

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

КОТЛІНСЬКИЙ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.311.4-52

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування параметрів та режимів роботи подрібнювача фуражного зерна

(тема роботи)

208 «Агроінженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Котлінський Ю.О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи подрібнювача фуражного зерна. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В роботі проведений аналіз сучасних способів та технічних засобів для подрібнення фуражного зерна. Наведене теоретичне дослідження даного процесу, обґрунтовано способи та визначено швидкості подрібнення зерна, а також продуктивність подрібнювача ударно-відцентрової дії.

Описано будову та принцип дії машини для подрібнення та визначено основні показники процесу подрібнення.

Ключові слова: подрібнення, фуражне зерно, процес, удосконалення.

ABSTRACT

Kotlinsky Yu.O. Justification of the parameters and modes of operation of the forage grain chopper. Qualification for the advanced master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

The work analyzes modern methods and technical means for grinding fodder grain. The theoretical study of this process is presented, the methods are substantiated and the speed of grain grinding is determined, as well as the performance of the shock-centrifugal grinder.

The structure and principle of operation of the grinding machine are described and the main parameters of the grinding process are determined.

Key words: grinding, fodder grain, process, improvement.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН СПОСОБІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА	6
1.1. Аналіз способів подрібнення фуражного зерна	6
1.2. Подрібнювачі зерна ударно-відцентрової дії	7
1.3. Аналіз конструкцій подрібнювачів ударно-відцентрової дії	10
1.4. Висновки по розділу 1	15
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА	17
2.1. Обґрунтування способу та визначення швидкості подрібнення зерна	17
2.2. Визначення продуктивності подрібнювача ударно- відцентрової дії	21
2.3. Висновки по розділу 2	22
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИНИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА	23
3.1. Опис подрібнювача ударно-відцентрової дії	23
3.2. Визначення основних показників процесу подрібнення	25
3.3. Висновки по розділу 3	32
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	34

ВСТУП

У сучасних умовах виробники тваринницької продукції стали відмовлятися від придбання комбикормів для згодовування тварин та налагоджують їхнє виробництво на місцях. Даний факт такої організації кормовиробництва дозволяє значно знизити витрати на транспортування як сировини, так і готового продукту, а також найоптимальніше використовувати ресурси місцевих товаровиробників.

«Застаріле та недосконале обладнання призводить до того, що більше 55 % зерна, яке використовується для згодовування тварин, використовується в кормових цілях дається тваринам у вигляді однорідного (монокорма), що впливає на зниження ефективності його використання».[1-3]

Правильність приготування кормів для тваринництва у значній мірі впливає ефективність виробництва одержуваної продукції тваринництва.

Нині для приготуванні кормів потрібно враховувати різноманіття видів матеріалів і їх властивостей, а також відмінності технологій приготування. Це призводить до створення великого різноманіття способів приготування кормів. Способи для виготовлення кормів поділяються на: механічні, теплові, хімічні, біологічні та біохімічні. Відповідно до цього всі види обробки (переробки) різних матеріалів шляхом механічної дії на них за допомогою інструменту або робочого органу машини відносяться до механічної технології.

У процесі механічного приготування кормів самим поширеним важливим процесом є подрібнення. Під подрібненням розуміється процес поділу шматків матеріалу під впливом зовнішніх зусиль на складові частини. Подрібнення проводиться впливом зовнішніх сил, напруження від яких, виникаючи в матеріалі, вище напружень молекулярних сил зчеплення.

Принципово новим, на відміну від молоткових дробарок, є принцип роботи ударно-відцентрових подрібнювачів, в основі яких закладено наступний принцип. У відцентровому полі зерну надається рух, внаслідок удару об перешкоду (нерухому або рухому) при якому відбувається руйнація зерна.

У зв'язку з вищевикладеним, виключно більшої актуальності набувають питання узагальнення наявних дослідницьких і конструкторських робіт зі створення енергоресурсозберігаючих технологій з кормоприготування, в тому числі розробки менш енергоємних технічних засобів нового покоління.

Дана робота присвячена удосконаленню конструкції та роботи ударно-відцентрового подрібнювача зерна шляхом обґрунтування його раціональних конструктивних та режимних параметрів.

Мета дослідження. Підвищення ефективності подрібнення фуражного зерна за рахунок удосконалення конструкції подрібнювача.

Об'єктом досліджень є технологічний процес подрібнення фуражного зерна в ударно-відцентровому подрібнювачі, його елементи та основні робочі органи.

Предмет досліджень – закономірності впливу основних конструктивних параметрів ударно-відцентрового подрібнювача на ефективність процесу дроблення фуражного зерна.

Завдання дослідження. Закономірності впливу основних конструктивних параметрів подрібнювача на ефективність процесу подрібнення фуражного зерна.

Методика досліджень. Теоретичні дослідження виконані з використанням закономірностей і методів теоретичної механіки, математики та аналізу.

Публікації:

Сукманюк О.М., Котлінський Ю.О. Визначення продуктивності подрібнювача ударновідцентрової дії. Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи». 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С.68-70.

Котлінський Ю.О. Аналіз подрібнювачів зерна ударно-відцентрової дії. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Інженерні процеси та системи». 14-15 червня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. с.61-65.

Котлінський Ю.О. Аналіз основних способів подрібнення фуражного зерна. Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 141-143.

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 36 сторінках машинописного тексту, містить 1 таблицю, 19 рисунків, списку використаних джерел з 25 найменування.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН СПОСОБІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

1.1. Аналіз способів подрібнення фуражного зерна

«Подрібнення компонентів – є дуже важливою та енергоємною операцією у загальній технології виробництва та підготовки кормів». [2] «Дана операція безпосередньо впливає на різноманітні витрати і визначає якісні характеристики комбикормів та готової продукції». [4]

«До способів подрібнення відносять: розколювання, роздавлювання, різання, вільний удар, розламування, стирання, розпилювання, стиснутий удар та ін., що наведено» на рис. 1.1. [1-3, 5]. Від способу подрібнення залежать ефективність процесу та якість одержуваних подрібнених кормів.

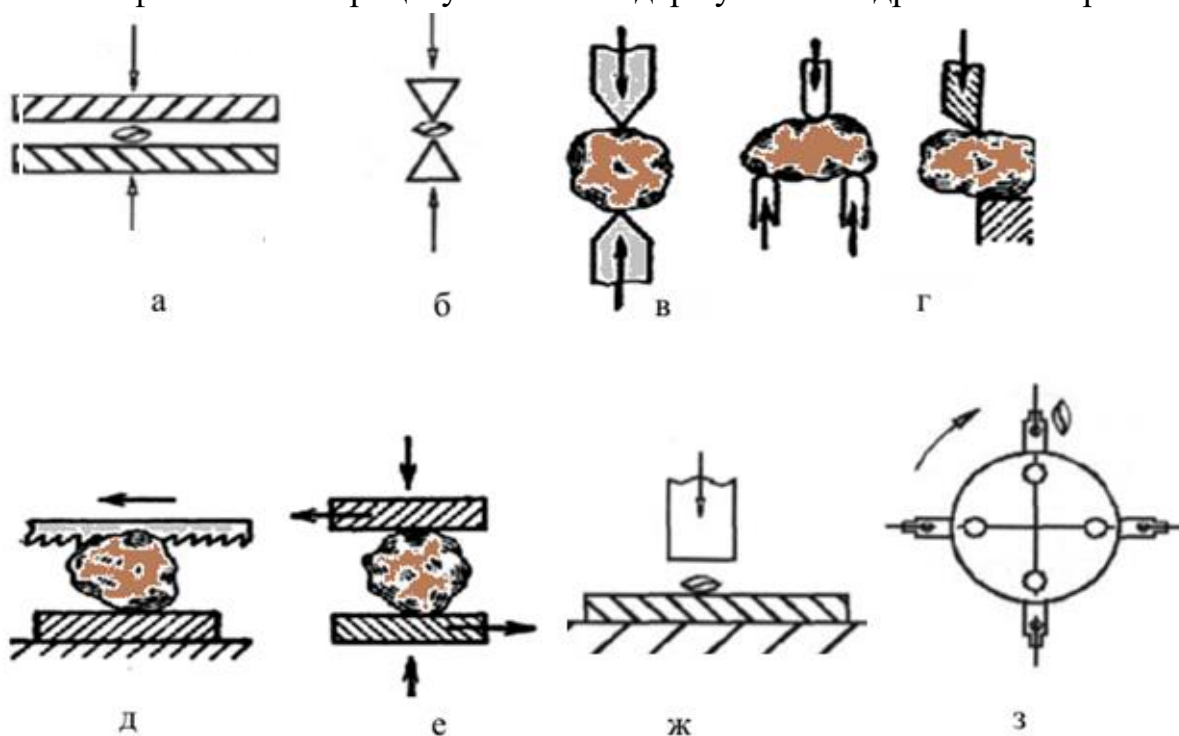


Рисунок 1.1 – Види подрібнення зерна: а – роздавлювання; б – розколювання; в – розламування; г – різання; д – розпилювання; е – стирання; ж – стиснутий удар; з – вільний удар

«Вибір способу подрібнення залежить від фізичних, механічних властивостей матеріалу подрібнення». [6] Фуражне зерно проходить процес подрібнення переважно ударом та роздавлюванням, за участю деяких інших способів руйнування. У своїх працях дослідники наводили результати досліджень того, що мінімальна енергоємність складає у процесі удару.

«Ефективність подрібнення визначається і залежить від часу застосування зовнішніх сил та температурного режиму матеріалу подрібнення на думку Денисова В.А.» [6]. Вчений Барабашкін В.П. [7, 8] довів, що питома вартість машин з ударною дією нижча до 2-х разів, ніж вальцевих, які працюють на основі принципу роздавлювання та вага їх менша у 4 рази.

Таким чином, на сучасному етапі розвитку техніки та технологій, існуюче устаткування для подрібнення зерна одноманітне. Принцип його дії здійснюється за рахунок руйнування зернового матеріалу шляхом зусилля стиснення та зсуву. До таких відносяться молоткові дробарки та вальцьові млини.

Проте, «на деяких підприємствах стають актуальними ударно-відцентрові подрібнювачі для подрібнення зернового матеріалу, до числа яких слід віднести: відцентрові дробарки, дисмембратори, дезінтегратори, використовуються для одержання продукції тонкого помелу». [9-12]

1.2. Подрібнювачі зерна ударно-відцентрової дії

На сучасному етапі багатьох дослідників цікавить проблема застосування подрібнювачів, що конструктивно і технологічно відрізняються від молоткових дробарок.

В основі принципу їхньої дії – лежить принцип розгону зернівки при впливі відцентрових сил інерції, з ударом об перешкоду. Однак, більшість подрібнювачів характеризує низька енерго- та металоємність, середня якість отриманого продукту, знижений рівень шумового впливу вібрацій та ін.

«У даний час використання даного виду подрібнювачів визначається низьким дослідженням конструкційних параметрів та режимів роботи їх основних робочих органів». [13]

На основі проведених досліджень та аналізу літературних джерел, можна виділити різні конструкції подрібнювачів ударно-відцентрової дії, які наведені на схемі (рис. 1.2).

Товаров В.В. перший розробив конструкцію подрібнювача ударно-відцентрової дії. Конструкцію подрібнювача наведено на рис. 1.3 б.

Ротор подрібнювача розміщений на вертикальному валу та має розгінні лопатки.

Сировина, що надходить у ротор потрапляє під дію лопаток та від дією відцентрової сили інерції надходить на відбійні плити. Вивантаження готового матеріалу відбувається під дією сил тяжіння. Однак, дана

конструкція не набула широкого використання через підвищену неоднорідність одержуваної продукції, зокрема – гранулометричного складу.



Рисунок 1.2 – Схема подрібнювачів ударно-відцентрової дії

У виробничих умовах такі конструкції не ефективні, так як характеризуються поганим регулюванням гранулометричного складу, що відбувається на основі зміни частоти руху ротора.

«Денисов В.А. працюючи над підвищенням однорідності одержуваного продукту у відцентрових дробарках запропонував використовувати неодноразове ударне навантаження на матеріал з проміжною сепарацією». На рис.1.3. г «наведена дробарка, що має циліндричний корпус, а також завантажувальні та вивантажувальні отвори». [9, 14-15]

«У даній дробарці гранулометричний склад продукту можна регулювати за рахунок частоти обертання ротора, а також діаметра отворів». [16]

У сучасній промисловості для одержання готового продукту тонкого подрібнення використовуються дезінтегратори та дисмембратори.

Однак, при порівнянні з дезінтеграторами та дисмембраторами, «відцентрові дробарки мають ряд недоліків, до яких можна віднести: конструкцію відбійних дек, яка не може забезпечити вивантаження подрібненого продукту з місця подрібнення, тому зерно подрібнюється не повністю, а зростання подачі збільшується». [17]

«При виготовленні продукту великого та середнього помелу рекомендується використовувати двоступінчасті подрібнювачі ударно-відцентрової дії, що представлені на рис. 1.3. а, в, е., проте за необхідності одержати продукт тонкого помелу, ефективними є багатоступінчасті дробарки, які представлені» рис. 1.3. д. [18]

Усі конструкції дезінтеграторів мають циліндричний корпус, у ньому розташовуються ротори, що протилежно обертаються.

У більшості конструкцій ножі на роторах конструктивно розташовані по колу, на різних радіусах і мають певний зазор.

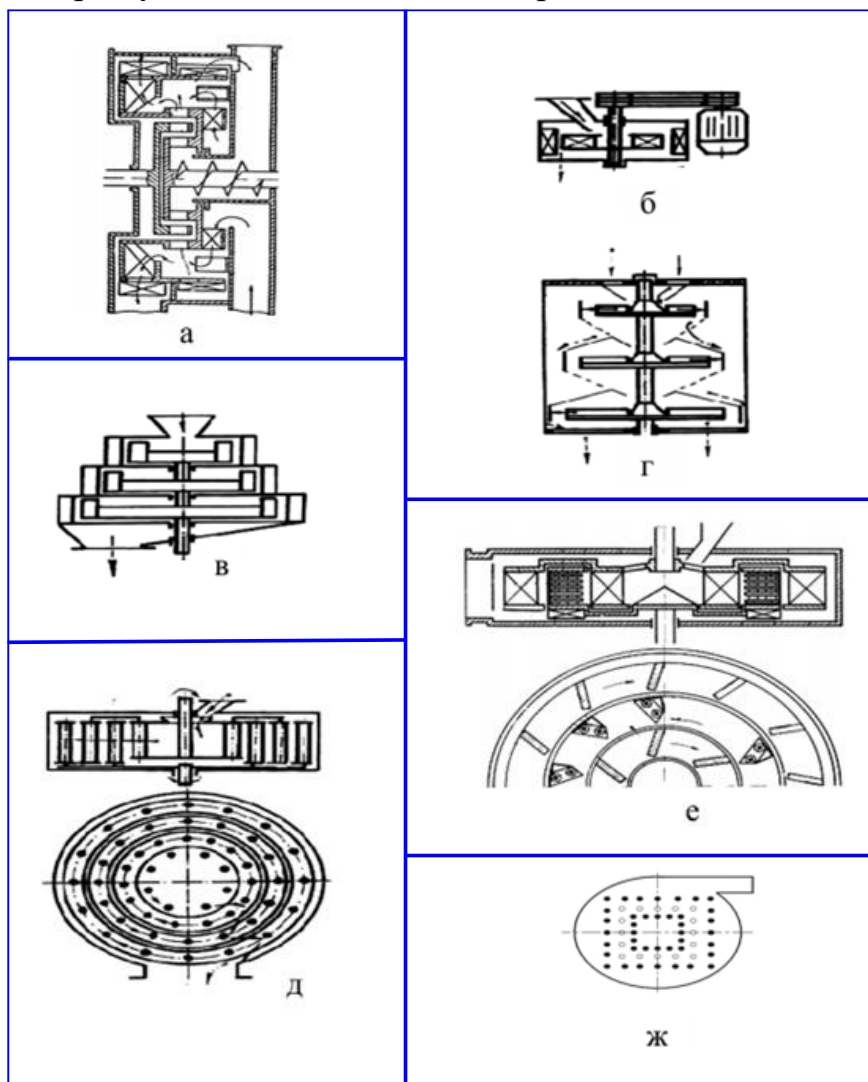


Рисунок 1.3 – Конструктивно-технологічні схеми подрібнювачів: а – дезінтегратор із проміжною повітряною сепарацією замкнутого циклу; б - дробарка В.В. Товарова; в – каскадна дробарка; г – триступінчастий подрібнювач з проміжною сепарацією; д – пальцевий дезінтегратор; е – дезінтегратор з проміжною сепарацією на плоских подрібнюючих елементах; ж – дезінтегратор з розташуванням пальців за квадратом.

У старих конструкціях подрібнювачів ударно-відцентрової дії вивантаження отриманого продукту проводилося самопливом, на основі

гравітаційних сил та наведені на рис.1.3 б, в. Враховуючи підвищену транспортуючу здатність дезінтеграторів і дисмембраторів вивантаження отриманого матеріалу провадиться при дії відцентрових сил інерції та повітряного потоку, що представлено на рис. 1.3. в, е, д.

«При розгляді деяких варіантів подрібнювачів ударно-відцентрово дії необхідно зазначити, що вивантаження одержуваного продукту в них здійснюється транспортером». [19]

«Лідером у галузі виробництва відцентрово-ударного обладнання на зарубіжному ринку є фірма «Barmac». Дані фірма є частиною корпорації "Metco Minerals".

Необхідно відзначити ще одного великого товаровиробника – це компанію Sandvic, яка випускає модель «Merlin», схожу за своїми параметрами та характеристиками з «Barmac»». [14]

Більшість відомих моделей вищезазначених подрібнювачів відрізняються високими швидкостями обертання робочих деталей. Тому мають значні витрати енергії на створення необхідного потоку повітря, що впливає на напрямок, швидкість руху частки у робочій камері подрібнювача.

«Даний процес характерний дезінтеграторам із наявністю плоских робочих елементів. Необхідно відзначити, що комплексні дослідження, опису руху повітряного потоку в робочій камері дисмембратора, ще не проводилися». [20]

«На основі вивчення та аналізу літературних джерел нами виділено найефективніші способи подрібнення сировини при використанні подрібнювачів відцентрово-ударної дії. Усі подрібнювачі на основі способу сепарації можна класифікувати за трьома групами, що представлено рис. 1.3. До них відносяться подрібнювачі із сепарацією на основі дії як потоку повітря так і гравітаційного та відцентрового полів». [21]

1.3. Аналіз конструкцій подрібнювачів ударно-відцентрової дії

«Конструкція триступінчастої відцентрової дробарки з проміжною сепарацією була розроблена Денисовим В.А.» (рис. 1.4), «у якій під впливом гравітаційних сил відбувався поділ подрібненого продукту на похилій ситовій поверхні». [22] Перевагою даного подрібнювача, якщо порівнювати з молотковим, було винесення сепаруючих органів з подрібнюючої зони. Ця особливість конструкції збільшувала надійність роботи дробарки. До її недоліків можна віднести відсутність рециркуляції та можливості інтенсифікувати процес сепарації.

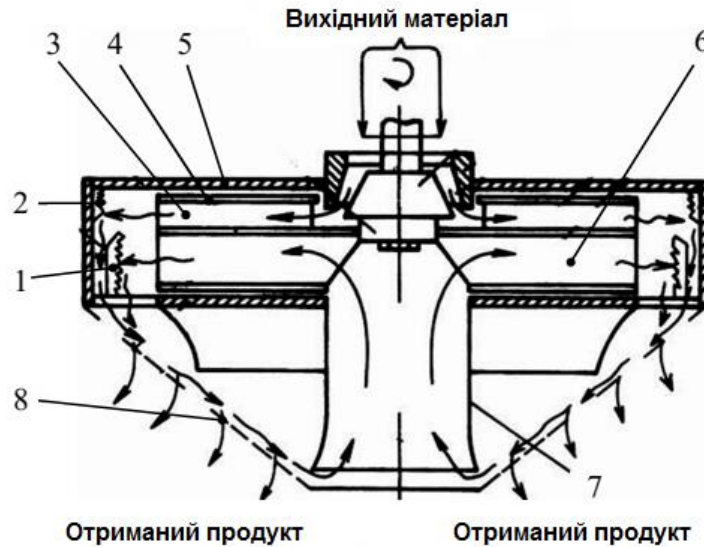


Рисунок 1.4 - Відцентрова дробарка з внутрішнім рециклом: 1, 2 – кругові відбійні деки; 3 – верхня лопатка; 4 – ротор; 5 – корпус дробарки; 6 – нижня лопатка; 7 – всмоктуючий патрубок; 8 – конічні решета.

Процес роботи у зазначеному подрібнювачі полягає в наступному: вихідний матеріал подається на розгінний ротор 4, лопатками 3 відбувається його розгін і удар об відбійну деку (кругову) 2, потім, частково подрібнена сировина переміщається на решето у вигляді конуса 8, в якому відбувається сепарація сировини. Елементи нестандартного розміру під дією потоку повітря, який створюється нижніми лопатками 6, через патрубок 7 переміщається на розгінні лопатки, де відбувається повторні розгін та удар об кругові деки позиція 1. Подрібнений готовий матеріал вивантажується через решето 8.

Однак у цієї та аналогових конструкціях відсутня можливість управління гравітаційним полем, що є суттєвим недоліком, а також низька якість отриманого продукту при збільшенні подачі в камеру дроблення. Крім цього, негативним фактором у процесі сепарації може бути вплив потоку повітря, який рухається в отворах сит назустріч частинкам.

«Золотарьовим С.В. запропонована і досліджена ударно-відцентрова дробарка зі зустрічно-обертливими роторами, з закріпленими на них плоскими робочими органами» (рис. 1.5)». [12]

Дробарка складається з циліндричного корпусу 1 з тангенціально встановленим вивантажним патрубком 2, завантажувального бункера 3, робочих органів у вигляді двох зустрічно-обертливих роторів 6 і 7 з трьома рядами плоских подрібнюючих елементів 11, 12, 13. Ротори верхній 6 і нижній 7 кріпляться на маточинах вертикальних валів, відповідно, на верхній

4 і нижній 9 опорах. Опори 4 і 9 розташовані на кришці 2 і дні 8 камери подрібнення. Концентрично встановлені ряди подрібнюючих елементів 1, 12, 13 розташовані таким чином, що в кільцевий простір між рядами подрібнюючих елементів 11 і 13, закріплених на роторі 6, входить ряд подрібнюючих елементів 12, закріплених на роторі 7, утворюючи при цьому два ступені подрібнення.

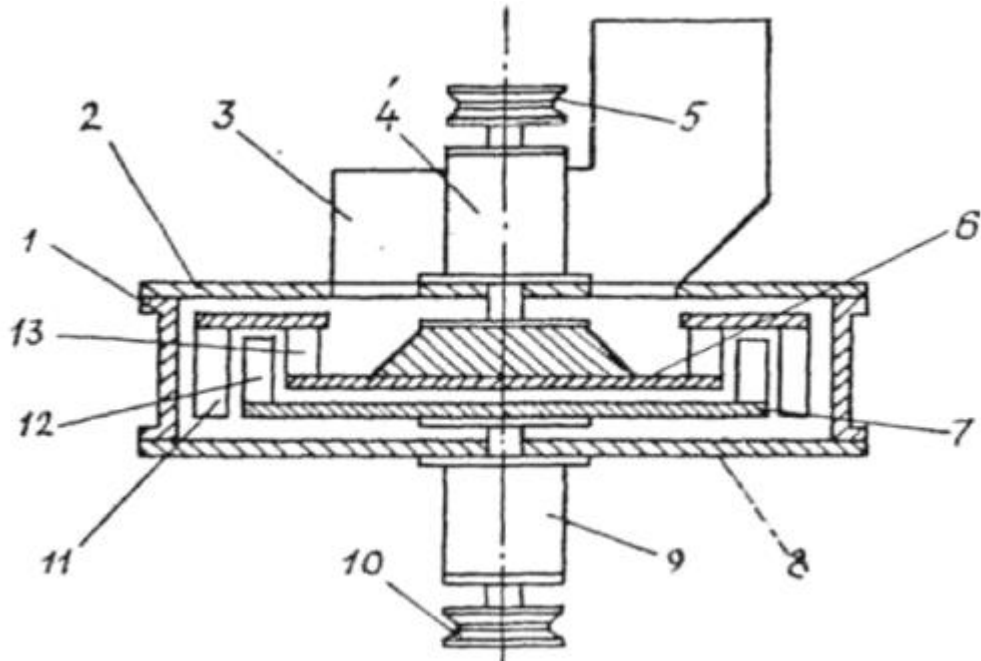


Рис. 1.5. Схема ударно-відцентрової дробарки з зустрічнообертливими роторами

Привід дробарки здійснюється від двох асинхронних електродвигунів потужністю по 11 кВт з частотою обертання 2970 хв⁻¹ через шків 5 і 10 клинопасової передачі.

До істотних недоліків відцентрових дробарок слід віднести:

- зниження якості матеріалу, продукту що подрібнюється, при збільшенні подачі матеріалу в камеру подрібнення, тобто при збільшенні продуктивності порушується технологічний процес подрібнення, збільшується вихід цілих і недоподрібнених зерен в готовий продукт;

- неможливість подрібнення зернового матеріалу підвищеної вологості і олійних зернових культур.

Дробарка кормів ІЛС-5 (рис. 1.6) складається з корпусу 5 з завантажувальним бункером зернового матеріалу 1 і кришки корпусу, відведення подрібненого продукту 9. Всередині корпусу 5 горизонтально і співвісно встановлені два диска: верхній 4 і нижній 6, мають можливість реверсивного обертання. На робочих поверхнях дисків 4 і 6 виконані кільцеві виступи 2 і 3, які мають в радіальному перетині форму рівнобічної трапеції. Виступи верхнього диска 4 розташовані між виступами нижнього диска 6. У

кільцевих виступах 2 і 3 в радіальному напрямку виконані наскрізні пази 11 і 12. Нижній диск 6 укріплений на фланці полого валу 7, верхній диск 4 - на фланці вала 8, який розташований співвісно в порожнині валу 7. У верхній частині вал 8 виконаний порожнистим, його порожнина містить три радіальні вікна з простором між дисками 4 і 6.

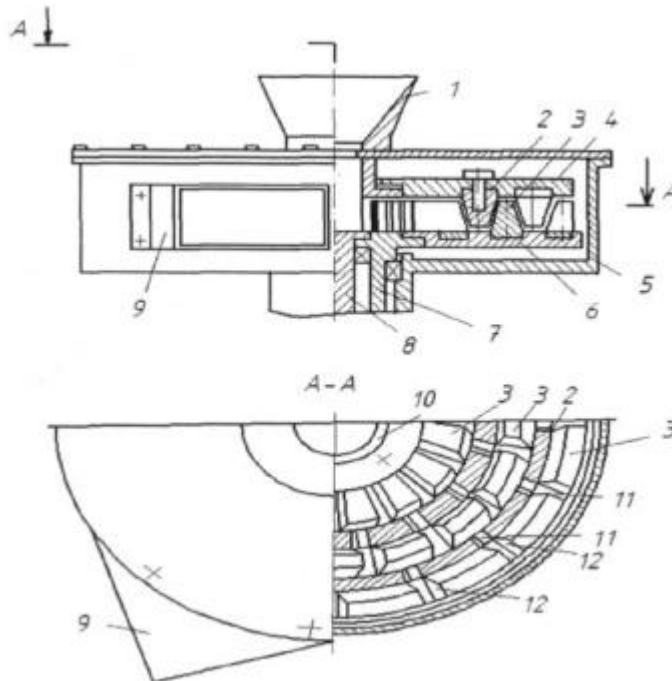


Рис. 1.6. Відцентрово-роторний подрібнювач фуражного зерна

Подрібнювач працює в такий спосіб: робочі органи (диски-ротори) з вертикальною віссю обертання, розміщені в корпусі 5 камери подрібнення на фланцях валів 7 і 8, обертаються в протилежні сторони.

Зерно, завантажують в завантажувальний бункер 1, через радіальні вікна в порожнистій частині вала 8 подається в простір між дисками 4 і 6, на яких концентрично встановлені кільцеві виступи 2 і 3, які мають наскрізні радіальні пази 11 і 12. Проходячи під дією відцентрових сил по радіальних наскрізних пазах 12 суміжних кільцевих виступів, зерно подрібнюється допомогою зрізу і сколювання з ковзанням крайками пазів суміжних кільцевих виступів протилежних дисків 4 і 6. Подрібнене зерно, піддавшись впливу на першій ріжучої парі кільцевих виступів, рухається під дією відцентрових сил по пазах 11 до наступних ріжучим парам, а потім подрібнений матеріал викидається через вивантажний патрубок 9 за межі робочої камери подрібнювача.

З метою забезпечення більш ефективного подрібнення фуражного зерна і їх сумішей, а також зменшення витрат енергії стінки наскрізних пазів кільцевих виступів 2 і 3 виконані з нахилом до робочої поверхні дисків під

кутом $90^\circ - \alpha$, де α – кут тертя матеріалу, що подрібнюється зерна за матеріалом виступів.

Подрібнювач ІЛС-5 (рис. 1.6) за технічною суттю більш підходить до багатоступінчатого подрібнювача фуражного зерна, що розробляється, за способом подрібнення, але без використання процесу сепарації подрібненої зернової дерті.

«Авдєєв М.Є. запропонував використовувати для очищення від домішок зерна інерційні сепаратори, що у конструкційних параметрах схожі з ударно-відцентровими. Він проводив розробки та виготовлення зразка дезінтегратора з проміжною сепарацією отриманого подрібненого матеріалу за рахунок дії відцентрових сил інерції», рис. 1.7. [2]

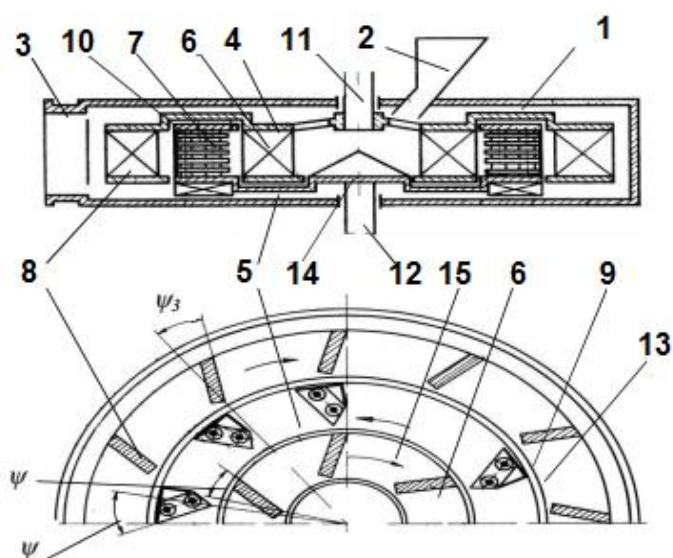


Рисунок 1.7 – Дезінтегратор із проміжною сепарацією у відцентровому полі: 1 – корпус; 2 – завантажувальний бункер; 3 – вихідний отвір; 4,15 – диск; 5 – диск, що зустрічно-обертається; 6 – плоский елемент першого ряду; 7 – ударні елементи проміжного ряду; 8 – плоскі ударні елементи останнього ряду; 9 – кільце; 10 – комплект ножів першого ряду; 11,12 – вал; 13 – кожух; 14 – конус.

Принцип роботи подрібнювача (рис. 1.7) полягає в наступному: подача та завантаження сировини здійснюється через бункер 2, далі розподіляється конусом 14, потім захоплюється плоскими елементами 6 першого ряду диска 4, розганяється і викидається на поверхню ударними елементами 7 проміжного ряду зустрічно-обертового диска 5. Співударяння елементарних частинок матеріалу здійснюється з поверхнею ударних елементів 7. Після проміжного подрібнення матеріал захоплюється ударними елементами та сепарується.

Отриманий продукт в наслідок дії ударних елементів потрапляє в зазори між пластинами та проходить між ними. При цьому частки більшого розміру сировини, збільшуючи швидкість, повторно викидаються на поверхню плоских ударних елементів 8. Подрібнений матеріал остаточно проходить процес подрібнення через диск 4 та виводиться через патрубок 3.

Дана конструкція в ході проведення випробувань мала низку недоліків.

Так, не враховувалося інерційне поле, що унеможливило подальше виведення фракції проходового розміру із сепараційної зони. Причиною цього було те, що пройшовши через ряд пластин частинці, потрібно змінити напрямок переміщення на 90° , при цьому долати сили тертя, що виникають на внутрішній стороні кожуха. Разом з пластинами 7, кожух 13 діє як єдина лопать вентилятора, при високій частоті обертання, до 3000 об/хв, створює зустрічний повітряний рух, що перешкоджає вільному руху частинок через зазори.

При розгляді даних подрібнювачів, враховувалися також їх позитивні особливості порівняно з дробарками відцентрового типу:

а) вивантаження отриманого продукту з подрібнюючої зони дезінтегратора проводиться за рахунок дії сили інерції, а також потоку повітря, що перевищує сили гравітації, що використовуються в більшості відцентрових дробарок.

Таким чином, отриманий матеріал внаслідок дроблення вчасно видаляється з поверхонь подрібнювальних органів, при цьому не ускладнюючи процес руйнування нового зерна.

б) «швидкість удару зерна об подрібнюючі органи конструкцій більшості типів подрібнювачів зерна коливається від 60 до 80 м/с». [6, 8, 22]

Таким чином, збільшується надійність кінематичних передач, вузлів тертя, знижується загальне навантаження на деталі, розташовані у сильному інерційному полі. Також зниження кутових швидкостей ротора позитивно впливає на зниження енерговитрат формування негативного потоку повітря при холостому ході.

1.4. Висновки по розділу 1

1. Ефективність згодовування можна підвищити за рахунок оптимізації розмірів частинок подрібненого зерна для кожного виду тварин відповідно до зоотехнічних вимог. Переподрібнення корму негативно впливає на здоров'я та продуктивність тварин, збільшується енергоємність процесу та погіршуються умови праці.

2. Процес подрібнення зерна складне та недостатньо вивчене явище. Отримані знання не дозволяють однозначно відповісти на багато важливих питань, наприклад про кількість і швидкість удару, необхідність повного руйнування зернівки.

3. Ударно-відцентрові подрібнювачі фуражного зерна є новим типом подрібнювального обладнання. Вони мають низьку питому витрату енергії, що витрачається на процес і меншою металоємністю, ніж молоткові дробарки.

4. Низька ефективність процесу подрібнення визначається нерівномірністю повітряно-продуктового шару, таким чином, теорією та практикою встановлено, що процес сепарації матеріалу ефективніше здійснювати за рахунок відцентрових сил інерції у керованому силовому інерційному полі. Дані умови задовольняють ударно-відцентрові подрібнювачі.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

2.1. Обґрунтування способу та визначення швидкості подрібнення зерна

Руйнування зерна в подрібнювачах ударно-відцентрової дії здійснюється за рахунок спрямованого розгону подрібнюваних частинок що формується за рахунок відцентрових сил і швидкостей, що набувають після удару. Траєкторію та величину швидкості руху частинки в таких подрібнювачах можна описати, використовуючи відомі закони механіки.

У запропонованій конструкції подрібнювача є два вертикальні диски, які рухаються назустріч один одному, на їх внутрішніх поверхнях розташовані ударні елементи.

Зерно, що надходить до завантажувального диска, розганяється по його поверхні та прямує в його центральну частину за допомогою напрямника до ножів, де вдаряючись об поверхню зуба ножа, переміщається по ньому до ножів другого диска, де піддається удару об їхню поверхню.

Розглянемо зерно як матеріальну точку з масою m , що здійснює рух вертикальною поверхнею диска. Схема сил, що діють на точку маси наведена на рис. 2.1.

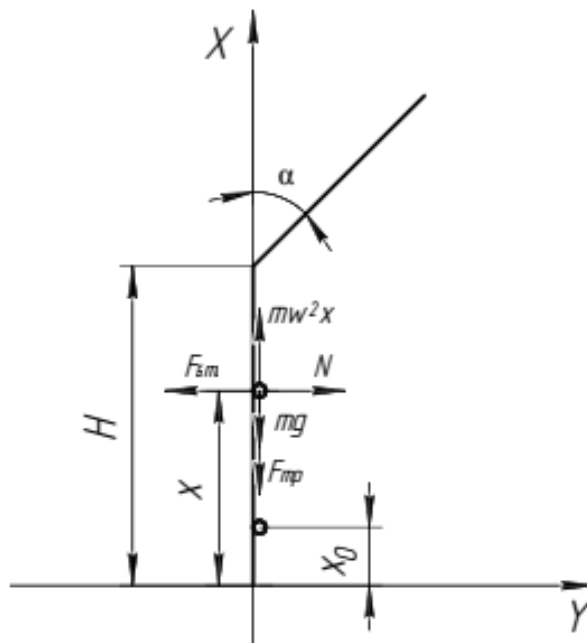


Рисунок 2.1 – «Схема сил, що діють на точку масою під час руху по вертикальній площині» [15, 17]

На точку вагою під час руху на вертикальній поверхні діють: відцентрова сила $F_{ц} = m\omega^2 x$, сила бокового тиску $F_{бт}$, сила тертя $F_{тр} = fN$, де N – нормальна реакція стінки, що рівна F_b і сила тяжіння mg .

$$m\ddot{x} = m \times \omega^2 \times x - m \times g - F_{бт} \times f. \quad (2.1)$$

Силу бокового тиску $F_{бт}$ можна визначити за формулою:

$$F_{бт} = P_m s, \quad (2.2)$$

де P_m – тиск сипучих матеріалів;

s – площа контактування зерна з поверхнею, m^2 .

Тиск сипучих матеріалів визначаємо за наступною формулою:

$$P_m = \frac{\gamma r}{f} (1 - e^{-\vartheta f(h-x)}), \quad (2.3)$$

де r – гідравлічний радіус поперечного перетину, $r = A/P$, м;

A – площа поперечного перетину, m^2 ;

P – периметр поперечного перетину, m ;

γ – питома вага насипного зерна, H/m^3 ;

ϑ – коефіцієнт бокового тиску сипучого матеріалу, для зерна $\vartheta = 0,45$.

Виходячи з вищенаведеного сила тертя зерна буде мати вигляд:

$$F_{тр} = \gamma r ((1 - e^{-\vartheta f(h-x)}) \times s. \quad (2.4)$$

Рівняння руху точки по вертикальній поверхні матиме вигляд:

$$m\ddot{x} = m \times \omega^2 \times x - m \times g - \gamma r ((1 - e^{-\vartheta f(h-x)}) \times s. \quad (2.5)$$

«Наступним етапом буде моделювання руху елемента ваги по зубу ножа. На елемент ваги діють тіж сили, що і при русі на вертикальній поверхні». [21, 22] Схема руху даних сил показана на рис. 2.2.

Виходячи з рис. 2.2 відцентрова сила визначається за такою формулою:

$$F_{ц} = m \times \omega^2 \times (H + y \times \cos\alpha). \quad (2.6)$$

Нормальна реакція і як наслідок тертя приймає вигляд:

$$N = F_{ц} \times \sin\alpha - mg \times \sin\alpha;$$

$$F_{тр} = f \times N = f \times (F_{ц} \times \sin\alpha - mg \times \sin\alpha) = m \times f \times \sin\alpha (\omega^2 (H + y \times \cos\alpha) - g). \quad (2.7)$$

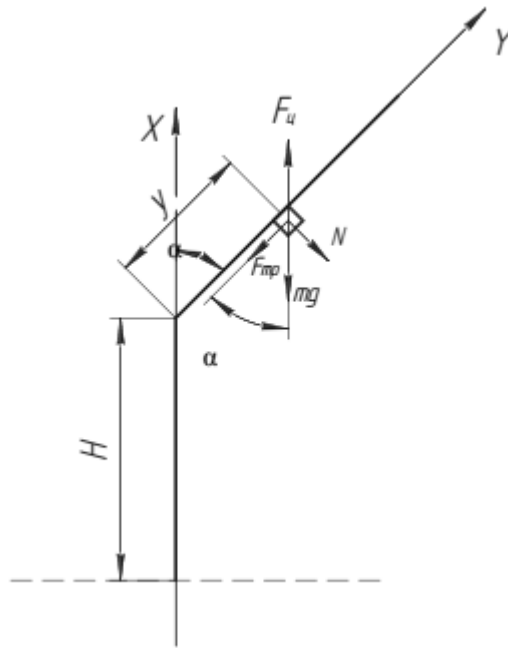


Рисунок 2.2 - Схема сил, що діють на елемент ваги під час руху по основі зуба ножа.

Для конкретних значень:

ω – кутова швидкість, $\omega = 273 \text{ c}^{-1}$;

f – коефіцієнт тертя зерна об метал, $f = 0,5$;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

H – довжина вертикальної ділянки, м, $H=0,04$ м;

L – довжина зуба, м, $L=0,03$ м;

α – кут нахилу зуба ножа, $\alpha = 45^\circ$;

ϑ – коефіцієнт бокового тиску сипучого матеріалу, для зерна $\vartheta = 0,45$;

m – вага зерна, кг, $m = 0,00004$ кг;

r – гідравлічний радіус поперечного перетину, $r = 0,01$ м;

s – площа контакту зерна, м^2 , $s = 0,000005 \text{ м}^2$.

Швидкість на вході з вертикальної ділянки (початкова):

$V_{\text{поч}} = 4,72 \text{ м/с}$.

Закон зміни швидкості від часу на двох ділянках наведений на рис. 2.3.

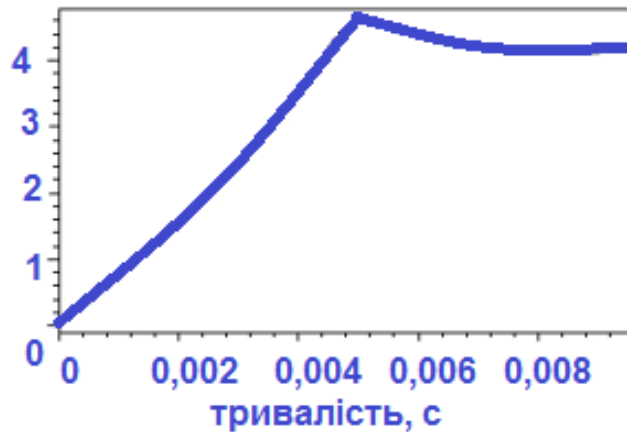


Рисунок 2.3. Закон зміни швидкості від часу

При русі елемента частинки донизу в рівняннях руху на вертикальному і похилому ділянках "g" зміниться на "-g". Провівши розрахунки ми отримаємо, що швидкість при сході з зуба ножа буде рівна $V_{кін} = 4,18 \text{ м/с}$.

Швидкості сходу частинок з основи зуба ножа в напрямках, відмінних від вертикалі, будуть знаходитися в діапазоні між 4,18 м/с і 4,22 м/с.

Отримані рівняння дозволять визначити швидкість переміщення зерна по вертикальній поверхні диска та зуба ножа в в подрібнювачах ударно-відцентрової дії. Швидкість руху зерна залежить від кутової частоти обертання диска та від довжини ножа.

Знайдемо кутову швидкість обертання, с^{-1} :

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (2.8)$$

де n – частота обертання диска, хв^{-1} .

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 2600}{30} = 272 \text{ с}^{-1}.$$

Ударна кутова частота рівна:

$$\omega_{уд} = 2\omega = 544 \text{ с}^{-1}.$$

Знайдемо довжину, на якій буде здійснюватись удар об зернівку:

$$l_1 = H + (L + S) \times \cos\alpha, \quad (2.6)$$

$$l_{j+1} = l_j + (L \cos\alpha) + \Delta h, \quad (2.7)$$

де H – довжина вертикальної ділянки, м;

L – довжина зуба, $L = 0,02$ м;

Δh - відстань між ножами, м; $\Delta h = 0,005$ м;

S – зазор, м.

Швидкість удару буде рівна:

$$V_{уд} = \omega_{уд} \times l_{уд}, \quad (2.8)$$

«Отримані швидкості удару змінюються в межах від 31,05 до 68,9 м/с, що є достатньою умовою для руйнування зернівки ячменю». [23-25]

2.2. Визначення продуктивності подрібнювача ударно-відцентрової дії

Основними робочими елементами подрібнювача є ножі, встановлені в паз диска. Вони захоплюють зерно, яке надходить через завантажувальні вікна в центральну частину дробарки при цьому розганяючи його і направляючи під удар елементів другого диска.

При багатоступінчастому подрібненні, продуктивність подрібнювача дорівнює продуктивності першого ступеня. У даній конструкції вона визначатиметься кількістю зерна, що проходить по подрібнювальних елементах та конусах першого диска та залежить переважно від кількості ножів і швидкості руху зернового матеріалу за ними.

Припустимо, що зерновий матеріал рухається ножем і конусом диска одним шаром, то його кількість в одиницю часу можна визначити з виразу:

$$q = \frac{3600 \times \pi \times d^2 \times V}{4 \times 1000} \times \rho, \quad (2.9)$$

де q – продуктивність ножа, т / год;

d – діаметр зерна, м;

V – швидкість переміщення зерна по площині ножа, м / с;

ρ – щільність подрібнюваного матеріалу кг/м³.

Продуктивність подрібнювача визначається кількістю ножів встановлених на диску.

$$Q_{\Pi} = \frac{3600 \times \pi \times d^2 \times V}{4 \times 1000} \times \rho \times z, \quad (2.10)$$

де Q – продуктивність подрібнювача, т/год;

z – кількість ножів на диску.

Продуктивність подрібнювача залежатиме і від діаметра завантажувального вікна.

Припустимо, що товщина ножа дуже мала, то максимальну продуктивність подрібнювача матиме вигляд:

$$Q_{\Pi} = \frac{3600 \times \pi \times D_{зв} \times \rho \times d \times z}{1000}, \quad (2.10)$$

де $D_{зв}$ – діаметр завантажувальної камери, м.

Так як ножі мають визначену товщину, то вираз буде мати наступний вигляд:

$$Q_{\Pi} = \frac{3600 \times (\pi^2 \times D_{зв} - z \times \vartheta) \times d \times \rho}{1000}, \quad (2.11)$$

де ϑ – товщина ножа, м.

Виходячи з того, що зі збільшенням кількості ножів відстань між ними зменшуватиметься, тобто воно може стати менше розмірів частинки зерна та

подрібнювач стане не придатний у використанні, кількість лопаток буде обмежена:

$$z \leq \frac{\pi D_{зв}}{d+\vartheta}. \quad (2.12)$$

З рівняння (2.12) видно, що продуктивність подрібнювача залежить від діаметра завантажувальної камери, швидкості руху зернового матеріалу по ножу, кількості та товщини ножів та властивостей подрібнюваного матеріалу. При зміні частоти обертання в межах від 500 об/хв до 900 об/хв. на рис. 2.4 наведена залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання завантажувального диска.

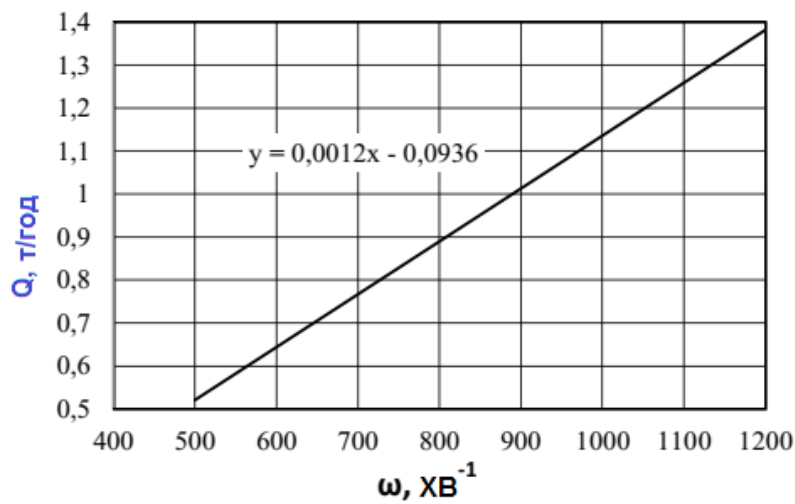


Рисунок 2.4. Залежність продуктивності від частоти обертання завантажувального диска

2.3. Висновки по розділу 2

Теоретичний аналіз роботи подрібнювача ударно-відцентрової дії показав можливість його роботи в широкому діапазоні конструктивних змін параметрів.

Отримано теоретичні залежності швидкості руху зерна по вертикальній поверхні диска та зуба ножа в подрібнювачі ударно-відцентрової дії, що залежать від кутової частоти обертання дисків та від довжини ножа.

Виявлено теоретичні аспекти залежностей продуктивності подрібнювачі ударно-відцентрової дії, які у своїй основі приймають його конструктивні параметри та режими, зокрема до них відносяться: частота обертання подрібнювальних дисків, діаметр завантажувального вікна, довжина ножа, його кількісне співвідношення, товщина, а також властивість та параметри зернового матеріалу.

РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИНИ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА

3.1. Опис подрібнювача ударно-відцентрової дії

Подрібнювач ударно-відцентрової дії (рис. 3.1.), містить завантажувальний бункер 1, циліндричний корпус 2, в якому на вертикальному валу встановлений ротор 3 з дисками 4, решета-матриці з сепараторами, завантажувальне та розвантажувальне вікна, відповідно розташовані у верхній і нижній частинах корпусу. Подрібнювач забезпечений плоскими молотками 5, на яких розміщені зуби. Плоскі молотки жорстко закріплені на дисках ротора 4, решета-матриці виконані у вигляді одного суцільного циліндричного решета 6 з діаметром отворів, що забезпечують задану величину модуля помелу зерна, та встановленого перпендикулярно осі ротора, а сепаратори виконані у вигляді плоских решіт 7 зі зменшується діаметром отворів в них у міру наближення до розвантажувального вікна 13 і встановлених під молотками 5 на відстані, що дорівнює середньому діаметру подрібнюваного зерна, причому розвантажувальне вікно 13 поєднане з отворами нижнього плоского решета 7, а завантажувальний бункер 1 зміщений щодо осі ротора.

Решета-матриці виконані у вигляді одного суцільного циліндричного решета 6 з діаметром отворів, що забезпечують задану величину модуля помелу зерна. Сепаратори виконані у вигляді плоских решіт 7 зі зменшується діаметром отворів в них у міру наближення до розвантажувального вікна, і встановлених під молотками 5 на відстані, що дорівнює середньому діаметру подрібнюваного зерна. Їх кріплення до суцільного циліндричного решета 6 здійснюється за допомогою куточків 8, а відстань регулюється прокладками 9.

На основі 10 дробарки зі зміщенням відносно вісі ротора встановлений завантажувальний бункер 1, таким чином що завантажувальне зерно під дією сили тяжіння направляється безпосередньо на плоскі молотки, що обертаються 5. Кількість надходить матеріалу регулюється шибером 11.

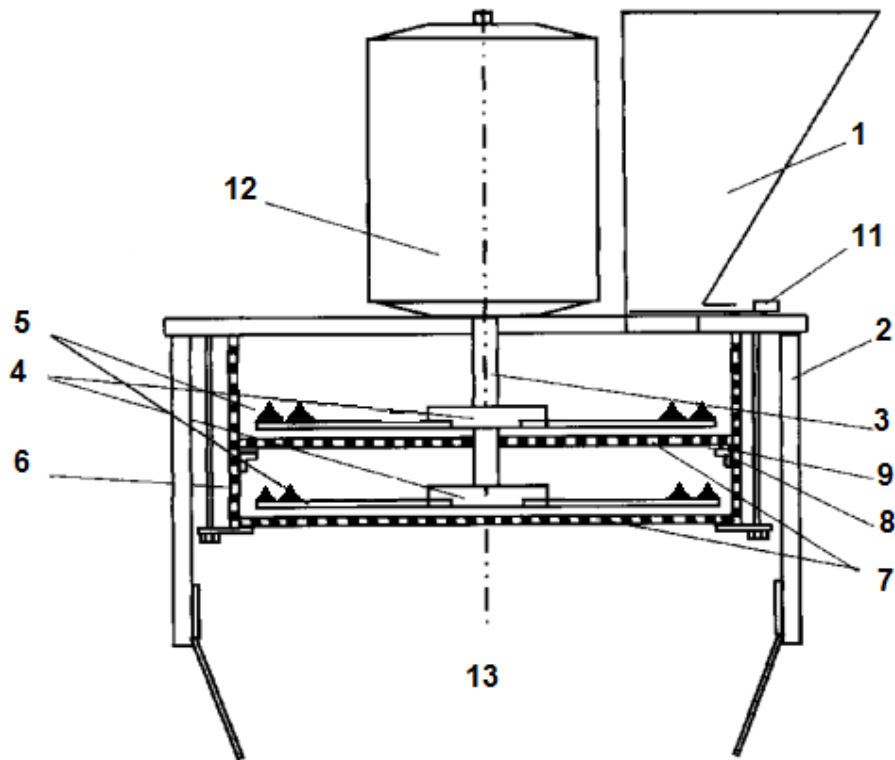


Рисунок 3.1. Подрібнювач ударно-відцентрової дії: 1 – завантажувальний бункер; 2 – циліндричний корпус; 3 – ротор; 4 – диски; 5 – плоскі молотки із зубами

Привід ротора 3 здійснюється електродвигуном 12 встановленого вертикально на основі 10.

Ротор 3 виконаний співвісно з валом електродвигуна 12 і з'єднаний за допомогою шпонки. Подрібнене зерно виводиться через розвантажувальне вікно 13 поєднане з отворами нижнього плоского решета 7. Диск 4 з жорстко закріпленими молотками 5 та зубами, суцільне циліндричне решето 6, плоске решето 7 складають ступінь подрібнення, яких у дробарці може бути кілька, але не менше двох.

Працює ударно-відцентровий подрібнювач наступним чином. Зерно, що підлягає подрібненню, завантажується в бункер завантаження 1, звідки направляється на першу ступінь подрібнення. Зерна або його частини після удару обертаються плоскі молотки 5 набувають граничну швидкість і, ударяючись об суцільне циліндричне решето 6 і його гострі кромки, руйнуються.

Зерно на першому ступені руйнується на нерівні частини. Ті з них, які не перевищують заданий розмір отворів суцільного циліндричного решета 6 під дією відцентрової сили відразу відокремлюються і виводяться з дробарки

через розвантажувальне вікно 13, тим самим не залучаються до повторного обертання і подрібнення. Інші, більші частинки, потрапляють на горизонтально встановлене плоске решето 7, встановлене під молотками 5 на відстані, що дорівнює середньому діаметру зерна, що подрібнюється, інтенсивно проштовхуються на наступний ступінь подрібнення, де відбувається той же процес, що і на першому ступені. Сепарація подрібненого матеріалу здійснюється за допомогою відцентрової сили на суцільному циліндричному решеті 6 шляхом примусового проштовхування молотками 5 через плоскі решета 7.

Завдяки плоским решетам 7, встановленим під молотками 5 на відстані, що дорівнює середньому діаметру подрібнюваного зерна, з зменшується діаметром отворів в них у міру наближення до розвантажувального вікна 13, а також за рахунок суцільного циліндричного решета 6, встановленого перпендикулярно осі ротора, здійснюється більш ефективна сепарація подрібненого продукту за рахунок активного примусового сепарування його як під дією відцентрових сил, створюваних масою всього ротора, а не масою окремих молотків при шарнірному їх кріпленні, так і під дією проштовхування його молотками, а не пасивного сепарування у процесі скочування матеріалу по скатних дошках.

Застосування зазначеної відцентрової багатоступінчастої дробарки дозволяє знизити енергоємність процесу подрібнення сходами за рахунок активного видалення подрібненої фракції з вихідного матеріалу, зменшити металоємність дробарки і значно спростити її конструкцію.

Така конструкція дробарки дозволяє ефективно подрібнювати зерно та за рахунок активного видалення подрібненої фракції з вихідного матеріалу, що надходить на наступний ступінь, знизити енергоємність процесу подрібнення по сходах, зменшити металоємність дробарки та значно спростити її конструкцію.

3.2. Визначення основних показників процесу подрібнення

Продуктивність, енергоємність та вирівнюваність гранулометричного складу готового продукту є основними показниками, що характеризують процес дроблення.

Продуктивність подрібнювача ударно-відцентрової дії змінювалася за допомогою дозатора з подальшим контролем проб готового продукту за стабільного режиму роботи.

Продуктивність подрібнювача визначали з виразу:

$$Q = 3600 \frac{M}{t}, \quad (3.1)$$

де Q – продуктивність подрібнювача, кг/год;

M – вага відібраної проби, кг;

t – тривалість відбору проби, с.

Суть методу А.В. Макарова полягає в наступному. Наважки фуражного зерна масою 100 г просіваються протягом 5 хв. через набір сит з діаметрами отворів 3, 2 та 1 мм. Модуль помелу визначається за формулою:

$$M = (3,5P_1 + 2,5P_2 + 1,5P_3 + 0,5P_0) / 100, \quad (3.2)$$

де M – модуль помелу, мм;

P₁, P₂, P₃ – масові залишки на ситах з діаметрами отворів 3, 2 і 1 мм відповідно, г;

P₀ – маса залишку на дні, г.

Для отримання більш точних даних про дисперсність одержуваного продукту використовували ситовий класифікатор, що складається з набору сит з розмірами отворів 3,0, 2,0, 1,6, 1,3, 1,0, 0,5 мм. Вага навісу при цьому була збільшена до 2 кг.

Модуль помелу визначали за формулою:

$$M = \frac{3,0P_1 + 2,0P_2 + 1,6P_3 + 1,4P_4 + 1,2P_5 + 0,7P_6}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6}, \quad (3.3)$$

де P₁-P₆ – вага відходів на відповідних ситах, кг.

Однорідність гранулометричного складу готового продукту оцінювали статистичними методами, а якість подрібненого зерна порівнювали з вимогами до гранулометричного складу подрібненого продукту (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Вимоги до гранулометричного складу подрібненого продукту [16, 19]

Група	Залишок на решеті з отворами діаметром, мм			Вміст цілих зерен
	2	3	4	
1	Не допускається	-	-	Не допускається
2	Не більше 5 %	-	-	Не допускається
3	-	Не більше 5 %	Не допускається	Не більше 0,3 %
4	-	Не більше 30%	Не більше 5%	Не більше 0,7%

Кутову швидкість подрібнювальних робочих органів визначали:

$$v = \frac{\pi R n}{30}, \quad (3.4)$$

де v – кутова швидкість, м/с;

R – відстань від вісі обертання диска від точки визначення швидкості, м;

n – частота обертання диска, хв^{-1} .

При режимі роботи подрібнювача ударно-відцентрової дії, частоту обертання подрібнювальних дисків за допомогою тахометра Т 410-Р.

Основним показником процесу подрібнення зерна є енергоємність процесу подрібнення до певної крупності.

Вона складається з трьох основних елементів:

$$E = E_x + E_n + E_{np}, \quad (3.5)$$

де E_x – енергія, що затрачається на холостому ході подрібнювача, кВт;

E_n – енергія, що затрачається на подрібнення продукту, кВт;

E_{np} – енергія, що затрачається на переміщення продукту всередині подрібнювача, кВт.

Питомі витрати енергії визначаються як відношення витрат енергії до продуктивності установки:

$$V_n = \frac{E_x + E_n + E_{np}}{Q}, \text{ кВт*год/т.} \quad (3.6)$$

Об'єктивним показником ефективності роботи подрібнювача ударно-відцентрової дії є питома енергоємність, що визначається відношенням питомої витрати енергії до ступеня подрібнення матеріалу.

$$H_n = \frac{E_x + E_n + E_{np}}{Q \times \lambda}, \text{ кВт*год/т.} \quad (3.7)$$

де λ – ступінь подрібнення продукту, одиниці ступеня подрібнення.

$$\lambda = d/M, \quad (3.8)$$

де d – еквівалентний діаметр зернівки подрібненого продукту;

M – модуль помелу, мм.

На рис. 3.2 показано змінну параметра питомої енергії подрібнення в межах від мінімального значення 2,5 при значеннях зазору ($c=3$) і обертів плоского молотка ($n_1=500$) до максимального значення 6 при значеннях $c=2,5$ і $n_1=1500$.

Одночасно отримано двовимірне рівняння регресії залежності питомої енергії подрібнення від параметрів c і n_1 при постійних значеннях інших змінних.

$$V_{\Pi} = -1,5129 + 0,949c + 0,009n_1 - 0,0297c^2 - 0,0012cn_1 - 1,8218c - n_1^2.$$

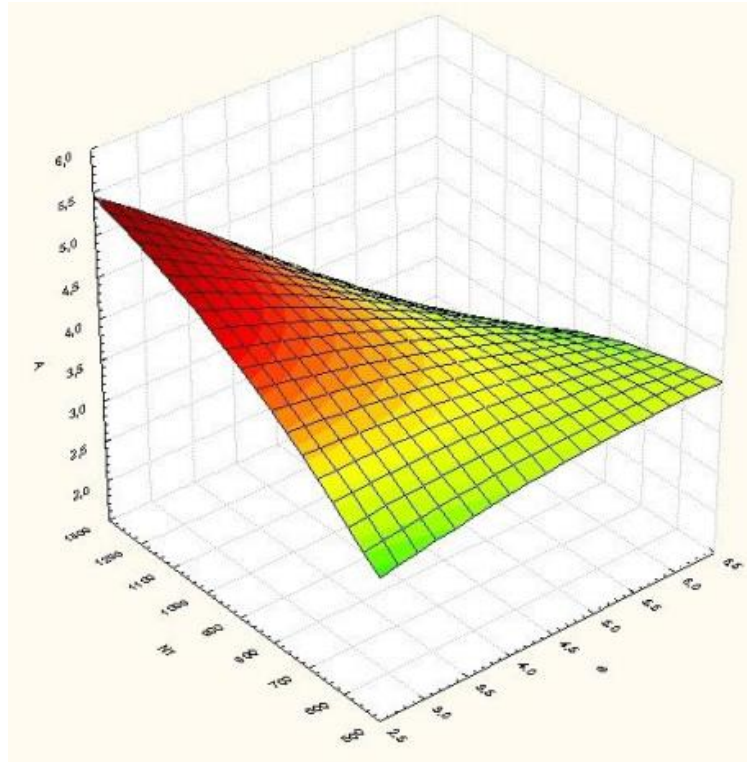


Рисунок 3.2 – Квадратична залежність питомої енергії подрібнення V_{Π} від зазору c і обертів першого диска n_1

Мінімальне значення параметра V_{Π} рівне 3,354 при значеннях $c=2,5$ і $n_1=500$ до максимального значення 5,48 при значеннях $c=3$ і $n_1=1500$.

На рис. 3.3 показана зміна параметру V_{Π} в межах від мінімального значення 1,5 при значеннях $c = 6,5$ і $n_2=2100$ до максимального значення 4,5 при значеннях $c= 2,5$ і $n_2=3200$.

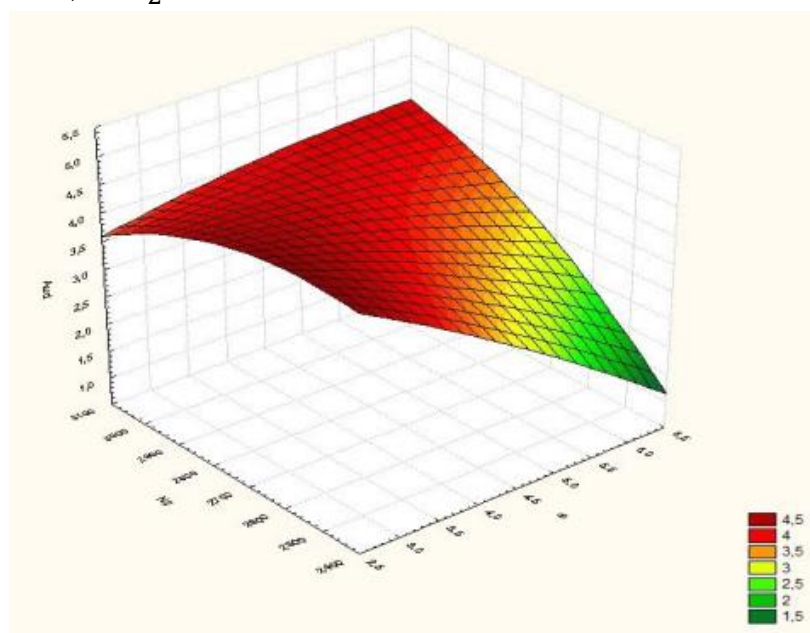


Рисунок 3.3 – Квадратична залежність питомої енергії подрібнення V_{Π} від зазору c і обертів другого диска n_2

Одночасно отримано двовимірне рівняння регресії залежності питомої енергії подрібнення V_{Π} від параметрів c та n_2 при постійних значеннях інших змінних.

$$V_{\Pi} = -6,4038 - 4,1473 * c + 0,0155 * n_2 - 0,0363 * c^2 + 0,0014 * c * n_2 - 3,7369E-6 * n_2^2$$

Мінімальне значення параметру V_{Π} рівно 5,109 при значеннях $c = 3$ і $n_2 = 2800$ до максимального значення 5,484 при значеннях $c = 3$ і $n_2 = 2893$.

На рис. 3.4 показано зміну параметра H_{Π} в межах від мінімального значення 3 при значеннях $c = 2,5$ і $Q = 950$ до максимального значення 7 при значеннях $c = 2,5$ і $Q = 380$.

Одночасно отримано двохмірне рівняння залежності від питомої енергоємності подрібнення зерна H_{Π} від параметрів c і Q при постійних значеннях інших змінних.

$$H_{\Pi} = 18,0121 - 1,89091c - 0,0234Q + 0,001c^2 + 0,0025cQ + 5,7977E-6Q^2$$

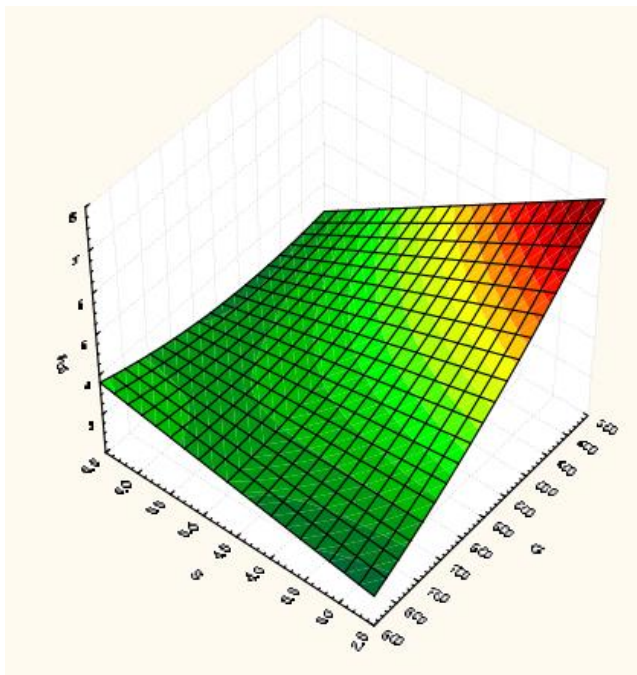


Рисунок 3.4 – Квадратична залежність питомої енергії подрібнення від зазору (c) та продуктивності (Q)

Аналіз графіка на рис. 3.4 та отриманого рівняння H_{Π} свідчить про зменшення питомої енергії подрібнення зі збільшенням подачі та зазору між дисками.

На рисунках 3.5 та 3.6 показані результати розрахунків від частоти обертання першого диска n_1 та другого диска n_2 , отримані при використанні загального рівняння при постійному модулі помелу ($M = \text{const}$).

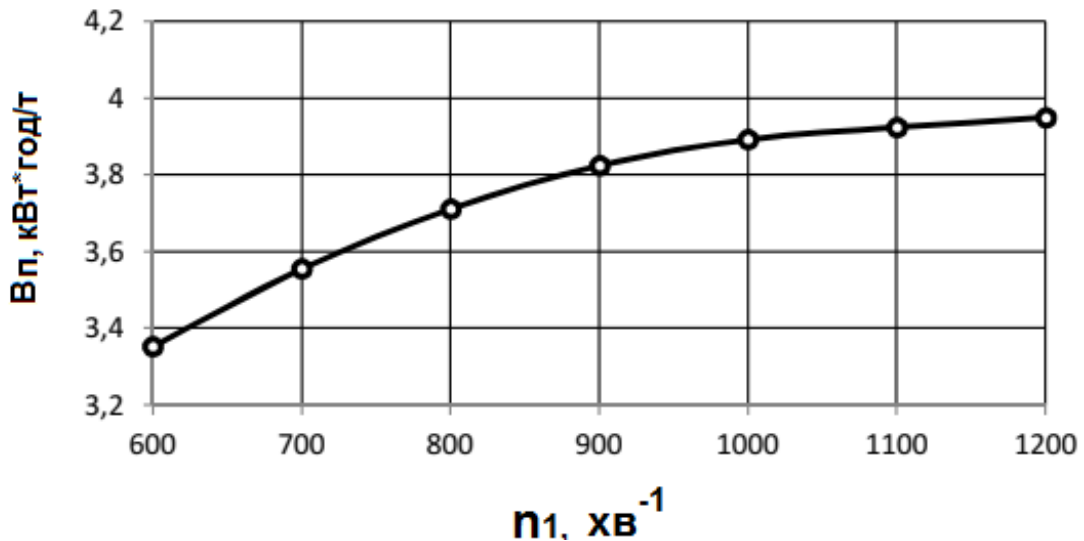


Рисунок 3.5 – Зміна питомої енергії подрібнення $Вп$ від оборотів першого диска n_1

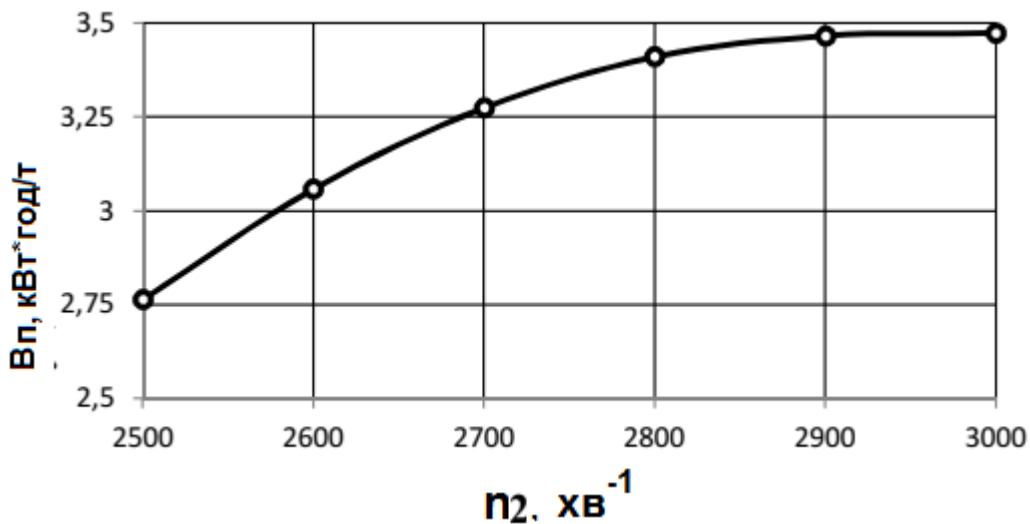


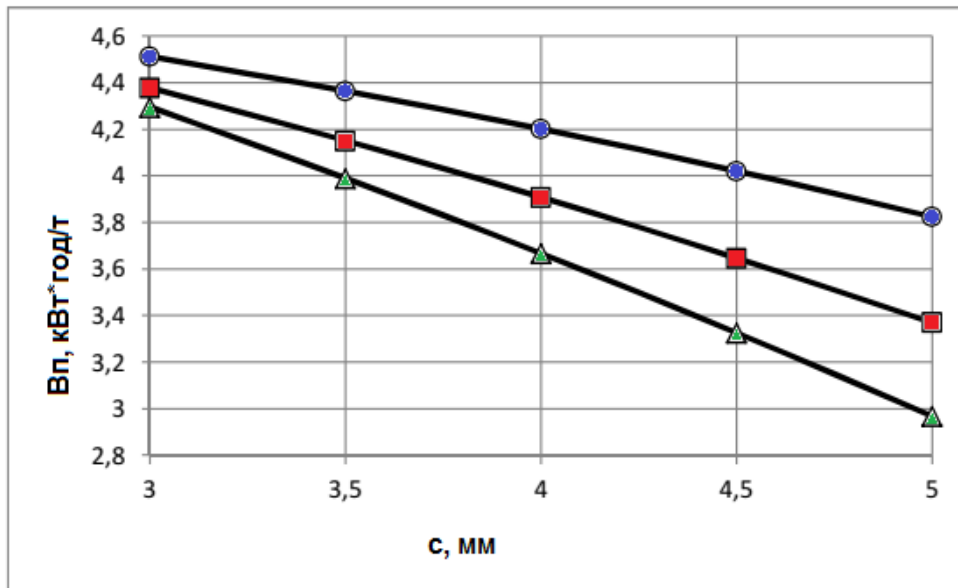
Рисунок 3.6 – Зміна питомої енергії подрібнення $Вп$ від оборотів другого диска n_2

Вони свідчать про зростання $Вп$ зі збільшенням n_1 та n_2 . Розуміючи, що від n_1 і n_2 залежать інші показники процесу, пов'язані не тільки з енергетикою процесу, але і з якістю подрібненого зерна, логічно прийняти в подальших дослідженнях обороти дисків не на мінімальних значеннях параметрів n_1 і n_2 , що гарантують мінімальні значення $Вп$, а на більш високих, що сприяють отриманню раціональних значень ступеня подрібнення зерна та модуля помелу.

На наш погляд, обороти n_1 повинні бути наближені до рівня $n_1=950$ хв^{-1} , а $n_2=2700$ хв^{-1} . Такий вибір дозволяє не доходити до максимального значення рівня витрати питомої енергії подрібнення та мати можливість варіювати частоту обертання n_1 та n_2 при виборі раціональних значень продуктивності, модуля помелу та зазору між дисками.

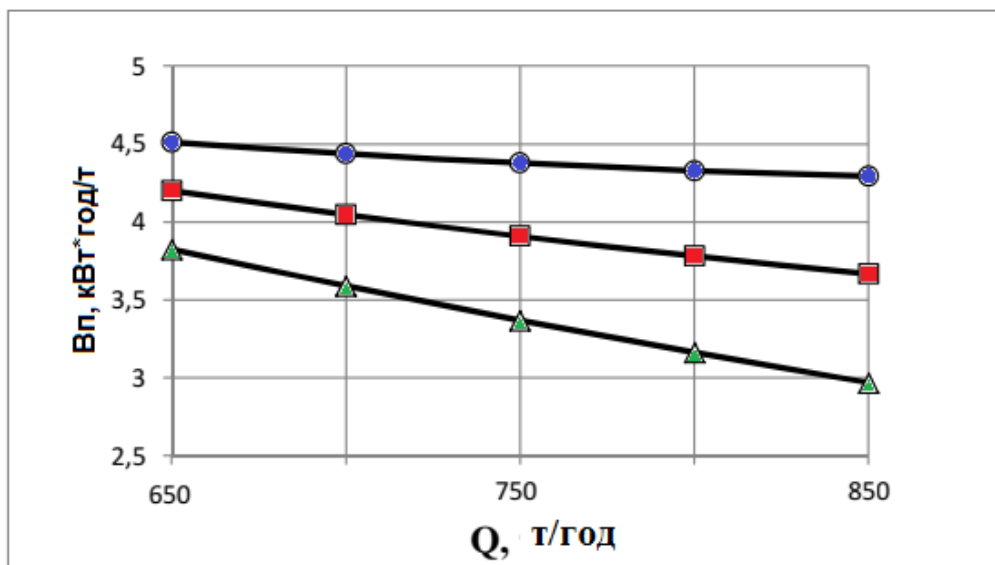
Зміна питомої енергії подрібнення від продуктивності, зазору між дисками та кількості ножів.

Простежимо зміну V_p від продуктивності та зміни зазору, між подрібнюючими дисками показані на рис. 3.7 та 3.8.



● – $Q= 650$ кг/год; ▲ – $Q= 850$ кг/год;
 ■ – $Q= 750$ кг/год;

Рисунок 3.7 – Зміна питомої енергії подрібнення (V_p) от зазору (c)



● – $c=3$ мм; ■ – $c=4$ мм; ▲ – $c=5$ мм.

Рисунок 3.8 – Зміна питомої енергії подрібнення (V_p) від продуктивності (Q)

Отримані результати свідчать про зниження V_p зі збільшенням не тільки зазору між дисками c , а й продуктивності Q . Більш розширений опис

потребує окремих досліджень, пов'язаних з вибором кількості подрібнювальних елементів.

Прагнення збільшення продуктивності має бути пов'язано не лише з енерговитратами, а й з якістю подрібненого зерна. У рамках досліджуваних рівнянь регресії виявилось однозначне зниження Вп при збільшенні с, проте потрібно вирішити питання у подальших дослідженнях.

3.3. Висновок до розділу 3

При аналізі теоретичних досліджень з подрібнення зерна можна зробити висновок, що правильний вибір параметрів процесу подрібнення є найважливішим завданням, оскільки раціонально вибрані параметри відображають всі основні сторони технологічного процесу та їх мінімальну кількість.

При оптимізації робочого процесу вибираються найважливіші критерії досліджуваних чинників. В основі дослідження робочого процесу подрібнювача ударно-відцентрово дії з врахуванням траєкторії руху зерна та обґрунтування його конструктивно-кінематичних параметрів лежить аналіз досліджуваних критеріїв оптимізації, якими були прийняті наступні показники:

- а) питомі затрати енергії, кВт*год/т;
- б) питома енергоємність процесу подрібнення з врахуванням ступеня подрібнення матеріалу;
- в) модуль подрібнення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результати досліджень, проведених під час виконання даної роботи, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Ефективність згодовування можна підвищити за рахунок оптимізації розмірів частинок подрібненого зерна для кожного виду тварин відповідно до зоотехнічних вимог. Переподрібнення корму негативно впливає на здоров'я та продуктивність тварин, збільшується енергоємність процесу та погіршуються умови праці.

2. Процес подрібнення зерна складне та недостатньо вивчене явище. Отримані знання не дозволяють однозначно відповісти на багато важливих питань, наприклад про кількість і швидкість удару, необхідність повного руйнування зернівки.

3. Ударно-відцентрові подрібнювачі фуражного зерна є новим типом подрібнювального обладнання. Вони мають низьку питому витрату енергії, що витрачається на процес і меншою металоємністю, ніж молоткові дробарки.

4. Розроблено математичну модель процесу подрібнення зерна, що дозволяє визначити швидкість руху зерна по вертикальній поверхні завантажувальної камери подрібнювача та основи зуба ножа, що більшою мірою залежить від кутової частоти обертання дисків і від величини переміщення зернівки.

5. Запропонована нова конструкція подрібнювача ударно-відцентрової дії, забезпечує високі показники якості подрібнення, низьку енергоємність процесу, що досягаються за рахунок обґрунтованого вибору раціональних, режимних та конструктивних параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tishchenko L.N. Intensifikaciya separirovaniya zerna / L.N. Tishchenko. Har'kov: Osnova, 2004. 224 s.
2. Avdeev N.E. Centrobezhnye separatory dlya zerna / N.E. Avdeev. M.: Kolos. 1975.
3. Ревенко І.І. та ін. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств. К.: Урожай, 1999. 191 с.
4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк та ін. За ред. Яцуна С.С. К.: Мета, 2003. 448 с.
5. Сердюк В.В., Руденко В.А. Дослідження процесу подрібнення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем, науковий журнал Вісник СНАУ випуск 10 (25) Суми 2013 117 с.
6. Механіка матеріалів і конструкцій : [Лаб. роботи. Навч. посібник для вузів] / І.А. Цурпал, С.І. Пастушенко, М.П. Барабан, В.М. Швайко. К.: Аграрна освіта, 2001. 272 с.
7. Пат. 59417 Україна, МПК В 02С 13/04. Дробарка зернових матеріалів / Соломка О.В., Савенко М.Н., Ткач В.В., Дешко В.І., Братішко В.В.; заявник і патентовласник Дешко Віталій Іванович. – № u201014026 ; Заявл. 24.11.2010 ; Опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9.
8. Соломка О.В. Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу подрібнення зерна / О.В. Соломка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Технічні системи і технології тваринництва. Харків, 2012. Вип. 120. С. 402-410.
9. Соломка О.В. Обґрунтування конструкції та основних параметрів подрібнювача зерна / О.В. Соломка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Механізація сільськогосподарського виробництва. Харків, 2008. Вип. 75. Т. 1. С. 230-236.
10. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: Навч. посібник / О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, О.В. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик, В.О. Гвоздєв ; За ред. О.В. Дацишина. Вінниця: Нова Книга, 2009. 488 с.
11. Ревенко І. І., Мудрук О. С., Смиковський С. М. Подрібнювачі фуражного зерна на межі ХІХ – ХХ ст. та їх ринок на території нашої країни. Збірник праць ВДАУ, вип. 20. Вінниця. 2005. с.119-127.

12. Новицький А. В. Підвищення безвідказності кормодробарок конструкторсько-технологічними методами на основі структурного аналізу їх надійності. Дис. канд. техн. наук. (рукопис). К.; 2001. 171 с.

13. Пилипенко О. М., Павліченко Л. М., Чибис С. М. Аналіз і вибір принципів технічних рішень для застосування в конструкціях зернових дробарок малих ферм. /Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Вісник ХДТУСГ. вип. 8, т. 2. Харків 2001 с. 295-299.

14. Дерев'яно Д. А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння: монографія / Д. А. Дерев'яно // Ж.. Полісся: 2015. 772с.

15. Машини та обладнання переробних виробництв: Навчальний посібник / Дацишин О. В., Ткачук А. І., Чубов Д. С. та ін. ; за ред. О. В. Дацишин. К.: Вища освіта, 2005. 159 с.

16. Рожківський М. Ф. Розробка наукових основ, створення і впровадження прогресивних технологій та комплексу машин нового покоління. Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2006. Вип. 90. С. 324 – 338.

17. Ялпачик О. В., Самойчук К. О., Буденко С. Ф. Моделювання процесів у робочій камері пальцевої зернової дробарки. Процеси і апарати харчових виробництв. К. : Наукові праці НУХТ, 2015. Т.1. С. 134 – 141.

18. Дробарки та подрібнювачі приводні. Визначення понять, вимоги безпеки та методи випробування. ДСТУ ISO 11448: Гріфе: М-во аграрної політики України, 2005. – офіц. вид. – К.: колос, 2005. – 47 с (нормативний документ Мінагрополітики України).

19. Комбікорми. Терміни та визначення. ДСТУ 2421-94. - К.: М-во аграрної політики України, 1995. – офіц. вид. – 35 с. - (нормативний документ Мінагрополітики України).

20. Бойко А. І., Новицький А. В. Підвищення надійності кормодробарок та подрібнювачів. Механізація сільськогосподарського виробництва. К. : НАУ, 1997. Т. III. С. 6 – 8.

21. Гвоздєв О. В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць ВНАУ. Вінниця, 2011. №9. С. 143 – 150.

22. Болоташвілі З.У. Обґрунтування технологічного процесу подрібнювання і параметрів робочих органів універсального малогабаритного подрібнювача зернових продуктів. Автореферат дис. ... к.т.н. Луганськ. 2000. 17 с.

23. Хомик Н.І., Олексюк В.П., Цьонь О.П. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: посібник. Тернопіль, 2016. 288 с.

24. Гулий І.С., Пушанко М.М., Орлов Л.О. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Вінниця : Нова книга, 2001. 576 с.

25. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк та ін. За ред. Яцуна С.С. К.: Мета, 2003. 448 с.