

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технологій та обладнання переробних і харчових виробництв

Пояснювальна записка
до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Дослідження технологічного процесу подрібнення зернових
матеріалів в роторній дробарці»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1
Гонтарь Павло Ігорович
Керівник: Горобець О. М.
Рецензент: Келемеш А. О.

Полтава – 2022 року

ВСТУП

При організації повноцінної годівлі тварин і птиці необхідно раціонально використовувати концентровані корми, основним компонентом яких є зернові і зернобобові культури, що забезпечують близько 50% протеїну. В даний час частка концентрованих кормів в загальному кормовому балансі становить 29 ... 32%. Ефективність використання фуражного зерна без попередньої підготовки знижується на 10 ... 20% [1, 2].

Одним з основних способів підготовки зернових кормів до згодовування є подрібнення. При розмелі, плющенні, дробленні і інших операціях руйнується тверда оболонка, підвищується доступність поживних речовин дії травних соків, поліпшується перетравлення, відбувається більш повне засвоєння їжі (за рахунок вживання подрібненого зерна продуктивність тварин підвищується на 10 ... 15 %).

Подрібнення є найбільш енергоємною і трудомісткою операцією, що займає більше 50% від загальних трудовитрат в приготуванні комбикормів. Основними машинами, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві для подрібнення фуражного зерна, є молоткові дробарки [3].

Незважаючи на постійне вдосконалення конструкцій молоткових дробарок, вони мають ряд недоліків. При тонкому подрібненні ці дробарки дають до 30% пилоподібної фракції, а при грубому – до 20% недоподрібненої фракції. Переподрібнення до того ж веде до додаткових втрат енергії, дробарки споживають від 10 до 15 кВт-год на 1т подрібненого продукту [4].

Поряд з молотковими дробарками знаходять застосування подрібнювачі відцентрово-роторного типу. На відміну від молоткових дробарок, де подрібнення здійснюється за рахунок удару робочим органом по зерну, у відцентрово-роторних подрібнювачах помел проводиться способом зрізу і сколювання що є найбільш доцільними видом руйнування зерна насіння ріпаку та йому подібних культур з точки зору зниження питомої енергоємності і підвищення якості подрібнення.

Отже, розробка конструктивно-технологічної схеми подрібнювального апарата, з включенням питань щодо вдосконалення робочих органів, і створення на цій основі вдосконалених відцентрово-роторних подрібнювачів фуражного зерна, здатних більш ефективно переробляти, в тому числі насіння олійних культур, наприклад, ріпаку з жирністю до 50%, і отримувати готовий продукт заданої крупності з вмістом пилоподібної фракції не більше 5% при одночасному зниженні на 10 ... 15% питомої енергоємності виробництва продукції, є актуальним завданням і має важливе народногосподарське значення.

Мета роботи. Зниження питомої енергоємності подрібнення зерна і підвищення однорідності гранулометричного складу готового продукту.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес взаємодії подрібнюючих елементів робочих органів з оброблюваним матеріалом.

Предмет дослідження. Закономірності впливу параметрів вальцевої і молоткової секцій на енергетичні та технологічні показники процесу подрібнення.

Методика досліджень. Теоретичні дослідження виконувалися з використанням положень і законів класичної механіки, математики та математичного моделювання. Обробка результатів експериментальних досліджень здійснювалася на ПЕОМ з використанням пакетів програм MathCAD, Excel, КОМПАС-3D.

Теоретична і практична значущість досліджень. Результати досліджень дозволили визначити конструктивно-технологічні параметри подрібнювачів відцентрово-роторного типу, що забезпечують зниження енергоємності процесу подрібнення.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Зерновий матеріал для виробництва комбікормів і вимоги до його подрібнення

Однією з найбільш важливих операцій при виробництві комбікорму, що визначає якість готової продукції і яка чинить великий вплив на енергоємність технологічного процесу, є його подрібнення.

В агропромисловому комплексі нашої країни останнім часом намітилася стійка тенденція на наближення виробництва комбікормів безпосередньо до споживачів комбікормової продукції та місцевих сировинних ресурсів. Це обумовлено в першу чергу значними темпами зростання вартості комбікормової продукції, пропонованої заводами сільськогосподарським товаровиробникам. Приготування комбікормів безпосередньо в господарствах дозволяє значно знизити витрати на транспортні операції, ширше використовувати дешеві місцеві сировинні ресурси і надійно забезпечувати господарство комбікормами. Все це дозволяє істотно скоротити собівартість вироблених комбікормів [4].

Близько 45 ... 50% всього світового виробництва зерна використовується для годівлі сільськогосподарських тварин, головним чином у вигляді комбінованих кормів. Незважаючи на різноманітність рецептур, основою всіх комбінованих кормів є зерно злакових, насіння бобових і продукти їх переробки, що становлять від 30 до 80% всієї маси корму. Застосування комбікормів є найбільш раціональним способом використання концентратів. Згодовування непідготовленого зерна знижує ефективність його використання на 10 ... 20% [5].

Для виробництва якісного зернового корму застосовуються в основному п'ять-шість видів зернових культур (табл. 1.1, табл. 1.2), які в

певному співвідношенні вживають при виробництві кормосумішей і комбікормів. Зерно злакових культур – основний компонент комбікормів для різних видів тварин, частка його становить до 60% [6, 7].

Таблиця 1.1 – Структура зернової сировини, що використовується для виробництва комбікормів, %

Стан	Кукурудза	Пшениця	Ячмінь	Овес	Горох	Просо	Інше зерно (жито)
Вимога	44,5	9,0	23,8	7,4	12,6	2,8	
Фактична структура	5,1	59,8	21,2	3,2	3,0	1,0	6,8

Таблиця 1.2 – Структура зернової сировини, що використовується для виробництва комбікормів за видами тварин

Споживачі кормів	Кукурудза	Ячмінь	Овес	Пшениця	Жито	Просо	Горох
Птиця	<60%	<25%	<25%	<30%	–	<40%	<25%
Коні	<60%	–	<60%	–	–	–	–
ВРХ	<45%	<40%	<40%	<30%	<30%	<20%	<10%
Свині	<35%	<60%	<60%	<25%	<30%	<20%	<25%

Встановлено, що ефективність при годуванні комбікормом залежить не тільки від збалансованості його по поживному складу і виду тварини, а й від крупності частинок (модуля помелу) комбікормів.

За наведеними даними можна зробити висновок, що процесу подрібнення корму має надаватися виключно важливе значення, так як продукт необхідного ступеня подрібнення дозволяє різко підвищити переварюваність кормів, зменшити їх витрату, зберегти значну кількість енергії організму тварини за рахунок зменшення витрат на засвоєння корму ,

що в кінцевому рахунку позначається на отриманні високих приростів при вирощуванні і відгодівлі тварин [8].

В Полтавському НДІ свинарства визначили оптимальний розмір частинок подрібненого зерна: для поросят-сисунів – 0,5 ... 0,8 мм; для відлучених – 0,9 ... 1,1; для інших груп – 1,0 ... 1,4 мм. Згодовування свиням зерна більш грубого помелу призводить до зниження продуктивності тварин, збільшення витрат корму на одиницю продукції.

Аналогічні дослідження проводились і зарубіжними вченими. Р. Хайл і Е.Фетебек встановили, що переварюваність органічної речовини в цілих зернах склала 74,7%, при помелі – 86,8%, переварюваність сирого протеїну відповідно 87,6 і 92,5%. Лоуренс А. вважає, що з тонкістю помелу пов'язана також швидкість проходження корму через шлунково-кишковий тракт тварини: крупно розмелений корм проходить швидше і гірше засвоюється, ніж середньо розмелений. Наявність в комбікормі тонкоподрібненої зернової сировини і великої кількості борошністої фракції чинить негативний вплив на організм тварин, ефективність засвоєння знижується на 15 - 18%. У поросят і телят затримується зростання, знижуються прирости, виникають захворювання шлунка [9].

Критерієм ступеня подрібнення служить модуль крупності помелу, який визначається за середніми даними ситового аналізу. Зростання молодняка свиней, наприклад, знижується на 18% при згодовуванні кукурудзяної дерті, просіяного через сито з перетином отворів 0,1 мм, проти дерті, просіяної через сито з перетином отворів 1,8 мм [10].

Дуже тонкий помел (менш 1мм) небажаний, оскільки призводить до розпорошення корму, зниження його поїдання і шлунково-кишкових захворювань. Подрібнення зерна до стану пилу знижує ефективність його використання внаслідок швидкого проходу через травний тракт [10].

В результаті визначення фізико-механічних властивостей зернового матеріалу запропоновано класифікацію по гранулометричному складу, що

відбиває зміну властивостей сипучості при зменшенні розміру часток, отриманих при подрібненні (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Коротка характеристика кормових компонентів

Категорія кормових компонентів	Вид кормових компонентів	Розмір типових частинок, мм
Крупнозернисті	Зернові, гранульований корм	$2 < a < 10$
Дрібнозернисті	Зернові крупного подрібнення, висівки та ін.	$0,5 < a < 2$
Порошкоподібні	Мука, порошкові мінеральні добавки	$0,05 < a < 0,5$

У відсортованих кормових компонентів під розміром типових частинок розуміють розмір середньої частки: $a = (a_{\max} + a_{\min})/2$. Якщо маса типових частинок проби $< 10\%$, то за розмір типової частинки беруть $a = a_{\min}$. Якщо ж маса групи найбільших часток перевищує 10% від маси проби, то розмір типової частки приймають рівним розміру максимальної частки, тобто $a = a_{\max}$ [11].

1.2. Аналіз фізико-механічних властивостей фуражного зерна

Технологія виробництва комбікормів включає наступні основні операції: прийом і очищення сировини від сторонніх домішок, лущення ячменю і вівса, подрібнення, дозування компонентів раціону, змішування, облік і видачу відповідно до нормативів годування технологічних і вікових груп тварин і птиці.

Від якості подрібнення вихідних компонентів залежить точність наступних операцій приготування комбікормів, до яких пред'являються: допустимі похибки вагового дозування $\pm 0,1-2\%$ від маси дози; для об'ємного

дозування інгредієнтів, складових в рецепті більше 30% - до $\pm 1,5\%$, від 11 до 30% - до 1%, від 3 до 10% - до $\pm 0,5\%$, менше 3% - не більше 0, 1% від маси всіх інгредієнтів рецепта [12].

При змішуванні компонентів сухих комбікормів відхилення від рецептурного складу допускається не більше $\pm 1,5\%$, соковитих кормів $\pm 3,5\%$, рідких - $\pm 2,5\%$, мінеральних добавок - $\pm 1,0\%$. На процес змішування компонентів комбікорму впливають фізико-механічні, технологічні, кінематичні і конструктивні фактори.

Чим менше розміри частинок суміші і чим більше ці розміри вирівнюються, тим швидше досягається задана ступінь однорідності суміші.

Подрібнення є найбільш енергоємною операцією в технологічному процесі приготування комбікормів. Концентровані корми подрібнюють на частинки заданої крупності згідно зоотехнічним вимогам до зернового корму: для великої рогатої худоби – не більше 3 мм, для свиней – до 1 мм, для птиці – до 2-3 мм при сухому годуванні і до 1 мм при згодовуванні вологих мішанок [13].

Фізико-механічні властивості вихідного матеріалу, що роблять істотний вплив на процес подрібнення, залежать, перш за все, від виду культури, її вологості, крупності, насипної маси. Вивчення цих властивостей дозволяє знайти ефективні способи впливу робочих органів подрібнюючих машин на переробку сировину. Отже, від фізико-механічних властивостей зернового матеріалу залежать вибір параметрів робочих органів та режимів роботи машини, енерговитрати процесу подрібнення і якість готового продукту.

Особливість будови сім'ядолей гороху пов'язана з їх хімічним складом – з високим вмістом білка, зневоднений гель якого має значну міцність. Ендосперм зерна (білок і крохмаль) характеризується значною крихкістю, тоді як оболонки мають значну в'язкість. При дробленні зерна ендосперм працює в основному на сколювання і стиснення, оболонки – на розрив. Величина руйнівного зусилля оболонок в залежності від сорту і вологості

зерна становить 95 ... 315 кг/см, тоді як розриваюче зусилля ендосперму становить лише 17 ... 33 кг/см. Зерна округлої форми більш міцні, ніж зерна ребристої форми того ж сорту. Міцність зерна зі зменшенням крупності підвищується, що є наслідком розмірного ефекту, а також підвищення відносного вмісту оболонок.

При підвищенні вологості ячменю з 13,8 до 20% відбувається збільшення витрати енергії на 30 ... 32% і зменшення продуктивності молоткової дробарки на 30%. Пояснити це можна тим, що удар поширюється лише в поверхневих шарах, викликаючи тільки плющення, на відміну від сухого зерна, в якому деформація удару йде вглиб. Якщо при вологості ячменю 14,0 ... 14,5% втрата вологи при деформації становить 0,2%, то при вологості 20% – до 1,4%.

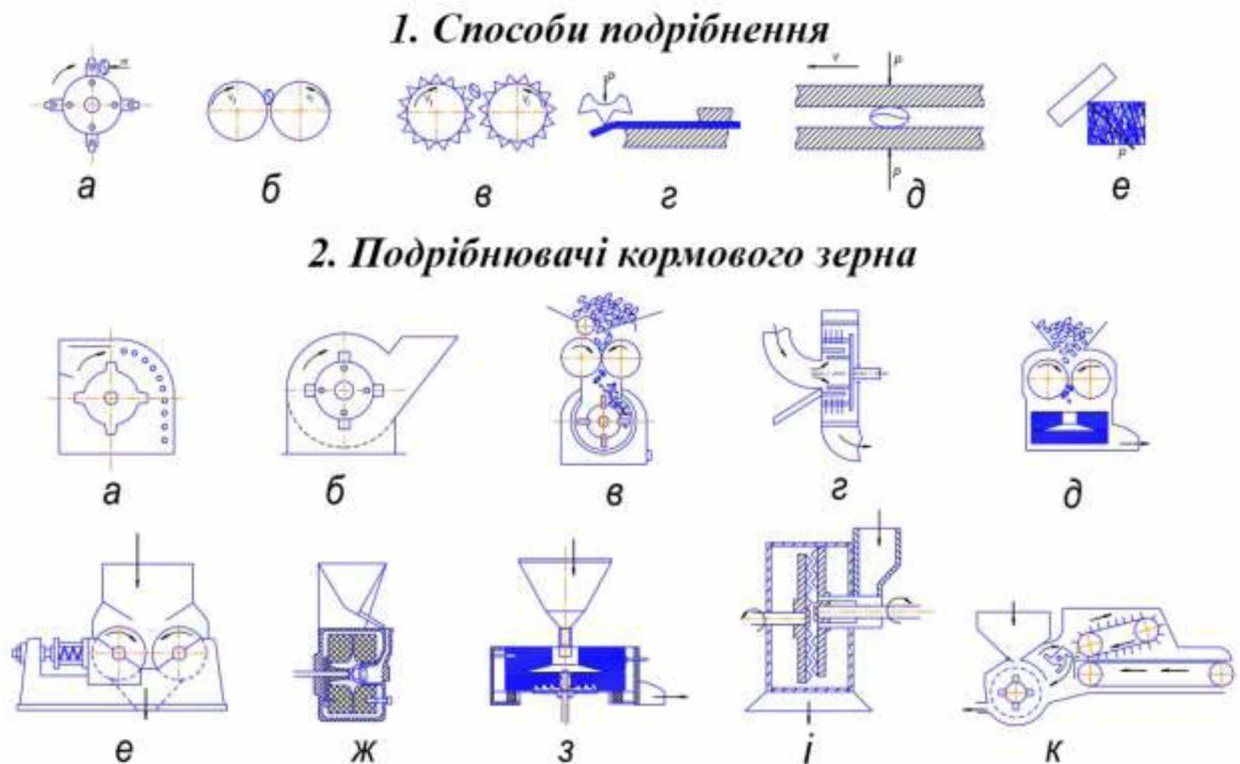
У більшості проведених досліджень зусилля дослідників були спрямовані головним чином на вивчення механічних властивостей зерна при статичному навантаженні і значно меншою мірою на динамічне навантаження. Вплив зміни характеристик зернового матеріалу в процесі подрібнення не враховувався.

Аналіз досліджень з визначення фізико-механічних властивостей зернової сировини дозволив зробити наступні висновки:

1. Зерно володіє пружними і в'язко-пластичними властивостями. При великих швидкостях деформування зерну притаманні більш крихкі властивості, при малих переважають в'язко-пластичні деформації.
2. Деформація зерна добре підкоряється закону Гука тільки в межах середніх значень миттєвих навантажень.
3. Значною мірою фізико-механічні властивості зерна залежать від сортності, вологості, розміру, стану поверхні зерна і в якійсь мірі від району зростання.
4. У процесі подрібнення фізико-механічні властивості зернівки значно змінюються.

1.3. Конструктивні особливості пристроїв для подрібнення зерна

Попередня оцінка найбільш поширених подрібнювачів зерна (рисунок 1.1) дозволяє співвіднести особливості їх схеми і конструкцій з відомими способами подрібнення [6, 14].



1 – способи подрібнення: а – удар; б – плющення; розтирання-помел; в – стиск-сколювання-помел; г – подрібнення; д – стиснення-стирання; е – різання. 2 – подрібнювачі кормового зерна: молоткові дробарки – а – відкритого, б – закритого типу; в, г, д – двоступеневі; е – вальцева; ж – жорна з горизонтальною віссю; з – жорна з вертикальною віссю; і – дисковий; к – комбінований.

Рисунок 1.1 – Схеми подрібнювачів кормового зерна і способи подрібнення

Технологічний результат різних способів подрібнення залежить від кінематики робочих елементів, сукупності їх взаємодії з подрібнюючим продуктом, організації руху продуктового потоку та ін. (рисунки 1.1).

Молоткові дробарки відрізняються широким спектром конструкцій і орієнтацією – з шарнірним і жорстким кріпленням робочих органів, з горизонтальним і вертикальним розташуванням вала барабана [2]. Вальцьові подрібнювачі з гладкими, рифленими і зубчастими вулицями працюють в різних кінематичних режимах в залежності від технологічних вимог і виду подрібнюють кормів. Жорнові і дискові подрібнювачі відомі з горизонтальним і вертикальним положенням осі обертання, роздільним приводом дисків з рухомим верхнім або нижнім жорнами або диском. Фірма Skiold виробляє модельний ряд дискових подрібнювачів, в т.ч. з похилою віссю.

Для отримання необхідного фракційного складу продуктів подрібнення дробарки, що встановлюються в поточних лініях цехів або агрегатів, включають в загальну схему подачі матеріалу і відведення продукту шляхом аспірації. Дробарки, які використовуються на фермах як поодинокі установки, обладнають системою трубопроводів, циклонами і фільтрами-пиловловлювачами, які в сукупності утворюють замкнену пневмосистему (рисунки 1.2). Це сприяє знепилюванню приміщень, зменшує вибухонебезпечність і в цілому поліпшує умови праці в приміщеннях.

Робочими органами дробарок є молотки, решета, деки; допоміжними механізмами, що забезпечують безперервність перебігу технологічного процесу – транспортери-живильники, бункери з дозаторами, вентилятори, циклони, фільтри, системи трубопроводів і вивантажувальні транспортери.

Основні енерговитрати з підготовки сировини до змішування пов'язані з його подрібненням. Тому робочі органи дробарок іноді мають ступеневу побудову (рисунки 1.1 в, г, д). В якості першого ступеня можуть застосовуватися пальцеві, штифтові і вальцьові робочі органи.

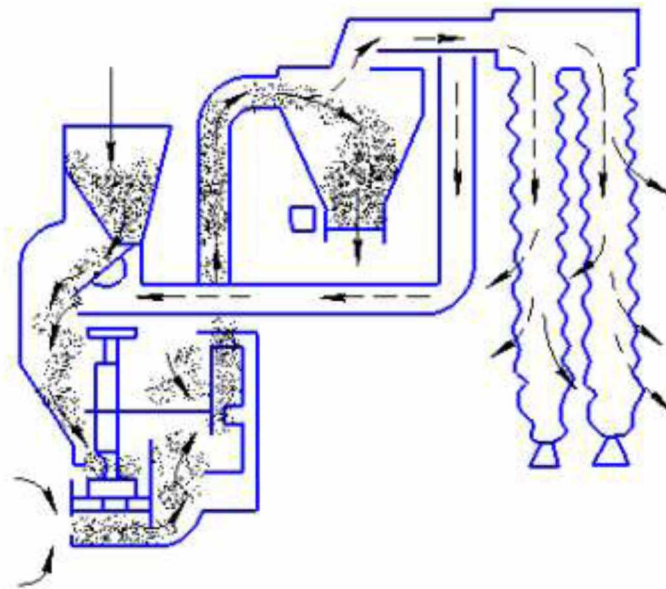


Рисунок 1.2 – Схема дробарки із замкнутим повітряним потоком

Вихідний щаблем залишається молотковий барабан. При такій побудові і, особливо з використанням вальців для попереднього руйнування зернових, можна розраховувати на загальне зниження витрат енергії на процес подрібнення [15, 17].

Відомі технологічні схеми подрібнювачів передбачають зниження енерговитрат, поліпшення якості помелу, механізацію завантаження і розвантаження дробильної камери. Для робочого процесу молоткової дробарки з декою, встановленої безпосередньо в камері дроблення, характерні деякі недоліки. Так, подрібнення матеріалу до необхідного ступеня відбувається в дробильній камері, після чого його видаляють. При цьому утворюється велика кількість пилоподібних частинок при високих енерговитратах внаслідок високих робочих швидкостей. Подрібнення відбувається без циркуляції продукту в камері молоткового барабана. Структурна схема процесу такої дробарки (рисунок 1.1 а) називається схемою з відкритим циклом [17].

Класифікаційна схема подрібнювачів кормового зерна за типом робочих органів, положення їх в просторі і способу подрібнення дозволяє виділити найбільш проблемні недоліки останніх і сформулювати напрямки

енергоресурсозбереження в розробці перспективних способів подрібнення і пристроїв для їх реалізації [18].

На результат процесу подрібнення молотковими дробарками закритого типу впливають: окружна швидкість молотка, яка дорівнює сумі руйнує швидкості і швидкості циркулюючого шару, маса циркулюючої завантаження, товщина повітрепродуктового шару, щільність матеріалу, що подрібнюється продукту і механічні характеристики, схеми подачі його в робочу камеру і виведення з неї. Обсяг борошняної фракції при цьому накопичується при ударі молотків, ударі об деки і решета, а також в процесі руху молотків в циркулюючому повітряно-продуктовому шарі. Ці ефекти менш значущі в робочому процесі вертикальних конструкцій і особливо при відборі (виведення з робочої камери різних фракцій) [14].

Серед універсальних подрібнювачів найбільш поширені комбінації ножового і молоткового робочих органів (рисунок 1.1 к), двоступеневих – вальці-молотки – в; пальці-молотки – г; вальці-жорна – д. Інтенсивне утворення фракцій (0-1) мм має місце у дискових дробарок всіх модифікацій з горизонтальним валом (Skiold до 50%). Однак основним фактором, що визначає високий вміст переподрібненої фракції в помелі, є швидкість робочих поверхонь молотків, пальців, дисків і ножів. У комбінації вальці-жорна (рисунок 1.1 д) результат подрібнення забезпечується як попередніми руйнуванням зерна до заданого ступеня, так і остаточним помелом при малих робочих швидкостях обох ступенів. Більш того, у міру подрібнення продукту жорнами збільшується прохідний перетин, що сприяє його евакуації без заторів і виключає появу мучки і борошняний фракції.

Комбінаціям пальці-молотки практично притаманні загальні недоліки молоткових дробарок, хоча робочі швидкості поверхонь пальців значно нижче руйнує швидкості молотків (рисунок 1.1 г).

Короткий класифікаційний огляд найбільш поширених схемотехнологічних рішень подрібнювачів фуражного сировини і способів подрібнення не дає однозначної відповіді на прийняття рішення, що

забезпечує зниження енерговитрат на процес отримання заданого фракційного складу продуктів подрібнення і поліпшення умов праці на об'єктах кормоприготування.

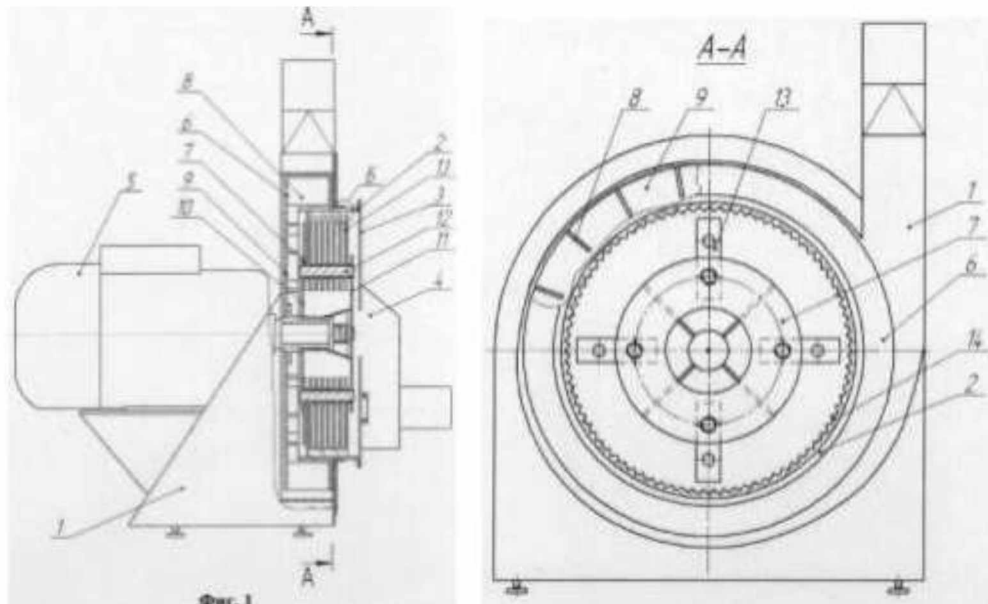
Тому сучасний стан теорії процесів переробки і приготування комбікормів вимагає додаткового аналізу для прийняття рішень інноваційного розвитку техніки цієї галузі.

До теперішнього часу інженерна думка розвивалася в напрямку вдосконалення окремих робочих органів подрібнення зерна. Один з таких прикладів – це поліпшення техніко-енергетичних показників вальцевої робочої пари [20]. Механізм призначений для попереднього руйнування і плющення зерна. Машина включає (рисунок 1.3) станину, два розмельних вальця, кожен з яких виконаний у вигляді осі, на якій встановлена бочка, міжвальцеву передачу, що подає механізм і механізм пропускання сторонніх предметів між молотковими вальцями. Пристрій дозволяє зменшити металоємність, енергоємність і габарити машини.

Іншим напрямком удосконалення залишаються зернодробарки з робочими органами у вигляді молотків [21].

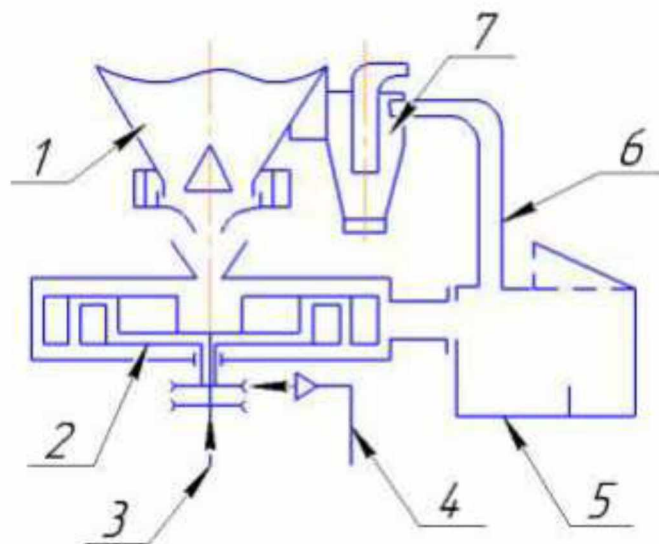
Відмінною особливістю такої дробарки (рисунок 1.3) є дека, виконана з можливістю переміщення в корпусі дробильної камери щодо молоткового ротора в осьовому напрямку. Крупність готового продукту збільшується за рахунок зменшення зони взаємодії молотків ротора з декою шляхом її зміщення в осьовому напрямку в корпусі дробильної камери. Технічний результат полягає в підвищенні надійності молоткової дробарки в роботі за рахунок збільшення пропускної спроможності і в підвищенні якості готового продукту шляхом регулювання крупності.

Дослідження [15], показали можливість двоступеневого відцентрового подрібнення фуражного зерна (рисунок 1.4), знизити енергоємність процесу і поліпшити технологічні характеристики продуктів помелу.



1 – опора; 2 – корпус дробильної камери; 3 – кришка; 4 – сепаратор камнеуловлювач; 5 – електродвигун; 6 – зовнішній вентилятор; 7 – молотковий ротор; 8 – лопатки; 9 – диск зовнішнього вентилятора; 10 – внутрішній диск; 11 – зовнішній диск; 12 – осі; 13 – молотки; 14 – дека

Рисунок 1.3 – Молоткова дробарка з рухомою декою

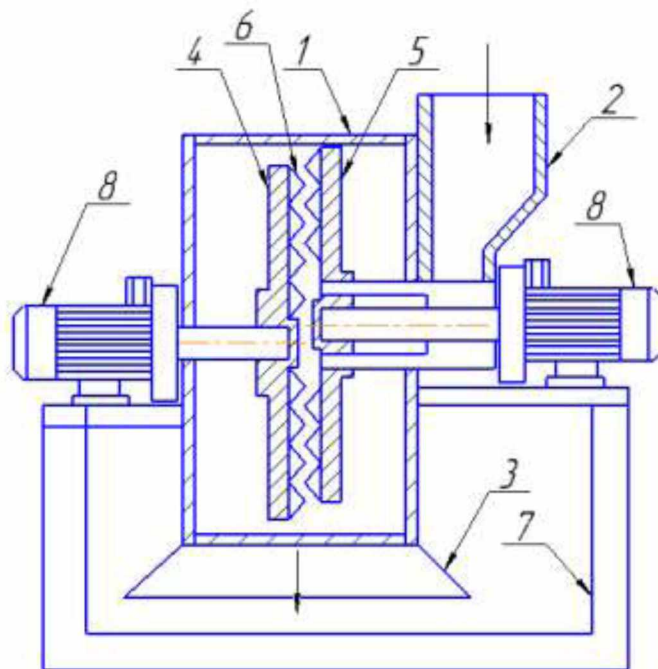


1 – вібраційний дозатор; 2 – ударно-відцентровий подрібнювач; 3, 4 – тахометри; 5 – приймач готового матеріалу; 6 – з'єднувальний рукав; 7 – циклон

Рисунок 1.4 – Схема двоступеневого відцентрового подрібнювача фуражного зерна

Робочими органами подрібнювача є розгінний, проміжний і відбійний ротори. Розгінні і відбійні елементи подрібнювача розміщені на загальному роторі, що має автономний привід. Проміжний ротор розміщений між розгінним і відбійним і обертається в протилежному напрямку. Простір між роторами утворюють дві ступені подрібнення: перша – удар об лопатки проміжного ротора; друга – удар об лопатки відбійного ротора. Напруження, що виникають при першому ударі, близькі до руйнуючих, але не досягають таких. Руйнують стають «косі» удари зернівок і їх частин, що сходять з лопаток проміжного про лопатки відбійного ротора, абсолютна швидкість поверхонь яких і швидкість сходу складають векторну суму, що забезпечує доруйнування.

Іншим способом ступеневого нарощування дефектів міцності і подрібнення зерна вирішується в ударно-відцентровому подрібнювачі (рисунок 1.5) [16].



1 - корпус; 2 - завантажувальний пристрій; 3 - вивантажний камера; 4 і 5 - лівий і правий диски з кільцевими виступами; 6 - ножі на робочих гранях; 7 - рама; 8 - електродвигуни.

Рисунок 1.5 – Ударно-відцентровий подрібнювач

Зерно подається в осьовому напрямку з боку правого диска, захоплюється виступами і рухається з вершин виступів одного диска до опор виступів іншого і, потрапляючи в міжножеві зазори, під дією відцентрових сил переміщається в радіальному напрямку. Ступінь подрібнення продукту при ударно-сколювальному впливі подрібнюючих виступів залежить від радіальної швидкості зерна і частинок, зазору між виступами і западинами і зазору між дисками.

Ступінчастість процесу подрібнення досягається за рахунок наростання швидкості від центру до периферії дисків. Наведені в роботі результати експериментального визначення залежностей енергоємності та продуктивності від швидкості робочих органів, модуля помелу від величини радіального зазору між виступами носять дискусійний характер.

В обох роботах відсутні дослідження фізико-механічних і технологічних характеристик фуражного зерна, а також залежно енергетики від основних параметрів процесу.

Висновки і завдання досліджень

Аналіз теоретичних і експериментальних робіт з подрібнення зернових і інших сипучих матеріалів показує, що резерви значного підвищення ефективності роботи основних подрібнюючих машин за рахунок зміни конструктивно-технологічних факторів багато в чому вичерпані. Спосіб подрібнення, який визначається фізико-механічними властивостями вихідного матеріалу, його початковими і кінцевими розмірами, робить істотний вплив на питому енергоємність і якість подрібнення.

Для досягнення мети роботи поставлені наступні завдання досліджень:

1. Вивчити форму і розміри зерна на виході з першого ступеня, закономірності поступального і обертального руху подрібненого зерна відцентрово-роторного подрібнювача;

2. Встановити закономірності взаємодії зернівки з ріжучими елементами робочих органів відцентрово-роторного подрібнювача;
3. Провести техніко-економічну оцінку.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика матеріалу, що подрібнюється

Розробка методик досліджень в першу чергу має на увазі вивчення фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється. Показники якості і деякі фізико-механічні властивості зернового матеріалу наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні фізико-механічні властивості зерна

Показник	Культура			
	Ячмінь	Пшениця	Овес	Горох
Довжина, мм	6,84-10,18	4,79-7,62	6,62-14,94	5,95-9,3
Ширина, мм	2,9-4,5	2,30-4,13	2,4-4,14	5,3-8,2
Товщина, мм	2,3-3,3	1,37-4,19	1,20-3,55	4,2-7,5
Еквівалентний діаметр, мм	4,2	3,86	4,1	6,8
Щільність, 1000 кг/м ³	1,25-1,4	1,20-1,50	1,10-1,40	1,3-1,4
Маса 1000 зерен, г	31-51	20-40	20-42	135
Об'ємна маса, т/м ³	0,55-0,62	0,71-0,80	0,4-0,55	0,70-0,85

Показники якості зернового матеріалу визначаються наступними методами:

- вологість;
- об'ємна маса;
- маса 1000 зерен.

Зведені дані за показниками (довжина, ширина, товщина), що характеризує лінійні розміри матеріалу, що подрібнюється встановлені експериментально (табл. 2.1).

2.2. Опис приладів та обладнання для проведення досліджень

Для дослідження подрібнення при різних параметрах зерна фуражних культур був виготовлений експериментальний зразок. Спосіб і пристрій подрібнення зерна (рисунок 2.1 а), включає: бункер 1 з заслінкою 12 і магнітним уловлювачем металу 5, вальцову секцію 2, що складається з нерухомого вальця 7 і рухомого 8, молотковий барабан 3, що збирають і розсіюють секції деки 11.

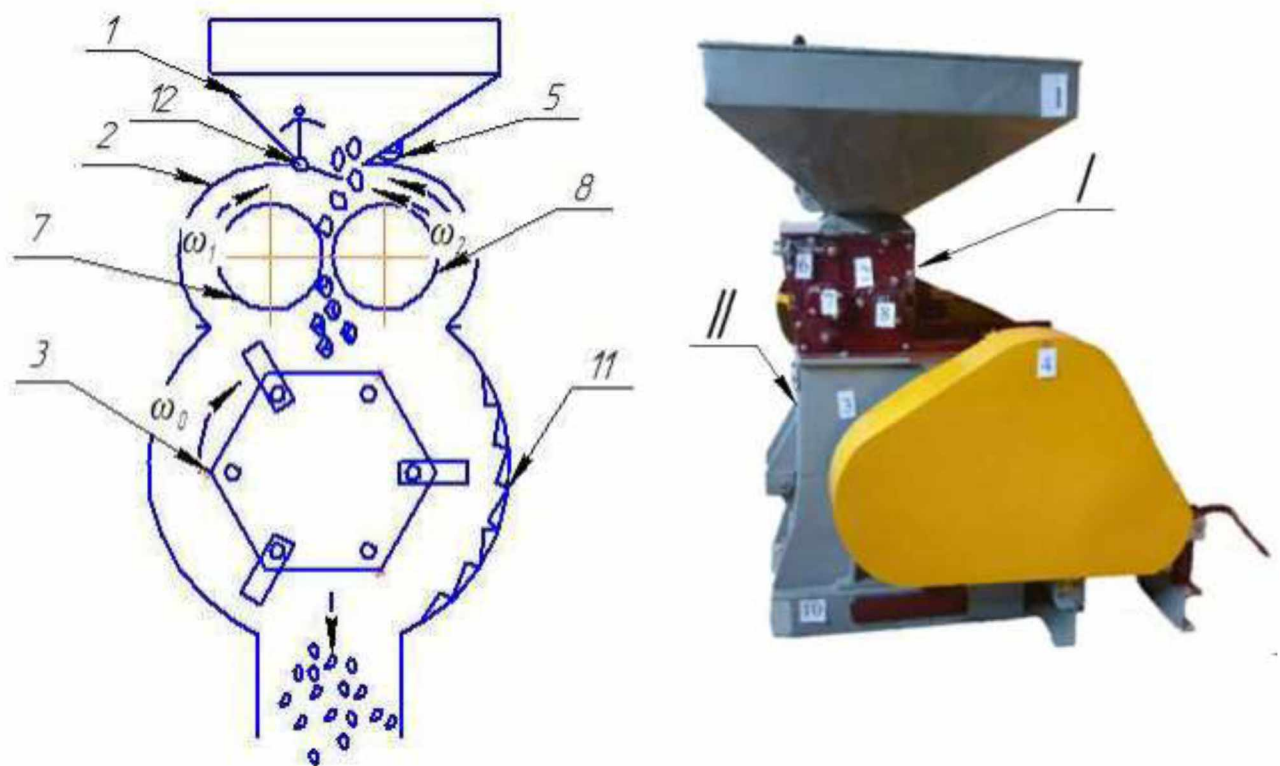


Рисунок 2.1 – Схема робочого процесу по способу і пристрою подрібнення зерна і загальний вигляд пристрою

Двоступеневий подрібнювач кормового зерна працює наступним чином: подрібнюючий матеріал з бункера, пройшовши магнітний уловлювач при відкритій заслінці, самотпливом надходить у вальцеву секцію.

Зазор між вальцями механізмом регулювання підібраний таким чином, що зернівка, пройшовши вальцову секцію, отримує мікропошкодження

структури, а отримані напруги перевищують тільки межу пружних складових міцності.

Різниця кутових швидкостей вальців забезпечує так званий ефект «прокатування» зерна, в результаті якого відбувається розшарування поверхневого шару (епікарпій і мезокарпій) і верхнього шару ендосперму (алейроновий шар), в результаті чого зернівка «розкривається» для безперешкодного удару робочими органами молоткового барабана, кількість пакетів в якому зменшено з 6 (Ф-1М) до 3.

Для повного руйнування потрібна швидкість, що дорівнює 40-60% руйнучій. Для підвищення ймовірності багаторазового зіткнення молотків з подрібнюючим після «прокатування» матеріалом в молотковій камері встановлена дека вдосконаленої конструкції із збиральною і розсіювальною секціями.

Слід зазначити, що швидкість відскоку зерна з отриманими дефектами міцності оболонки і його частин від деки може бути руйнуючою. Крім того, під час перебування досить великих частинок матеріалу продукту, що подрібнюється в зазорі між секціями дек і молотками можливе додаткове подрібнення сколюванням.

Експериментальна установка дозволяє в необхідних межах варіювати значеннями факторів, що впливають на досліджуваний процес.

У процесі дослідження вимірювалися і визначалися наступні величини:

- тривалість досліду;
- маса матеріалу, що подрібнюється за час дослідів;
- модуль помелу;
- потужність на привід установки.

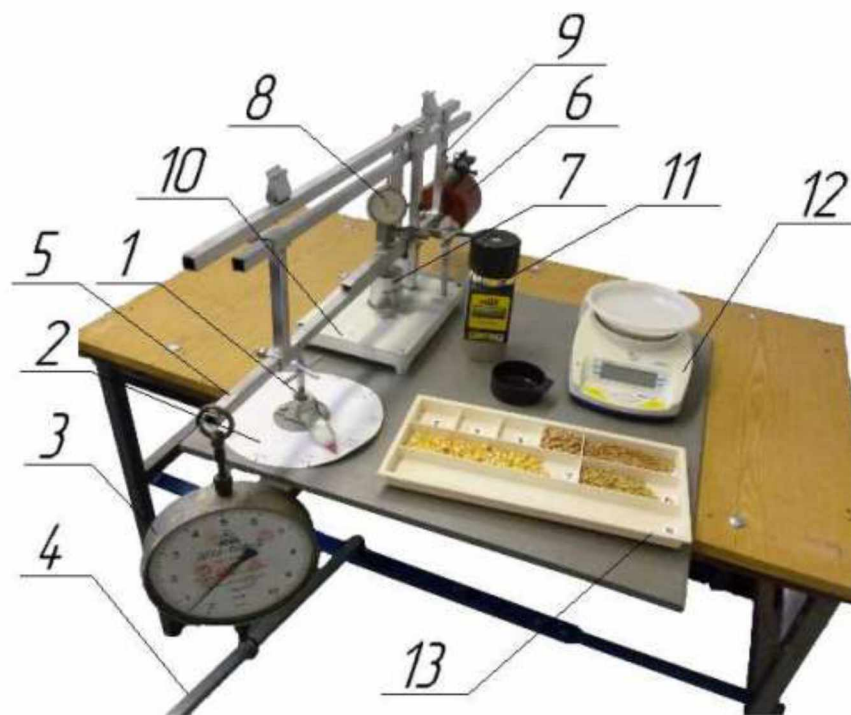
Результати вимірювань заносилися в журнал експериментальних досліджень.

При проведенні експерименту потужність на привід робочих органів визначалася на сталому режимі роботи подрібнювача з використанням

комплекту вимірювального К-505. Клас точності, що входять в нього приладів (амперметр, вольтметр, ватметр) становить 0,5.

2.3. Дослідження фізико-механічних властивостей зерна

Для визначення даних і побудови діаграм деформації зернівок основних кормових культур сімейства мітлицевидні, оцінки меж пружних і в'язких реакцій на зовнішні навантаження і уточнення характеристик міцності був розроблений настільний вимірювальний комплекс (рисунок 2.2) і адаптована відома методика дослідження пружно-в'язких властивостей матеріалів рослинного походження [22].

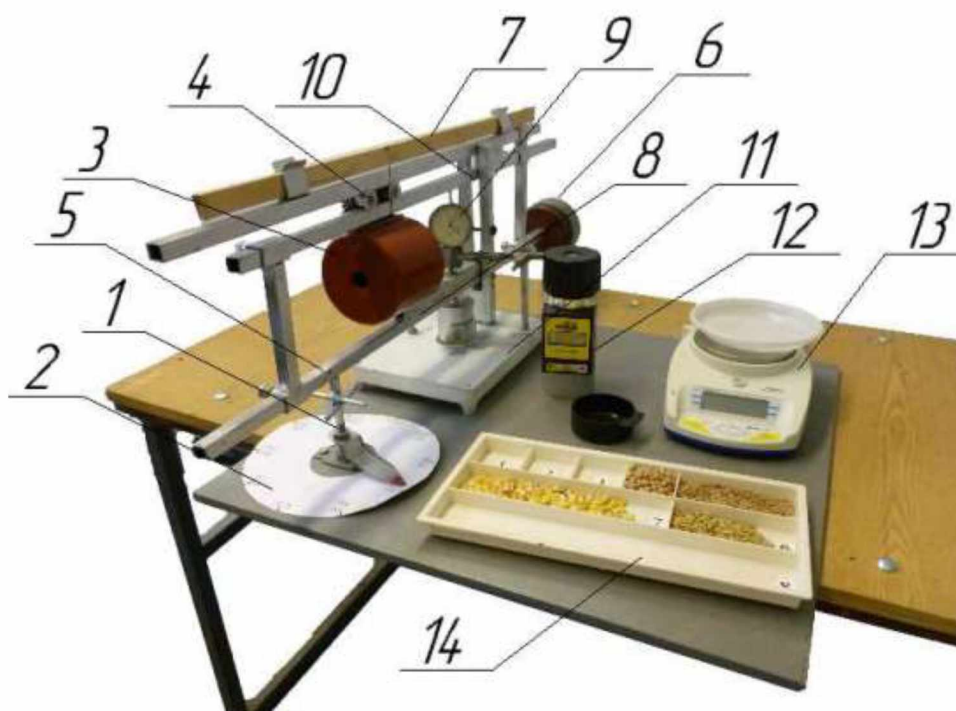


1 – регулювальний гвинт; 2 – шкала; 3 – динамометр ДПУ-0,01-2; 4 – шарнірно закріплений важіль динамометра; 5 – навантажувальний важіль; 6 – балансний вантаж; 7 – предметний майданчик; 8 – мікрометрична головка; 9 – стійка; 10 – опора; 11 – експрес вологомір Wile 55; 12 – ваги електронні NICHLAND; 13 – проби зернівок кормових культур

Рисунок 2.2 – Настільний вимірювальний комплекс для багаторазових вимірювань

Для визначення величини зусилля на зернівку від положення рухомого вантажу 3 (рисунок 2.3) проводилося тарування комплексу. Процедура тарування проводилася 3-х кратним навантаженням і розвантаженням. За результатами тарування будувалася шкала навантажень 7.

Для визначення руйнівного зусилля $\zeta_{руй}$ при великій кількості циклів дослідів використовувався 1-й варіант компонування вимірювального комплексу (рисунок 2.2). Балансиром 6 важеля встановлювалася в нейтральне (рівноважне) положення, зернівка розміщувалася на предметному майданчику 5 під нажимний пристрій. Мікрометрична головка 8 переводилася в положення «вимір» і обнулялася. За допомогою важеля 5 переміщенням вантажу 3 створювалося руйнівне зусилля для зернівки, мікрометричною головкою вимірювалася деформація.



1 – регулювальний гвинт; 2 – шкала; 3 – рухливий вантаж; 4 – каретка; 5 – навантажувальний важіль; 6 – балансирні вантажі; 7 – шкала навантаження; 8 – предметний майданчик; 9 – мікрометрична головка; 10 – стійка; 11 – підстава; 12 – експрес вологомір Wile 55; 13 – ваги електронні NICHLAND; 14 – проби зернівок кормових культур

Рисунок 2.3 – Настільний вимірювальний комплекс для визначення пружнов'язких характеристик зернівок

Результати вимірювань заносилися в журнал дослідів. Після статистичної обробки результатів 5-ти кратної повторності дослідів будувалися залежності $\varepsilon = f(t)$ при $\sigma = const$, $f(t)\sigma = 1$ при $\varepsilon = const$ (рисунок 2.3).

Настільний вимірювальний комплекс у 2-му варіанті компонування дозволяв визначати:

- миттєвий H і тривалий E модулі пружності;
- тривалість релаксації n ;
- коефіцієнт динамічності k_d .

Зернівка встановлювалася на предметний майданчик під збалансований натискний пристрій. Мікрометрична головка переводилася в положення «вимір» і обнулялася. Навантажувальний важок встановлювався в положення заданого зусилля в межах 3-35% від $\zeta_{руйн}$, згідно тарифовочної характеристики і перекладався в робоче положення упорним гвинтом 1 (рисунок 2.3). Записувалося початкове положення зависання стрілки мікрометричної головки. Далі показання знімалися через 10, 20, 30, 60 секунд, 5, 10, 15, 20, 30 хв. і заносилися в таблицю (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Алгоритм визначення параметрів зернівок м'ялицевидних культур

Культура, сорт	l , мм	b , мм	h , мм	P_{II} , мм	V , мм ³	S , мм ²	d_e , мм	m , г	ρ , г/мм ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	l_i								
	l_n	b_n	h_n	P_n	V_n	S_n	d_n	m_n	ρ_n
	l	b	h	P	V	S	d	m	ρ

За даними вимірів будувалася залежність $\varepsilon = f(t)$ для середніх значень ε . Точка графіка, в якій $\varepsilon \approx const$ – асимптота // осі абсцис, визнавалася часом релаксації « n ».

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Способи механічного руйнування матеріалів

У технології приготування кормів потрібно враховувати різноманіття видів кормів, їх властивості, різні методи і способи їх обробки. Способи обробки діляться за родом енергії, що витрачається на технологічний процес: механічні, теплові, хімічні, біологічні та біохімічні.

Види обробки різних матеріалів шляхом механічної дії на них за допомогою робочих органів машини відносяться до механічних способів. Найпоширенішим і важливим механічним процесом є подрібнення.

До механічного подрібнення зерна (рис. 3.1) слід віднести два основні процеси: різання і дроблення. За даними багатьох дослідників, різання є найменш енергоємним процесом при подрібненні зерна [24].

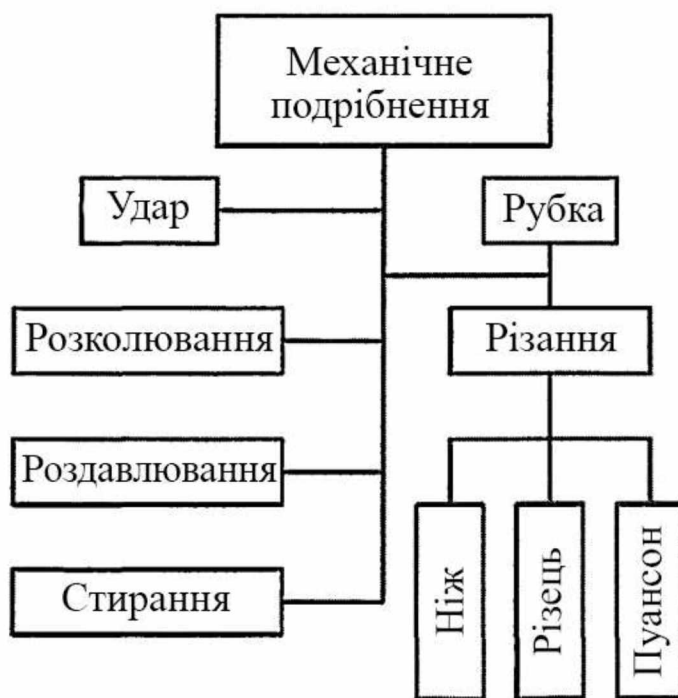


Рисунок 3.1 – Класифікація способів механічного подрібнення

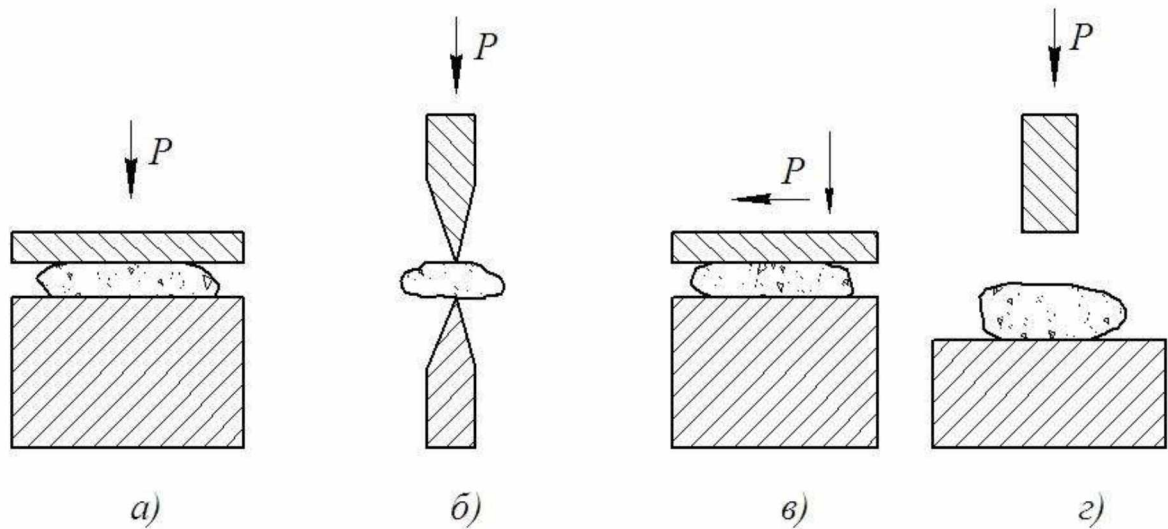


Рисунок 3.2 – Схеми способів подрібнення

Процес дроблення можна здійснювати ударом, розколюванням, роздавлюванням і стиранням. В даний час ще не створено дробильний пристрій, в якому будь-яке з цих видів дроблення здійснювався б в чистому вигляді.

Вибір способу механічного подрібнення в різних типах машин обумовлений фізико-механічними властивостями матеріалу, що подрібнюється і різними технологічними вимогами, що пред'являються до продуктів помелу. Наприклад, при руйнуванні матеріалу обмеженням і вільним ударом матеріал руйнується між двома робочими органами подрібнювача.

Головна роль такого руйнування відводиться кінетичній енергії вдаряючого тіла. При вільному ударі руйнування матеріалу настає в результаті зіткнення його з робочими органами або іншими тілами в польоті. Ефект такого руйнування визначається швидкістю зіткнення, при розколюванні (рис. 3.2 б) матеріал руйнується на частини в місцях концентрації найбільших навантажень, переданих робочими елементами подрібнювача. При роздавлюванні (рис. 3.2 а, в) матеріал під дією

навантаження деформується у всьому обсязі. Руйнування відбувається тоді, коли внутрішнє напруження в ньому перевищить межу міцності стиснення.

При розпилюванні і різанні матеріал ділиться на частини заздалегідь заданих розмірів і форм. Процесом можна керувати. При ударі матеріал руйнується під дією динамічних навантажень. Руйнівний ефект при зосередженому навантаженні подібний раздавлюванню.

Головне завдання переробки сировини полягає в управлінні механічними процесами утворення, деформації та руйнування дисперсних систем різного типу і отриманні на цій основі продуктів із заданими властивостями. Очевидно, що без вивчення фізико-механічних та інших властивостей вихідної сировини здійснити це завдання не можна. Знання властивостей оброблюваної сировини є підставою до вдосконалення робочих органів, зниження енерго- і матеріалоємності переробних машин, підвищення якості одержуваних продуктів.

В результаті узагальнення численних досліджень по вивченню подрібнення різних матеріалів багато авторів прийшли до висновку, що кожен спосіб подрібнення окремо вигідний тільки при руйнуванні певного виду матеріалу, і пропонують той чи інший спосіб подрібнення в залежності від фізико-механічних властивостей руйнованого матеріалу (табл. 3.1).

Спосіб подрібнення, який визначається фізико-механічними властивостями матеріалу, його початковими, кінцевими розмірами і властивостями поверхонь, має суттєвий вплив на питому енергоємність і якість подрібнення. Тому вибір раціональних способів подрібнення (дроблення) і на підставі їх раціональних робочих органів подрібнювачів має велике значення, а розробка технологій і конструктивних параметрів щодо підвищення продуктивності, поліпшення якості подрібнення і надійності робочих органів в зерно подрібнювальних машинах є вельми актуальним завданням.

Таблиця 3.1 – Способи механічного впливу на подрібнений матеріал в залежності від його фізико-механічних властивостей

Вид матеріалу	Спосіб руйнування				
	Стиснення	Удар	Стирання	Відображений удар	Різання та сколювання
Твердий розколюючий	+	+	–	+	±
Твердий крихкий	+	+	–	+	±
Твердий в'язкий	+	±	–	–	–
Середньої твердості	+	+	–	+	+
Пружний, м'який	–	–	+	–	+
Волокнистий	±	–	+	+	+
Чутливий до теплоти	–	±	–	±	+
Волого-пластичний	±	–	+	–	+
М'який крихкий	+	+	+	+	+
М'який в'язкий	+	+	+	–	+

Примітка. (+) – придатний; (±) – умовно придатний; (–) – непридатний

3.2. Теорії подрібнення матеріалів

Будь-яка теорія має на меті розкрити сутність того чи іншого процесу або явища, дати їм якісну та кількісну оцінку, визначити найбільш оптимальні умови їх протікання.

Теорія подрібнення твердих тіл в загальному вигляді розглядає два комплекси основних питань. По-перше, вона вивчає функціональні залежності між витратою енергії або механічної роботи на процес

подрібнення матеріалів і результатами цього процесу, тобто ступенем подрібнення. Це дає можливість виявити ефективність робочого процесу в залежності від прийнятої конструкції і правильності обраних режимів її роботи. По-друге, вона вивчає основні закономірності в розподілі часток по їх розмірам з метою відшукування простих і надійних методів визначення середніх часток, площі їх питомої поверхні і чисельного значень ступеня подрібнення.

Проблемам подрібнення присвячені багато досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених, проте до теперішнього часу ще не розроблена єдина теорія, яка б найбільш повно пояснювала процес подрібнення і давала досить точний математичний апарат для розрахунку енергії, що йде на подрібнення.

Для руйнування тіла на частини необхідно докласти зовнішні сили, причому величина цих сил повинна бути більше сил молекулярного зчеплення і притягання між частинками. Отже, робота зовнішніх сил витрачається на подолання внутрішніх сил, величина яких в залежності від фізико-механічних властивостей руйнованих матеріалів може бути різною.

Загальна корисна робота, витрачена на процес подрібнення і віднесена до одиниці маси або обсягу, характеризує питому роботу подрібнення.

Для визначення роботи подрібнення існують дві основні гіпотези (енергетичні теорії) руйнування твердих тіл:

- поверхнева, висунута П.Р. Ріттінгером;
- об'ємна, запропонована В.Л. Кирпичовим.

Німецький вчений П.Р. Ріттінгер в 1867 році в своїх дослідженнях дійшов висновку, що робота руйнування прямо пропорційна величині утвореної деформації поверхні, так як ця робота витрачається на розрив зв'язків між частинками матеріалу, тобто:

$$A = H_s \Delta S, \quad (3.1)$$

де H_S – деяка постійна, характерна для даного тіла і пропорційна вільній поверхневій енергії;

ΔS – приріст питомої поверхні.

Подальші дослідження показали, що ця теорія більш справедлива для випадків тонкого подрібнення матеріалів. При великому ж подрібненні процес руйнування твердих тіл не підпорядковується такому закону.

З іншого боку, з теорії пружності відомо, що абсолютна величина роботи деформації виражається у формі:

$$A = \frac{\sigma^2 V}{2E}, \quad (3.2)$$

де σ – напруження;

E – модуль пружності при лінійній деформації.

Таким чином, об'ємна теорія враховує пружні і пластичні деформації, що відбуваються в тілі при його руйнуванні.

Стосовно до дроблення зерна необхідно відзначити наступне: при грубому і середньому дробленні величина роботи витраченої на пружну та пластичну деформацію набагато перевищує другий доданок роботи витрачену на утворення нових поверхонь, яку можна не враховувати. Отже, робота буде витрачатися на дроблення тіла. При тонкому подрібненні робота дроблення незначна. Тому першою складовою можна знехтувати, а корисна робота буде пропорційна новоствореній поверхні.

При переробці зерна спостерігаються обидва випадки, так як процес розмелювання складається з двох етапів: попереднього грубого дроблення і подальшого тонкого подрібнення. Якщо в першому випадку можна знехтувати витратою енергії на власне диспергування, так як зерно дробиться на великі частини і знову утворена поверхня невелика, то в другому випадку цього зробити не можна, так як знову утворена поверхня велика і на утворення нової поверхні витрачається значна робота.

У розгорнутому вигляді узагальнений закон подрібнення для «ідеальних» твердих тіл пропонує П.А. Ребіндер:

$$A = A_y + \Pi \frac{\sigma^2 V}{2E} + A_s \Delta S k, \quad (3.3)$$

де A_y – енергія, що витрачається на процеси деформації і утворення продуктів подрібнення;

Π – число циклів деформації частинок матеріалу продукту, що подрібнюється;

σ – руйнівне напруження матеріалу, що подрібнюється продукту;

V – об'єм руйнованого продукту;

E – модуль пружності матеріалу, що подрібнюється продукту;

A_s – енергія, що витрачається на утворення 1 см² нової поверхні для даного продукту;

ΔS – новостворена поверхня;

k – безрозмірний множник.

Отже, для зменшення витрат енергії на процеси деформації і утворення продуктів подрібнення слід:

1. зменшити величину A_y , тобто зменшити пружні деформації;
2. зменшити число циклів деформації Π частинок руйнованого продукту;
3. знизити руйнуючі напруги подрібнюваного продукту;
4. руйнувати продукт до крупності, що диктується технологією виробництва, тому що занадто велике подрібнення веде до збільшення новоствореної поверхні і безрозмірного множника, отже, до додаткових витрат енергії.

3.3. Аналіз фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється

Енерговитрати на руйнування зерна, в тому числі кормових культур, визначаються особливостями його будови і механічними властивостями складових, що володіють в сукупності пружно-в'язкими реакціями на зовнішні впливи. Наприклад, для руйнування ендосперму твердої пшениці сколюванням потрібне зусилля 0,95-1,10 МПа, м'яких сортів – 0,28-0,32 МПа. Тому питома енергія руйнування зерна також велика і знаходиться на рівні 1,9-4 кДж/кг [16].

Поділ процесу подрібнення на етапи, що враховують ці фізико-механічні і морфологічні особливості будови зернівок, є перспективним на шляху зниження витрат енергії на процес в цілому.

Відомо, що пружні деформації складають до 30%, після чого починає деформуватися і руйнуватися ендосперм, заповнений крохмалистими зернами. Перехід деформацій за межу пружності відповідає стадії передруйнування і при великих швидкостях викликає непропорційне (випереджаюче) збільшення напруги.

У механіці систем, що деформуються в часі, поведінка таких матеріалів прийнято оцінювати спрощеним законом лінійного деформування [25].

$$H_{n\dot{\varepsilon}} + E_{\varepsilon} = \sigma + n\dot{\sigma}, \quad (3.4)$$

де ε і σ – відносна деформація і напруга;

$\dot{\varepsilon}$ і $\dot{\sigma}$ – їх похідні за часом, с^{-1} ;

H і E – миттєвий і тривалий модулі пружності, Па;

n – тривалість релаксації, с.

З наведеного закону очевидні два наслідки [18]:

- при статичному навантаженні, нехтуючи похідними, маємо закон Гука з тривалим модулем пружності E ;

- при великих швидкостях навантаження (деформування), коли похідні великі, отримуємо закон Гука з миттєвим модулем H .

Залежно від швидкості деформації (навантаження), таким чином, в'язкий елемент виступає як абсолютно жорсткий або податливий.

Практичний інтерес для вдосконалення процесів подрібнення з явищами післядії представляють дві його сторони:

- релаксація - зміна напруг в часі при постійній деформації;
- плинність - зміна деформації в часі при постійній нарузі.

Розглядаючи різні режими навантаження пружно-в'язких матеріалів у процесах їх обробки, дослідники приходять до цілого ряду корисних висновків при розробці робочих органів пресів, брикетировщиків, грануляторів різних типів. Значно рідше ці явища і їх наслідки застосовуються при розробці процесів руйнування в цілях подрібнення, широко затребуваного в кормовиробництві.

Дійсно, вирішуючи (3.4) для постійних ε і σ автор [25] наводить графіки зміни їх у часі (рисунок 3.1).

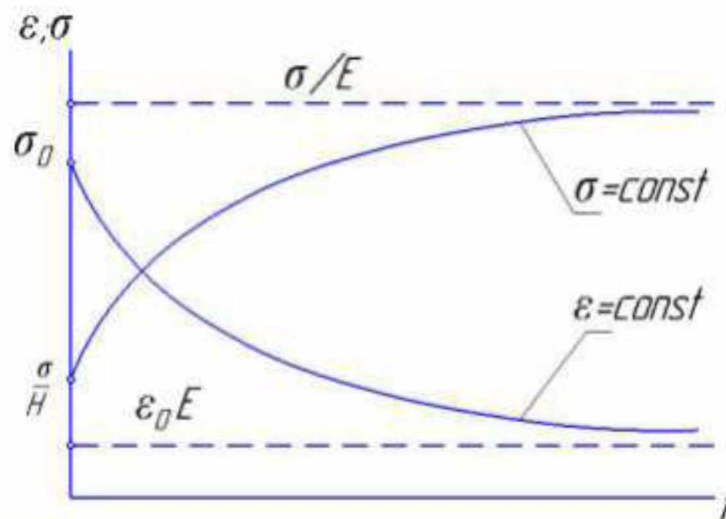


Рисунок 3.1 – Графіки функцій $\sigma = f_1(t)$ при $\varepsilon = const$ та $\varepsilon = f_2(t)$ при $\sigma = const$

Не менш корисним є рішення (3.4) для рівномірного наростання $\varepsilon = \omega t$ та $\sigma = \nu t$.

Тут v – швидкість наростання напруги, Па/с;

ω – швидкість відносної деформації, с^{-1} :

$$\begin{aligned}\sigma &= E\omega t + n(H - E) \cdot \omega \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{n}\right) \right] \text{ та} \\ \varepsilon &= \frac{vn}{E} \cdot \left(1 - \frac{E}{H} \right) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{Et}{Hn}\right) \right] + \frac{vt}{E}.\end{aligned}\quad (3.5)$$

З рівняння (3.5) також випливає, що при тривалому часі деформування напруга прагне до значення:

$$\sigma = E\omega t + n(H - E)\omega \quad (3.6)$$

в якому величина $n(H - E)\omega$ показує динамічне випередження напруги в порівнянні зі статичним режимом, коли σ не перевищує значення $E\omega t$. Графічне представлення цих режимів (рисунок 3.2) дозволяє зробити висновок про співвідношення складових залежності (3.3).

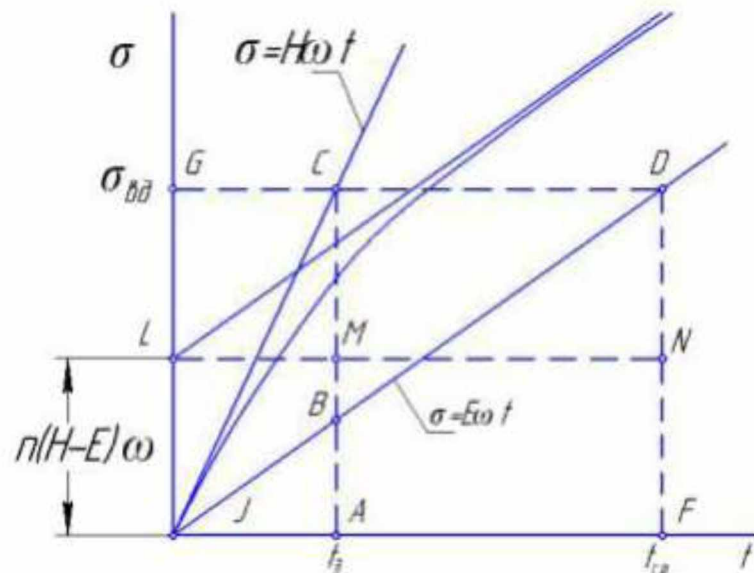


Рисунок 3.2 – Графік формування напруг і деформацій при різних режимах навантаження пружно-в'язких матеріалів (ПВМ)

Очевидно (рисунок 3.2), що кожному ПВМ зі своїми H , E і n , в залежності від величини ω і часу, відповідають статична складова і динамічна, що дорівнює випередженню, залежному від швидкості відносної деформації ω і часу релаксації n [18]. Їх співвідношення може скласти величину так званого динамічного коефіцієнта k_d , теоретичне обґрунтування якого в роботах з досліджень процесів подрібнення відсутня.

Ця обставина пов'язана з припущеннями, прийнятими для опису композиції (моделі ПВМ) з релаксуючими і нерелаксуючими осередками, параметри яких в реальних структурах зернівок варіюють в широких межах. Для отримання більш точної інформації про зміну напруг і деформацій у часі в таких матеріалах як зерно слід розглядати три стадії:

- деформація оболонки (епікарпій, мезокарпій, пігментний і айлероновий шари);
- деформація структурованого ендосперму (крохмалистий ендосперм і ендокарпій);
- спільна деформація, при майже постійній напрузі аж до руйнування.

3.4. Результати експериментальних досліджень

Для експериментального підтвердження аналітичних залежностей, параметрів і режимів роботи двоступеневого подрібнювача, запропонованих в роботі, потрібне подальше вивчення і уточнення властивостей матеріалу, що підлягає переробці.

Відповідно до програми експериментальних досліджень визначення та уточнення підлягають:

- геометричні, масооб'ємні і міцнісні, фрикційні властивості зерна і продуктів перемолу;
- пружно-в'язкі властивості і реакції на зовнішні впливи.

Розміри зерен вимірювалися штангенциркулем ШЦЦ-1 ГОСТ 24156-02 і округлювалися до 0,1 мм за ноніусом, результати розрахунків щільності і меж міцності округлювалися до другого знака (таблиця 3.2; 3.3).

Обсяг зернівки розраховувався за аналогією з об'ємом кулі:

$$V_3 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{l}{2} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{b}{2} \right) = \frac{\pi}{6} (lhb). \quad (3.7)$$

Щільність зернівок визначалася як відношення маси 100 зерен $\sum m_i$ випадкової вибірки до їх сумарного розрахункового обсягу $\sum V_i$

$$\rho = \frac{\sum m_i}{\sum V_i}. \quad (3.8)$$

Таблиця 3.1 – Результати визначення геометричних характеристик зернівок

№ п/п	Параметри зернівок							
	Довжина, мм, l	Ширина, мм, b	Товщина, мм, h	Об'єм, V_i , мм ³	Довжина, мм, l	Ширина, мм, b	Товщина, мм, h	Об'єм, V_i , мм ³
	Пшениця				Ячмінь			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6,3	3,3	2,8	30,46	10,4	3,6	2,7	52,90
2	6,5	3,5	3,1	36,91	10,2	3,7	3,0	59,25
3	6,8	3,6	3,3	42,28	10,5	3,9	3,1	66,43
4	6,9	3,7	3,2	42,75	10,2	3,6	2,9	55,73
5	6,7	3,4	3,1	36,96	10,9	3,8	3,1	67,20
..	..	..	..	..	..	..	..	..
96	6,6	3,5	3	36,27	10,1	3,1	2,9	47,52
97	7,2	3,7	3,4	47,40	10,5	3,7	3,0	60,99
98	7,2	3,5	3,2	42,20	10,6	3,8	3,1	65,35
99	7,1	3,6	3,1	41,47	11,2	4,0	2,8	65,65
100	6,9	3,6	3,2	41,60	11,1	3,6	2,9	60,65
$\sum V_i$				3983				6017

Щільність пшениці за формулою 3.8 склала $(1,125-1,375) \cdot 10^{-3}$ г/мм³.
 Щільність ячменю – $(0,665-0,826) \cdot 10^{-3}$ г/мм³.

Статична межа міцності $\zeta_{ст}$ визначалася як відношення руйнуючого зусилля $F_{руйн}$ до площі перетину відповідного положення зернівок.

Таблиця 3.2 – Фізико-механічні та технологічні характеристики зерна

Культура, вологість, %	Довжина (l), ширина (b), товщина (h), мм	Коефіцієнт тертя, f_c/f_k	Щільність, г/см ³	Коефіцієнт прокочування	Статична межа міцності, МПа
Ячмінь 10,71-14,35	10,8±3,2 3,5±1,5 3,0±1,5	$\frac{0,48 \pm 0,12}{0,4 \pm 0,07}$	0,82±0,15	0,36±0,05	7,2±0,09
Пшениця 12,41-15,25	6,3±2,3 2,8±1,2 2,6±1,15	$\frac{0,47 \pm 0,11}{0,42 \pm 0,11}$	1,37±0,13	0,39±0,05	6,5±0,08
Овес 11,43-15,15	13,3±5,3 2,7±1,3 2,4±1,2	$\frac{0,51 \pm 0,1}{0,48 \pm 0,1}$	1,2±0,10	0,21±0,02	3,97±0,06
Кукурудза 12,41-16,25	8,5±3,2 7,9±2,2 5,8±2,1	$\frac{0,39 \pm 0,11}{0,35 \pm 0,01}$	1,23±0,15	0,25±0,04	6,1±1,52

Після проведення дослідів по визначенню коефіцієнтів відновлення, за методикою описаної раніше, були отримані дані, що дозволяють побудувати графік експериментальної залежності від величини відносної деформації зернівок пшениці і ячменю (рисунок 3.3).

Коефіцієнти відновлення визначалися для найбільш стійкого горизонтального положення зернівок, що відповідає найменшому геометричному розміру мітлицевидних – товщині і умові захвату α .

З наведеного графіка видно, що точка «зламу» графіка залежності коефіцієнта відновлення відповідає порушенню форми і порушенню нормальної роботи міцності оболонок, що гарантують відсутність цілих зерен навіть у великому помелі.

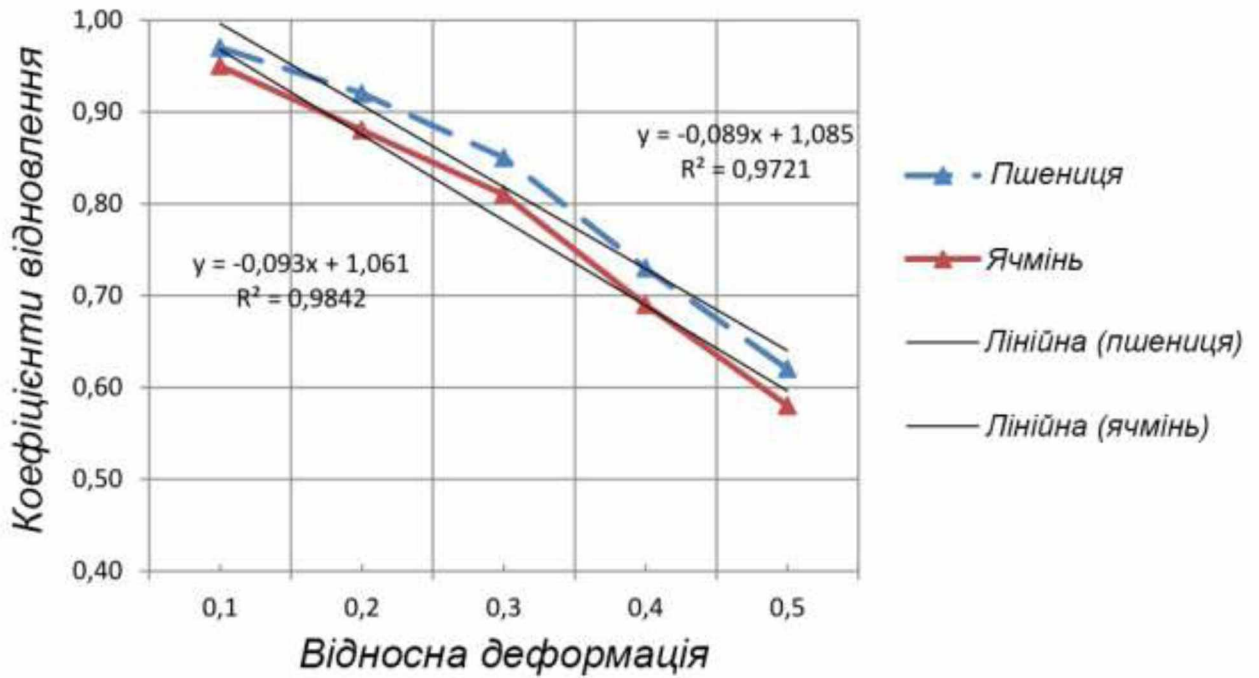


Рисунок 3.3 – Графік експериментальної залежності коефіцієнта відновлення від відносної деформації

Лінії тренда наведених залежностей свідчать про функціональну залежність коефіцієнта відновлення від відносної деформації.

Для уточнення межі пружної міцності оболонок зернівок на графіку (рисунок 3.3) наведені експериментальні залежності відношення величини пружного відновлення δ_e до величин абсолютної деформації δ_y (рисунок 3.4).

Значенням відносної деформації осі абсцис (рисунок 3.3) відповідають величини δ_e і δ_y , отримані для розмірів випробовуваних зернівок ε_i/h_i .

Область максимуму зміни співвідношення деформації відповідає кордоні пружності (розкриття) і підтверджує необхідність коригування робочого зазору вальцьовий ступені в діапазоні 0,3 товщини зернівок.

Для обґрунтування кінематичного режиму молотковій секції визначалася швидкість удару, достатня для поділу матеріалу, що подрібнюється після прокатування без освіти борошняної фракції (рисунок 3.5).

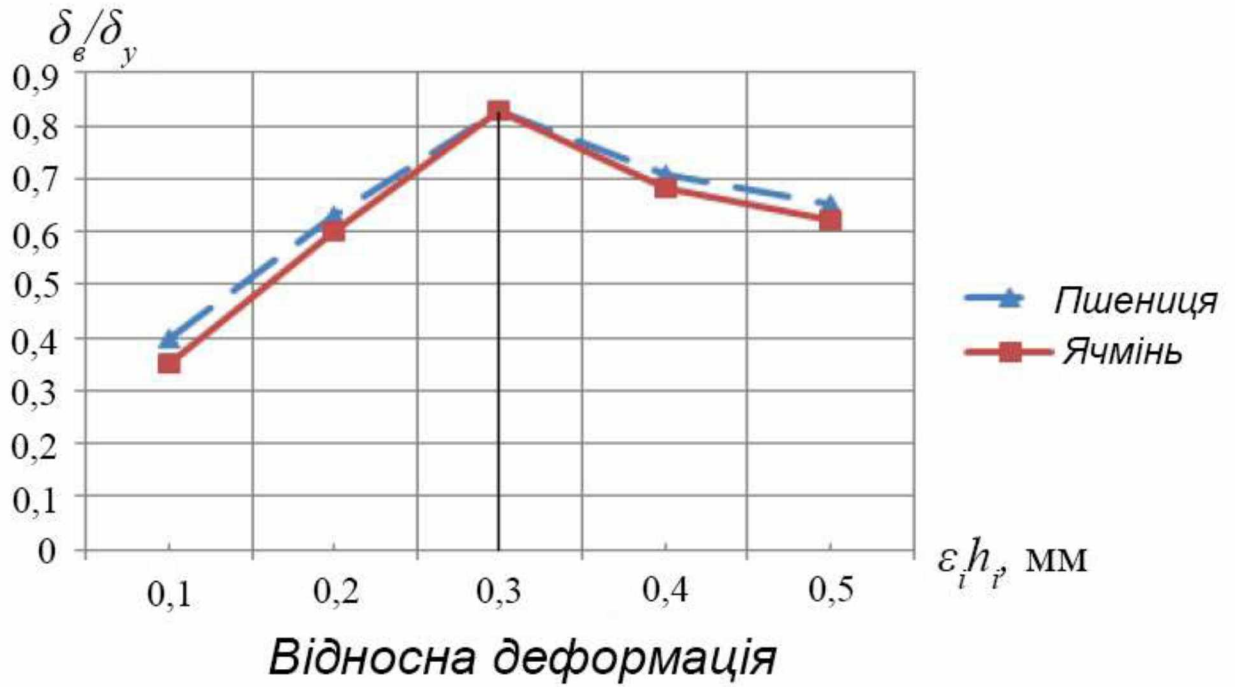


Рисунок 3.4 – Графік експериментальної залежності відношення деформацій δ_e/δ_y

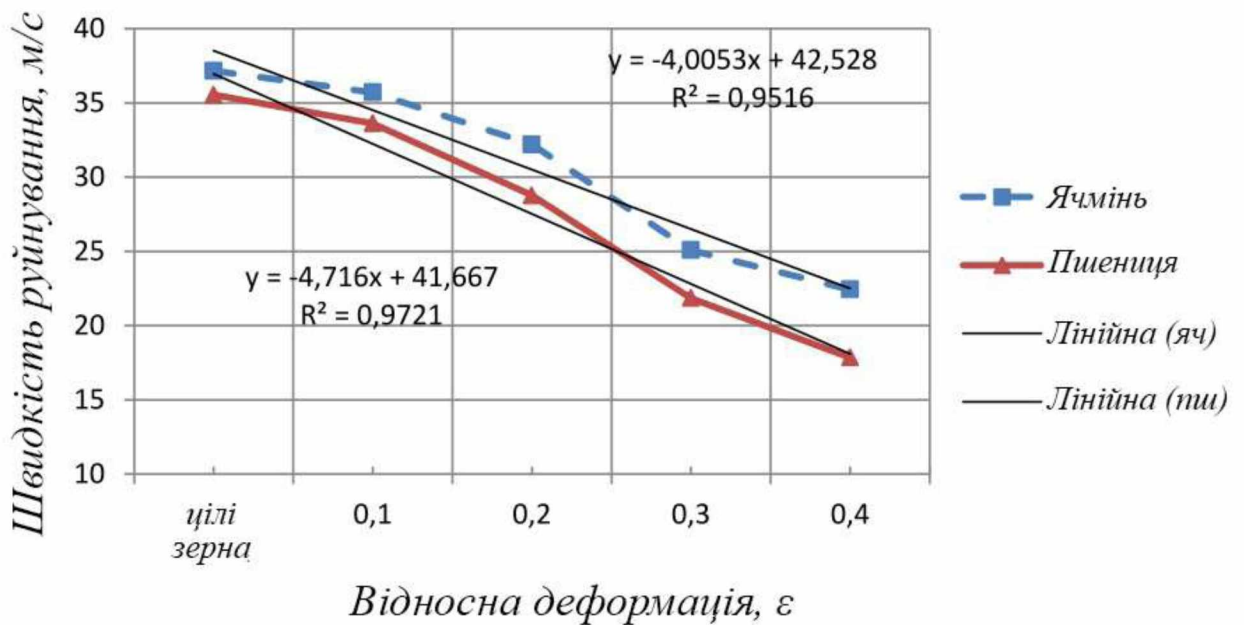


Рисунок 3.5 – Графік експериментальної залежності швидкості руйнування зернівок від відносної деформації прокатування

Так з наведеної графічної залежності випливає, що для руйнування цілих зерен ($\varepsilon > 0,1$) необхідна швидкість 35-40 м/с, однак при наданні зернівці дефектів міцності шляхом їх попередньої деформації, швидкість остаточного руйнування значно знижується.

Апроксимуючі функції показують функціональну залежність швидкості руйнування зернівок від відносної деформації прокатування.

Висновки

Двоступеневий подрібнювач кормового зерна здатний подрібнювати зернівки мітлицевидних і бобових культур, забезпечуючи утримання заданої фракції не менше 76% від загальної маси. Зміст фракції 0-1,0 мм не перевищує 7,4%.

Результати визначення коефіцієнтів прокатування фракцій подрібненого зерна показали їх збільшення зі зменшенням модуля помелу, і для цілих зерен становить 0,25-0,28, що гарантує виконання умови прокатування.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколоґо-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;

– державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці

4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують

травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як наука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об’єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов’язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров’я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров’я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

4.2.2. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактору визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

Матеріальні системи поєднують у собі системи неорганічної природи (фізичні, хімічні, геологічні та ін.) і живі системи (клітини, найпростіші і високорозвинені організми, популяції, біологічні види, екологічні системи). Особливим класом матеріальних систем є соціальні системи (сім'я, колектив,

державна політична система, суспільно-економічна формація). Ідеальною системою є поняття, гіпотеза, теорії, лінгвістичні і логічні побудови і т. ін. Штучною системою є система управління виробництвом, безпекою життєдіяльності і т. ін.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.4.1).

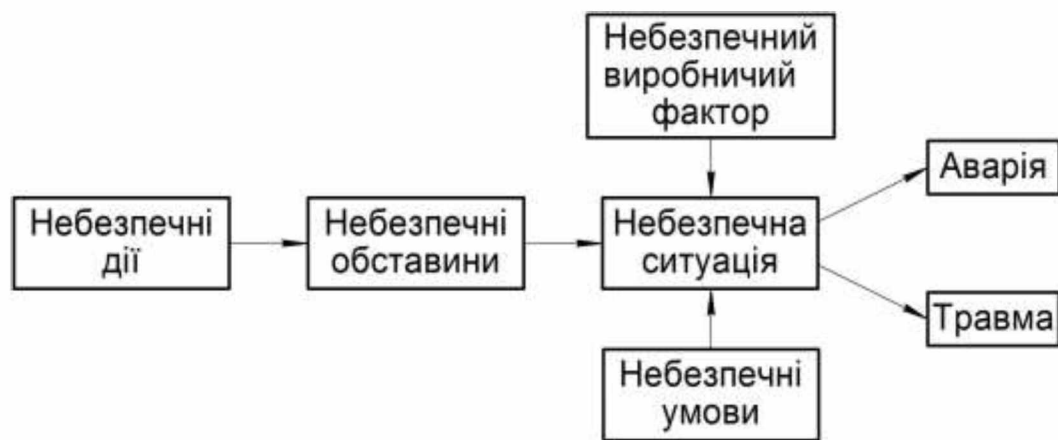


Рисунок 4.1 – Блок-схема формування та виникнення травмонезбезпечних аварійних ситуацій

4.2.3. Аналіз формування умов виникнення і розвитку аварій

Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку наведена на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Ступенева логіко-імітаційна модель виникнення нещасного випадку

4.2.4. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуацій

У розділі охорони праці магістерської роботи представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Доцільність впровадження нової машини в серійне виробництво оцінюється її економічною ефективністю. Економічна ефективність визначається через показники річного економічного ефекту і економічного ефекту від використання нової техніки за весь термін її служби.

В якості базової моделі, на підставі якої здійснювалося удосконалення робочого процесу, а так само порівняння отриманих результатів був використаний подрібнювач відцентрово-роторного типу ИЛС-0,15.

Виходячи з того, що пропонується модель підвищує ККД процесу помелу, зменшується енергоємність виробництва одиниці продукції при отриманні високої якості продукту, а так само підвищується продуктивність, річний економічний ефект буде складатися зі зниження експлуатаційних витрат і підвищення продуктивності праці.

Розрахунок економічної ефективності пропонуваного малогабаритного подрібнювача відцентрово-роторного типу в порівнянні з прототипом ИЛС-0,15, проводився на підставі наступних вихідних даних (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	ИЛС-0,15	Запропонована модель
Годинна продуктивність, т/год.	0,09	0,103
Встановлена потужність, кВт	0,8	0,8
Питома витрата енергії, кВт·год./т	8,3	7,4
Річний фонд роботи, год.	1760	1760
Річне завантаження, т	158,4	181,3
Вартість машини, грн.	35000	35000
Вага, кг	30	30

Річна економія від зниження експлуатаційних витрат визначається за формулою:

$$\Delta Z_e^p = \left((Z_{\text{б}} + E_n K_{\text{уб}}) - (Z_{\text{н}} + E_n K_{\text{ун}}) \right) A_p, \quad (4.1)$$

де $Z_{\text{б}}$, $Z_{\text{н}}$ – питомі експлуатаційні витрати при базовому і новому варіантах, грн./т;

E_n – нормативний коефіцієнт капіталовкладень ($E_n = 0,15$);

$K_{\text{уб}}$, $K_{\text{ун}}$ – питомі капіталовкладення базового і нового варіанту конструкцій, грн./т;

A_p – річний обсяг роботи установки в розрахунковому році, т.

Питомі експлуатаційні витрати або собівартість одиниці продукції (однієї тони подрібненого зернофуражу) визначається за формулою:

$$Z = Z_{\text{пл}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{то}} + Z_{\text{е}} + Z_{\text{одд}} + Z_{\text{зб}}, \quad (4.2)$$

де $Z_{\text{пл}}$ – зарплата обслуговуючому персоналу;

$Z_{\text{а}}$ – амортизаційні відрахування на реновацію машини;

$Z_{то}$ – витрати на технічне обслуговування і ремонт;

Z_e – витрати на електроенергію;

$Z_{доо}$ – витрати на допоміжні матеріали;

$Z_{зб}$ – витрати на зберігання машини.

Таблиця 4.2 – Експлуатаційні витрати

Показники	ИЛС-0,15		Запропонована модель	
	Питомі витрати, грн./т	Річні витрати, грн.	Питомі витрати, грн./т	Річні витрати, грн.
Оплата праці	127,1	20128,7	111,0	20130,9
Амортизаційні відрахування	26,5	4200,0	23,2	4200,5
Технічне обслуговування і ремонт	38,4	6090,0	33,6	6090,7
Електроенергія	16,6	2629,4	14,8	2683,2
Разом	208,6	33048,1	182,6	28923,7

Зниження енергоємності нової конструкції, оцінюється через річну економію споживання електроенергії, яка визначається як:

$$\Delta E_e^p = (E_e^c - E_e^n) A_p, \quad (4.3)$$

де E_e^c, E_e^n – енергоємність процесу серійно випускаємої дробарки і запропонованої моделі, кВт·год./т.

Таблиця 4.3 – Зниження експлуатаційних витрат з урахуванням капіталовкладень

Показники	ИЛС-0,15	Запропонована модель
Капіталовкладення, грн.	42000	42000
Прямі експлуатаційні витрати, грн.	33048,1	28923,7
Питомі капіталовкладення, грн./т	265,2	231,7
Питома річна економія витрат, грн./т	–	33,5
Загальні витрати праці, год.	1810	1810
Питомі витрати праці, год./т	11,4	9,9
Річна витрата електроенергії, кВт·год.	1314,72	1341,62
Питома витрата електроенергії, кВт·год./т	8,3	7,4
Питома економія споживання електроенергії, кВт·год./т	–	0,9
Річна економія споживання електроенергії, кВт·год.	–	163,17
Питома металоємність конструкції, кг/(т/год.)	55,5	50

Аналіз табл. 4.3 показує, що за рахунок зниження експлуатаційних витрат на 4124,4 грн., зниження витрат електроенергії на 163,17 кВт·год і питомої металоємності на 5,5 кг/(т/год.), за перший рік експлуатації економія витрат від застосування малогабаритного подрібнювача при подрібненні фуражного зерна в порівнянні з прототипом складе 28375 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Уточнено геометричні, фізико-механічні, технологічні, пружно-в'язкі характеристики і властивості зернівок мітлицевидних культур, стосовно способу подрібнення – коефіцієнти прокатування, статичні межі міцності і руйнуючі швидкості удару після їх проходження вальцевим ступенем подрібнювача.

2. Двохступеневий подрібнювач кормового зерна здатний подрібнювати зернівки мітлицевидних і бобових культур, забезпечуючи утримання заданої фракції не менше 76% від загальної маси. Зміст фракції 0-1,0 мм не перевищує 7,4%.

3. Результати визначення коефіцієнтів прокатування фракцій подрібненого зерна показали їх збільшення зі зменшенням модуля помелу, і для цілих зерен становить 0,25-0,28, що гарантує виконання умови прокатування.

4. Аналіз результатів розрахунку економічної ефективності використання пропонованого малогабаритного відцентрово-роторного подрібнювача показує, що за рахунок зниження експлуатаційних витрат, зниження витрат електроенергії на 163,17 кВт·год. і питомої металоємності, за перший рік експлуатації розрахункова економія витрат від застосування малогабаритного подрібнювача при подрібненні зерна становить 28375 грн.