умовах приватних садиб, фермерських господарств чи промислових підприємств. Для обладнання подрібнення найчастіше використовують електромеханічний привід на базі асинхронних електродвигунів, живлення яких здійснюється від однофазних або трифазних мереж змінного струму.

У сільськогосподарській практиці та побутових умовах поширені два основні варіанти виконання електроприводу: однофазний асинхронний двигун з конденсаторним пуском або робочим конденсатором (при живленні від мережі 220 В) та трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (при живленні від мережі 380 В). Універсальні подрібнювачі, орієнтовані на приватні господарства, часто виконують у двох модифікаціях - для однофазної та трифазної мереж, що розширює сферу їх застосування. При цьому для побутових установок характерна спрощена схема живлення з мінімальним набором апаратури керування, тоді як для стаціонарних агрегатів фермерського або кооперативного типу застосовують повноцінні силові й керуючі кола з автоматичним захистом і можливістю інтеграції у більш складні технологічні лінії.

Найпростішим варіантом є прямий пуск асинхронного двигуна від мережі за допомогою кнопкової станції і магнітного пускача. У такій схемі живлення використовується автоматичний вимикач або запобіжники для захисту лінії від коротких замикань, а також пускач із тепловим реле для захисту двигуна від перевантаження. Кнопка «Пуск» подає напругу на котушку пускача, яка замикає силові контакти та під'єднує двигун до мережі, а допоміжний контакт забезпечує само-

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

підхоплення. Кнопка «Стоп» розриває коло керування, після чого двигун знеструмлюється. Такі схеми є типовими для невеликих молоткових чи дискових подрібнювачів з потужністю до 2–3 кВт і повністю відповідають вимогам до побутового обладнання за простотою та надійністю.

Для трифазних електродвигунів у промислових подрібнювачах використовують також схеми пуску за схемою «зірка–трикутник». Ця конфігурація дозволяє знизити пускові струми, що є критичним при живленні від слабких мереж або при наявності кількох потужних споживачів на одній лінії. На першому етапі пуску обмотки статора з'єднані за схемою «зірка», що зменшує фазну напругу і відповідно пусковий струм, а після розгону двигуна до необхідної швидкості відбувається автоматичне або ручне перемикання на схему «трикутник», що забезпечує повну потужність приводу. Подібні рішення застосовуються у стаціонарних дробарках, зерноподрібнювачах та комбікормових установках середньої потужності.

Окрему групу становлять схеми живлення з використанням перетворювачів частоти. Частотне керування електроприводом забезпечує плавний пуск і зупинку, можливість регулювання частоти обертання робочого органу подрібнювача та, як наслідок, оптимізацію режиму подрібнення для різних видів сировини. Зменшення швидкості обертання дозволяє знижувати енергоспоживання при роботі з м'якшою сировиною, а також зменшувати ударні навантаження при запуску. При цьому підвищення частоти дає змогу реалізувати інтенсивне подрібнення для твердих матеріалів або при необхідності збільшення продуктивності. У сучасних комбікормових лініях та універсальних подрібнювачах промислового виконання частотні перетворювачі стають стандартним елементом силової схеми, тоді як у побутових агрегатах вони поки що застосовуються обмежено через вищу вартість.

З точки зору побутової експлуатації важливу роль відіграють схеми живлення з підвищеними вимогами до електробезпеки. До таких рішень належать використання пристроїв захисного відключення (ПЗВ), систем захисного заземлення та занулення, застосування понижувальних трансформаторів у колах керування, а

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

також розділення силового та керуючого ланцюгів. У більшості побутових і фермерських установок кола керування виконують на напрузі 24–110 В, тоді як силове коло приводу працює на напрузі 220 або 380 В. Це підвищує безпечність роботи оператора під час експлуатації, налаштування й технічного обслуговування подрібнювача.

Для малогабаритних подрібнювачів, призначених для індивідуальних господарств, характерними є спрощені схеми живлення однофазних двигунів із застосуванням пускозахисних реле та конденсаторів. Такі двигуни мають вбудований тепловий захист, а під'єднання до мережі виконується через побутову електричну розетку. Керування здійснюється однією або двома кнопками, а іноді - тумблерним вимикачем. Хоча ці схеми є менш гнучкими з точки зору регулювання режимів роботи, вони максимально прості для користувача, не вимагають спеціальної підготовки та не потребують складного технічного обслуговування.

Для обладнання більшої потужності (промислові та фермерські подрібнювачі) схеми живлення, як правило, включають: силове коло із автоматичним вимикачем, магнітним пускачем (або контактором) та тепловим реле; коло керування із кнопковими постами, можливістю підключення кінцевих вимикачів (оголодження, люки, кришки), а також блокувальних контактів для запобігання запуску при відкритій робочій зоні або знятих захисних елементах. Додатково можуть застосовуватися реле контролю фаз, реле часу та інші захисно-керуючі пристрої, що підвищують безпечність і надійність експлуатації.

З конструктивної точки зору схеми живлення тісно пов'язані з вимогами до мобільності та універсальності подрібнювача. Для стаціонарних установок силове обладнання (апаратура керування, автоматичні вимикачі, контактори, клеми) розміщують в окремій шафі керування, яка встановлюється на стіні або рамі. Для побутових компактних подрібнювачів елементи схеми живлення можуть бути інтегровані безпосередньо в корпус машини, а органи керування (кнопки «Пуск», «Стоп») виводяться на панель з урахуванням ергономічних вимог.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, огляд схем живлення обладнання для подрібнення показує, що основні напрямки їх розвитку пов'язані з: забезпеченням електробезпеки та надійного захисту електродвигуна; зниженням пускових струмів (через схеми «зірка–трикутник», частотні перетворювачі, м'які пускачі); можливістю регулювання швидкості обертання робочого органу залежно від виду сировини; інтеграцією блокувань і систем аварійного відключення. При розробці універсального побутового подрібнювача доцільно використати спрощену, але надійну схему живлення з магнітним пускачем, тепловим захистом, кнопковою станцією керування та необхідними блокуваннями, а для перспективних модифікацій - розглянути застосування частотного перетворювача для підвищення енергоефективності та адаптивності режимів подрібнення.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі проведено комплексний огляд технологічних, технічних та патентних рішень, які визначають сучасний стан і тенденції розвитку обладнання для подрібнення сільськогосподарської сировини. Проаналізовано основні способи механічного руйнування матеріалів - роздавлювання, перетирання, розбивання та різання - та встановлено, що їхня ефективність суттєво залежить від фізико-механічних властивостей сировини, виду робочого органу та схеми його взаємодії з матеріалом. Визначено, що оптимальний вибір принципу подрібнення забезпечує енергоефективність процесу, стабільну якість продукту та довговічність робочих елементів обладнання.

Проведений огляд машин для подрібнення коренебульбоплодів, зернових і листостеблових матеріалів показав, що спеціалізовані подрібнювачі забезпечують найвищу якість та мінімальні енерговитрати, тоді як універсальні агрегати є більш гнучкими, але потребують технічно обґрунтованих конструктивних рішень для досягнення високої продуктивності. Особливу увагу приділено порівнянню конструкцій коренерізок (дискових, барабанних, відцентрових), молоткових і

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

штифтових подрібнювачів, що дозволило обґрунтувати доцільність поєднання різних принципів подрібнення в універсальному обладнанні.

Окремо розглянуті параметри, які найбільше впливають на якість та інтенсивність подрібнення: геометрія робочого органа, швидкість різання або удару, зазори, форма решіт, фізичні властивості сировини та режим подачі. Ці фактори формують основу для подальших інженерних розрахунків, які забезпечують раціональне конструювання універсального подрібнювача.

Патентний аналіз дозволив визначити сучасні технічні тенденції в цій галузі: удосконалення робочих органів, зниження питомих витрат енергії, покращення гранулометричного складу продукту, рівномірність навантаження на ротор та підвищення довговічності конструктивних елементів. Розглянуті рішення підтверджують актуальність розробки нового універсального побутового подрібнювача, який поєднує функціональність, енергоефективність і простоту експлуатації.

Таким чином, результати першого розділу створюють науково-технічну основу для подальшого проєктування й розрахунків обладнання, а також чітко окреслюють вимоги, яким має відповідати розроблюваний універсальний подрібнювач.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

2 РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО ПОБУТОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА ДЛЯ ПРИВАТНИХ САДИБ

2.1 Обґрунтування на розробку універсального побутового подрібнювача для приватних садиб

Ефективне ведення підсобного господарства у приватних домогосподарствах значною мірою залежить від можливостей механізації процесів підготовки кормів та переробки сільськогосподарської сировини. Одним із найбільш трудомістких етапів є подрібнення різноманітних матеріалів - зерна, коренеплодів, листестебельних культур, які використовуються як кормові домішки або як основна складова кормових сумішей для свійських тварин. У більшості випадків власники приватних садиб виконують ці роботи вручну або використовують застаріле обладнання, що характеризується низькою продуктивністю, підвищеним енергоспоживанням та обмеженістю застосування.

На ринку наявні подрібнювачі, які, як правило, виконують лише одну технологічну операцію: або подрібнюють зерно, або нарізають коренеплоди, або рубають листестебельні матеріали. Це змушує власників утримувати кілька різних машин або адаптувати існуюче обладнання під нові завдання, що призводить до зниження надійності, прискореного зношення та додаткових витрат. Такі недоліки роблять використання однопрофільних подрібнювачів економічно не вигідним для приватного господарства.

Водночас сучасні умови ведення фермерства вимагають універсальних рішень, здатних забезпечити швидку зміну виду сировини та режимів подрібнення. Універсальний побутовий подрібнювач повинен поєднувати функції молоткового, дискового та валкового подрібнювачів, забезпечуючи адаптивність процесу та можливість конфігурації залежно від потреб користувача. Це дає змогу одному агрегату виконувати широкий спектр операцій без необхідності застосування додаткової техніки.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Актуальність розробки універсального подрібнювача також зумовлена необхідністю підвищення енергоефективності обладнання. Сучасні дослідження показують, що втрати енергії значно зростають при неправильному підборі режиму роботи або типу робочого органу. Раціональна конструкція універсального подрібнювача дозволяє мінімізувати шкідливі вібрації, забезпечити балансування ротора, зменшити втрати на тертя та забезпечити більш ефективне використання потужності електродвигуна. Це є економічно важливим фактором для приватних господарств із обмеженими ресурсами.

Крім того, розвиток особистих селянських господарств актуалізує питання екологічності та безпеки. Використання побутових подрібнювачів старого зразка супроводжується підвищеним рівнем шуму, пиловиділенням, відсутністю захисних кожухів, що створює небезпеку для оператора. Розробка нового універсального подрібнювача спрямована на усунення цих недоліків шляхом застосування сучасних матеріалів, удосконалених систем захисту та блокувань, а також оптимізованої конструкції робочої камери й бункерів.

Таким чином, розробка універсального побутового подрібнювача є технічно та економічно обґрунтованою, оскільки:

- забезпечує виконання декількох технологічних операцій одним агрегатом;
- підвищує продуктивність підсобного господарства;
- зменшує енергоспоживання та витрати на обслуговування;
- підвищує якість та однорідність подрібненого матеріалу;
- забезпечує безпечні умови експлуатації;
- сприяє комплексній механізації приватних садиб.

Універсальний подрібнювач дозволить підвищити ефективність дрібного фермерського виробництва, забезпечити доступність і простоту використання технологічного обладнання у побутових умовах.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

2.2 Вимоги до технології подрібнення сировини сільськогосподарського призначення

Подрібнення належить до базових операцій у технологічному процесі підготовки сировини сільськогосподарського призначення до згодовування тваринам та є визначальним етапом, що суттєво впливає на засвоюваність поживних речовин і загальну ефективність годівлі [10-15]. Фізико-механічні властивості подрібненого продукту, його фракційний склад і рівномірність диспергування безпосередньо впливають на інтенсивність перетравлення, швидкість проходження корму через травний тракт і темпи росту тварин. Ступінь подрібнення визначають за співвідношенням середнього розміру частинок до обробки до середнього розміру після подрібнення, що розраховується відповідно до формули 2.1:

$$\lambda = P/d \quad (2.1)$$

де P – середній розмір частинок до призначення;

d – середній розмір частинок після подрібнення.

Такий підхід дозволяє отримати кількісну характеристику процесу та забезпечує можливість порівняння різних типів дробарок і режимів їх роботи.

Залежно від технологічної потреби сировину сільськогосподарського призначення можуть подрібнювати до дрібної, середньої або великої фракції. Ці параметри регламентовані ДСТУ 4753:2007 «Техніка сільськогосподарська. Подрібнювачі грубих кормів. Загальні технічні вимоги», згідно з яким ступінь подрібнення оцінюють за залишком на контрольному ситі діаметром 3 мм. Дрібне подрібнення характеризується залишком не більше ніж 5%, середнє - близько 12%, а велике - до 30%. Така стандартизація забезпечує стабільність технологічного процесу та дозволяє одержувати корм, що відповідає зоотехнічним нормам для різних видів тварин.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 35 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Особливе значення має мінімізація частки пилоподібних частинок, менших за 0,25 мм. Надлишок таких фракцій свідчить про переподрібнення, що погіршує якість корму і може спричиняти негативні фізіологічні наслідки. Зокрема, згодовування надмірно дрібного корму призводить до зниження приросту живої маси на 10–15%, ускладнює процес жування та викликає порушення шлункового травлення. Небажаними є також ситуації, коли в кормі одночасно присутні занадто дрібні та великі частки, що створює нерівномірний гранулометричний склад і знижує поживну цінність корму. Найбільш ефективним є продукт із вузьким діапазоном розмірів частинок, оптимізованим відповідно до фізіологічних потреб конкретного виду тварин.

Для отримання корму високої та стабільної якості перевагу надають подрібнювачам ударно-стираючої дії, серед яких найбільш поширеними є молоткові дробарки. Вони забезпечують інтенсивне руйнування структури сировини за рахунок дії швидкообертючих молотків, а також дозволяють гнучко регулювати фракційний склад за допомогою зміни сит, частоти обертання ротора та форми робочих органів. У конструкції більшості молоткових подрібнювачів передбачене примусове видалення подрібненого матеріалу з камери подрібнення за допомогою повітряного потоку, що створюється ротором або ротором у поєднанні з вентилятором. Це сприяє рівномірності процесу, зменшує ймовірність забивання робочої зони та забезпечує стабільну продуктивність.

Ефективність роботи молоткових дробарок визначається низкою факторів, які поділяють на:

- технологічні,
- механічні,
- конструктивні.

До технологічних параметрів належать:

- вологість матеріалу,
- початковий розмір частинок,
- твердість,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- наявність сторонніх включень.

Механічні чинники охоплюють:

- швидкість обертання ротора,
- стан молотків,
- величину зазорів між робочими органами та ситом,
- рівномірність подачі сировини.

Конструктивні особливості включають:

- геометрію подрібнювальної камери,
- кількість і конфігурацію молотків,
- тип привідного механізму,
- характеристику вентиляційного каналу,
- систему очищення сит.

Невідповідність хоча б одного з цих параметрів призводить до погіршення гранулометричних показників та збільшення енергоспоживання.

Отже, для забезпечення високої ефективності процесу подрібнення сировини сільськогосподарського призначення необхідно комплексно враховувати вимоги до фракційного складу, конструкції подрібнювача, режимів його роботи та властивостей сировини. Дотримання нормативних рекомендацій і правильна організація технологічних операцій гарантують отримання якісного корму, сприяють підвищенню продуктивності тварин та забезпечують економічно доцільне використання подрібнювального обладнання в умовах приватних господарств.

2.3 Розробка технології подрібнення сировини сільськогосподарського призначення

2.3.1 Технологія подрібнення зерна [10-15]

Технологічний процес подрібнення зерна у побутовому подрібнювачі являє собою послідовність взаємопов'язаних операцій, кожна з яких визначає:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- рівномірність фракційного складу,
- продуктивність роботи,
- енергоефективність обладнання.

На якість отриманого продукту одночасно впливають технологічні, механічні та конструктивні фактори, що наведені відповідно на рисунках 2.1–2.3.



Рисунок 2.1 – Технологічні фактори, що впливають на ефективність роботи кормоподрібноувачів

Технологічні фактори охоплюють характеристики вихідної зернової маси: розмір частинок до подрібнення, вологість, сипучість, температуру та загальні фізико-механічні властивості. Від цих параметрів залежить стабільність надходження зерна у робочу камеру, інтенсивність його руйнування та рівномірність гранулометричного складу отриманого продукту.

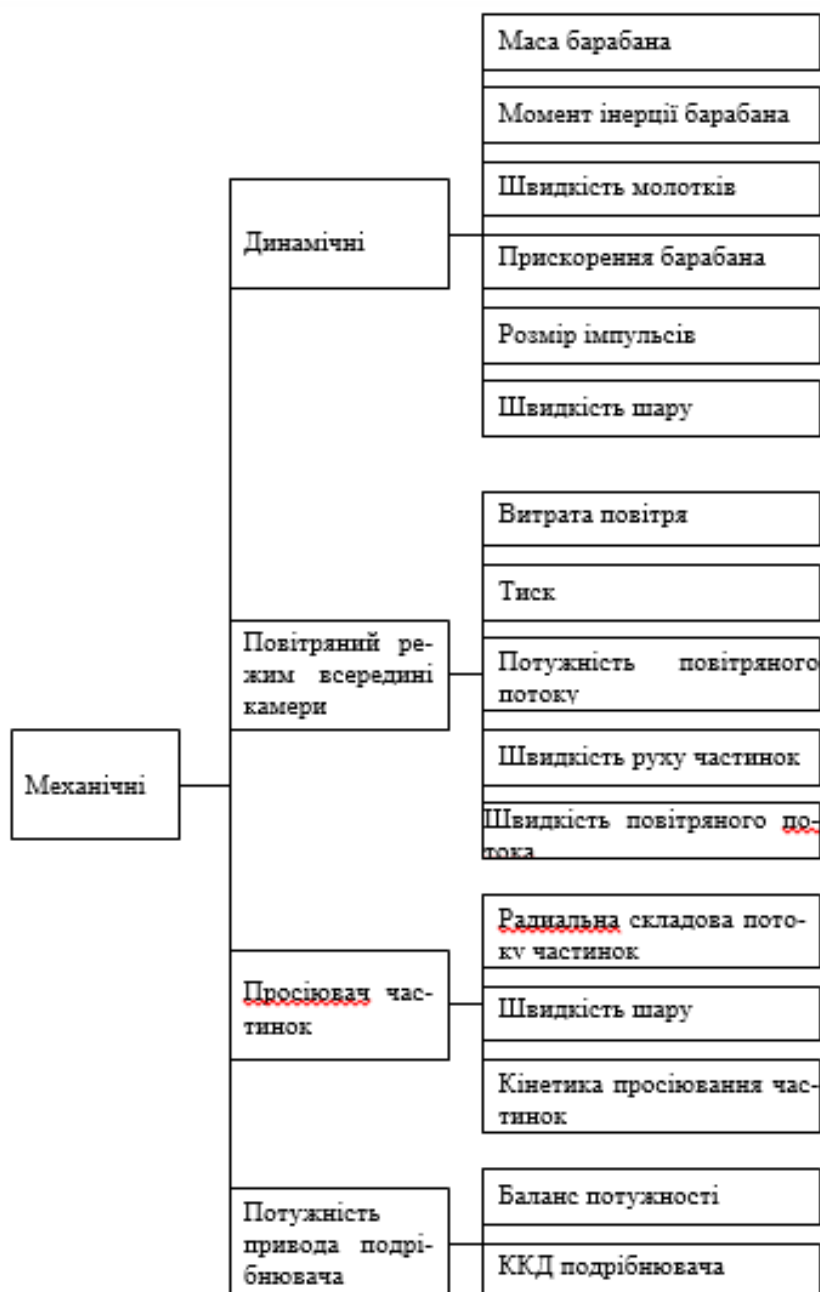


Рисунок 2.2 – Механічні фактори, що впливають на ефективність роботи кормоподрібнювачів

Механічні фактори включають швидкість обертання ротора, момент інерції, масу барабана, прискорення ударних елементів, параметри повітряного потоку в камері (тиск, витрата, швидкість руху частинок), а також кінематику просіювання. Саме ці характеристики визначають інтенсивність ударної дії молотків на зерно та здатність потоку переносити подрібнену масу до отворів сит.

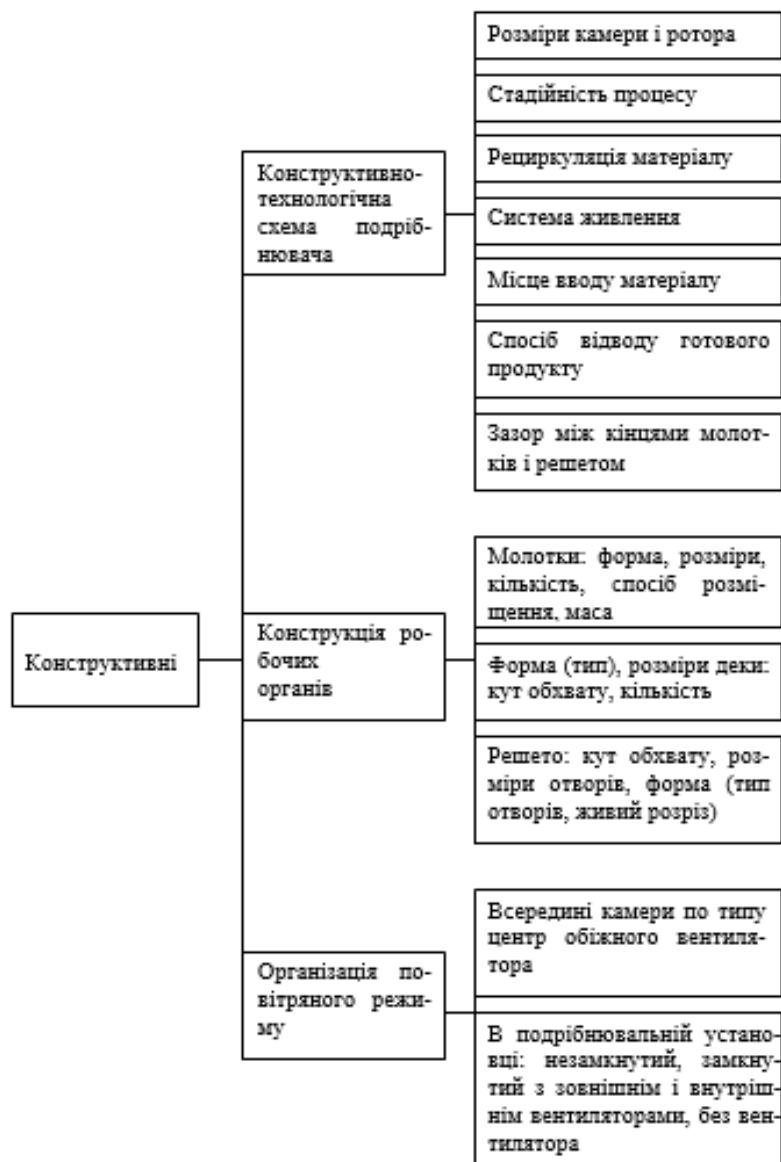


Рисунок 2.3 – Конструктивні фактори, які впливають на ефективність роботи кормоподрібнювачів

До конструктивних факторів належать геометрія камери подрібнення, компоновка робочих органів, форма та маса молотків, розташування молотків відносно ротора, тип решета, величина зазору між його поверхнею та кінцями молотків,

спосіб організації внутрішнього повітряного режиму. У сукупності ці параметри визначають стабільність процесу, рівномірність циркуляції частинок та енергетичні показники подрібнювача.

Завантаження зернового бункера

Процес починається з періодичного заповнення бункера 5 вихідною сировиною (рис.2.4). Наповнення здійснюється вручну або механізовано, залежно від умов експлуатації пристрою. Оператор візуально контролює рівень матеріалу, оскільки його недостатня кількість може призвести до нерівномірного надходження, а переповнення - до утворення застійних зон і погіршення подальшої подачі. Вологість та сипучість зерна (рис. 2.1) особливо впливають на формування потоку: надмірно вологе зерно може злипатися, що спричинює порушення нормального самопливу.

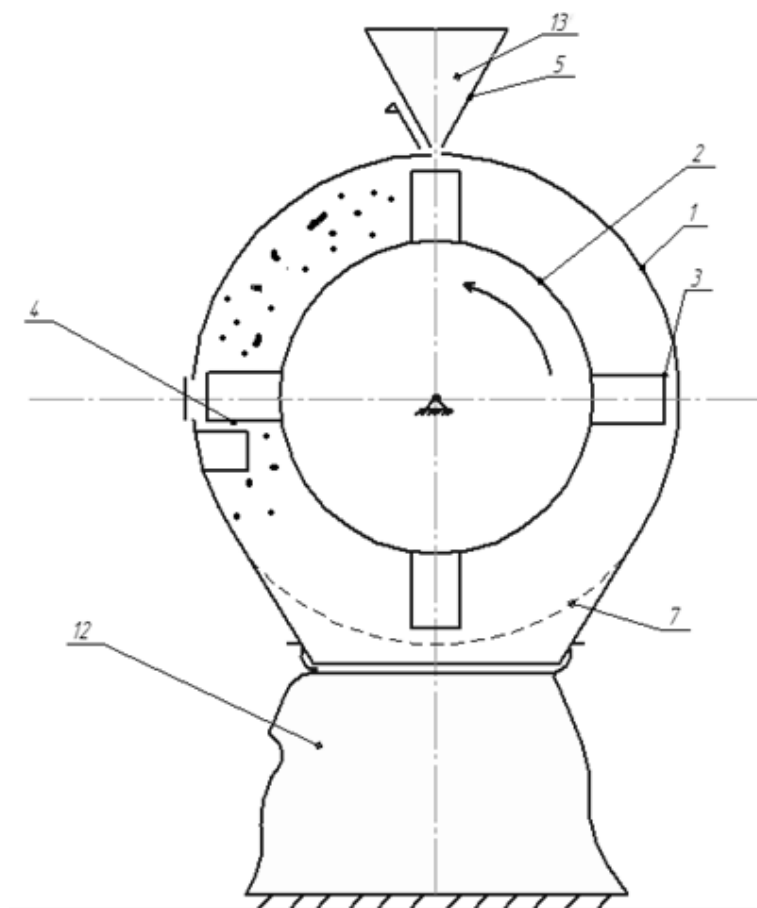


Рисунок 2.4 – Подрібнення зерна

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

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.
41

Подача зерна до робочої камери

Після завантаження матеріал спрямовується у робочу камеру через регульований отвір для подачі (рис.2.4).

Кількість зерна, що подається, регулюється засувкою, положення якої дозволяє підтримувати оптимальний ступінь завантаження камери. На подачу впливають як сила тяжіння, так і зони розрідження, що створюються під час обертання ротора 2. Нерівномірна подача здатна викликати перевантаження молотків або, навпаки, зниження інтенсивності подрібнення, що зменшує загальну продуктивність обладнання.

Подрібнення зерна

Подрібнення зерна відбувається в робочій камері за участю ротора 2, ударних молотків 3 та решета 7, яке визначає кінцеву фракцію матеріалу.

Під дією обертового ротора молотки здійснюють багаторазові удари по частинках зерна. Ударна дія супроводжується стиранням і роздавлюванням, а перемішування у внутрішньому об'ємі камери сприяє повторному контакту зернівок із ударною зоною. Кожна частинка зазнає дії повітряних потоків, які створюють додатковий динамічний вплив. Ступінь подрібнення регулюється заміною решета 7 на сито з необхідним діаметром отворів. При цьому забезпечується отримання продукції від дрібної до крупної фракції без зміни інших конструктивних елементів.

Фракційний розподіл подрібненої маси

Після досягнення заданих розмірів частинки проходять через отвори решета. Розподіл подрібненої маси на фракції забезпечується поєднанням геометрії сита, швидкості руху частинок, напряму повітряного потоку та ступеня турбулізації усередині камери. Механічні фактори (рис. 2.2) безпосередньо впливають на процес просіювання: при надмірно високій швидкості потоку легкі частинки можуть затримуватися у камері, а при низькій - спостерігається неповне заповнення отворів сита.

Вивантаження готового продукту

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Після проходження крізь решето подрібнене зерно надходить у вивантажувальний бункер і далі - самопливом у приймальний мішок 12. Грамотно спроектований патрубок забезпечує стабільність виходу частинок і запобігає їх повторному втягуванню в робочу камеру. Технологічність цього етапу значною мірою залежить від організації повітряного режиму (рис. 2.3).

Ефективність технології подрібнення зерна визначається взаємодією трьох груп факторів:

- технологічних - вологість, сипучість, розмір вихідних частинок, температура;
- механічних - швидкість та імпульс молотків, тиск повітряного потоку, кінематика частинок;
- конструктивних - форма молотків, геометрія камери, тип сита, величина зазору.

Оптимальне поєднання цих факторів забезпечує отримання зернової маси із заданою дисперсністю, мінімізує енергетичні витрати та підвищує експлуатаційну надійність побутового подрібнювача.

2.3.2 Розробка технології подрібнення коренеплодів

Процес подрібнення коренеклубнеплодів у побутовому подрібнювачі має свої конструктивні та технологічні особливості, зумовлені високою масою, вологістю та значною механічною міцністю вихідної сировини. На відміну від зернових матеріалів, коренеплоди характеризуються нерегулярною формою, м'яко-волокнистою структурою та значним коефіцієнтом тертя при контакті з робочими органами. Тому технологія їх подрібнення потребує врахування підвищених навантажень на ріжучі елементи, специфіки проходження продукту крізь камеру та ефективного способу відведення подрібненої маси.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Коренеклубнеплоди подаються у завантажувальну горловину і під дією сили тяжіння спрямовуються до зони подрібнення, де розташований дисковий подрібнювальний механізм 10 (рис. 2.5, аркуш [МРМА25.00.00.000ДТ]).

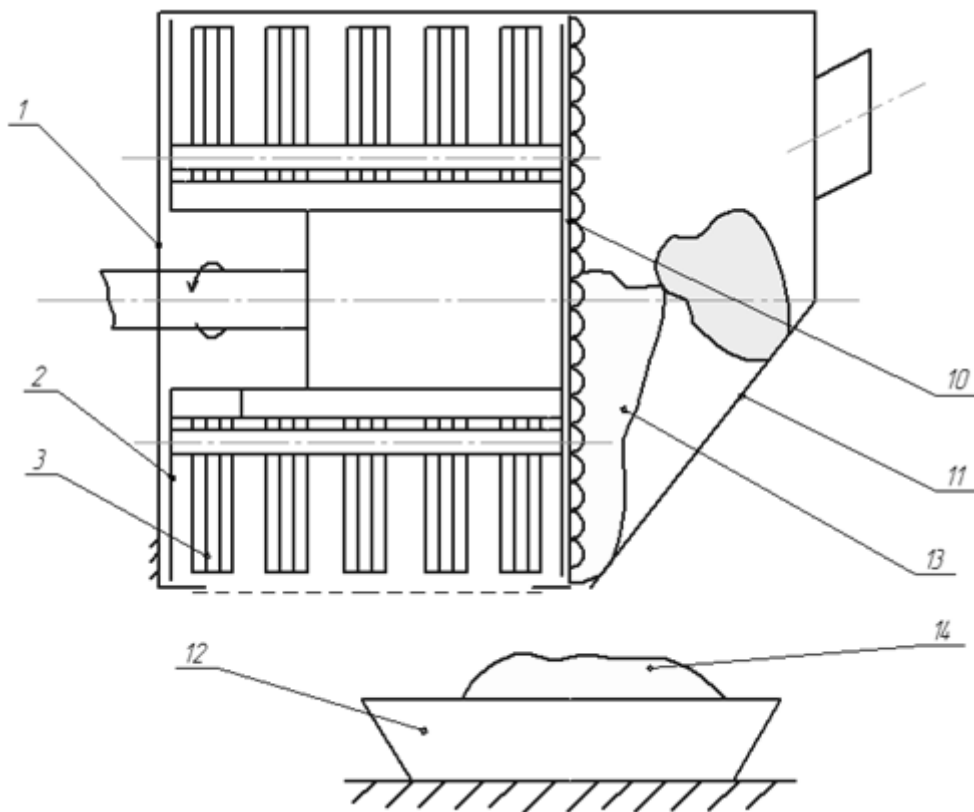


Рисунок 2.5 – Подрібнення коренеклубнеплодів

Диск оснащено системою ріжучих кромок, рівномірно розміщених по його периферії, що забезпечує поступове захоплення та заклинювання сировини між площиною диска й внутрішньою поверхнею корпусу. Внаслідок обертання диска 10 коренеплід потрапляє у зону різання та стирання, де піддається інтенсивному руйнуванню.

Під час роботи дисковий подрібнювач 10 створює значні відцентрові сили, що сприяють переміщенню матеріалу вздовж ріжучої поверхні. У момент контакту з ріжучими елементами відбувається комбінована дія різання, зрізу та частко-

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

вого стирання, що забезпечує отримання шматків рівномірної форми. Ступінь подрібнення визначається геометрією ріжучих елементів, їхньою кількістю, швидкістю обертання диска, а також фізико-механічними властивостями коренеплодів (щільність, пружність, соковитість).

Після первинного руйнування продукт переміщується вздовж внутрішньої стінки корпусу 11. Шорсткість цієї поверхні та кут її нахилу формують додаткові сили тертя, які сприяють подальшому подрібненню великих фрагментів. Одночасно відцентрова сила забезпечує прискорений рух частинок до вихідного патрубку. Такий принцип переміщення дає змогу уникнути залипання продукту та забезпечити постійний винос подрібненої маси.

Після виходу з камери подрібнений матеріал спрямовується в приймальну тару 12. Завдяки достатній силі інерції та оптимально спроектованому жолобу продукт 14 рівномірно накопичується в ємності 12 без додаткових механізмів подачі. Конструкція пристрою (рис. 2.5) забезпечує високу пропускну здатність і стабільність процесу, що особливо важливо при переробці твердих і волокнистих коренеплодів, таких як буряк, морква або картопля.

Система ріжучих кромок, корпус і дисковий механізм працюють в умовах підвищених навантажень, тому особливе значення має якість матеріалів, з яких виготовлено робочі органи. Застосування високолегованої сталі або зносостійких покриттів дозволяє забезпечити довговічність диска, підтримувати стабільність різальних властивостей та мінімізувати втрати продукції через зминання або розриви.

Завдяки конструктивній організації зони подрібнення і виведення продукту розглянута технологія забезпечує:

- рівномірність подрібнення коренеплодів;
- мінімальний відсоток неперероблених залишків;
- відсутність перегрівання сировини;
- оптимальне використання енергії обертання диска;
- безперервність вихідного потоку продукту.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 45 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, технологія подрібнення коренеплодів у зазначеному пристрої ґрунтується на поєднанні різальної та відцентрової дії дискового механізму, ефективному переміщенні матеріалу уздовж робочих поверхонь та раціональній організації виходу готового продукту в приймальну ємність. Це дозволяє отримувати подрібнену сировину стабільної якості, придатну для використання у побутових та фермерських умовах.

2.3.3 Розробка технології подрібнення листестеблевої сировини

Технологічний процес подрібнення листестеблевих матеріалів характеризується специфічними вимогами, що зумовлені їхньою волокнистою структурою, низькою щільністю, значною довжиною окремих елементів та схильністю до зминання. На відміну від зернових або коренеплідних матеріалів, листестеблева маса потребує попереднього орієнтування та примусової подачі, що забезпечує її рівномірний захід у подрібнювальну камеру. Загальна схема технологічного процесу включає чотири основні операції [15]: завантаження направляючого жолоба, подачу матеріалу у робочу зону, його подрібнення та подальше вивантаження з камери.

На першому етапі листестеблева сировина подається у направляючий жолоб 9, який виконує функцію накопичувача та вирівнювача потоку (рис. 2.6, аркуш [МРМА25.00.00.000ДТ]). Жолоб має гладку внутрішню поверхню та оптимальний кут нахилу, що запобігає накопиченню та утворенню “пробок”. Сировина рухається по жолобу під дією власної ваги або злегка прим'ятої маси, підтримуючи безперервність процесу.

Далі матеріал потрапляє у зону дії подаючого валика 8. Валик оснащений зубчастими або штифтовими захватами, які утримують волокнисту масу, забезпечуючи їй поступальний рух у напрямку контр-молотка 4. Завдяки наявності валика вирішується проблема нерівномірної подачі, що є критично важливим для

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

легких та об'ємних листостеблевих фракцій, схильних до прилипання та скручування.



Рисунок 2.6 – Подрібнення листостеблевої сировини

У момент входження матеріалу між перерізами контр-молотка 4 відбувається його фіксація та орієнтація перед подрібненням. Контр-молоток працює у парі з ротором 2, який обертається з високою кутовою швидкістю та несе на собі ударні молотки 3. Взаємодія волокнистого матеріалу з молотками створює комбінований режим подрібнення:

- ударний вплив, що забезпечує розрив довгих стебел;
- зрізування, що діє на тонкі листові частини;
- розривання волокон, спричинене контактами з контр-молотком;
- повітряно-турбулентний рух, який сприяє подальшому роздрібненню та переміщенню матеріалу всередині камери.

Завдяки правильному узгодженню траєкторії руху молотків та положення контр-молотка утворюється зона інтенсивного руйнування матеріалу. У цій зоні листостеблева маса подрібнюється до стану, що відповідає заданим технологічним параметрам. Важливо підкреслити, що структура листостеблевих матеріалів

потребує більшої кількості циклів удару порівняно з коренеплодами чи зерном, оскільки волокна мають високу міцність на розтяг і схильність до пружного відновлення форми.

Після подрібнення утворена фракція переміщується вниз робочої камери під впливом сили тяжіння та повітряного потоку, який створюється обертанням ротора. Вивантаження відбувається через бункер 6, з якого подрібнений матеріал направляється у тару 12. Конструкція нижнього патрубку 14 забезпечує безперервність виходу та мінімізує можливість повторного потрапляння частинок у робочу зону. Завдяки цьому досягається стабільна продуктивність процесу й рівномірність відведення маси.

Узагальнюючи, процес подрібнення листестеблевих матеріалів у пристрої забезпечується поєднанням таких конструктивно-технологічних рішень:

- наявністю направляючого жолоба для формування рівномірного потоку;
- застосуванням подаючого валика 8 для примусової подачі волокнистої маси;
- реалізацією ударно-зрізного режиму подрібнення за участю молотків 3 та контр-молотка 4;
- організованим вивантаженням через бункер 6 у тару 12.

Таке компоновання забезпечує ефективне руйнування листових та стеблевих структур, отримання подрібненого матеріалу заданих параметрів і можливість стабільної роботи подрібнювача у побутових і фермерських умовах.

2.4 Розробка кінематичної схеми універсального подрібнювача

Кінематична схема універсального подрібнювача відображає взаємозв'язок приводних і робочих вузлів, через які передається та трансформується механічна енергія для забезпечення процесу подрібнення різних видів сировини [16]. На рисунку 2.7 та на аркуші [МРМА25.00.00.00] подано загальну структуру привідної частини агрегату та порядок кінематичної передачі обертального руху.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

кінематичних параметрів під різні режими подрібнення - від високошвидкісного для сировини з малою міцністю до більш повільного, але енергонасиченого для твердих матеріалів.

Передача обертального руху від шківів 2 до проміжного вала 4 здійснюється за допомогою клинового паса 3. Пасова передача забезпечує плавність роботи, амортизацію ударних навантажень і дозволяє підвищити надійність приводу за рахунок ковзання під надмірним навантаженням, що виконує роль механічного запобіжника. Геометрія паса та глибина його посадки у канавку шківів визначають передавальне число, коефіцієнт корисної дії та стабільність ходової частини.

Проміжний вал 4 виконує роль передавального елемента між пасовою передачею та робочим органом подрібнювача 6. Вал встановлюється у підшипниках 5, які забезпечують його центрування, зменшення тертя та компенсацію радіальних і осьових навантажень. Використання підшипникових опор підвищує точність роботи кінематичного ланцюга та сприяє зниженню вібрацій, що особливо важливо для агрегатів з ударним принципом подрібнення.

З'єднання проміжного вала з робочим органом 6 здійснюється за допомогою муфти 7. Муфта компенсує можливі перекоси, полегшує монтаж та демонтаж приводу, а також знижує динамічні навантаження, які виникають у момент запуску або при подрібненні особливо твердих включень у сировині. Завдяки цьому забезпечується довговічність роботи як вала, так і робочих органів подрібнювального механізму.

Робочим елементом усього вузла є побутовий подрібнювач 6, який у залежності від встановленого модуля здатний виконувати подрібнення зернової, коренеплідної або листостебелевої сировини. Кінематична схема пристрою передбачає універсальність компонування, що дозволяє змінювати робочі насадки без переробки привідної частини. Таким чином уся система приводів орієнтована на забезпечення стабільної швидкості обертання, необхідної для заданого типу сировини.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 50 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Усі елементи кінематичної схеми працюють у єдиному динамічному комплексі, що забезпечує:

- надійність передавання енергії від двигуна до робочої зони;
- можливість регулювання частоти обертання;
- демпфування ударних навантажень;
- рівномірність роботи подрібнювача за різних режимів навантаження;
- зручність технічного обслуговування та заміни робочих органів.

Компоновка кінематичної схеми універсального подрібнювача дає змогу забезпечити оптимальне узгодження між рушійним приводом та робочим навантаженням. Такий підхід гарантує високу ефективність процесу подрібнення, зменшення енергетичних втрат і підвищення експлуатаційної надійності машини в умовах використання.

2.5 Розробка конструкції універсального подрібнювача

Конструкція універсального подрібнювача розроблена з урахуванням вимог до переробки різних типів сировини - зернової, коренеплідної та листестеблевої, а також забезпечення надійності, зручності технічного обслуговування та максимальної універсальності обладнання [16-20]. Загальний вигляд подрібнювача наведено на рис. 2.6 та на аркуші [МРМА25.00.00.000ВЗ]. Він відображає компоновку основних вузлів, їхнє взаємне розташування та функціональне призначення.

До складу універсального подрібнювача входять:

- завантажувальний бункер 1, який забезпечує безперервне та рівномірне надходження сировини у робочу камеру;
- корпус ротора 2, що виконує функцію захисного кожуха й одночасно формує камеру подрібнення;
- валик для подачі 3, який стабілізує подачу листестеблевої сировини;
- жолоб 4, призначений для орієнтації та спрямування сировини;
- розвантажувальний бункер 5 для відведення подрібненої маси;

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 51 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- станина 6, що забезпечує жорсткість конструкції та стійкість під час роботи;
- клинопасова передача 7, яка передає момент від електродвигуна до робочих органів;
- стіл 8, що виконує роль опорної платформи та основи для монтажу всіх вузлів.

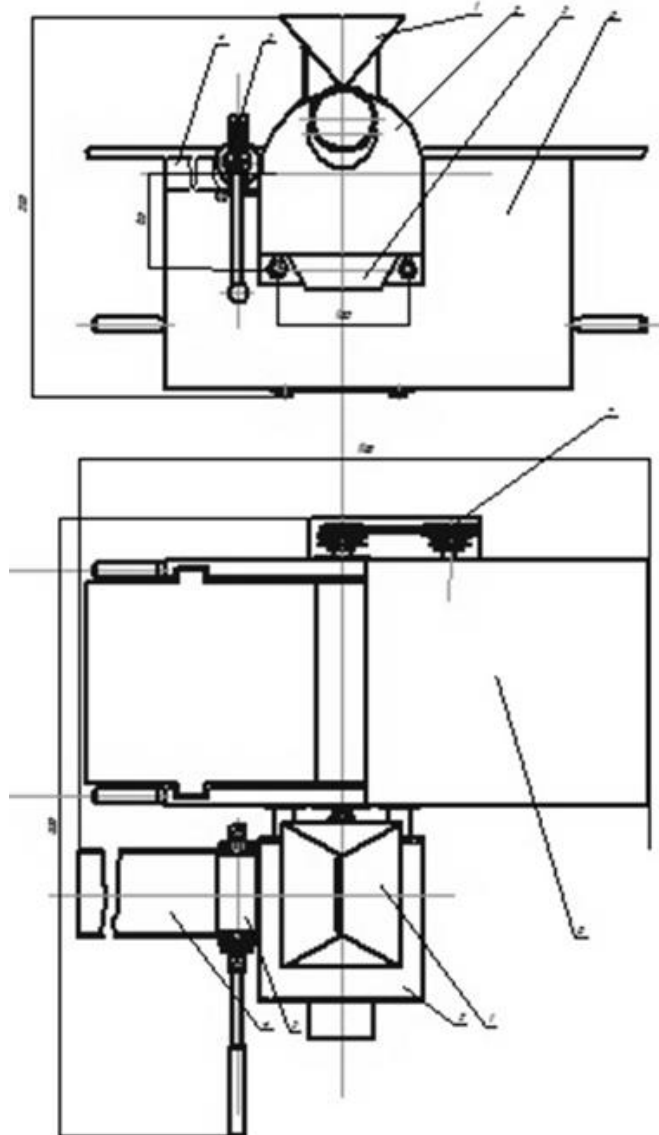


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд універсального подрібнювача
кормів

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

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

52

Така компоновка дозволяє адаптувати пристрій для різних режимів роботи й забезпечує достатню жорсткість та міцність конструкції при ударних та вібраційних навантаженнях.

Складальне креслення привідної частини подрібнювача представлено на рис. 2.7 та на аркуші [МРМА25.01.00.000СК]. Цей рисунок демонструє компоновку силової частини, вузлів передачі та робочого органу.

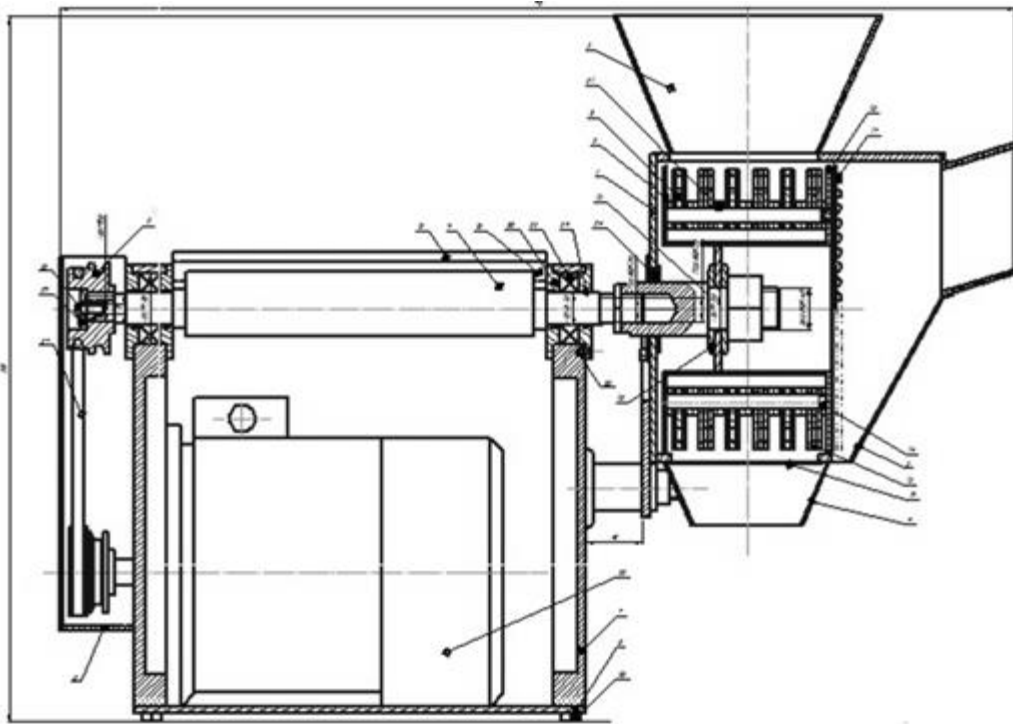


Рисунок 2.7 – Універсальний подрібнювач з приводом

До основних елементів універсального подрібнювача з приводом належать:

- корпус 1, у якому розміщується робоча камера й монтажні місця для кріплення всіх внутрішніх вузлів;
- ротор 2, що є головним робочим органом подрібнювача;
- бункер завантажувальний 3 та 4, адаптовані для різних типів сировини;
- кожух подрібнювача 5 для захисту оператора від рухомих частин;
- кожух привода 6, що закриває пасову передачу;
- станина 7, яка забезпечує жорсткість та фіксацію машини;

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

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

53

- плита 8 – монтажна основа для електродвигуна та передавальних вузлів;
- вал 9, який передає обертання від привода до робочого органу;
- стіл 10, що виконує роль опорної поверхні;
- шків 11, елемент клинопасової передачі;
- кожух 12 – додатковий захисний елемент;
- молотки 13, закріплені на осях 14;
- перехідник 15 для з'єднання роторного вузла з приводом;
- контр-диск 16 – елемент ударного подрібнення;
- дисковий подрібнювач 17 для коренеплодів;
- фланець 18, решето 19, кришка 20, втулка 21, а також електричний двигун 22, який є джерелом механічної енергії.

Дана компоновка забезпечує можливість швидкого демонтажу робочих частин для очищення, технічного огляду та заміни решіт залежно від необхідної фракції продукту.

Рисунок 2.8 та аркуш [МРМА25.01.01.000СК] містять деталізацію молоткового вузла, який є основою для обробки зернової та листостеблевої сировини.

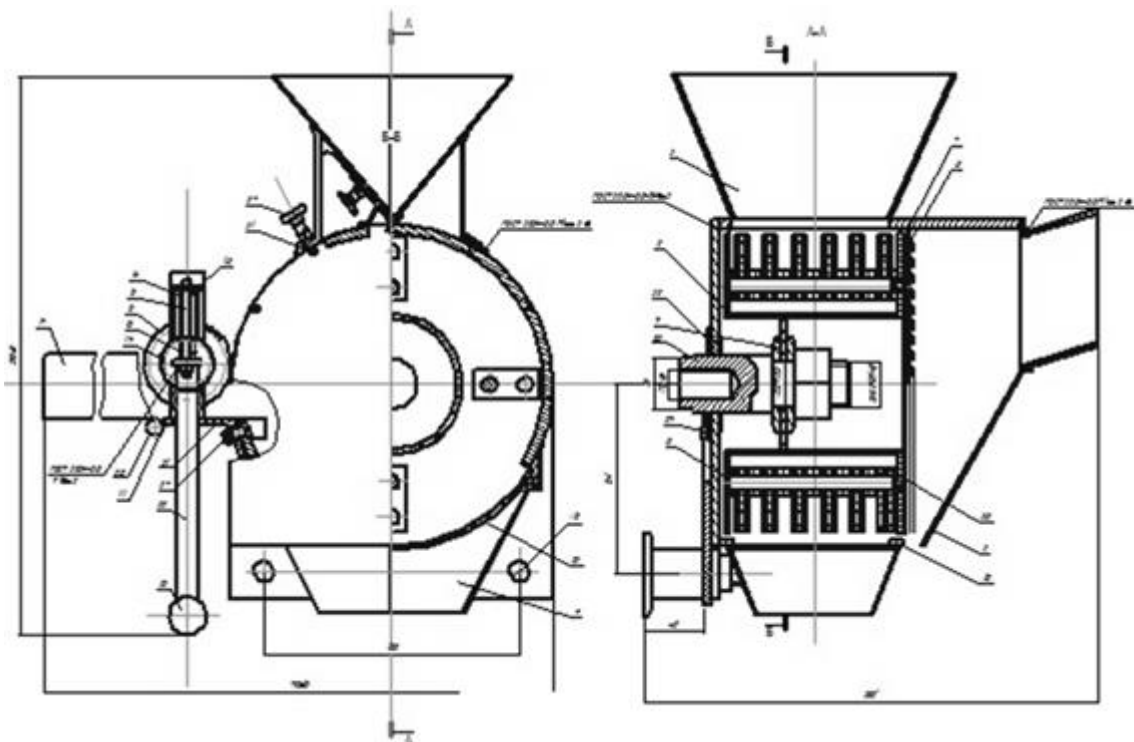


Рисунок 2.8 – Універсальний молотковий подрібнювач кормів

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

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

54

Основні елементи конструкції включають:

- корпус 1, що формує камеру подрібнення;
- ротор 2 з робочими молотками;
- бункери 3 і 4 для різних типів завантаження;
- кожух 5 для захисту механізмів;
- дисковий подрібнювач 6 та контр-диск 7 для роботи з коренеплодами;
- вісь 8, фланець 9, молоток 10, шестерня 11;
- стаціонарний молоток 12, який створює додаткові ударні поверхні;
- вал 13 і кронштейн 14, що забезпечують подачу листостеблевої маси;
- направляючу вісь 15, втулку 16, жолоб 17;
- зубчате колесо 18 та пружину 19 для регулювання рівномірності подачі;
- опорні та з'єднувальні елементи (вісь жолоба 20, кутник 21, ручка 22, рукоятка 23, направляюча 24);
- решето 25, що визначає кінцеву фракцію продукту;
- перехідник 26 для монтажу додаткових робочих органів.

Конструкція молоткового подрібнювача дозволяє ефективно поєднувати ударний, стиральний і зрізний механізми руйнування матеріалу. Можливість використання змінних решіт та різних типів навантажувальних бункерів підвищує універсальність і розширює діапазон оброблюваної сировини.

Розроблена конструкція універсального подрібнювача забезпечує:

- адаптацію під різні типи сировини завдяки змінним робочим органам;
- високу надійність привідної частини та довговічність станини;
- зручність технічного обслуговування та очистки;
- можливість швидкої зміни режимів роботи;
- безпечну експлуатацію завдяки повному закриттю зони передач та робочих органів.

Таким чином, конструкція подрібнювача є технологічно обґрунтованою, відповідає вимогам багатофункціонального використання і забезпечує ефективне подрібнення різних видів сільськогосподарської сировини у побутових умовах.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Технічні характеристики універсального подрібнювача сировини наведено в табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики універсального подрібнювача сировини

| № п/п | Параметри | Величина |
|-------|---------------------------------|----------|
| 1 | Продуктивність, кг/год | |
| | зерно | 220 |
| | коренеплоди | 930 |
| 2 | Число молотків, шт | 72 |
| 3 | Потужність електродвигуна, кВт | 1,5 |
| 4 | Частота обертання ротора, об/хв | 2850 |
| 5 | Маса, кг | 62 |
| 6 | Габаритні розміри, мм | |
| | довжина | 1100 |
| | ширина | 860 |
| | висота | 52 |

2.6 Розробка електричної схеми універсального побутового подрібнювача

Електрична принципова схема універсального побутового подрібнювача є ключовим елементом його надійної та безпечної роботи [21, 22]. На рисунку 2.9 наведено повну структурну побудову силового та керувального кіл установки (аркуш [МРМА25.00.00.000Е2]). Вона забезпечує пуск, зупинку, захист та стабільний режим роботи трифазного асинхронного електродвигуна, який застосовується як привод основного робочого органу подрібнювача.

Основою електричної частини становить силове коло, яке живиться від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В. Фази А, В та С підводяться до автоматичного вимикача QF1, який виконує функції захисту від коротких замикань та струмових перевантажень, а також дозволяє оперативно відключати подрібнювач від мережі. Після автоматичного вимикача напруга подається на силові контакти магнітного пускача КМ1, що здійснює комутацію електродвигуна М1 у робочому режимі.

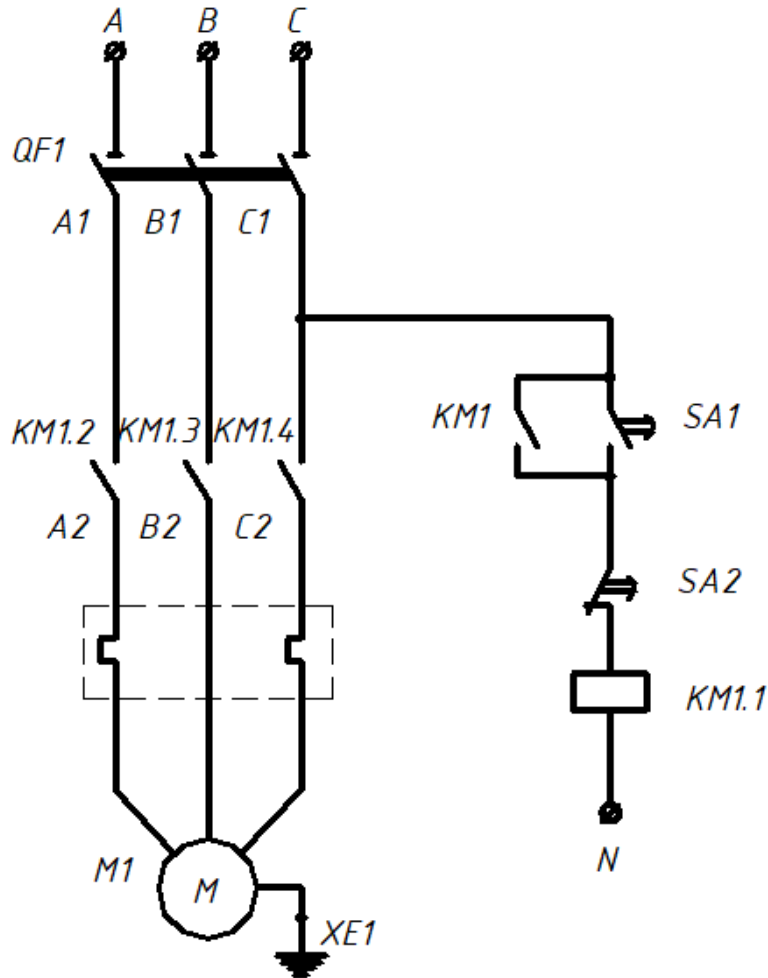


Рисунок 2.9 - Електрична схема універсального побутового подрібнювача

Управління магнітним пускачем ґрунтується на роботі кнопкової станції, яка включає кнопку SA1 («Пуск») та кнопку SA2 («Стоп»). При натисканні кнопки «Пуск» SA1 у коло керування подається напруга на котушку пускача КМ1.1, яка втягуючи якор, замикає силові контакти КМ1.2, КМ1.3, КМ1.4, що забезпечує

подавання трифазного струму на обмотки електродвигуна. Після цього активується допоміжний контакт КМ1.1, який створює режим самопідхоплення - замикання кола утримання без необхідності подальшого натискання кнопки «Пуск». Це дозволяє двигуну працювати автономно в сталому режимі.

При необхідності зупинити подрібнювач оператор натискає кнопку «Стоп» SA2, яка розриває коло керування котушкою пускача КМ1.1. Внаслідок відсутності живлення електромагніт пускача відпускає якор, силові контакти розмикаються, і двигун М1 знеструмлюється. Такий принцип роботи забезпечує високу надійність, оскільки у будь-який момент оператор може швидко припинити обертання робочого органу подрібнювача.

У силовому колі електродвигуна передбачені контакти А2, В2, С2, що подають струм відповідно з фаз А1, В1, С1. Електродвигун М1 оснащений виводом заземлення через клему ХЕ1, що гарантує електробезпеку користувача та відповідність стандартам експлуатації електроустановок. Нульовий провід N використовується в колі керування для забезпечення зворотного проводу та стабільної роботи котушки пускача.

У схемі конструктивно передбачена можливість розширення функціональності шляхом встановлення теплового реле захисту двигуна від тривалих перевантажень, індикаційних елементів (сигнальні лампи), а також кінцевих вимикачів, що можуть реагувати на положення кришки або наявність матеріалу у робочому бункері. Такі можливості дають змогу модернізувати схему під конкретні умови експлуатації або вимоги безпеки.

Важливою характеристикою схеми є її простота і надійність. Вона не містить складних електронних компонентів, що дозволяє застосовувати її у побутових та напівпромислових умовах, де потрібна мінімальна кількість обслуговування та максимально простий алгоритм керування. Стандартне компонування - автоматичний вимикач, магнітний пускач, кнопки керування - відповідає типовим технічним рішенням для трифазних приводів малого та середнього навантаження.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, розроблена електрична схема універсального подрібнювача забезпечує ефективний, безпечний та стабільний режим роботи установки, гарантує захист обладнання та оператора, а також є конструктивно придатною для подальшої модернізації та розширення функціональних можливостей.

2.7 Принцип роботи побутового універсального подрібнювача

Принцип роботи універсального побутового подрібнювача ґрунтується на поєднанні механізмів ударного, різального та стирального подрібнення, що забезпечує можливість ефективної обробки різних видів сільськогосподарської сировини - зернової, коренеплідної та листестеблевої. Конструкція подрібнювача дозволяє здійснювати зміну робочих органів та адаптувати технологічний процес під властивості матеріалу, що переробляється.

У загальному випадку робота подрібнювача починається з запуску електропривода. Трифазний асинхронний електродвигун через клинопасову передачу приводить у обертання вал, на якому закріплено роторний блок з молотками або дисковими ножами - залежно від режиму роботи. Обертання ротора створює необхідну кінетичну енергію для руйнування сировини та стабільний повітряний потік усередині камери, що сприяє транспортуванню частинок і їхньому подальшому вивантаженню.

Матеріал надходить у робочу камеру через завантажувальний бункер. Геометрія бункера забезпечує рівномірну подачу, запобігає утворенню «містків» та залипанню сировини. Для листестеблевої маси додатково використовується подаючий валик, який механічно втягує матеріал у зону подрібнення. Усі види сировини потрапляють у простір між робочим органом і поверхнями корпусу, де під дією ударів і сил тертя відбувається руйнування структури матеріалу.

При подрібненні зернових матеріалів основним робочим органом є молотковий ротор. Під час обертання молотки багаторазово взаємодіють із частинками

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 59 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

зерна, здійснюючи ударно-стираюче подрібнення. Ступінь дисперсності визначається параметрами встановленого решета: розмір отворів обмежує максимальну величину частинок, що можуть вийти з камери. Частинки, які не досягли необхідної фракції, повертаються в активну зону дії молотків і піддаються повторному руйнуванню, що забезпечує однорідність кінцевого продукту.

Для коренеплодів застосовується дисковий подрібнювач. Сировина захоплюється ріжучими кромками диска, притискається до стінки корпуса та відсікається у вигляді шматків заданого розміру. Відцентрова сила переміщує подрібнений матеріал до вивантажувального патрубку, забезпечуючи швидке очищення камери і стабільність процесу.

Подрібнення листестеблевої сировини здійснюється комбінованим способом: матеріал спочатку подається валиком, після чого потрапляє між молотками ротора та контр-молотком. Ударно-зрізний режим забезпечує ефективне розривання волокон, а турбулентний повітряний потік сприяє переміщенню частинок до виходу.

Готовий продукт через розвантажувальний бункер надходить у приймальну тару. Процес вивантаження відбувається під дією повітряного потоку, створеного ротором, та гравітаційних сил. Розміри та форма бункера запобігають потраплянню пилу у робочу зону та повторному зворотному транспортуванню частинок у камеру.

Безпека експлуатації забезпечується електричною схемою з магнітним пускачем і кнопковою станцією керування. Автоматичний вимикач захищає електродвигун від коротких замикань і перевантажень, а система заземлення мінімізує ризик ураження електричним струмом. Робота подрібнювача можлива лише при закритих захисних кожухах, які перешкоджають доступу до рухомих частин.

Таким чином, принцип роботи універсального подрібнювача базується на узгодженні механічних, кінематичних та аеродинамічних процесів, що забезпечують ефективно, безпечно та адаптивно подрібнення різних видів сільськогосподарської сировини у побутових умовах.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 60 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

2.8 Монтаж, експлуатація та ремонт універсального подрібнювача

Монтаж універсального побутового подрібнювача виконується у визначеній послідовності, що забезпечує правильне взаємне розташування його вузлів та безпечний доступ до обслуговування. Перед початком монтажних робіт машина повинна бути встановлена на рівну тверду поверхню, що гарантує стійкість під час експлуатації. Спочатку здійснюється встановлення дискового подрібнювача та захисного кожуха, які формують основну робочу зону. Далі монтується розвантажувальний бункер для відведення готового продукту. За необхідності встановлюється завантажувальний бункер відповідного типу - зерновий, для коренеплодів або жолоб для листестеблевої маси. Усі елементи повинні бути надійно зафіксовані згідно з монтажними отворами та інструкцією, щоб запобігти зміщенням під час роботи.

Перед введенням подрібнювача в експлуатацію оператор повинен виконати комплекс перевірок, спрямованих на забезпечення електробезпеки і коректної роботи основних вузлів. Зокрема, контролюється надійність заземлення, правильність встановлення захисних огорож, герметичність бункерів і стан електричних блокувальних кіл. Блокування електродвигуна має відповідати нормативним вимогам, щоб унеможливити запуск машини при відкритому кожусі або знятій захисній панелі.

У процесі експлуатації необхідно підтримувати стабільний режим роботи подрібнювача. Оператор повинен регулярно стежити за завантаженням машини, недопущенням перевантажень або недостатнього надходження матеріалу, що може призвести до нерівномірного подрібнення. До планових робіт входить періодична заміна сит і молотків, оскільки вони зазнають інтенсивного зношення під час роботи. Частота заміни залежить від типу сировини, інтенсивності експлуатації та твердості матеріалу.

Загальний алгоритм роботи подрібнювача включає такі етапи:

– запуск електродвигуна через схему керування;

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 61 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

- завантаження відповідного бункера матеріалом (зерном, листостеблевою масою або коренеклубнеплодами);
- подача сировини у робочу камеру.

Регулювання подачі здійснюється різними способами:

- при подрібненні зерна - положенням засувки на завантажувальному бункері;
- при подрібненні листостеблевих матеріалів - зміною швидкості обертання подаючого валика, який приводиться в дію мускульною силою оператора.

Після завершення процесу подрібнення готовий продукт вивантажується у приймальну тару, а робота подрібнювача припиняється у послідовності: зупинка двигуна, відключення від електромережі, очищення робочої камери, зовнішніх поверхонь та за потреби - демонтаж окремих елементів для їх консервації.

У ході тривалої експлуатації важливим фактором є контроль стану молоткового механізму. Зі зношуванням молотків збільшується зазор між їхньою робочою кромкою та внутрішньою поверхнею деки або ситового барабана. Це призводить до погіршення умов подрібнення, зростання енергоспоживання та погіршення гранулометричного складу продукту. Одночасно зі зменшенням маси молотків знижується сила удару, погіршується балансування ротора, що викликає додаткову вібрацію і прискорене зношення підшипників та інших деталей.

Для запобігання аварійним ситуаціям ротор підлягає обов'язковому статичному та динамічному балансуванню після кожної заміни молотків. При ремонті рекомендується замінювати комплект молотків повністю. Якщо це неможливо, допускається встановлення часткової заміни за умови, що молотки будуть розташовані симетрично і мати однакову масу або різницю не більше 0,5–2 г.

Ремонт сит і деки також є обов'язковою процедурою технічного обслуговування. Сита зношуються швидко: їхня товщина зменшується, на поверхні з'являються тріщини та розриви. У таких випадках вони підлягають повній заміні.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Деку, що втратила рельєф або має надмірне зношення, відновлюють методом наплавлення з подальшим фрезеруванням рифлів. Якщо ж рифлі зношуються занадто швидко, деки змінюють на нові.

Таким чином, ефективна експлуатація універсального подрібнювача забезпечується дотриманням чіткої послідовності монтажу, своєчасним технічним обслуговуванням та якісним проведенням ремонтних робіт. Це гарантує довговічність обладнання, стабільність роботи й високу якість подрібнення сільськогосподарської сировини у побутових умовах.

2.9 Висновки до другого розділу

У другому розділі було обґрунтовано необхідність створення універсального побутового подрібнювача для приватних садиб, визначено вимоги до технологічних процесів подрібнення різних видів сільськогосподарської сировини та розроблено конструктивно-технологічну модель майбутнього обладнання. Проведені дослідження дали змогу сформувавши комплексну концепцію пристрою, здатного виконувати широкий спектр операцій у побутових умовах.

Проаналізовано особливості технології подрібнення зернових, коренеплідних і листестельєвиз матеріалів та визначено основні фактори, що впливають на ефективність процесу: фізико-механічні характеристики сировини, кінематичні параметри робочих органів, конструктивні особливості робочої камери та система подачі матеріалу. На основі цього здійснено розробку технологічних схем подрібнення для кожного виду сировини, що забезпечує адаптивність обладнання та стабільну якість продукції.

Було сформовано кінематичну схему універсального подрібнювача, яка включає електродвигун, клинопасову передачу, проміжний вал, з'єднувальну муфту та робочі органи. Обґрунтовано вибір привідної системи з урахуванням енергоефективності, надійності та простоти технічного обслуговування.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Розроблено конструкцію універсального подрібнювача, що складається з уніфікованих вузлів: завантажувальних бункерів різного типу, молоткового та дискового подрібнювачів, робочої камери, привідної частини, станини та захисних кожухів. Представлені складальні креслення підтверджують можливість модульного використання різних робочих органів залежно від виду оброблюваної сировини.

Побудована електрична схема забезпечує надійне та безпечне керування трифазним електроприводом, містить повний комплекс засобів захисту та відповідає вимогам експлуатації побутового обладнання. Вона гарантує стабільну роботу привода, простоту керування та мінімізацію ризику аварійних ситуацій.

Окремо розглянуто питання монтажу, експлуатації та ремонту подрібнювача. Визначено послідовність встановлення обладнання, правила технічного обслуговування, особливості заміни зношених елементів і вимоги до балансування ротора, що забезпечує довговічність та безпечну роботу машини.

Узагальнюючи результати розділу, можна зробити висновок, що розроблений універсальний подрібнювач відповідає сучасним технічним і експлуатаційним вимогам, забезпечує високу продуктивність, універсальність та безпеку. Він є ефективним рішенням для механізації кормоприготування та переробки сільськогосподарської сировини в умовах приватних садиб.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 64 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

3.1 Вихідні дані для розрахунків

Для виконання розрахунків, що підтверджують працездатність універсального побутового подрібнювача, необхідно визначити основні технічні параметри приводу, геометричні характеристики конструкції та експлуатаційні показники, які безпосередньо впливають на вибір робочих органів, кінематичну схему та розрахунок міцності елементів. Таблиця вихідних даних враховує паспортні характеристики привідного електродвигуна, габарити обладнання та його масу, що є ключовими параметрами при аналітичному та конструкційному розрахунку вузлів машини.

Основними вихідними даними є:

– потужність електродвигуна - 1,5 кВт, що визначає можливий рівень навантаження на робочий орган та дозволяє здійснити оцінку енергетичних витрат і продуктивності подрібнювача;

– частота обертання вала двигуна - 2850 с^{-1} , що відповідає синхронній швидкості двополюсного асинхронного двигуна та забезпечує достатню кінетичну енергію для ударного і різального подрібнення. Даний параметр є базовим при розрахунку частоти обертання ротора, виборі передавального числа клинопасової передачі та визначенні ударних навантажень.

– режим роботи - передбачається тривалий період експлуатації з періодичним навантаженням, характерним для побутових подрібнювачів, що важливо для оцінки теплового та механічного ресурсу електродвигуна і підшипникових вузлів.

Габаритні розміри універсального подрібнювача складають:

– довжина - 1100 мм;

– ширина - 860 мм;

– висота - 520 мм.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 65 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Ці параметри визначають компоновочну схему обладнання, впливають на вибір станиги, стійкість конструкції, умови монтажу та безпечний доступ до обслуговування.

Маса подрібнювача повинна становити не більше 62 кг. Даний показник є важливим при розрахунку динамічних навантажень, оцінці вібраційної стійкості та визначенні вимог до міцності опорних елементів. Крім того, маса конструкції впливає на можливість транспортування та встановлення обладнання в умовах приватної садиби.

Представлена технічна характеристика слугує вихідною базою для подальших інженерних розрахунків - визначення допустимих навантажень, вибору робочих режимів, розрахунку моменту інерції ротора, аналізу роботи подрібнювального механізму та перевірки міцності основних вузлів. Комплекс цих параметрів дозволяє забезпечити коректність подальшого проектування та підтвердити працездатність розробленого універсального подрібнювача.

3.2 Розрахунок елементів ротора подрібнювача

Ефективність функціонування подрібнювача визначається за сукупністю основних експлуатаційних показників: працездатністю, якістю подрібнення, питомою енергоємністю та матеріалоемністю обладнання. Значення цих показників значною мірою залежать від конструктивних характеристик ротора, насамперед від його геометричних параметрів - діаметра D та довжини L .

Діаметр ротора встановлюють за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{K}{g}}, \quad (3.1)$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | 66 |

де $K = \frac{D}{L}$ - коефіцієнт пропорційності (для подрібнювачів I типу) $K_1=1 \dots 2.5$

і II типу $K_2=4 \dots 7$.

Залежність секундної розрахункової працездатності від геометричних параметрів ротора встановлюють через питоме навантаження g' , яке визначається за такою формулою:

$$g' = \frac{g_p}{DL}. \quad (3.2)$$

Величина питомого навантаження визначається робочою швидкістю ротора, тобто периферійною швидкістю V_m . Для подрібнювачів зі швидкістю $V_m = 45 \dots 50$ м/с значення питомого навантаження становить $g' = 2 \dots 4$ кг/см². У разі підвищення швидкості до $V_m = 70 \dots 80$ м/с питомий показник зростає і знаходиться в межах $g' = 3 \dots 6$ кг/см².

З урахуванням конструктивних вимог та рекомендацій проектування приймаються такі параметри ротора:

– діаметр $D_p = 210$ мм;

– довжина $L = 120$ мм.

Відповідно до [23, 24]:

$$K = \frac{210}{120} = 1.75,$$

Величину g' прийнято рівною 4 кг/см²

Тоді:

$$g_p = DLg' = 0,21 * 0,12 * 4 = 0,1008 \text{ (кг/с)}.$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 67 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Під час налагодження та подальшої експлуатації подрібнювачів необхідно забезпечити повне врівноваження обертової системи шарнірно-рухомих молотків. За умови правильного балансування ударні імпульси не передаватимуться від молотків через пальці та диски на підшипникові опори вала ротора. Це мінімізує вібрації агрегату та запобігає передчасному зношенню вузлів.

Молотки, які відповідають вимогам «ударної врівноваженості», повинні задовольняти наступній умові (рис. 3.1):

$$P^2 = cl, \quad (3.3)$$

де p - радіус інерції молотка відносно осі його шарнірного кріплення;

c - відстань від осі підвісу до центра мас молотка;

l - відстань від точки підвісу до робочого кінця молотка.

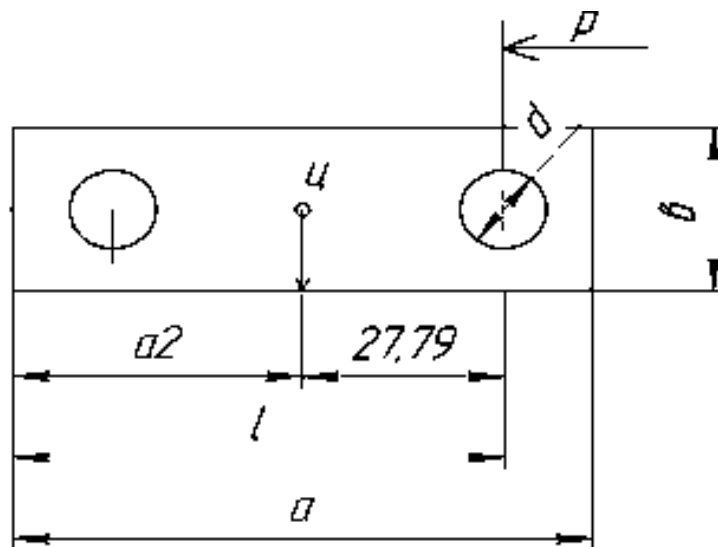


Рисунок 3.1 - Сили, що діють на молоток

Для забезпечення стабільної траєкторії руху молотка його конструктивні параметри - довжина l та радіус встановлення R_p - мають добиратися таким чином, щоб виконувалася така умова:

$$R_n \approx 2,25 \dots 4 * l \quad (3.4)$$

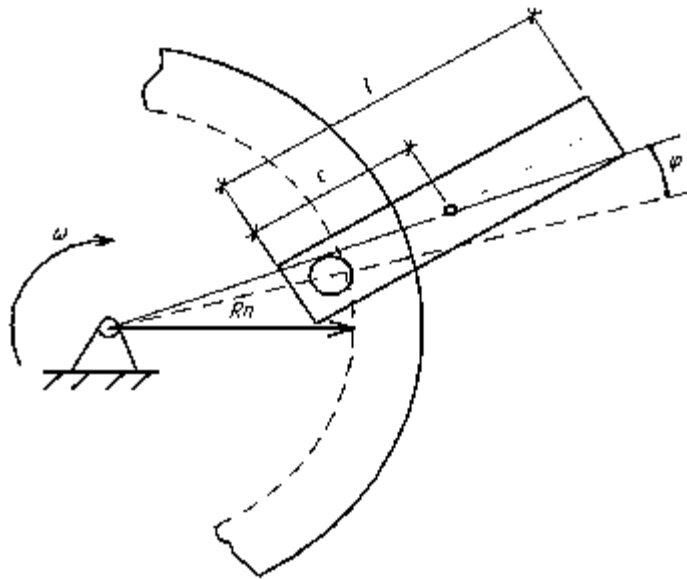


Рисунок 3.2 – Схема роботи молотка як фізичного маятника з урахуванням тертя в шарнірах

Для молотків, що мають два монтажні отвори, умова стійкої роботи формулюється таким чином:

$$C = -\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + B} ; \quad (3.5)$$

$$\text{де } A = \left[a^2 + b / (\pi d^2) \right] - \frac{a}{2} ; \quad (3.6)$$

$$B = \left[ab(a^2 + b^2) / 6\pi d^2 \right] + \frac{d^2}{8} . \quad (3.7)$$

Геометричні параметри молотків визначають на основі наступної формули:

$$l = \frac{\pi}{9} R_n = \frac{4}{9} \left[\frac{D}{2} - 1 \right], \quad (3.8)$$

Звідси випливає:

$$l \approx 0,154D, \text{ а } R_n \approx 0,342D ; \quad (3.9)$$

$$l = 0,154 * 210 = 32,34 \text{ мм};$$

$$R_n = 0,342 * 210 = 71,82 \text{ мм}.$$

Було прийнято $l = 35$ (мм); $R_n = 70$ (мм).

У конструкції молоткового подрібнювача застосовуються молотки з двома монтажними отворами, розміщеними симетрично відносно їхнього центра мас. Таке компонування забезпечує рівномірний розподіл навантажень під час обертання та підвищує стабільність роботи роторної системи.

В молотковому подрібнювачі молотки встановлені із двома отворами, що розташовані симетрично відносно центра ваги.

Виходячи з цього:

$$a = 2 * (1 - c),$$

$$b = (0,4 - 0,5)a \approx 0,1D.$$

Якщо:

$$a = 1,3 l,$$

$$a = 1,3 * 35 = 45,5 \text{ (мм)};$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 70 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$b=(0.4-0.5)*45.5=18.2\dots22.7 \text{ (мм)}.$$

Було прийнято: $a=45$ мм;

$$b=20 \text{ мм}.$$

Розглянемо коректність прийнятих параметрів молотків з точки зору їх ударної врівноваженості, використовуючи для оцінки такі співвідношення:

$$A = \frac{a^2 b}{\pi d^2} - \frac{d}{2} = \frac{45^2 * 20}{3.14 * 10^2} - \frac{45}{2} = 106.4 \text{ мм},$$

$$B = \frac{ab(a^2 + b^2)}{6\pi d^2} + \frac{d^2}{8} = \frac{45 * 20 * (45^2 + 20^2)}{6 * 3.14 * 10^2} + \frac{10^2}{8} = 1170 \text{ мм},$$

$$C = -\frac{106.4}{2} + \sqrt{\frac{106.4^2}{4} + 1170} = 12.5 \text{ мм},$$

$$P^2 = c * l,$$

$$P^2 = 12,5 * 35 \text{ мм},$$

$$P = 20 \text{ мм}.$$

Після вибору схеми розташування молотків на роторі переходять до визначення їх необхідної кількості, що розраховується за таким співвідношенням:

$$Z = (L - \Delta L) K_z / \partial, \quad (3.10)$$

де ΔL - сумарна товщина дисків, яка не перекривається молотками, м;

L - довжина ротора, м;

K_z - число молотків, які йдуть по одному сліду ($K_z = 1 \dots 6$);

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 71 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

∂ - товщина молотків, м.

Було прийнято $K_z=2$; $\partial =3.25*10^{-3}$ м.

Відповідно:

$$Z=(0.12-0)*2/3,25*10^{-3}=73,8 \text{ шт.}$$

Прийнято для подрібнювача, що розробляється кількість молотків рівною 72.

3.3 Розрахунок міцності молотка універсального подрібнювача

Молоток є одним із найбільш навантажених елементів ударно-молоткового подрібнювача, оскільки під час роботи він зазнає одночасно дії ударних, інерційних та згинальних навантажень. Тому перевірка його міцності є обов'язковою складовою розрахункового етапу та виконується з урахуванням реальних умов експлуатації, швидкісного режиму ротора, маси навантаження та властивостей конструкційного матеріалу.

У процесі обертання ротора молоток рухається по коловій траєкторії та працює як фізичний маятник, який зазнає дії відцентрової сили, власної ваги та сили удару при контакті із сировиною. Найбільш небезпечними для елемента є моменти, коли молоток входить у зіткнення з твердими включеннями, нерівномірними фракціями або частинками, що мають суттєву опірність руйнуванню. У цей момент у тілі молотка виникають значні напруження згину та розтягування, що мають бути враховані в розрахунку.

Під час роботи на молоток діють сила тертя та відцентрова сила $F_{ц}$, унаслідок чого найбільш напруженою (ослабленою) ділянкою є переріз А-А (рис. 3.3).

Розрахунок напружень у цій зоні виконується за такою формулою:

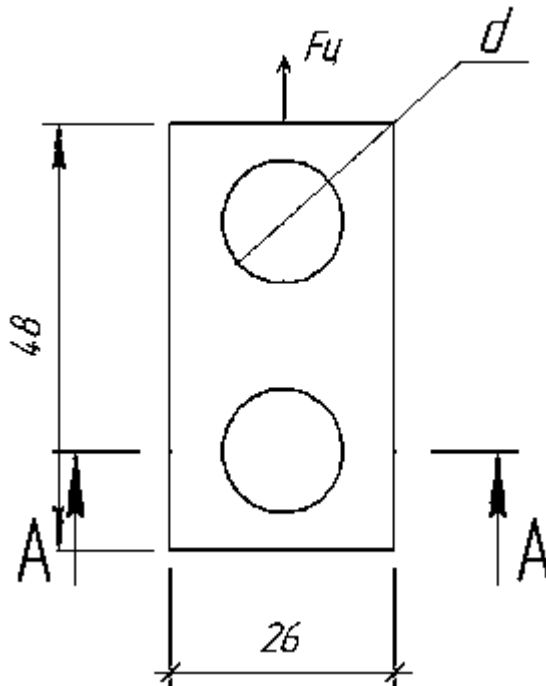
$$G = \frac{N}{A} \leq [G], \quad (3.11)$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 72 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

де G – напруження діюче, $[G]=650$ МПа [13, с.8];

A – площа безпечного перетину, м^2 ;

N – сила ($N=F_u$), Н .



$$a=45 \text{ мм}, b=20 \text{ мм}, d=10 \text{ мм}$$

Рисунок 3.3 - Розрахункова схема:

Відцентрову силу, що діє на молоток під час обертання ротора, визначають за наступною формулою:

$$F_u = m_m \cdot \omega^2 \cdot R_m, \quad (3.12)$$

де m_m – маса молотка.

Тоді:

$$m_m = \left(a \cdot b - \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2 \right) \delta \cdot \rho, \quad (3.13)$$

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

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

73

де ρ - густина матеріалу, кг/м^3 , $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$,

Підставивши значення отримаємо:

$$m_m = (0,045 \cdot 0,02 - \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} \cdot 2) \cdot 0,00325 \cdot 7800 = 0,0188 \text{ кг.}$$

де R_m – радіус обертання центра тяжіння молотка,

$$R_m = R_n + C;$$

$$R_m = 0,07 + 0,0125 = 0,0825 \text{ м,}$$

$$F_{\text{ц}} = 0,0188 \cdot 0,0825 \cdot 298^2 = 138,1 \text{ Н,}$$

$$W = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2850}{30} = 298 \text{ рад/с.}$$

Розрахуємо площу небезпечного (розрахункового) перерізу молотка за формулою:

$$A = 2 \cdot (5 \cdot 3,25) \cdot 10^{-5} = 3,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$$

$$G = \frac{138,1}{3,25 \cdot 10^{-5}} = 4249230,7 \text{ Н/м}^2 = 4,24 \text{ МПа,}$$

$$[\delta] = 650 \text{ МПа} > \delta = 4,24 \text{ МПа} .$$

Отримане значення відповідає вимогам міцності та може бути прийняте в конструкції.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 74 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

3.4 Розрахунок продуктивності молоткової дробарки

Продуктивність молоткового подрібнювача є одним із ключових показників його працездатності та визначає кількість матеріалу, який машина здатна переробити за одиницю часу. Даний параметр залежить від конструктивних характеристик подрібнювача, режимів роботи та фізико-механічних властивостей сировини. Розрахунок продуктивності дає можливість оцінити відповідність обладнання заданим технологічним вимогам, а також оптимізувати параметри ротора, решета та системи подачі.

Для розрахунку продуктивності молоткової дробарки Q (т/год), використано таке розрахункове співвідношення:

$$Q = \frac{3.6 * K_1 \gamma D^2 L n}{60}, \quad (3.14)$$

де K_1 - умовний коефіцієнт, значення якого залежить від типу сит та виду подрібнюваної сировини. Зокрема:

– для сит з отворами діаметром до 3 мм:

- при подрібненні ячменю - $1,3 \cdot 10^{-4}$;
- при подрібненні зернової суміші - $1,7 \cdot 10^{-4}$;

– для сит з отворами від 3 до 10 мм та для щілинних (пускоподібних) сит:

- при подрібненні ячменю - $2,2 \cdot 10^{-4}$;
- при подрібненні зернової суміші - $5,5 \cdot 10^{-4}$.

γ - об'ємна маса подрібненого продукту, кг/м^3 ;

D - діаметр ротора, м;

L - робоча довжина ротора, м;

n - частота обертання ротора, об/хв.

Підставивши значення отримаємо:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 75 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$Q = \frac{3.6 * 3.15 * 10^{-4} * 0.21^2 * 0.12 * 2850}{60} = 0.222 \text{ Т/ч,}$$

$$Q = 220 \text{ кг/ч}$$

3.5 Розрахунок потужності електродвигуна

Вибір та перевірка потужності електричного двигуна для універсального побутового подрібнювача є одним із ключових етапів проектування, оскільки саме привід визначає можливу продуктивність, стабільність технологічного процесу та енергоефективність роботи установки. Необхідна потужність привода залежить від опору подрібненню матеріалу, геометричних параметрів робочого органу, продуктивності подрібнювача та ККД окремих ланок привідного тракту.

Для перевірки достатності встановленої потужності електродвигуна (N , кВт) та визначення того, чи забезпечує він задану продуктивність подрібнювача, застосовується наступне розрахункове співвідношення:

$$N = \frac{3.6 * K_1 * K_2 * D^2 * Ln}{60}, \quad (3.15)$$

де K_2 - коефіцієнт, величина якого залежить від розміру отворів решета:

– для сит з отворами діаметром 6,3–10 мм (режим грубого подрібнення) значення коефіцієнта становить 6,4;

– для сит з отворами діаметром менше 6,3 мм (режим тонкого подрібнення) коефіцієнт дорівнює 10,5.

Тоді:

$$N = \frac{3.6 * 3.15 * 10^{-4} * 6.4 * 780 * 0.21^2 * 0.12 * 2850}{60} = 1.42, \quad (\text{кВт});$$

$$N_{\text{вст}} = 1.5 \text{ кВт} > N_n = 1.42 \text{ кВт.}$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. 76 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

3.6 Розрахунок продуктивності дискового подрібнювача

Продуктивність дискового подрібнювача визначає кількість коренеплідної або подібної сировини, яку машина може переробити за одиницю часу. На відміну від молоткових дробарок, де основними факторами є частота обертання та геометрія ротора, для дискових подрібнювачів домінуючу роль відіграють площа різання, кількість ріжучих кромки, товщина шару сировини та швидкість відведення подрібненого матеріалу. Тому розрахунок продуктивності базується на оцінці об'ємного потоку матеріалу, що проходить через різальний вузол.

Продуктивність дискового подрібнювача (Q , т/год), визначають із використанням наступного розрахункового співвідношення:

$$Q = 3.6Vn\gamma / 10^4, \quad (3.16)$$

де Q - продуктивність дискового подрібнювача, т/год;

n - частота обертання диска, хв^{-1} ;

γ - коефіцієнт ущільнення подрібненого продукту, $\text{кг}/\text{м}^3$;

L_n - робоча довжина ріжучої кромки ножа, м;

D_p - діаметр камери різання, м;

h - розрахункова товщина (довжина) зрізаної стружки за один прохід ножа, м;

$K_n = 0,7 \dots 0,8$ - конструктивний коефіцієнт використання довжини ножа;

$\varphi_n = 0.5 - 0.8$ - коефіцієнт заповнення міжпорожнинного простору диска подрібнювачем.

Об'єм матеріалу, що зрізається робочим органом під час одного повного оберту диска, визначають за наступним співвідношенням:

$$V = \pi D_p h L_n Z K_n \varphi_n, \text{ м}^3,$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 77 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$D_p=0.22 \text{ м}; L_n=0.005 \text{ м}; Z=32; \gamma=780 \text{ кг/м}^3; h=0.03 \text{ м},$$

$$V = 3.14 * 0.22 * 0.03 * 0.005 * 32 * 0.7 * 0.5 = 1.161 * 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$Q = 3.6 * 1.161 * 10^{-3} * 2850 * 780 / 10^4 = 0.929 \text{ т/год.}$$

У розрахунках прийнято значення продуктивності дискового подрібнювача $Q_n=930$ кг/год, що відповідає середній фракції подрібнення коренеклубнеплодів.

3.7 Розрахунки клинопасової передачі

Клинопасова передача є основною ланкою приводу універсального побутового подрібнювача та забезпечує передавання обертового моменту від електродвигуна до робочого органу. Правильний вибір її параметрів напряду впливає на надійність, довговічність і стабільність роботи всієї машини. Основними елементами клинопасової передачі є ведучий та ведений шків, клиновий пас, а також механізм натягу, який забезпечує необхідне зчеплення між пасом і шківом.

1. Крутний момент на швидкохідному валу визначають за наступним розрахунковим співвідношенням:

$$T_\delta = 9550 \frac{N_1}{n_1} = 9550 \frac{1.5}{2850} = 5.02 \text{ (Н м)}. \quad (3.17)$$

2. За отриманим значенням крутного моменту, відповідно до рекомендацій [25], для клинопасової передачі обираємо пас перерізу «0», який має такі стандартні розміри: $b_p=8.5$; $h_o=6$ мм ; $b_o=10$; $\varphi_o=2.1$; $F_1=0.47$ см².

3. Діаметр ведучого (меншого) шківом вибираємо згідно з нормативними рекомендаціями, приймаючи мінімально допустиме значення $d_{p \text{ min}}=63$ мм, що відповідає даним [25].

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 78 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

4. Діаметр веденого (більшого) шківa обчислюється з урахуванням передавального числа за наступною формулою:

$$d_{p2} = d_{p1} U(1 - \varepsilon) = 63 - 1(1 - 0.02) = 61.74 \text{ мм.}$$

Стандартний діаметр за [25] дорівнює $d_{p2} = 63$ мм.

5. Фактичне передаточне число клинопасової передачі визначають за наступним розрахунковим співвідношенням:

$$U_p = \frac{d_{p2}}{d_{p1}(1 - \varepsilon)} = \frac{63}{63 * (1 - 0.02)} = 1.02 . \quad (3.18)$$

6. Швидкість руху паса визначають із використанням наступної залежності:

$$V = \frac{\pi d_{p1} n_1}{60 * 1000} = \frac{3.14 * 63 * 2850}{60 * 1000} = 9.4 \text{ м/с.} \quad (3.19)$$

7. Частоту обертання веденого вала обчислюють за наступною формулою:

$$n_2 = \frac{d_{p1} n_1 (1 - \varepsilon)}{d_{p2}} = \frac{63 * 2850 * (1 - 0.02)}{63} = 2790 \text{ хв}^{-1}. \quad (3.20)$$

8. Міжосьову відстань у клинопасовій передачі приймають відповідно до нормативних рекомендацій, користуючись наступним співвідношенням:

$$0.95 * d_{p2} = 0.95 * 63 = 59.85 \text{ мм.}$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 79 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Було прийнято 60 мм [25].

9. Розрахункову довжину паса визначають за таким аналітичним виразом:

$$L = 2a + \frac{\pi}{2}(d_{p1} + d_{p2}) + \frac{(d_{p2} - d_{p1})^2}{4a} = \quad , \quad (3.21)$$
$$= 2 * 60 + \frac{\pi}{2}(63 + 63) + \frac{(63 - 63)^2}{4 * 60} = 317. \text{мм}$$

Стандартна довжина паса відповідно до [25] дорівнює $L=780$ мм.

10. З урахуванням стандартного значення довжини паса L визначено дійсному міжосьову відстань, яка становить $a=291$ мм.

11. Кут обхвату пасом меншого шківa визначають за наступною розрахунковою залежністю:

$$\angle_1^0 = 180^0 - 60 * \frac{d_{p2} - d_{p1}}{d} 180 - 60 * \frac{63 - 63}{291} = 180^0 > [\angle_1] = 110^0 .$$

12. Вихідна довжина паса, виходячи з [25], $L_0=1320$ визначається за формулою:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{780}{1320} = 0.59 .$$

13. Коефіцієнт довжини [25] складає $C_L=0.875$.

14. Вихідна потужність при $d_{p1}=63$ мм і $V=9.4$ м/с дорівнює $N_0=0.82$ кВт [25].

15. Коефіцієнт кута обхвату було визначено із [25] та він дорівнює $G_a=1$.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 80 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

16. Поправка до крутного моменту на передаточне була визначена із [25]
 $\Delta T_u = 0.3 \text{ Н*м}$.

17. Поправка до потужності була визначена із виразу [25]:

$$\Delta N_u = 0.0001 * \Delta T_u n_o = 0.0001 * 2850 = 0.285. \quad (3.22)$$

18. Коефіцієнт режиму роботи при вказаному навантаженні складає [25]
 $C_p = 1$.

19. Допустиму потужність, що може передаватися одним пасом, визначають із використанням такого розрахункового виразу:

$$[N] = (N_0 C_z C_L + \Delta N_u) C_p = (0.82 * 1 * 0.885 + 0.285) * 1 = 1.2 \text{ (кВт)}. \quad (3.23)$$

20. Розрахункову кількість пасів у передачі визначають за наступною формулою:

$$Z = \frac{N}{[N]} = \frac{1.5}{1.2} = 1.25. \quad (3.24)$$

21. Коефіцієнт, який враховує нерівномірність навантаження, згідно з рекомендаціями [25], приймається рівним $C_z = 1$.

22. Дійсну кількість пасів у клинопасовій передачі визначають за наступною залежністю:

$$Z^1 = \frac{Z}{C_z} = \frac{1.25}{1} = 1.25. \quad (3.25)$$

Було прийнято число пасу $Z^1=1$.

23. Силу початкового натягу одного клинового пасу визначають за таким розрахунковим виразом:

$$S_{01} = \frac{780 N}{V * C_{\angle} * C_p * Z^1} + gV^2 = \frac{780 * 1.5}{9.4 * 1 * 1 * 1} + 0.1 * 9.4^2 = 125.4 H . \quad (3.26)$$

24. Зусилля, що передається на вали клинопасової передачі, визначають за наступною залежністю:

$$Q = 2 * S_{01} * Z^1 * \sin \frac{\angle_1}{2} = 2 * 125.4 * \sin \frac{180}{2} = 217 (H) . \quad (3.27)$$

25. Геометричні розміри ободка шківів відповідно до рекомендацій [14] становлять:

$$L_p=8.5 \text{ мм}; \quad h=7; \quad b=2.5; \quad l=12; \quad r=0.5;$$

$$d_p=63 \text{ мм}; \quad \angle = 34^0; \quad h_{min}=6; \quad f=8 \text{ мм}.$$

26. Зовнішні діаметри шківів обчислюють із використанням наступного розрахункового виразу:

$$d_{11}=d_{p1}+2b=63+2*2.5=68 \text{ мм},$$

$$d_{12}=68 \text{ мм}.$$

27. Ширину обода шківів визначають за таким розрахунковим виразом:

$$M=(Z^1-1)l+2f=(2-1)*12+2*8=12+16=28 \text{ мм}. \quad (3.28)$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 82 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

3.8 Розрахунок вала на міцність

Вал є одним із найвідповідальніших елементів приводу універсального побутового подрібнювача, оскільки він передає крутний момент від клинопасової передачі до робочого органу подрібнювача та одночасно сприймає згинальні й крутні навантаження. Під час роботи на вал діють сили натягу клинових пасів, реакції підшипникових опор, маса встановленого на валу ротора, а також динамічні навантаження, викликані нерівномірністю подрібнення та коливаннями маси сировини. Тому перевірка вала на міцність є обов'язковою і виконується за нормами машинобудування з урахуванням комбінованого навантаження.

На вал діють такі основні сили:

- $F_{ш}=217$ Н - сила натягу клинового паса;
- $F_{пр}=40$ Н - сила від ваги (реакції) ротора подрібнювача.

1. Визначення реакцій підшипникових опор у вертикальній площині виконуємо шляхом розв'язання рівнянь статки для балки, на яку діють сили $F_{ш}$ та $F_{пр}$. Реакції опор у вертикальній площині обчислюються за наступним підходом:

$$\sum M_{Bx} = -R_{Ax} * l_2 + F_{ш} * (l_2 + l_1) - F_{пр} * l_3 = 0;$$

$$R_{Ax} = \frac{F_{ш} * (l_2 + l_1) - F_{пр} * l_3}{l_2} = \frac{217 * (314 + 48) - 40 * 110}{314} = 236H;$$

$$\sum M_{Ax} = R_{Bx} * l_2 - F_{пр} * (l_2 + l_3) + F_{ш} * l_1 = 0;$$

$$-R_{Bx} = \frac{-F_{пр} * (l_2 + l_3) + F_{ш} * l_1}{l_2} = \frac{-40 * (314 + 110) + 217 * 48}{314} = -20.8H.$$

Перевірка $\sum X=0$:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. 83 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$-F_{uu} + R_{Ax} + R_{Bx} - F_{np} = 0;$$

$$-217 + 236 + 20.8 - 40 = 0.$$

2. Згинальні моменти визначають за такою розрахунковою залежністю:

$$M_{Z1} = 0,$$

$$M_{Z2} = -F_{uu} * l1 = -10416 \text{ Н*мм},$$

$$M_{Z3} = -F_{np} * l3 = -40 * 110 = 4400 \text{ Н*мм},$$

$$M_{Z4} = 0.$$

3. Крутний момент визначають із використанням наступної розрахункової залежності:

$$T = T_I = 5,02 \text{ Н*мм}.$$

4. Еквівалентні моменти, Н*м визначаються наступним чином:

$$M_{eI} = 5.02;$$

$$M_{eII} = \sqrt{M_{II}^2 + T^2} = \sqrt{110.416^2 + 5.02^2} = 11.55;$$

$$M_{eIII} = \sqrt{M_{III}^2 + T^2} = \sqrt{4.4^2 + 5.02^2} = 6.67;$$

$$M_{eIV} = 5.02.$$

5. Розрахункові значення діаметра вала в характерних перерізах визначаються за результатами перевірки на міцність і жорсткість у кожній із цих точок:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 84 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$d = \sqrt{\frac{M_e}{0.1[\delta_{-1}]}} \quad (3.29)$$

де $[\delta_{-1}]$ - допустиме знакозмінне напруження для валу $\delta_s = 950$ МПа;
 $[\delta_{-1}] = 85$ МПа [25].

Діаметр вала в зоні встановлення підшипника визначають за наступною розрахунковою формулою:

$$d_{II} = \sqrt[3]{\frac{M_{eII}}{0.1[\delta_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{11.55 * 10^3}{0.1 * 85}} = 11(\text{мм}) < d_{en} = 25 \text{ мм}.$$

Отримані епюри представлено на рис.3.4.

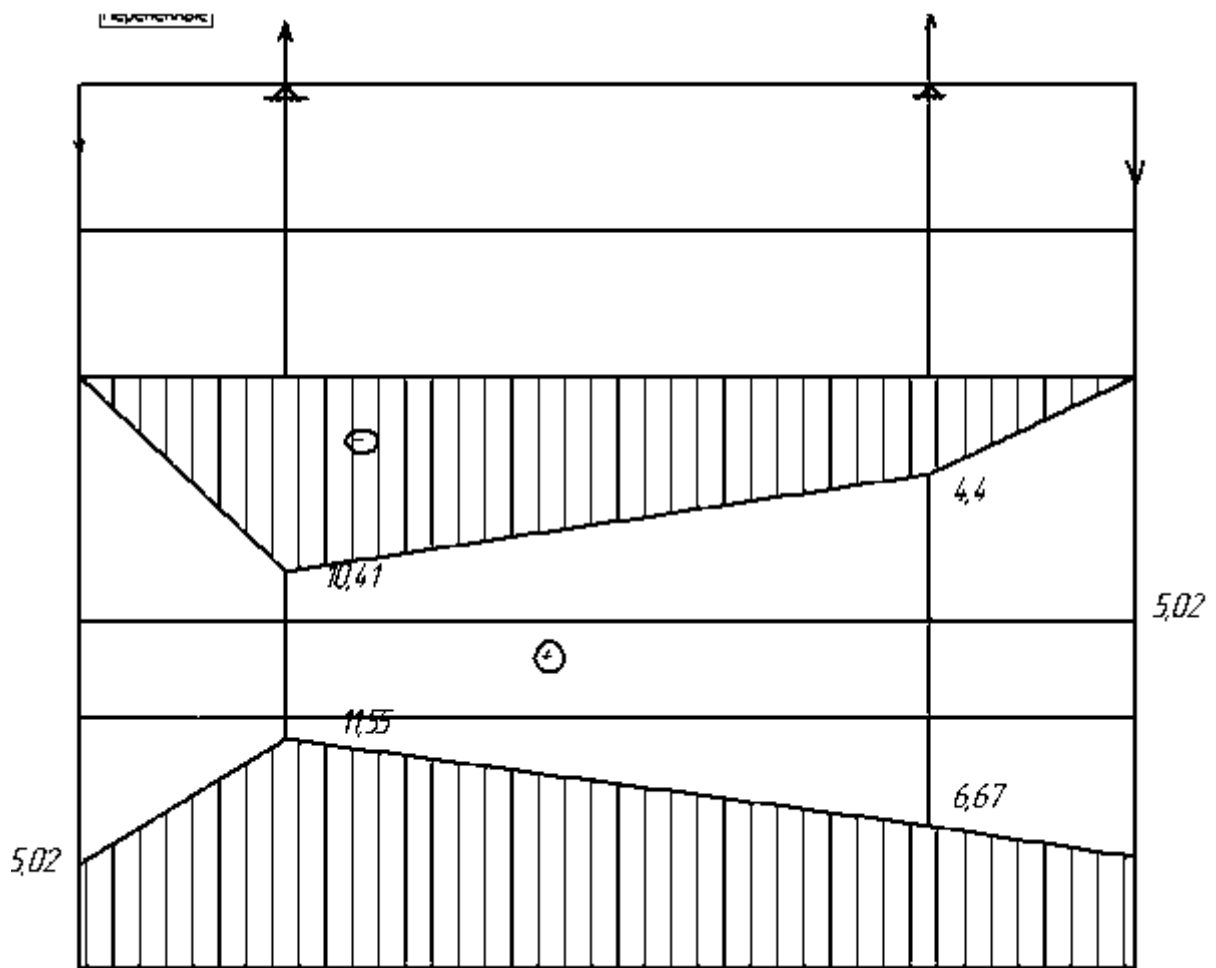


Рисунок 3.4 – Результати розрахунків

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

МРМА25.00.00.000 ПЗ

Арк.

85

3.9 Перевірочний розрахунок вала на витривалість

Перевірка вала на витривалість є важливою складовою розрахунку елементів приводу універсального подрібнювача, оскільки вал працює в умовах змінних навантажень, циклічного згину та скручування. Під дією сил натягу клинопасової передачі, реакцій ротора та змінних ударних навантажень від подрібнюваного матеріалу, напружений стан вала має змінний характер. Це обумовлює необхідність оцінки опору втомі, щоб забезпечити безвідмовну роботу протягом усього строку експлуатації обладнання.

Загальний коефіцієнт запасу міцності розраховують за наступною залежністю:

$$S = \frac{S_{\delta} * S_{\tau}}{\sqrt{S_{\delta}^2 * S_{\tau}^2}} \geq [S], \quad (3.30)$$

де S_{δ}, S_{τ} - коефіцієнт запасу відповідно за нормальними і дотичними напруженнями в розглянутому перерізі,

$$\delta = \frac{M}{W} ; \quad (3.31)$$

$$\tau = \frac{T}{W_p} ; \quad (3.32)$$

де

M, T - відповідно згинальний та крутний моменти;

W, W_p - осьовий та полярний моменти опору перерізу;

$\delta_{-1}; \tau_{-1}$ - границя витривалості матеріалу вала, МПа;

K_{δ}, K_{τ} - коефективні коефіцієнти концентрації напружень;

ε_n - коефіцієнт, що враховує якість обробленої поверхні;

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 86 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$\varepsilon_\delta, \varepsilon_\tau$ - масштабні коефіцієнти;

φ - коефіцієнт, який враховує вплив асиметрії циклу навантаження на міцність;

[S] - допустимий коефіцієнт запасу витривалості, прийнятий рівним 3 згідно з [13].

Тоді:

$$S_\delta = \frac{\delta_{-1}}{K_\delta / (\varepsilon_n \varepsilon_\delta) \delta}; \quad (3.33)$$

$$S_\tau = \frac{2\tau_{-1}}{K_\delta / [(\varepsilon_n \varepsilon_\tau) + \varphi] \tau}; \quad (3.34)$$

Матеріалом виготовлення вала обрано сталь 40ХН, яка характеризується підвищеною міцністю, доброю втомною витривалістю та придатністю до термічної обробки, що робить її оптимальною для деталей, що працюють під дією змінних згинально-крутних навантажень.

Тоді:

$$\delta_{-1} = 0.35\delta_g \pm 100 = 0.35 * 950 + 100 = 432.5 \text{ МПа}; \quad (3.35)$$

$$\tau_{-1} = 0.58\delta_{-1} = 0.58 * 432.5 = 251 \text{ МПа}. \quad (3.36)$$

Для перерізу в зоні встановлення підшипника необхідно враховувати концентрацію напружень, що виникає внаслідок посадки підшипника на вал. Відповідні поправочні коефіцієнти визначають із використанням наступного розрахункового виразу:

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. 87 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$\frac{K_{\delta}}{\varepsilon_{\delta}} = 3.81 ; \quad \frac{K_{\tau}}{\varepsilon_{\tau}} = 2.73 ;$$

$$\varepsilon_n = 1 ;$$

$$\varphi = 0.1 .$$

Момент опору даного перерізу визначають за наступним виразом:

$$W = \frac{\pi d_n^3}{32} = \frac{3.14 * 25^3}{32} = 1534 \text{ мм}^3 , \quad (3.37)$$

$$W_p = \frac{\pi d_n^3}{16} = \frac{3.14 * 25^3}{16} = 3068 \text{ мм}^3 . \quad (3.38)$$

Нормальні та дотичні напруження у розрахунковому перерізі визначають за такими залежностями:

$$\delta = \frac{M_{II}}{W} = \frac{11.55 * 10^3}{1534} = 7.5 \text{ МПа} ,$$

$$\tau = \frac{t}{W_p} = \frac{5.02 * 10^3}{3068} = 1.6 \text{ МПа} .$$

Запаси міцності для даного перерізу визначаються із використанням наступних розрахункових співвідношень:

$$S_{\delta} = \frac{432.5}{\frac{3.81}{1} * 75} 15.1 ,$$

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. 88 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$S_r = \frac{2 * 251}{\frac{2.73}{1+0.1} * 1.67} = 126.$$

Загальний коефіцієнт запасу міцності для розглядуваного перерізу визначають за наступним розрахунковим виразом:

$$S = \frac{15 * 126}{\sqrt{15^2 + 126^2}} 14.8 > [S] = 2...3.$$

3.10 Розрахунок шпонкових з'єднань

Шпонкові з'єднання застосовуються для передавання крутного моменту між валом і насадженими на нього деталями - шківками, втулками, ротором подрібнювача. Надійність такого з'єднання визначає працездатність усього приводу, оскільки шпонка працює в умовах циклічних навантажень, сприймає значні контактні напруження та є потенційною точкою концентрації напружень на валу. Тому шпонкове з'єднання повинно бути розраховане на міцність за зминанням, зсувом і контактними напруженнями.

По $d_b=20$ мм відповідно до [25] буда вибрана призматична шпонка з наступними розмірами: $b=6$ мм, $h=6$ мм.

Робочу довжину шпонки, визначену з умови міцності на стиск, обчислюють за таким розрахунковим виразом:

$$l_p \geq \frac{4T}{d_n[\delta]cm}, \quad (3.39)$$

де T – обертальний момент;

$[\delta]cm$ – допустиме напруження стиску, $[\delta]cm=130...180$ МПа [25] для сталі 45,

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 89 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

$$l_p = \frac{4 * 5.02 * 10^3}{20 * 6 * 130} = 1.28 \text{ мм},$$

Довжину шпонки приймаємо згідно зі стандартним рядом та результатами розрахунку:

$$l = l_p + b = 1.28 + 6 = 7.88 \text{ мм}. \quad (3.40)$$

Прийнято по [25] $l=16$ мм.

Перевірку шпонкового з'єднання за напруженнями у небезпечному перерізі виконують за наступною умовою:

$$\tau_{3p} = \frac{2T}{b * l_p * d} = \frac{2 * 5.02 * 10^3}{6 * 1.28 * 16} = 81.62 \text{ (МПа)} < [\tau_{3p}] = 87 \text{ МПа}. \quad (3.41)$$

Було прийнято шпонку 6х6х16.

3.11 Перевірка на довговічність підшипників кочення

Підшипники кочення є одним із ключових елементів приводу універсального побутового подрібнювача, оскільки вони забезпечують підтримання вала в робочому положенні, сприймають радіальні та осьові навантаження, а також забезпечують плавність і стабільність обертання ротора. В процесі роботи подрібнювача підшипники зазнають змінних навантажень, викликаних нерівномірністю подачі матеріалу та ударними імпульсами від процесу подрібнення. Тому перевірка їх довговічності є важливим етапом розрахунку, що дозволяє гарантувати безпечну й надійну експлуатацію обладнання протягом заданого терміну служби.

Розрахунок довговічності виконуємо для того підшипника, який працює в більш напружених умовах та сприймає максимальне навантаження.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 90 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

Відповідно:

$$F_r = 236H; F_a=0, \frac{c}{p} = 12.4;$$

$$c=p*12,4=236*12,4=2926,4 \text{ Н} < c = 11000.$$

Каталожне значення динамічної вантажопідйомності обраного підшипника суттєво перевищує розрахункове робоче навантаження. Отже, підшипник забезпечує необхідний запас міцності та може вважатися придатним для роботи в конструкції подрібнювача.

3.12 Висновки до третього розділу

У третьому розділі виконано комплекс розрахунків, які підтверджують працездатність та надійність розробленого універсального побутового подрібнювача. На основі вихідних даних обґрунтовано вибір основних параметрів приводу, геометричних розмірів ротора та системи молотків, перевірено їхню ударну врівноваженість і міцність у небезпечних перерізах. Розрахована продуктивність молоткового та дискового подрібнювачів показала, що конструкція забезпечує необхідний рівень переробки зернової та коренеклубнеплідної сировини при заданих режимах роботи.

Перевірка потужності електродвигуна, параметрів клинопасової передачі, вала, шпонкових з'єднань та підшипників кочення засвідчила, що фактичні напруження та робочі навантаження не перевищують допустимих значень, а отримані коефіцієнти запасу міцності та довговічності є достатніми для умов експлуатації в приватних садибах. Таким чином, розрахунковий аналіз підтвердив, що обрана конструкція універсального подрібнювача є працездатною, надійною та придатною до подальшого виготовлення й експериментальної перевірки.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 91 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження, спрямоване на розробку універсального побутового подрібнювача для потреб приватних господарств. У результаті проведеного аналізу, проєктування та інженерних розрахунків було досягнуто основну мету роботи - обґрунтувати конструктивне та технологічне рішення обладнання, здатного ефективно подрібнювати різні види сировини.

У першому розділі проведено огляд існуючих технологій і способів подрібнення, проаналізовано наукові підходи, патентні рішення та особливості силових взаємодій у процесі руйнування матеріалів. Це дозволило сформулювати вимоги до майбутньої конструкції та визначити найбільш раціональні принципи дії для універсального подрібнювача.

У другому розділі розроблено технологію подрібнення трьох основних груп сировини - зернової, коренебульбоплодів та листостеблової маси, - а також створено кінематичну та конструктивну схеми обладнання. Було запропоновано універсальну компоновку, що забезпечує можливість адаптації подрібнювача під різні режими роботи, простоту експлуатації та обслуговування.

У третьому розділі виконано всі необхідні розрахунки, які підтвердили працездатність запропонованої конструкції. Зокрема, розраховано параметри ротора та молотків, продуктивність молоткового й дискового подрібнювачів, енергетичні характеристики приводу, міцність та довговічність основних деталей, у тому числі вала, шпонкових з'єднань та підшипників. Отримані результати засвідчили відповідність конструкції вимогам міцності, надійності та безпечної експлуатації.

Узагальнюючи результати роботи, можна зробити висновок, що розроблений універсальний побутовий подрібнювач є технічно обґрунтованим, енергоефективним та функціонально гнучким засобом механічної обробки сировини. Він забезпечує достатню продуктивність, високу якість подрібнення та знижені експлуатаційні витрати, що робить його придатним для використання у приватних садибах та малих фермерських господарствах.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | MPMA25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 92 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Розвиток агропромислового комплексу та сільських територій під час війни: Збірник матеріалів Науково-практичного форуму, 29 травня 2024 року. Одеса, ОДАУ. 2024. 157 с.

2. Огляд існуючих подрібнювачів коренебульбоплодів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/1862589/>.

3. Конспект лекцій навчальної дисципліни «Машини, обладнання та їх використання при переробці с.-г. продукції» для здобувачів вищої освіти спеціальності 208 - Агроінженерія. - Умань: Уманський НУС, 2019. - 178 с.

4. Дацишин О.В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. - Вінниця: "Нова книга", 2008 – 468с.

5. Хомик Н.І. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: методичні вказівки до лабораторних робіт / Н.І. Хомик, А.Д. Довбуш, Н.А. Рубінець. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 52с.

6. А.С. № 1518008 А1. Молотковий подрібнювач.

7. А.С. №612694 В 02 С 13/04. Пристрій для подрібнення кормів.

8. А.С. № 1491566 А1 В 02 С13/28. Молотковий подрібнювач.

9. Електричні схеми – види, призначення [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://vse-e.com/ua/novosti/elektricheskie-shemy-vidy-naznachenie?srsltid=AfmVOopLYnjpgC1vsZMHnS9ce9kWyu0iyhcYA407HFhJ0_seu3eb9Hrb

10. Хомик Н.І. Технологія виробництва і переробки сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, Н.Б. Гаврон, Н.А Рубінець. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 248с.

11. Скалецька Л.Ф., Подпратов Г.І. Зберігання та переробка продукції рослинництва: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2001. – 303 с.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 93 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

12. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А.С.Кобець, Ю.О.Чурсінов, С.А.Черних, М.П. Сабадаш, Н.В.Грекова, В.П. Канунніков – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2013.- 766с.

13. Іваненко Ф.В. Технологія переробки сільськогосподарської продукції [Електронний ресурс] : [міжпредмет. тренінг для студ. спеціалізації «Економіка агропромислових формувань»] / Ф. В. Іваненко, А. Т. Соколовський. - К. : КНЕУ, 2014. - 268 с.

14. Колотило Д. М., Соколовський А. Т. та ін. Технологічні процеси галузей промисловості: навч. посіб. - К.: КНЕУ, 2003. - 380 с.

15. Ситнікова Н.О., Фоміна К.Ф., Дудник Л.І., Чернозубенко Н.Н., Кузьменко Л.І. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції: навч. посіб. – К.: Аграрна освіта, 2008. - 304с.

16. Мороз В.І., Кудряш А.П., Братченко О.В., Павшенко А.В. Основи проектування механізмів і машин: Опорний конспект лекцій з дисципліни «Прикладна механіка» – Харків: УкрДАЗТ, 2010. - Ч.3. – 55 с.

17. Мороз В.І., Братченко О.В., Лінков В.В. Основи конструювання і САПР: Навч. посібник. – Харків: Нове слово, 2003. – 194 с.

18. Мороз В.І., Захарченко В.В., Братченко О.В., Надтока О.В. Основи конструювання деталей машин: Опорний конспект лекцій з дисципліни “Прикладна механіка”.– Харків: УкрДАЗТ, 2005. - Ч. 2. - 137 с.

19. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – Л.: Афіша.2003.

20. В.М. Арндаренко, О.М. Іванов, О.О. Назаренко. Основи дослідження і проектування механізмів і машин. Навчальний посібник – Полтава, 2016. – 272 с.

21. Проектування головної електричної схеми [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/feeem/9kulyk_modelyuvannya_zadachah_rozvytku_elektrsystem/2_1.htm

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. 94 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

22. Проектування систем керування: конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» / Уклад.: М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький, – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 279 с.

23. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Розрахунок та конструювання машин та агрегатів (ОПХВ)» для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання./Укл.: Бельмас І.В. – Кам’янське: ДДТУ, 2017р. – 110 с.

24. Стаценко В.Є. Деталі машин : навч. посібник. В 2 ч. : Ч. І. Основи проектування та методики розрахунку зубчастих механічних приводів / В.Є. Стаценко, В.П. Шумляківський.- Житомир: ЖДТУ, 2015.-260 с.

25. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.; з іл.

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 95 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТОК А

| | | | | | | |
|-----|------|---------|--------|------|---------------------|------|
| | | | | | МРМА25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 96 |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата | | |