

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

Модернізація конструкції подрібнювача кормових буряків

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Муравйов Ростислав Олександрович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Леперда Володимир Юрійович

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«12» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Муравйову Ростиславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація конструкції подрібнювача кормових буряків

керівник роботи: Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 12 » листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 16.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбикормів, зокрема змішувачів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання. 2. Теоретичне обґрунтування параметрів подрібнювача коренеплодів. 3. Лабораторні дослідження процесу різання коренеплодів. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна оцінка удосконаленого подрібнювача коренеплодів. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 26.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2024 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2024 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2024р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2024 р.	
5	Економічний	до 26.11.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2024р.	

Студент

_____ **Муравйов Р.О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Івлєв В.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Муравйов Р.О. Модернізація конструкції подрібнювача кормових буряків /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У вступній частині дипломної роботи представлено обґрунтування актуальності обраної теми дослідження, сформульовано основну мету та конкретні завдання, які необхідно вирішити для досягнення цієї мети. Також наведено огляд методів дослідження, які використовувались у процесі виконання роботи. Проведений аналіз сучасного стану проблеми дав можливість окреслити основні напрямки, які необхідно дослідити для вирішення поставлених завдань та досягнення цілей дослідження. В першому розділі було детально проаналізовано існуючі технічні рішення в області машинного доїння, що дозволило виявити ключові недоліки існуючих систем та обґрунтувати необхідність розробки нового підходу.

У другому розділі виконано теоретичне моделювання робочого процесу нової конструкції доїльного апарата, оснащеного колектором з діафрагменним насосом. Детально описано принцип роботи нової системи, а також проведено математичний аналіз основних параметрів, що впливають на ефективність та безпеку процесу доїння. Дослідження також включало порівняльний аналіз продуктивності розробленої конструкції з існуючими серійними доїльними апаратами. На основі отриманих результатів було зроблено висновок, що запропонований апарат має суттєві переваги, зокрема більш рівномірний тиск на вим'я корови, що сприяє зниженню ризику травмування молочної залози та покращенню загального стану тварин.

Експериментальні дослідження, проведені в лабораторних умовах та безпосередньо на виробництві, підтвердили ефективність розробленої конструкції. Зокрема, було доведено, що новий доїльний апарат забезпечує стабі-

льне зниження втрат молока, зменшує стрес для тварин та підвищує якість доїння в цілому. Крім того, у роботі акцентується увага на дотриманні вимог охорони праці під час експлуатації доїльного обладнання. Проведений аналіз показав, що нова система відповідає сучасним вимогам безпеки праці, включаючи зменшення впливу шкідливих факторів на оператора та забезпечення комфортних умов роботи.

Окрему увагу в роботі приділено економічному обґрунтуванню впровадження розробленого доїльного апарата. Проведений аналіз витрат та прогнозованих економічних вигод показав, що впровадження нової технології дозволить суттєво знизити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність праці та забезпечити більш високу рентабельність виробництва. У висновках роботи підсумовано основні результати дослідження, зроблено оцінку переваг і недоліків нової конструкції та сформульовано рекомендації щодо її впровадження на практиці. Список використаної літератури містить наукові джерела, що були використані при розробці та аналізі нової системи.

Ключові слова: коренеплоди, зусилля різання, ніж, кут ковзання, питома енергоємність.

ЗМІСТ

	Вступ	9
1	АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
	1.1 Ефективність використання коренеплодів на корм худобі	11
	1.2 Аналіз технологій та технічних засобів подрібнення коренеплодів	13
	1.3 Огляд досліджень з обраної теми	28
	1.4 Висновки по розділу	31
2	ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ	32
	2.1 Взаємодія робочого органу з подрібнюваним матеріалом	32
	2.2 Швидкість різання	38
	2.3 Геометрія ножів	39
	2.4 Висновки по розділу	46
3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ	47
	3.1 Програма експериментальних досліджень	47
	3.2 Обладнання для експериментальних досліджень	48
	3.3 Результати експериментальних досліджень	48
	3.4 Дослідження процесу подрібнення коренеплодів на експериментальному подрібнювачі	51
	3.5 Висновки по розділу	53
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	55
	4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі з подрібнювачами коренеплодів	55
	4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі з подрібнювачами коренеплодів	56

4.3	Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	59
4.4	Висновки по розділу	60
5	ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА УДОСКОНАЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ	62
5.1	Вихідні дані	62
5.2	Розрахунок показників економічної ефективності	63
5.3	Висновки по розділу	64
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
	БІБЛІОГРАФІЯ	67
	ДОДАТКИ	70

ВСТУП

Збільшення виробництва кормів, покращення їх якості та зниження собівартості – це не тільки умова успішного виконання завдань в галузі подальшого розвитку тваринництва, а й підвищення врожайності кормових культур. Нарощування виробництва сільськогосподарської продукції залишається першочерговим завданням нашої країни.

Однією з найважливіших завдань при переробці кормового буряка, в тому числі при підготовці до згодовування, обов'язковим є його подрібнення. Якість подрібнення кормового буряка, витрати праці, енергії та ряду інших найважливіших показників багато в чому визначаються конструктивними особливостями застосовуваного подрібнювача.

Актуальність досліджень процесу подрібнення кормового буряка для згодовування ВРХ зумовлена необхідністю раціонального використання кормів та підвищення ефективності тваринництва. Подрібнення буряка сприяє поліпшенню поїдання корму, що призводить до більш ефективного засвоєння поживних речовин. Це особливо важливо для забезпечення високої продуктивності великої рогатої худоби, зокрема, для покращення надоїв молока і приросту маси. Крім того, оптимізація процесу подрібнення може знизити витрати на корм та підвищити економічну доцільність тваринництва, зменшуючи втрати кормових ресурсів.

Дослідження процесу подрібнення кормового буряка також є актуальним з точки зору автоматизації та механізації сільськогосподарського виробництва. Використання сучасних подрібнювальних машин дозволяє значно скоротити трудові витрати та підвищити продуктивність праці в тваринництві.

Крім цього, правильне подрібнення буряка дозволяє зменшити ризик захворювань у великої рогатої худоби, таких як проблеми з травленням, які можуть виникати через споживання занадто великих шматків коренеплодів. Та-

ким чином, вдосконалення технологій подрібнення кормового буряка має безпосередній вплив на покращення економічної ефективності та здоров'я тварин, що в цілому сприяє сталому розвитку аграрної галузі.

У зв'язку з цим, вирішення завдання щодо підвищення ефективності подрібнення кормових буряків на основі застосування надійного та високопродуктивного подрібнювача, що забезпечує зниження матеріальних та трудових витрат, втрат поживних речовин – актуальне та має велике значення для сільськогосподарського виробництва.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Ефективність використання коренеплодів на корм худобі

Поряд з коренеплодами тваринам згодовують листя або бадилля цих культур. Коренеплоди згодовують у свіжому цілому та подрібненому вигляді, а також у силосованому та сушеному. Їх охоче поїдають тварини всіх видів. У господарствах з переважанням молочної худоби рекомендується більше вирощувати кормових буряків, брукви та турнепсу; з переважанням свиней та великої рогатої худоби на відгодівлі - цукрових та кормових буряків; з переважанням птиці - моркви. У структурі соковитих кормів на коренеплоди зазвичай припадає 10...20%.

Великій рогатій худобі коренеплоди можна: згодовувати в цільному вигляді (крім дрібних), але рекомендують все ж згодовувати в подрібненому вигляді. Це пов'язано, головним чином, із зменшенням витрат енергії тварин на пережовування корму та кращою перетравлюваністю внаслідок більшої площі поверхні у подрібнених коренеплодів.

Коренеплоди подрібнюють безпосередньо перед згодовуванням, оскільки через 2...3 години після подрібнення вони чорніють і втрачають початкову свіжість.

Згодовування подрібнених коренеплодів у суміші зі стебловими кормами підвищує поїдання корму, посилює травлення в кишечнику. Раціональне співвідношення грубих кормів і коренеплодів дозволяє рівномірно навантажувати травний тракт.

У зимовий період коренеплоди - прекрасний корм для всіх видів тварин, особливо молочних корів і молодняку великої рогатої худоби. За відсутності коренеплодів у кормових раціонах корів важко отримати високі надої у стійловий період, оскільки коренеплоди є молокогонним кормом.

При переході восени з пасовищного годівлі великої рогатої худоби на стійлове, а навесні - навпаки, від стійлового до пасовищного, додавання до раціону тварин коренеплодів дозволяє уникнути різкого зниження їх продуктивності.

Згодовування коренеплодів дійній худобі значною мірою стримує падіння удоїв у корів у перші місяці лактації. Дані досліджень показують, що й у цей час коровам згодовувати лише сіно, надої падають через 3...5 тижнів. Якщо ж до раціону включити коренеплоди, то високі надої можна зберегти 5...6 місяців.

Проведені дослідження, спрямовані на вивчення можливості згодовування цукрових буряків телятам у післямолочний період замість концентратів, свідчать, що при вирощуванні телят можна замінювати до 43% концентрованих кормів рівною по поживності кількістю цукрових буряків без шкоди для їхнього здоров'я. До того ж, по інтенсивності процесів асиміляції поживних речовин телята, які отримували цукрові буряки, мали переваги, які зберігалися протягом усього часу проведення досвіду. Згодовування цукрових буряків піддослідним телятам у порівнянні з контрольною групою забезпечило збільшення середньомісячного приросту живої маси на 420 г. Середньодобове збільшення ваги в середньому за час досвіду було вищим на 2,6%.

Значним резервом підвищення ефективності використання коренеплодів, особливо цукрових буряків і моркви, ліквідації сезонності згодовування, а також зниження втрат у процесі зберігання є застосування нових технологій їх переробки - високотемпературного сушіння, силосування, хімічного консервування.

У порівнянні з силосом, виготовленим з однієї культури, комбісилос містить значно більше поживних речовин, має меншу кислотність. Включення його до раціону всіх видів тварин сприяє більш ефективному використанню

поживних речовин, підтримці на високому рівні процесу травлення, підвищенню плодovitості та одержанню здорового потомства.

Собівартість однієї кормової одиниці кормових коренеплодів в 3...4 рази вище, ніж однорічних трав, і в 1,5...2 рази вище, ніж однорічних трав і силових культур. Тому важливим і актуальним завданням стає розробка оптимальних раціонів і правильне використання цього виду корму. При цьому забезпечення потреб тварин в основних компонентах раціону, як правило, можливе тільки на основі використання коренеплодів, для підготовки яких до згодовування необхідно застосовувати відповідні машини, що забезпечують необхідну якість готового продукту при мінімальних питомих енерговитратах.

1.2 Аналіз технологій та технічних засобів подрібнення коренеплодів

Аналіз конструктивних особливостей та робочих процесів машин для подрібнення коренеклубнеплодів. Перед згодовуванням коренеклубнеплоди необхідно мити, розморожувати (якщо вони морожені) і подрібнювати. Найбільш енергоємний і разом з тим самим поширений процес підготовки кормів - подрібнення. Відповідно до зоотехнічних вимог при згодовуванні коренеклубнеплодів свіжими їх очищають від землі та сторонніх включень, так, щоб забрудненість землею не перевищувала 2% і подрібнюють до частинок 10...15 мм для великої рогатої худоби.

Подрібнення коренеклубнеплодів фрезами, молотками, бичами, можна розглядати як вплив на матеріал тупого ножа. Ножі можуть мати пряме та криволінійне лезо. Для подрібнення матеріалу різняться різні форми лез (рис. 1.1)

Висока швидкість впливу та велика зона контакту робочого органу з матеріалом потребує великих витрат енергії, крім того відбувається порушення клітинної структури матеріалу в зоні руйнування і, як наслідок, рясна виді-

лення соку. Висока швидкість відкидання подрібнених частинок із зони подрібнення призводить до порушення сил поверхневого натягу соку, так як спостерігається ефект сепарації. Сік у вільному стані швидко окислюється, тобто має місце речовин та зниження якості.

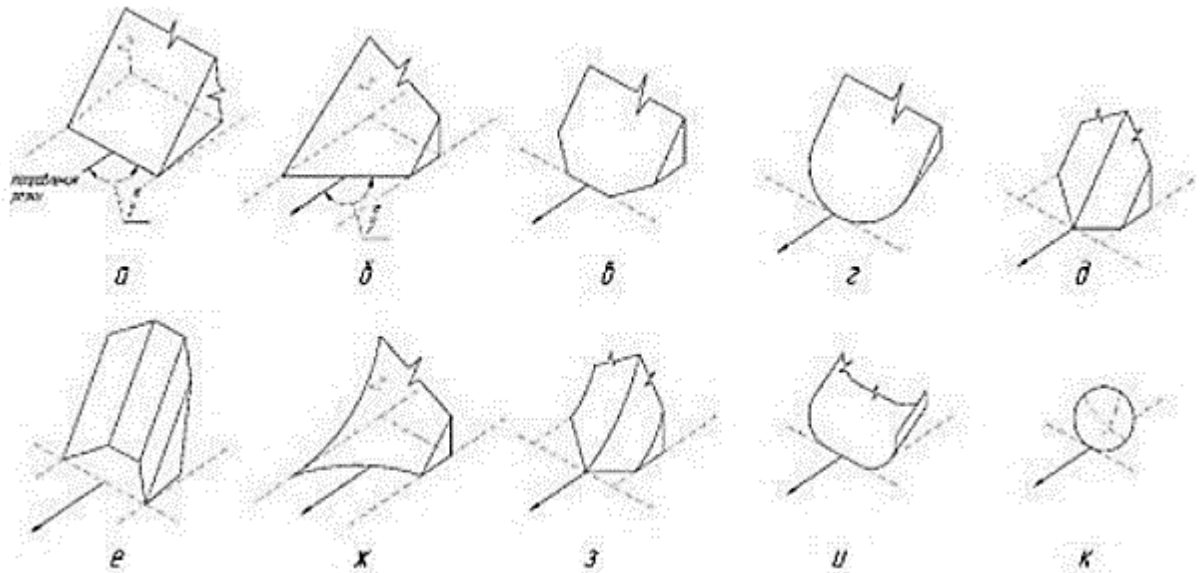


Рисунок 1.1 – Варіанти різання ножа: а – плоский прямокутний; б - плоский косокутний; в – плоский прямокутний клин з ріжучою кромкою, окресленою по ламаною лінії; г – те саме, за опуклою кривою; д, е – ніж двогранний та тригранний; ж, з, к - косо криволінійний і криволінійний прямокутний; г - гладка одностороннього заточування; д – гладка двостороннього заточування.

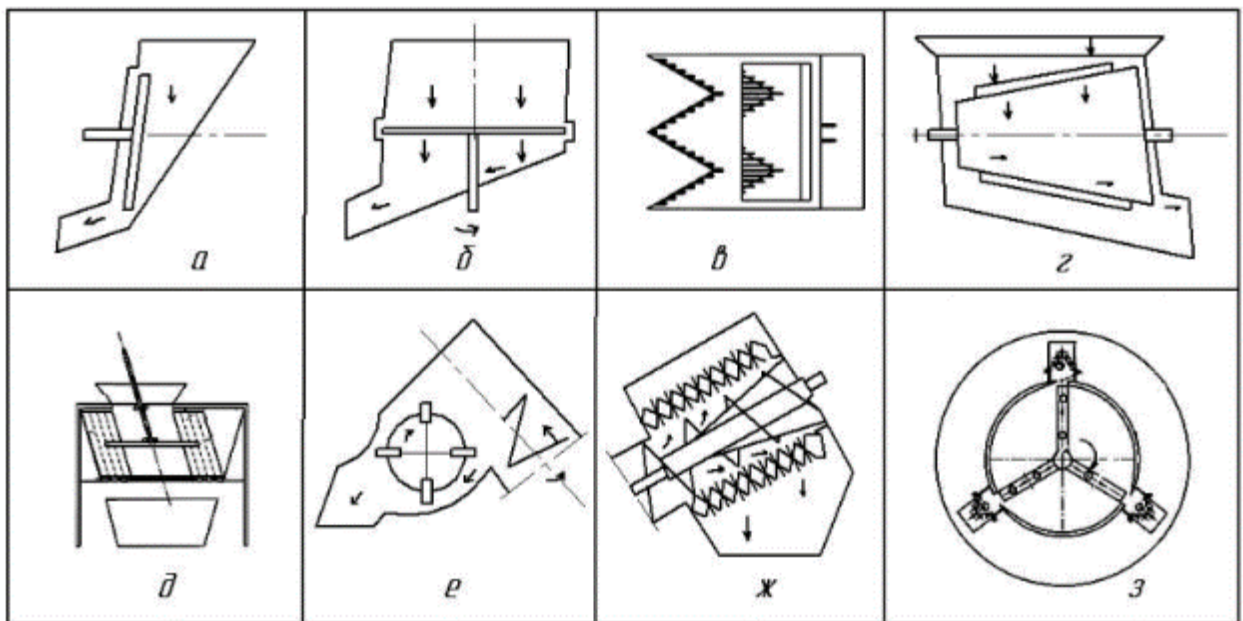
Корнеклубнеплоди можна подрібнювати:

- рубкою, в машинах КП-4, ІКМ-5;
- ударом, штифтами (ІКС-5) та молотками (ІКС-5м, КДУ-2);
- скобленням стружки, в машинах КПСК-ПТЗ чеського виробництва або Ф-120, що випускалася у Німеччині.

Найкраща якість подрібнення при меншій енергоємності забезпечують подрібнювачі, що працюють за принципом рубки та скоблення стружки. Останні, проте, більш вимогливі до стану корнеклубнеплодів, особливо в частині забруднення їх бадиллям і іншими рослинними рештками.

Так як для дотримання цих вимог у господарствах є певні труднощі, то більшого поширення набули подрібнювачі, що працюють за принципом удару, особливо молоткового типу, наприклад, ІКС-5М. У подрібнювачах МРК-5 та ІКС-5 виходить до 20-25% великих частинок, тобто розміром понад 50 мм, а універсальні молоткові дробарки типу КДУ-2 передрібнюють масу, перетворюючи її на мезгу.

На рис 1.2 подано основні типи подрібнювальних апаратів коренеподрібнювачів.



Малюнок 1.2 – Типи подрібнювальних апаратів коренеподрібнювачів: а - вертикально-дисковий; б – горизонтально-дисковий; в - транспортерноножовий; г - барабанно-ножовий; д - роторний; е – молотковий; ж - шнеково-ножовий.

По конструкції ріжучого апарату розрізняють барабанні та дискові машини. Робочим органом їх є ніж із різним кутом ($12 \dots 35^\circ$) в залежності від призначення машини. Для подрібнення грубих кормів застосовують соломорізки, для коренеклубнеплодів - коренерізки, а для зеленої маси - траворізки та силосорізання. Універсальні машини можна використовувати для подрібнення грубих кормів та силосної маси (соломосилосорізання).

Розрізняють механічні, теплові, хімічні та біологічні способи приготування та підготовки кормів до згодовування. До механічних способів відносять подрібнення (різання, дроблення, розмелювання та ін) плющення, змішування; до теплових - запарювання, сушіння, заварювання; до хімічних - обробку соляною кислотою, лугами та іншими хімічними реагентами; до біологічних - силосування, дріжджування, приготування сінажу та ін.

Подрібнення створює умови для здійснення всіх наступних технологічних операцій із приготування кормів. Крім того, в результаті подрібнення значно збільшується загальна поверхня корму та покращується засвоюваність. Усі поживні речовини, що входять до складу кормового раціону, треба давати ВРХ у найбільш засвоюваному вигляді, щоб забезпечити повне поїдання корму та найбільш повне засвоєння його організмом тварин. З цією метою для кормоприготування використовують спеціальні машини та обладнання. Усі подрібнюючі машини класифікуються за двома ознаками: за ступенем подрібнення та за способом подрібнення.

Процес подрібнення різних матеріалів пов'язаний із значною витратою енергії. Розглядаючи конструкцію подрібнювача коренеклубнеплодів (рис. 1.3), обладнаного блоками горизонтальних та вертикальних ножів, доходимо висновку, що енергоємність процесу подрібнення залежить переважно від кута затискання і швидкості різання. При цьому, у разі встановлення ножів зі зміщенням щодо друг друга, тобто з різними кутами защемлення, опір різання коренеклубнеплодів на 10% менше порівняно з розташуванням ножів паралельно один одному, з однаковим кутом защемлення. Такий висновок справедливий тільки для подрібнювачів з блоком ножів, що обертається. Для інших конструкцій подрібнювачів потрібні теоретичні та експериментальні дослідження опору різання коренеклубнеплодів. Крім того, сила опору різання також залежить від модуля пружності подрібнюваного матеріалу та від гостроти інструменту.

Для мінімізації витрат енергії на різання рекомендується кут заточування на кінчику клину в межах 6...12°.

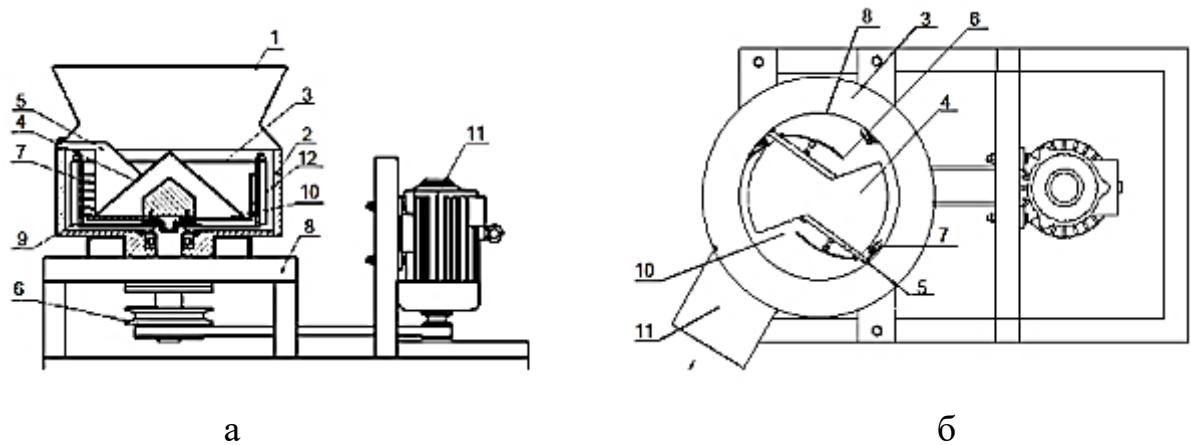


Рисунок 1.3 - Схема подрібнювача коренеклубнеплодів: а – загальний вигляд, б – вид А-А: 1 – вікно завантажувальне; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – конус напрямний; 5 - протиріжуча пластина; 6 – передача клинопасова; 7 – ножі горизонтальні; 8 – рама; 9 – лопатки вивантажувальні; 10 - основа; 11 – електро-двигун; 12 – ножі вертикальні

Слід зазначити деякі основні переваги та недоліки даного подрібнювача. Переваги: малі габарити та простота конструкції. Недоліки: складність регулювання положення горизонтальних і вертикальних ножів залежно від фізико-механічних характеристик подрібнюваних коренеклубнеплодів; низька продуктивність. Розглянемо конструкцію пристрою для подрібнення коренеклубнеплодів з вальцевим підпором (рис. 1.4) та принцип його роботи. Отримано формули для розрахунку продуктивності пристрою та деяких конструктивних параметрів. Очищені коренеклубнеплоди подрібнюються на двох ступенях: попереднє подрібнення здійснюється за допомогою горизонтальних плоских ножів та остаточне – за рахунок продавлювання вальцями між ножів ножових грат. Перевагою даного подрібнювача є можливість отримувати скибочки коренеклубнеплодів із розмірами, заданими зоотехнічними вимогами. Однак при використанні подрібнювача такої конструкції втрачається велика частка соку, що виділяється при стисканні подрібненого продукту. Недоліком є також неможливість оперативної зміни ступеня подрібнення.

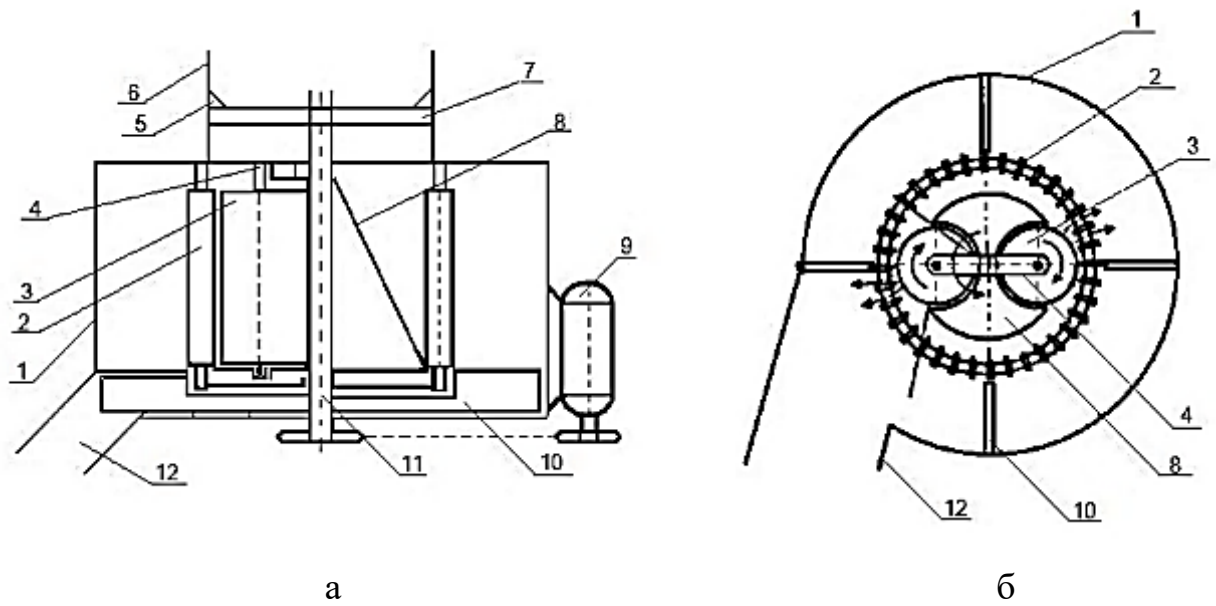


Рисунок 1.4 - Подрібнювач коренеклубнеплодів з вальцевим підпором: а – загальний вигляд, б – вид А-А 1 – корпус; 2 – ножі; 3 – вальці; 4 – водило; 5 – протиріз; 6 – циліндрична камера; 7 – плоскі ножі; 8 – похилий конус; 9 – електродвигун; 10 - крилач; 11 - вал; 12 - вивантажувальна горловина

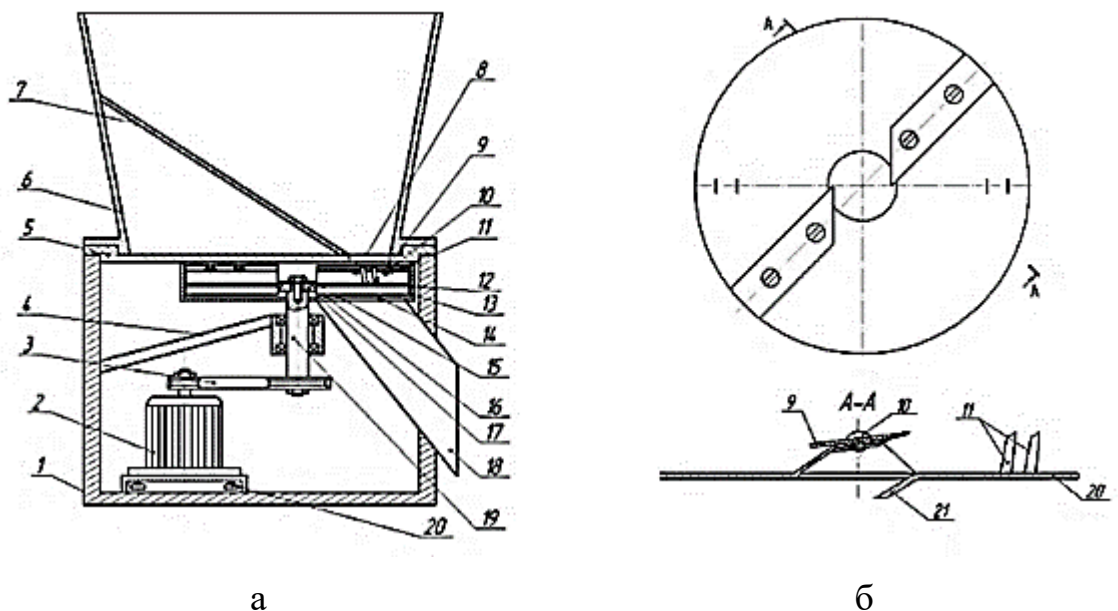


Рисунок 1.5 - Подрібнювач коренеплодів: а – загальний вигляд, б – вид А-А (позначення у тексті)

Подрібнення коренеплодів здійснюється в такий спосіб. Спочатку встановлюють розміри скибочок шляхом зміни відстані між вертикальними ножами 11 і частоти обертання ріжучого диска 12, що приводиться від електродвигуна 2 через приводний вал 19, встановлений опорні підшипники кронштейна 4. При цьому, натяжним пристроєм 20 регулюють натяг приводного ремня 3. Перевіряють якість затяжки гвинта 15, який забезпечує через притиску 16 і посадкову 17 шайби надійне кріплення ріжучого диска 12 на приводному валу 19.

Очищені від залишків ґрунту та вимиті коренеклубнеплоди надходять під власною вагою із завантажувального бункера 6, встановленого на корпусі 1, по похилій перегородці 7 до завантажувального вікна 8, яке розміщено на периферії ріжучого диска 12. Далі вони надходять у камеру подрібнення, яка утворена ріжучим диском 12 і відбійником 13. Кришка 5 перекриває попадання подрібнених коренеплодів у порожнину завантажувального бункера 6, розміщеної під похилою перегородкою 7 [82]. Вертикальні ножі 11 розміщені на диску 12 роблять вертикальні надрізи на коренеплодах, що надходять через завантажувальну горловину 8,21 а слідом йдуть горизонтальні ножі 9, закріплені на диску 12 гвинтом 10 – зрізають стружку. Відрізані скибочки через радіально розташовані на ріжучому диску вікна лопатками 21 переміщуються до вивантажувального вікна 14 і через вивантажувальну горловину 18 виводяться з камери подрібнення.

Перевагою даного подрібнювача є простота конструкції, а основним недоліком – відсутність можливості зміни кутів нахилів ножів в залежності від виду оброблюваного матеріалу (буряк, морква, картопля і т.д.) Розглянемо конструкцію універсального подрібнювача кормів (рисунок 1.6).

Основним недоліком даного подрібнювача є значне передрібнення коренеплодів, що веде до втрат соку. Крім того, наявність в конструкції дробильної камери не дозволяє нарізати плодоовочеву продукцію скибочками.

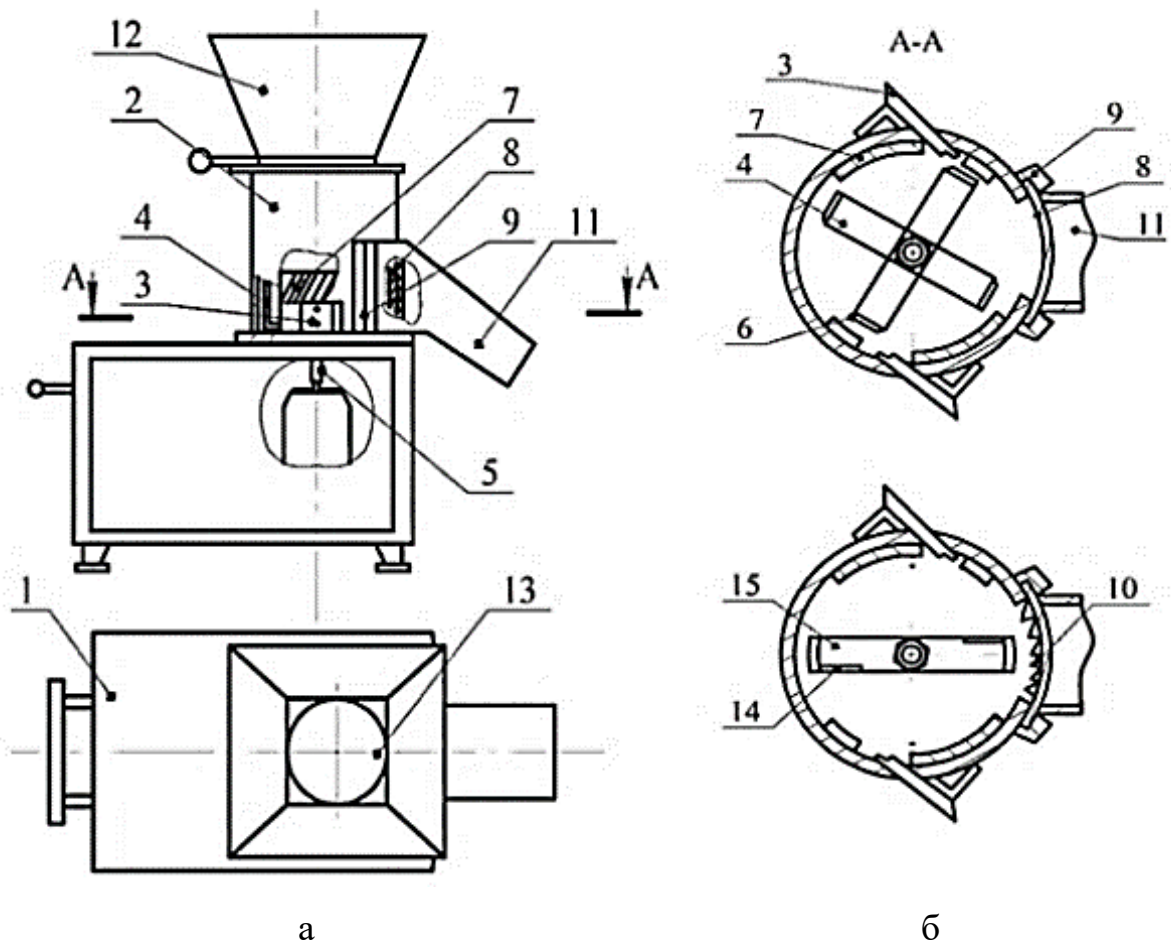


Рисунок 1.6 – Універсальний подрібнювач кормів: а – загальний вигляд, б – вид А-А: 1 - основа; 2 – дробильна камера; 3 – бічні ножі; 4 - хрестоподібний ніж; 5 – вал; 7 – знімні накладки; 8 – змінні решета; 9 - напрямні; 10 - шатківниця; 11 - знімний рукав; 12 - знімний бункер; 13 – шибер; 14 знімний ніж; 15 – додаткові вертикальні ребра

Конструкція наступного подрібнювача (рис. 1.7) містить корпус 1, електродвигун 2, ножі 3, фланець 4, ротор 5, приводний вал 6, шайби стопорні 7 кільця притискні 8 отвори трикутної форми на ножах 9 кромки ріжучі 10, дугоподібний калібратор 11, гребінки 12, прутти 13, щілина калібрувальну 14, перегородки направляючі 15, бункер приймальний 16, бункер розвантажувальний 17, шторки 18.

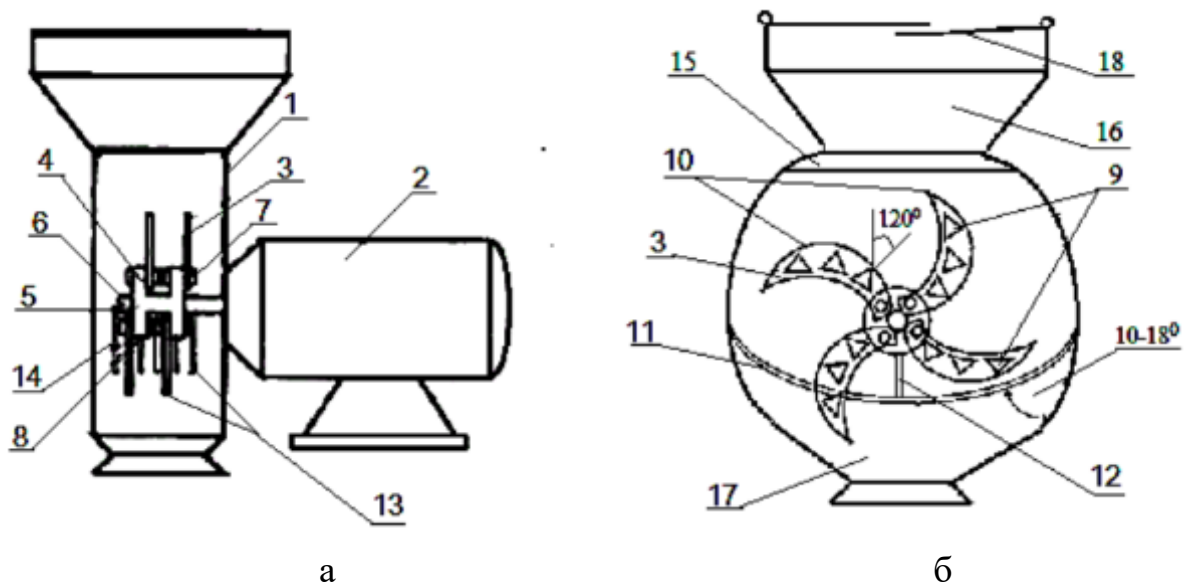


Рисунок 1.7 - Пристрій для подрібнення коренеклубнеплодів: а – загальний вигляд, б – вид А-А (позначення у тексті)

Пристрій для подрібнення коренеклубнеплодів працює наступним чином. Під вагою подаються для подрібнення коренеклубнеплодів або овочевих культур відкриваються шторки 18 приймального бункера 16 і матеріал подається усередину корпусу подрібнювача. Потім коренеклубнеплоди або овочеві культури також під власною вагою опускаються через спрямовуючу перегородку 15 всередину циліндричного корпусу 1 і захоплюються двома (або чотирма) ножами 3, що мають серпоподібну форму. Ножі 3 подрібнюють коренеклубнеплоди. Подрібнений матеріал з циліндричного корпусу вивантажується через калібрувальні щілини 14 дугоподібного калібратора 11 розвантажувальний бункер 17.

Для регулювання ступеня подрібнення передбачено зміну числа ножів. Крім того, пристрій забезпечує реверсивний хід. Перевагами цього пристрою є простота конструкції та універсальність. До недоліків можна віднести низьку продуктивність та низький рівень ремонтпридатності через складність виго-

товлення робочих органів серповидної форми в умовах фермерських (селянських) та особистих господарств. Подрібнення плодоовочевої продукції подрібнювачем, схема якого представлена на малюнку 1.8, засноване на використанні відцентрових сил, за рахунок яких продукція проходить через ножі 11 ножових стінок 10, подрібнюється на скибочки необхідної товщини і через відбивачі 12 і вивантажувальний отвір 16 надходить ємність для збору подрібненого матеріалу 15.

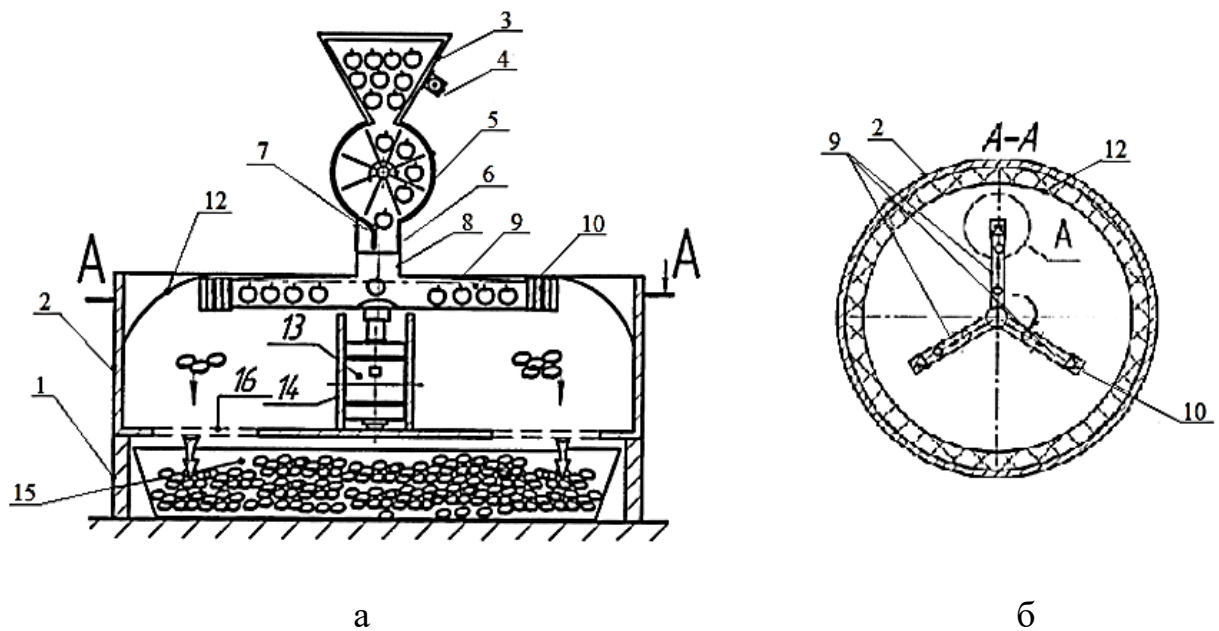


Рисунок 1.8 – Подрібнювач плодоовочевої сировини, загальний вигляд; б - роторний подрібнювач плодоовочевої сировини, розріз А-А 1 – опори; 2 – циліндричний корпус; 3 – завантажувальний бункер; перекидний клапан, 8 – відцентровий ротор, 9 – напрямні труби; 10 – змінні ножові стінки; 11 – ножі; 12 - відбивачі; 13 – електродвигун; 14 – захисний кожух; 15 - ємність; 16 - вивантажувальні отвори

За таким же принципом працює подрібнювач, схема, пристрій та принцип роботи якого представлений у роботі. Обидва подрібнювачі можуть виконувати подрібнення плодоовочевої сировини на скибочки безперервно з мінімальним коригуванням робочих параметрів пристрою та мінімальним руйнуванням структури сировини, що переробляється. До недоліків даних пристроїв

можна віднести низьку технологічну надійність через високу ймовірність забивання напрямних труб великою плодоовочевою продукцією. Використання напрямних труб збільшеного діаметра, що забезпечують пропуск плодоовочевої продукції зі значним розкидом розмірів, призводить до підвищення оберткової маси, а, отже, підвищення потужності двигуна і збільшення витрати електроенергії.

Розроблено схему подрібнювача, який подрібнює плодоовочеву продукцію ножовою стінкою, що переміщається напрямними всередині корпусу назустріч протиріжучому підпору (рисунок 1.9).

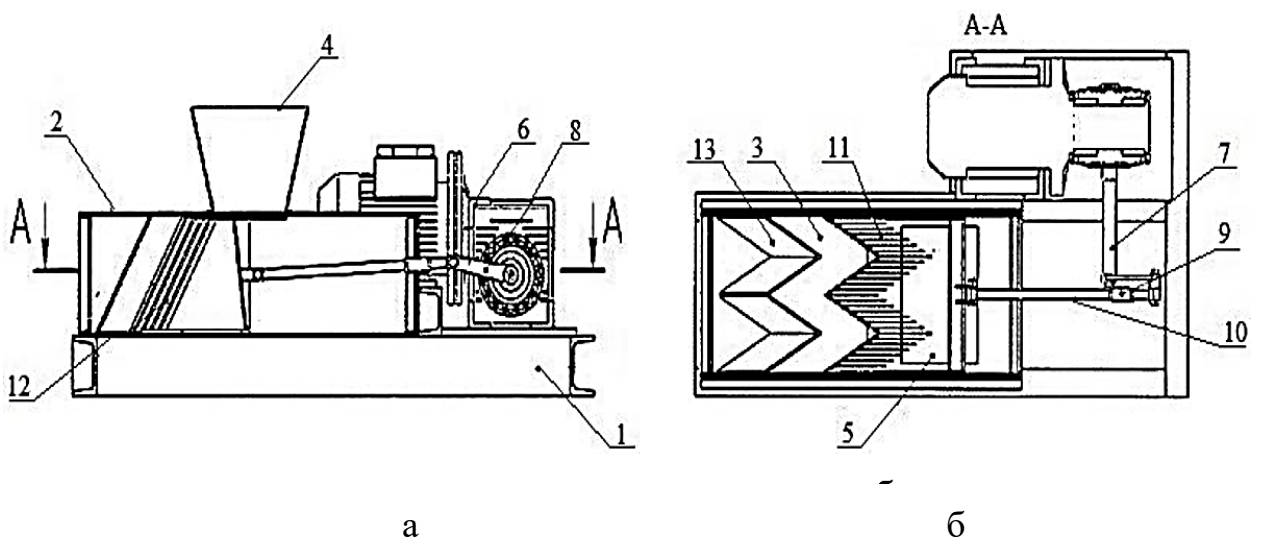


Рисунок 1.9 - Схема подрібнювача плодоовочевої продукції: а – загальний вигляд, б – вид А-А: 1 – станина, 2 – корпус, 3 – камера подрібнення, 4 – завантажувальна горловина, 5 вивантажне вікно, 6 - мотор-редуктор, 7 - приводний вал, 8 - кривошип, 9 - регулювальна гайка, 10 - шатун, 11 - ножі, 12 - ножова стінка 13 - протиріжучий підпір

При високій якості подрібнення продукції, подрібнювач має істотний недолік - є холостий хід ножової стінки, що веде до втрати часу, отже, і до зниження продуктивності. Крім того, висока ймовірність забивання плодоовочевої, що подрібнює. неробочої порожнини корпусу.

Подрібнювач корму ПК-3 універсальний прилад призначений для подрібнення коренеплодів, зерна та трави (рис. 1.10). Технічна характеристика на подрібнювач представлена таблиці 1.1.



Рисунок 1.10 - Подрібнювач корму ПК-3

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики корму ПК-3

Найменування	Одиниці виміру	Характеристики
Продуктивність коренеплодів	кг/год	900
Потужність двигуна	кВт	1,35
Габаритні розміри	мм	720*280*310
Маса	кг	18,6

Подрібнювач коренеплодів П-600 призначений для подрібнення грубих та соковитих кормів у особистих підсобних та невеликих фермерських господарствах при приготуванні кормів домашнім тваринам та птиці (рис. 1.11). Технічна характеристика на подрібнювач представлена у таблиці 1.2.



Рисунок 1.13 - Подрібнювач коренеплодів П-600

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики П-600

Найменування	Одиниці виміру	Характеристики
Продуктивність коренеплодів	кг/год	600
Потужність двигуна	кВт	3
Габаритні розміри	мм	400*950*1300
Маса	кг	28

Подрібнювач Weiwei, призначений для приготування корму великої рогатої худоби, овець подрібнює коренеклубнеплоди, кукурудзу, траву, представлений рис. 1.12. Технічна характеристика на подрібнювач представлена у таблиці 1.3.



Рисунок 1.12 - Подрібнювач Weiwei

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики Weiwei

Найменування	Одиниці виміру	Характеристики
Продуктивність коренеплодів	кг/год	600
Потужність двигуна	кВт	2,2
Габаритні розміри	мм	1220*1150*1040
Маса	кг	80

Подрібнювач кормів ППК-1 призначений для приготування корму великої рогатої худоби, подрібнює коренеклубнеплоди, зернобобові культури, представлений малюнку 1.13. Технічна характеристика на подрібнювач представлена таблиці 1.4.



Рисунок 1.13 – Подрібнювач кормів ППК-1

Таблиця 1.4 -Технічні характеристики ППК -1

Найменування	Одиниці виміру	Характеристики
Продуктивність коренеплодів	кг/год	480
Потужність двигуна	кВт	1,1
Габаритні розміри	мм	420*300*540
Маса	кг	22

При організації повноцінного годівлі великої рогатої худоби необхідно знати, перш за все, його потребу в різних поживних речовинах, а також вітамінах та мінеральних речовинах.

Повноцінною годівлею вважається така, за якої використовується продукція високої якості в необхідному обсязі. Це одна з умов гарантії міцного здоров'я тварин. Забезпечення стійкої кормової бази – одне з найважливіших умов інтенсивного ведення тваринництва.

Інша необхідна та обов'язкова умова – застосування сучасних способів приготування кормів за допомогою високоефективних технічних засобів, до

яких належать подрібнювачі кормового буряка. На ефективність використання подрібнювачів кормового буряка впливають різні приватні показники, кожен із яких залежить від сукупності факторів, які можна розділити на три групи: конструктивні, технологічні та фізико-механічні.

При цьому слід зазначити, що окремо взятий фактор різною мірою впливає на аналізовані приватні показники ефективності. Крім того, вважаємо, що при використанні різних подрібнювачів кормового буряка вплив окремих факторів на певний приватний показник ефективності може надавати вплив різною мірою. Це, безумовно, вимагає експериментального підтвердження. Як зазначено вище, ефективність використання подрібнювача кормового буряка можливо оцінювати за сукупністю одиничних (приватних) показників, визначення значень яких є метою диференційованого методу. Цей метод полягає у зіставленні значень одиничних (приватних) показників ефективності використання іспольвання пристроїв подрібнювача кормового буряка з аналогічними показниками, найкращими, прийнятими для порівняння

Таким чином, дотепер розроблено досить багато конструкцій подрібнювачів коренеклубнеплодів та іншої сільськогосподарської продукції, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Однак їх вибір для використання, в основному, здійснюється за одному або декільком розрізненим показникам без комплексної оцінки ефективності їх використання. Більшість із застосовуваних у сільськогосподарському виробництві подрібнювачів коренеклубнеплодів мають низьку технологічну надійність та високі питомі витрати енергії на подрібнення продукції.

1.3 Огляд досліджень з обраної теми

Для успішного розвитку агропромислового комплексу необхідне створення технологій та засобів механізації сільського господарства, які відповідають сучасним вимогам.

Зменшення кута ковзання призводить до збільшення зусиль різання, оскільки підвищується контакт між інструментом і матеріалом. При кутах ковзання, що перевищують 35° , спостерігається значне збільшення сили тертя між фасками ножа та подрібнюваним матеріалом, що погіршує ефективність процесу різання і може спричинити передчасне зношування інструменту. Швидкість робочих органів є важливим показником, що значно впливає на якість продукції, енергоємність процесу та точність обробки.

Дослідження багатьох авторів показують, що швидкість робочих органів при різанні варіюється в межах від 1,2 до 25 м/с. Зокрема, Н. І. Резнік встановив, що в діапазоні швидкостей від 12 до 30 м/с питомий опір різання зменшується, що сприяє покращенню ефективності процесу. Проте деякі роботи вказують на те, що зі збільшенням швидкості різання питома витрата енергії може зростати через додаткові термічні втрати та зростання опору матеріалу до обробки.

Зі збільшенням швидкості робочих органів також зростає кількість частинок розміром 5-10 мм (менше 5%), що призводить до переподрібнення готового продукту та збільшення втрат, пов'язаних із соковиділенням. Це в свою чергу може негативно впливати на якість кінцевого продукту, збільшуючи кількість дрібних частинок та знижуючи вихід бажаних фракцій. Однак, при оптимізації швидкості і кута ковзання можна досягти більш ефективного використання енергії та покращення якості продукції. Вказана суперечність вимагає додаткових досліджень для визначення оптимальних швидкісних режимів робочих органів. М. М. Лазарєв запропонував узагальнений параметр оптимізації подрібнення коренеклубнеплодів. Продуктивність дискових та барабанних коренерізок визначається виразом:

$$Q = Vnp, \quad (1.1)$$

де Q - продуктивність коренерізки, кг / с;

V - об'єм продукту, що відрізається ножами робітника органу, м³;

n - частота обертання робочого органу, рад/с;

ρ - насипна щільність коренеплодів, кг/м³.

Для дискового коренерізання із суцільним лезом значення об'єму V можна визначити:

$$V = \pi(R^2 - r^2)hzk_0k_1, \quad (1.2)$$

де R , r - радіуси кола, що описується зовнішнім і внутрішнім кінцями леза ножа, м;

h - товщина стружки, що відрізається, м;

z - число ножів, шт;

k_0 - Коефіцієнт використання довжини ножів: для вертикально-дискових коренерізків 0,3-0,4, для горизонтально-дискових – 0,8;

k_1 - коефіцієнт, що враховує порожнечі між частинками корми (0,6-0,7).

Потужність приводу робочого органу коренерізки витрачається на подолання сил опору різання, сил тертя між кормом та робочими органами та сил опору в передатному механізмі. Г. П. Юхіним встановлено, що питома робота різання коренеплодів буряка дисковим подрібнюючим апаратом залежить від кута ковзаючого різання, швидкості різання, температури та описується рівняннями:

$$A_{\text{пит}} = 2574,6 - 815,91\tau - 146,41\theta + 3,43\theta^2, \text{ за } t = +18 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$A_{\text{пит}} = 4707 - 324,11\theta + 6,78\theta^2, \text{ за } t = -8 \text{ }^\circ\text{C}$$

θ має мінімальне значення за швидкості різання 21,1-24,3 м/с при $\tau = 30^\circ$.

У роботах ряду вчених стосовно запропонованих конструкцій визначено раціональні та відносні конструктивні та режимні параметри роботи подрібнювачів, щоб забезпечити зниження питомих витрат енергії. Отримані вирази для визначення продуктивності та потужності застосовні тільки для конкретних, запропонованих у цих роботах конструкцій подрібнювачів. У серійних подрібнювачах коренеклубнеплодів більша частина енергії використовується

неефективно. Наведений аналіз досліджень показав, що енергоємність і якість подрібнення коренеклубнеплодів значною мірою залежить від швидкісних показників робочих органів.

1.4 Висновки по розділу

Однією з найважливіших операцій при підготовці коренеклубнеплодів до згодовування є їх подрібнення; застосовувані апарати для подрібнення коренеклубнеплодів не відповідають сучасним зоотехнічним вимогам через недосконалість технологічного процесу та робочих органів, що мають високі питомі витрати енергії.

Мета роботи. Підвищення ефективності подрібнення кормової буряків за рахунок застосування удосконаленого подрібнювача, використання якого обґрунтоване за комплексним критерієм ефективності.

Завдання дослідження:

1. Виконати аналіз існуючих машин для подрібнення коренеплодів.
2. Розробити конструктивно-технологічну схему подрібнювача коренеплодів, обґрунтувати його параметри.
3. Розробити програму та методику проведення експериментальних досліджень подрібнення коренеплодів.
4. Провести експериментальні дослідження розробленого подрібнювача коренеплодів.
5. Виконати техніко-економічне обґрунтування застосування розробленого подрібнювача коренеплодів.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ

2.1 Взаємодія робочого органу з подрібнюваним матеріалом

Руйнівним елементом подрібнювачів коренеплодів є ніж, ріжуча частина якого виконана у формі клина. Різання коренеплодів являє собою процес переміщення клина в матеріалі під дією певної сили (рис. 2.2).

Згідно теорії різання, розробленою В. П. Горячкіним, загальний опір різанню

$$P = P_{риз} + P_g + P_v, \quad (2.1)$$

Перший член формули $P_{риз}$ характеризує опір різанню леза, другий член P_g - опір деформації шару, що відрізається, а також тертя на гранях ножа, третій член P_v відображає вплив швидкості різання на силу різання.

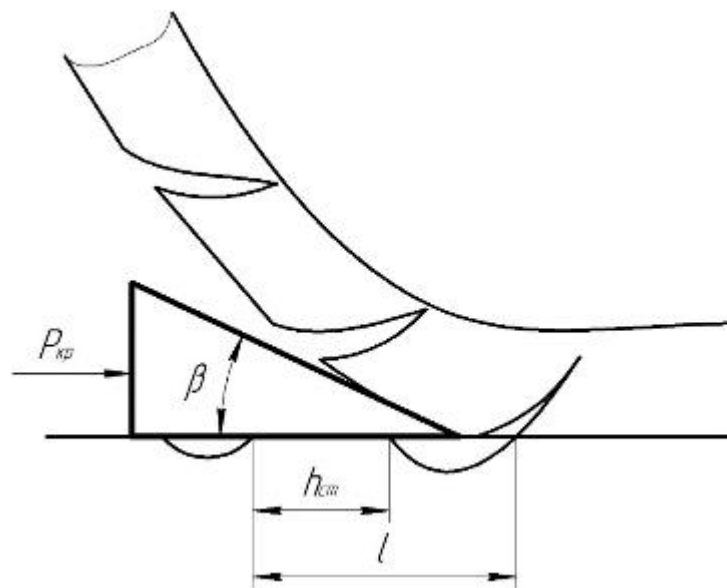


Рисунок 2.1 - Схема утворення стружки при різанні коренеплодів

У розгорнутому вигляді формула академіка В.П. Горячкіна має вигляд:

$$P = P_{\text{різ}} + Kbh + \varepsilon bhv^2, \quad (2.2)$$

де P - загальний опір різанню, Н;

$P_{\text{різ}}$ - постійний опір різанню, Н;

K - коефіцієнт деформації, віднесений до одиниці площі поперечного перерізу шару, що відрізається, Па;

b, h - відповідно ширина і товщина стружки в поперечному перерізі, м;

ε - коефіцієнт швидкісного опору, Па-с²/м²;

v - швидкість різання, м/с.

Теорію різання академік В.П. Горячкін розробляв стосовно для орного плуга. Надалі ця теорія стосовно для різання коренеплодів отримала свій розвиток в роботах Г.І. Новікова. Згідно з його дослідженнями опір різанню лезом $P_{\text{різ}}$ залежить головним чином від фізико-механічних властивостей коренеплодів, товщини леза і товщини стружки. Для розрахунку $P_{\text{різ}}$ їм запропонована формула:

$$P_{\text{різ}} = Bl_l \delta^m e, \quad (2.3)$$

де B - коефіцієнт, що залежить від механічної міцності матеріалу (для кормових буряків - 10,4; моркви - 7,5; картоплі - 6,5);

l_l - довжина леза, що бере участь в роботі, м;

δ - товщина (гострота) леза ножа, м;

m - показник ступеня (для кормових буряків - 0,53; моркви - 0,5; картоплі - 0,55);

e - межа міцності або відношення величини шляху стиснення до довжини елемента стружки.

$$e = \frac{h_{cm}}{l} = \frac{0,5 \cos \varphi_m \cos \left(\frac{\varphi_m - \beta}{2} \right)}{(0,34 + 0,026\beta + 0,5h) \cos^3 \left(\frac{\varphi_m + \beta}{2} \right)}, \quad (2.4)$$

де $\varphi_m = 35 \dots 40$ кут тертя матеріалу про грані клина, град.;

β - кут заточування леза, град.

Опір деформації шару, що відрізається, і тертю про грані ножа

$$P_g = \frac{0,2K_d dh \sin(\beta + \varphi_m) \left(\frac{\varphi_m - \beta}{2} \right)}{(0,34 + 0,026\beta + 0,5h) \cos^3 \left(\frac{\varphi_m + \beta}{2} \right)}, \quad (2.5)$$

де K_d - коефіцієнт деформації стружки, який визначається за напруженням розтягу K_1 і стиснення K_2 , тобто

$$K_d = 0,5 \sqrt{K_1 K_2}. \quad (2.6)$$

Середнє значення K_1 для кормового та цукрового буряка, моркви, картоплі відповідно дорівнює 0,8; 1,55; 0,95; 0,65 МПа, а середнє значення K_2 відповідно 1,3; 2,35; 1,12 і 0,95 МПа.

Сила, необхідна для відділення стружки і надання їй кінетичної енергії

$$P_v = 0,025bhv^2, \quad (2.7)$$

У розгорнутому вигляді емпірична формула для визначення загального опору різанню коренеплодів Р. В. Новікова має вигляд:

$$P = Bl_n \delta^n e + K_0 bh + 0,025bhv^2, \quad (2.8)$$

Аналізуючи третю складову формули Р. І Новікова, можна сказати, що при збільшенні швидкості різання її вплив на зусилля різання істотно зростає, оскільки їх співвідношення має квадратичну залежність.

Згідно теорії різання лезом, розробленої Н.Е. Резніком, процес різання протікає наступним чином. Ніж, увійшовши в матеріал, стискає стружку на шляху $h_{ст}$ до виникнення на кромці ножа руйнівного контактної напруги σ_p . Потім, коли зусилля досягне деякої критичної величини $P_{кр}$, відбувається сколювання елемента стружки довжиною l , яка більше шляхи стиснення $h_{ст}$, потім процес повторюється.

Момент виникнення руйнівного контактної напруження σ_p визначається значенням зусилля $P_{різ}$, що прикладається до ножа і долає ряд опорів різного походження. Проникненню леза ножа в матеріал перешкоджають ряд сил: сила опору руйнування матеріалу під кромкою леза $P_{сп}$, сили обтискання матеріалом бічних граней леза P_o і сила опору матеріалу стиску фаскою леза $P_{ст}$ (рис. 2.2).

Силу, що діє з боку ножа на матеріал і здатну порушити процес різання, називають критичною силою різання $P_{різ}$. Критична сила різання

$$P_{різ} = P_{сп} + P_o + T_1 + T_2, \quad (2.9)$$

На фасці леза від нормальної сили N , що діє, з боку матеріалу, виникає сила тертя T_1 , яка відхилена від вертикалі на кут β нахилу фаски.

Вертикальна проекція цієї сили

$$T_1 = Nf \cos \beta, \quad (2.10)$$

де f - коефіцієнт тертя матеріалу по лезу.

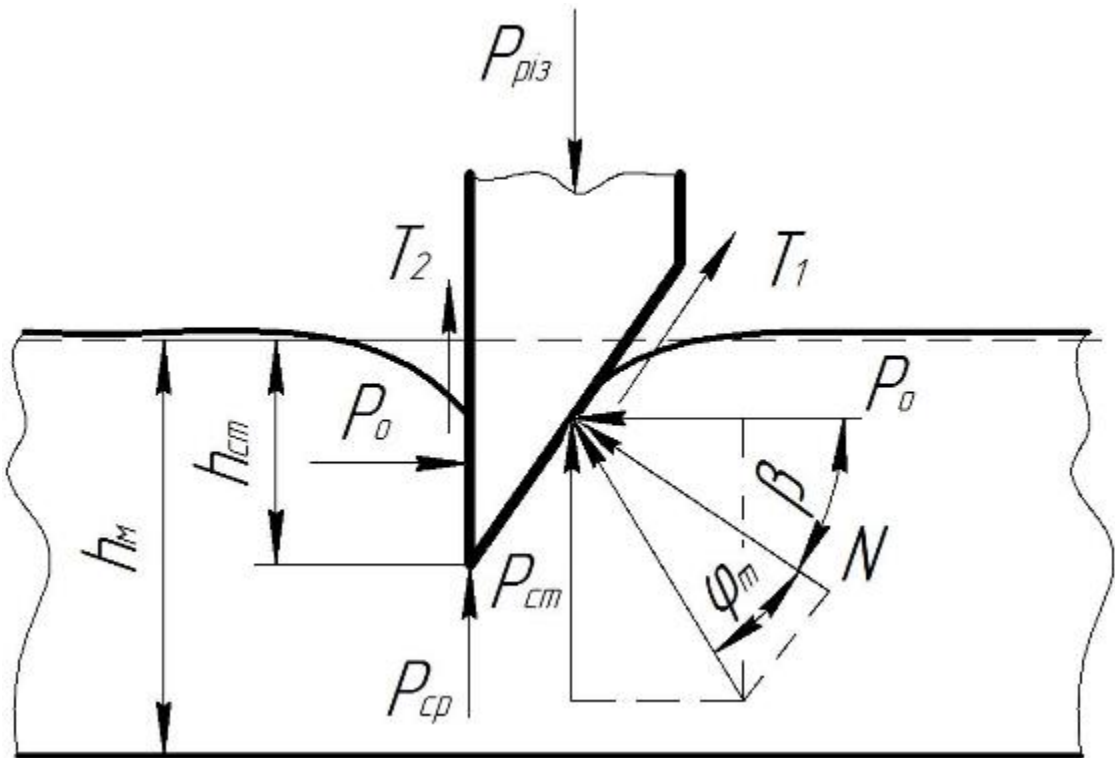


Рисунок 2.2 – Силова взаємодія леза з матеріалом

$$N = P_{cm} \sin \beta + P_o \cos \beta, \quad (2.11)$$

На іншій грані леза від сили $P_{абж}$ виникає сила тертя

$$T_2 = P_o f, \quad (2.12)$$

Зусилля опору різання професор Н.Є. Резнік рекомендує визначати за формулою:

$$P_{cp} = \delta \Delta S \sigma_p, \quad (2.13)$$

де ΔS - довжина активної частини леза, м;

σ_p – руйнівне контактне напруження, що виникає в шарі, Па.

Опір стиску матеріалу

$$P_{cm} = \frac{E h_{cm}^2}{2 h_m} \Delta S \operatorname{tg} \beta, \quad (2.14)$$

де E - модуль пружності матеріалу, що ріжеться, Па;

h_{cm} - товщина стиснутого матеріалу, м;

h_m - товщина матеріалу, м.

Сила, що обтискає фаску

$$P_o = \mu \frac{E h_{cm}^2}{2 h_m} \Delta S, \quad (2.15)$$

де μ - коефіцієнт Пуассона, $\mu = 0,08 \dots 0,3$.

Підставляючи значення всіх сил, які протидіють $P_{різ}$, і перетворюючи, отримаємо

$$P_{різ} = \delta \Delta S \sigma_p + \frac{E h_{cm}^2}{2 h_m} \Delta S \left(\operatorname{tg} \beta + f \sin^2 \beta + \mu (f + \cos^2 \beta) \right). \quad (2.16)$$

Отже, на зусилля різання коренеплодів, крім геометричних параметрів леза ножа, важливий вплив завдають фізико-механічні властивості коренеплодів.

2.2 Швидкість різання

Швидкість різання є найважливішим параметром процесу різання, з цим параметром тісно пов'язана продуктивність машин. Тому зв'язок енергоємності процесу зі швидкістю різання є визначальною для його техніко-економічної оцінки.

Майже у всіх галузях промисловості, де різання використовують як процес обробки матеріалу, його швидкість була предметом багатосторонніх експериментальних і теоретичних досліджень. Вивчаючи вплив швидкості різання на процес різання деревини, багато дослідників прийшли до висновку, що представляє інтерес для різання рослинних матеріалів. Збільшення випереджаючої тріщини зі збільшенням швидкості різання вказує на локалізацію напружень і зменшення роботи на деформацію. Поліпшення якості обробки при підвищенні швидкості різання пояснюється, мабуть, збільшенням інерції волокон, які створюють так званий швидкісний підпір. При збільшенні швидкості ножа зусилля різання зменшується Р. В. Новіков в своїх дослідженнях встановив залежність, що характеризує вплив швидкості різання на опір, рівний зусиллю на відділення стружки і повідомлення їй кінетичної енергії.

$$v_{piz} = \sqrt{\frac{P_v}{0,025hb}}. \quad (2.17)$$

За результатами експериментів Н.Е. Резнік розробив емпіричну формулу, що дозволяє встановити залежність швидкості подрібнення від зусилля різання

$$v_{piz} = 2,26 \sqrt{\frac{P_{piz} - 40}{75 \cdot 10^{-0,00129} q}}, \quad (2.18)$$

де q - питомий тиск ножа, Н/м.

Незважаючи на значний вплив швидкості різання на енергетичні показники процесу подрібнення, при конструюванні подрібнювачів коренеплодів можна задаватися лише швидкістю різання, необхідно брати до уваги конструктивні особливості подрібнювача в кожному окремому випадку, а також такі показники, як пропускна здатність, якість готового корму.

2.3 Геометрія ножів

До геометричних параметрів ріжучої пари відносяться всі розмірні та кутові показники, що характеризують їх форму і величину як геометричних тіл, а також їх взаємне розташування, як у статиці, так і в динаміці. Значимість геометричних параметрів ріжучої пари для процесу різання настільки велика, що їх дослідження стає одним з найважливіших об'єктів у теорії різання. Внаслідок великого впливу кута заточування леза на енергоємність різання, дослідження багатьох авторів були спрямовані на виявлення залежності між цими параметрами. Досліди, проведені Ст. А. Зябловим по виявленню впливу кута заточування леза β на зусилля різання $P_{\text{різ}}$, вказують на зростання зусилля різання $P_{\text{різ}}$ із збільшенням кута заточування:

$$P_{\text{різ}} = P_1 + N \sin \beta (tg \beta + 2tg \varphi), \quad (2.19)$$

Академік В. Ф. Василенко у дослідженнях по визначенню впливу кута заточування на безпідпирне різання стеблостою пшениці (різання з інерційним підпором), також виявив тенденцію зниження зусилля різання $P_{\text{різ}}$ з зменшенням кута заточування β .

Дослідження, проведені Н.Е. Резніком на універсальному копрі-динамографі при різанні листостеблової маси кукурудзи, дозволили встановити емпіричну залежність значення кута заточування леза β від питомої роботи різання $A_{\text{пит}}$:

$$\beta = 62 - \frac{875}{1000A_{\text{уд}} - 38}. \quad (2.20)$$

Аналізуючи критичне зусилля різання як функцію лише однією змінною кута заточування леза β , Н.Е. Резнік отримав залежність

$$\text{tg } \beta = \frac{P_{\text{кр}} - P_{\text{різ}}}{c}, \quad (2.21)$$

де c - розмірний коефіцієнт.

Найбільш доцільно зробити кут заточування леза β найменшим, однак, його зменшення лімітується експлуатаційною надійністю леза ножа. Тому, при проектуванні ножових подрібнювачів необхідно розраховувати ножі на міцність.

Розкладемо силу різання $P_{\text{різ}}$ на складові: нормальну $P_{\text{н}}$, направлену по бісектрисі кута, і перпендикулярну до неї $P_{\text{к}}$:

$$P_{\text{к}} = P_{\text{різ}} \sin\left(\theta + \frac{\beta}{2}\right), \quad (2.22)$$

Під дією сили $P_{\text{к}}$ лезо згинається. Згинальний момент в деякому перерізі $x-x$ на відстані y від вершини ножа

$$M_3 = P_k y, \quad (2.23)$$

Напруження вигину в цьому перерізі

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W_c} = \frac{P_k y}{l_l \delta_x^2 / 6} = \frac{6P_k y}{l_l \delta_x^2}, \quad (2.24)$$

де W_c - момент опору леза, Н-м;

δ_x - товщина леза в перерізі х-х, м;

l_l - довжина леза, м.

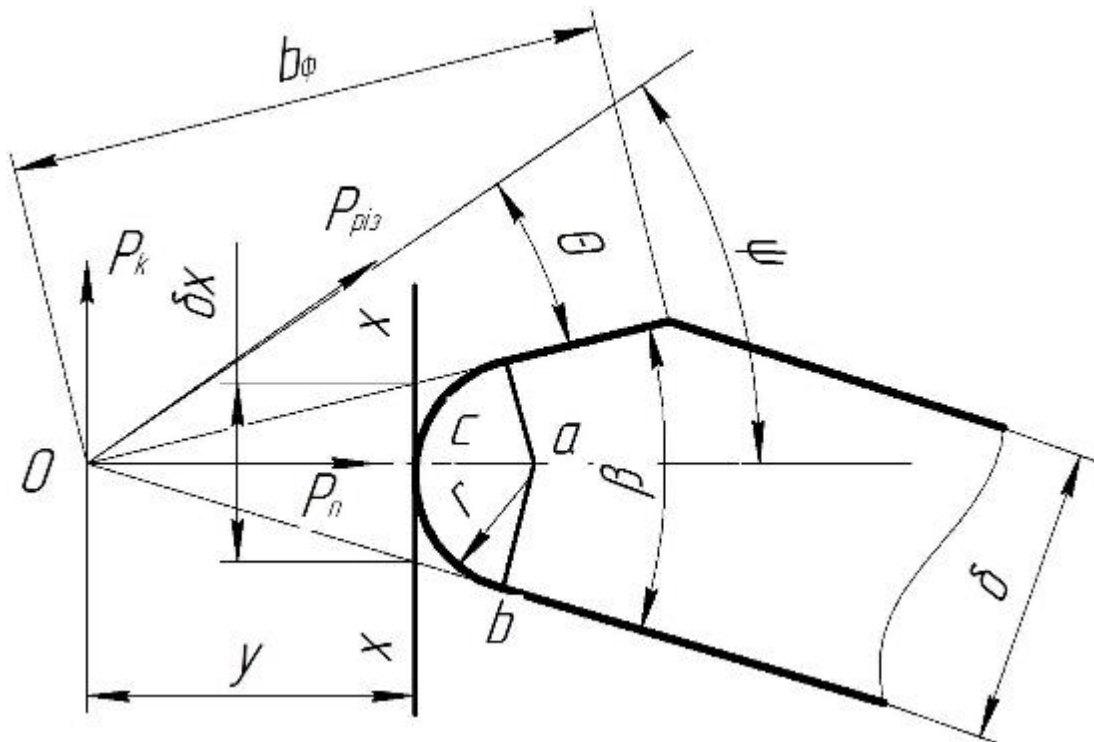


Рисунок 2.3 - До визначення гостроти леза

Тоді

$$\sigma_3 = \frac{6P_k y}{l_l (2y \operatorname{tg}(\beta/2))^2} = \frac{6P_k y}{l_l 2y \operatorname{tg}^2(\beta/2)}, \quad (2.25)$$

Звідси відстань, що визначає місце зламу кінчика леза,

$$y = \frac{3}{2} \frac{P_k}{l_l [\sigma_3] y \operatorname{tg}^2(\beta/2)}, \quad (2.26)$$

де $[\sigma_3]$ - допустиме напруження на вигин матеріалу ножа, Па.

З трикутника Oab

$$\sin(\beta/2) = \frac{r_3}{r_3 + y}. \quad (2.27)$$

Враховуючи, що гострота леза $p = 2r_3$

$$r_3 = \frac{p}{2} = y \frac{\sin(\beta/2)}{1 - \sin(\beta/2)}. \quad (2.28)$$

Тоді

$$p = \frac{3P_k \left(1 + \frac{1}{\sin(\beta/2)} \right)}{[\sigma_3]}. \quad (2.29)$$

Підставивши в рівняння (2.29) значення P_k з формули (2.22), одержимо оптимальне значення гостроти леза при даному куті заточення, що забезпечує максимальну стійкість до зламу,

$$p = \frac{3P_{pi3} \sin(\alpha + (\beta/2))}{l_3 [\sigma_3]} \left(1 + \frac{1}{\sin(\beta/2)} \right). \quad (2.30)$$

Кут заточування ножа β пов'язаний з товщиною ножа δ і розміром, знімається при заточуванні фаски, залежністю:

$$\sin \beta = \frac{\delta}{b_{\phi}}, \quad (2.31)$$

де δ - товщина ножа, м;

b_{ϕ} - ширина фаски, м.

Останній вираз встановлює залежність кута заточування леза ножа від товщини ножа і ширини фаски. При аналізі і розрахунку схем подрібнюючих апаратів велику увагу приділяють оптимізації кута ковзання τ . З цього питання існують різні точки зору. Найменша питома робота різання має місце при рубачоючій дії ножа, тобто при $\tau=0$. Між тим, експериментальні дослідження по різанню товстого шару рослинного матеріалу показали, що при різанні стебел кукурудзи і лободи зі швидкістю 18,6 м/с питома робота різання із збільшенням кута ковзання τ до 25° зменшується, а при подальшому збільшенні цього кута - зростає. Це пояснюється тим, що при різанні лезом зусилля затрачається не тільки на руйнування матеріалу його вершиною, але і на подолання сил тертя між фасками леза і матеріалом.

Питома робота різання для різних матеріалів має найменше значення при $\tau = 30...50^\circ$, після чого відбувається поступове її збільшення. Експериментальні дослідження різання коренеплодів на маятниковому копрі показують, що із збільшенням кута τ до $30...35^\circ$ питома робота різання знижується. Це пов'язано, головним чином, з кінематичною трансформацією кута заточування леза. Величину кута заточування визначають, виходячи із звичайного уявлення про геометрії леза в статичному стані. Неважко переконатися, що в процесі похилого різання та різання з ковзанням кут заточування в напрямку рі-

зання (переміщення робочого леза) змінює своє значення - зменшується в залежності від кута нахилу леза або кута ковзання τ . Іншими словами, переходячи від уявлення про статичну геометрію леза до подання про його кінематичну геометрію, ми зустрічаємося з явищем трансформації кута заточування.

На рис. 2.4 представлено лезо з кутом заточення dOc , рівним β . При проникненні леза в матеріал під деяким кутом τ до нормалі, тобто в напрямку v_p , кут заточування трансформується в кут $aOb = \beta_1$.

Явище, що зменшує кут заточування при похилому різанні, Н.Е. Резнік назвав кінематичною трансформацією кута заточування.

Трансформований кут заточування

$$\beta_1 = \operatorname{arctg}(tg \beta \cos \tau), \quad (2.32)$$

де β - кут заточування ножа, град.;

τ - кут ковзання, град.

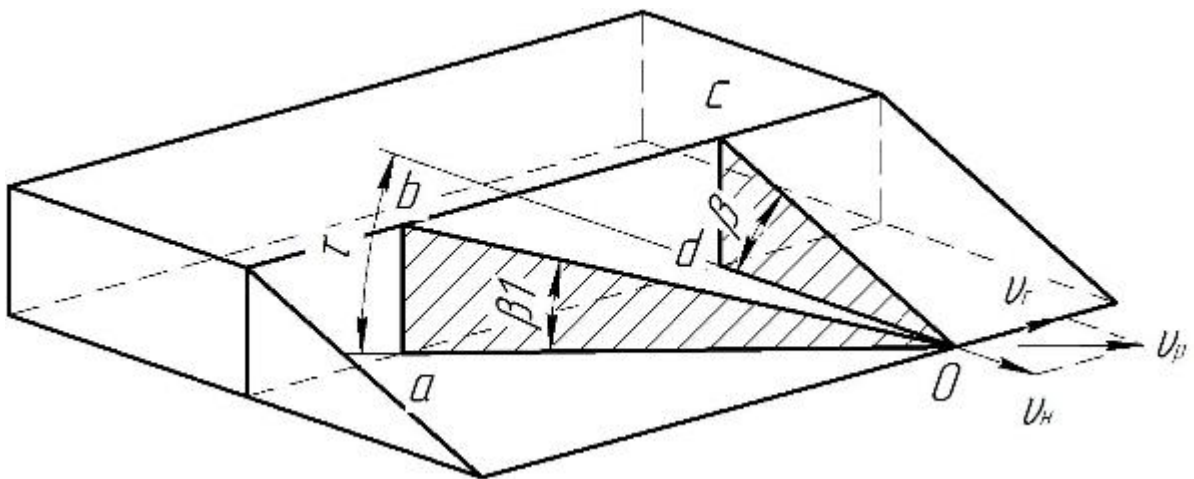


Рисунок 2.4 - Схема трансформації кута заточення: v_p - швидкість різання; v_n - нормальна складова швидкості різання; v_t - тангенціальна складова швидкості різання

З рис. 2.5 видно, що внаслідок трансформації леза вихідна величина кута його заточування в процесі різання може змінитися в кілька разів. Характерно, що закономірність трансформації кута заточування в залежності від кута τ для лез з різним початковим кутом заточування β різна.

Коефіцієнт трансформації визначають з виразу:

$$K_T = \frac{\beta - \beta_1}{\beta} = \frac{\beta - \arctg(\operatorname{tg} \beta \cos \tau)}{\beta}, \quad (2.33)$$

Із зменшенням кута ковзання τ коефіцієнт трансформації K_T знижується і пропорційно до цього коефіцієнту зменшується кут заточування леза β що, в кінцевому підсумку, впливає на зниження загального зусилля різання.

Коефіцієнт трансформації K_T характеризує ступінь зменшення кута заточування з урахуванням кута ковзання τ . Для визначення кута заточування леза вводять наступну поправку на величину кута ковзання

$$K_1 = 1 - \frac{\beta - \arctg(\operatorname{tg} \beta \cos \tau)}{\beta}. \quad (2.34)$$

Згідно з експериментальними даними при збільшенні кута ковзання τ , починаючи з 35° , спостерігається збільшення питомої роботи різання. При різанні матеріалу лезом сила тертя, що виникає між фасками і матеріалом, пропорційна площі контакту фасок з матеріалом. Із збільшенням кута ковзання τ площа контакту F збільшується обернено пропорційно $\cos \tau$. Якщо площа контакту F_0 при $\tau_0 = 0$ прийняти за початкову, то

$$F = \frac{F_0}{\cos \tau}. \quad (2.34)$$

Отже, сила, необхідна для подолання тертя лезом при різанні, із збільшенням кута τ буде зростати. Зазначене явище говорить про те, що збільшення кута ковзання лімітується не тільки кутом защемлення, а й шкідливим тертям, що виникають між фасками леза і матеріалом.

2.4 Висновки по розділу

1. Обґрунтовано залежності, що встановлюють кількісну і якісну взаємозв'язок між режимними параметрами процесу подрібнення коренеплодів і конструктивними параметрами запропонованого подрібнювача з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється.

2. Використання в запропонованому подрібнювачі ножів, встановлених під кутом нахилу α до його твірної, трансформує кут заточування леза ножа, що веде до зниження зусилля різання коренеплодів.

3. На опір коренеплодів різанню при заданій пропускній здатності і якості подрібненого корму значний вплив мають геометричні параметри руйнуючих елементів, а також швидкість різання і фізико-механічні властивості коренеплодів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Для оптимізації конструктивно-режимних параметрів подрібнювача коренеплодів і для підтвердження теоретичних передумов і висновків в дослідженнях прийнята наступна програма:

- розробка і виготовлення лабораторного комплексу для проведення дослідження;
- визначення та уточнення механічних і фізичних властивостей буряка, таких як питома робота різання в залежності від кута нахилу ріжучої кромки ножа до напрямку діючої сили і швидкості різання, щільність, вологість, розмірно-масові характеристики;
- визначення кількості дослідів і вибір технічних засобів вимірювання;
- дослідження залежності питомих витрат енергії від швидкості різання коренеплодів та кута установки ножа;
- оцінка фракційного складу подрібненого корму і визначення впливу швидкості різання, кута установки і типу ножів на якість подрібнення коренеплодів;
- проведення дослідів відповідно до методики визначення питомої енергоємності подрібнення.

Метою лабораторних досліджень є визначення оптимальних конструктивно-режимних параметрів подрібнювача коренеплодів: швидкості різання коренеплодів, кута установки та типу ножів та ін. Це дозволить подрібнювати коренеплоди з мінімальними витратами енергії при якості подрібнення, встановленому зоотехнічними вимогами.

3.2 Обладнання для експериментальних досліджень

Дослідження процесу різання проводили за допомогою експериментальної установки (рис. 3.1)

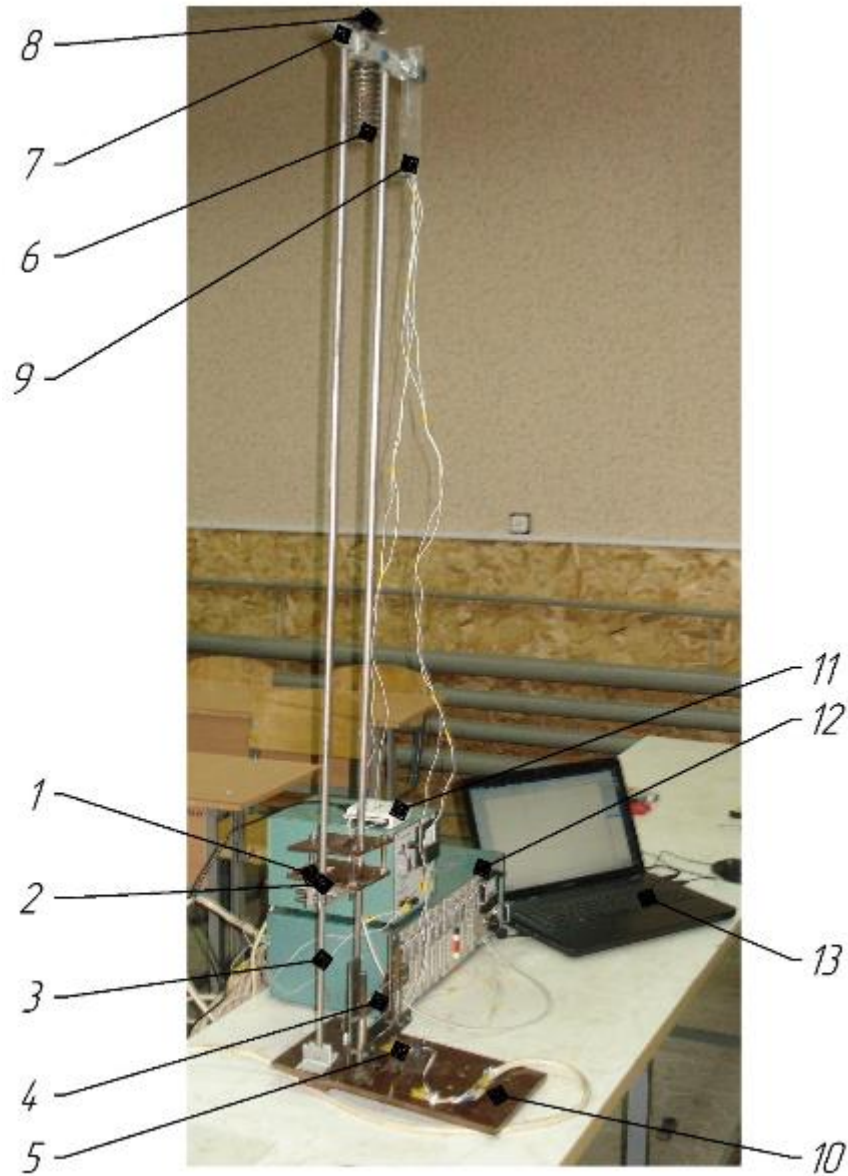


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд установки

3.3 Результати експериментальних досліджень

Результати досліджень на копрі за визначенням питомої сили різання моркви в залежності від кута ковзання в інтервалі швидкостей 1...9 м/с.



Рисунок 3.2 – Робота на копрі

За результатами досліджень було отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на зусилля різання коренеплодів. Отримана математична модель мала вигляд:

$$Y = 3,144 - 0,65X_1 + 0,1X_2 + 0,487X_1X_2 - 0,162X_1^2 + 0,006X_2^2. \quad (3.8)$$

За отриманими даними побудовані залежності питомої роботи різання від кута ковзання τ при швидкостях різання 1...9 м/с (рис. 3.3). Наведені на рис. 3.6 залежності питомої сили різання P від кута ковзання τ показують, що на всіх швидкостях різання максимальне зниження питомої роботи різання спостерігається при кутах ковзання 25...30 ° (приблизно на 30...35%).

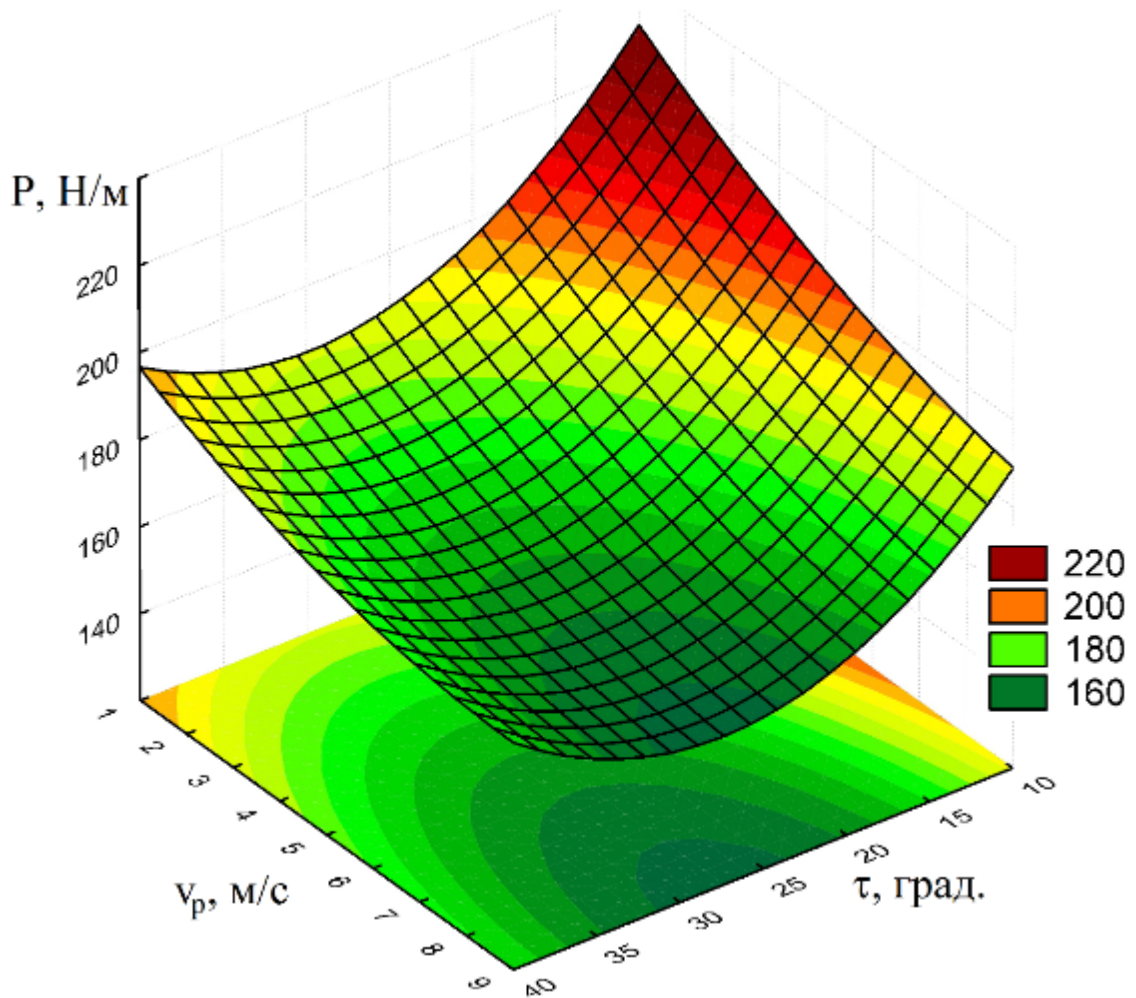


Рисунок 3.3 - Залежність питомої сили різання P від кута ковзання та швидкості різання

Максимальне значення питомого зусилля різання спостерігається при мінімальних значеннях керованих факторів – швидкості різання та кута ковзання. Характер зменшення значення досліджуваного показника зі збільшенням швидкості різання близький до лінійного і набуває мінімального значення 142 Н/м при максимальному значенні швидкості 9 м/с.

Що стосується кута ковзання, то його значення впливає на силу різання не лінійно, і набуває мінімуму при значеннях $\tau=25\dots30^\circ$. Подальше зростання кута ковзання призводить до збільшення сили різання, що пояснюється шкідливим тертям, що виникає між фасками леза і матеріалом.

3.4 Дослідження процесу подрібнення коренеплодів на експериментальному подрібнювачі

На наступному етапі було проведено дослідження енергетичних та якісних показників роботи подрібнювача, оснащеного експериментальним ріжучим апаратом.

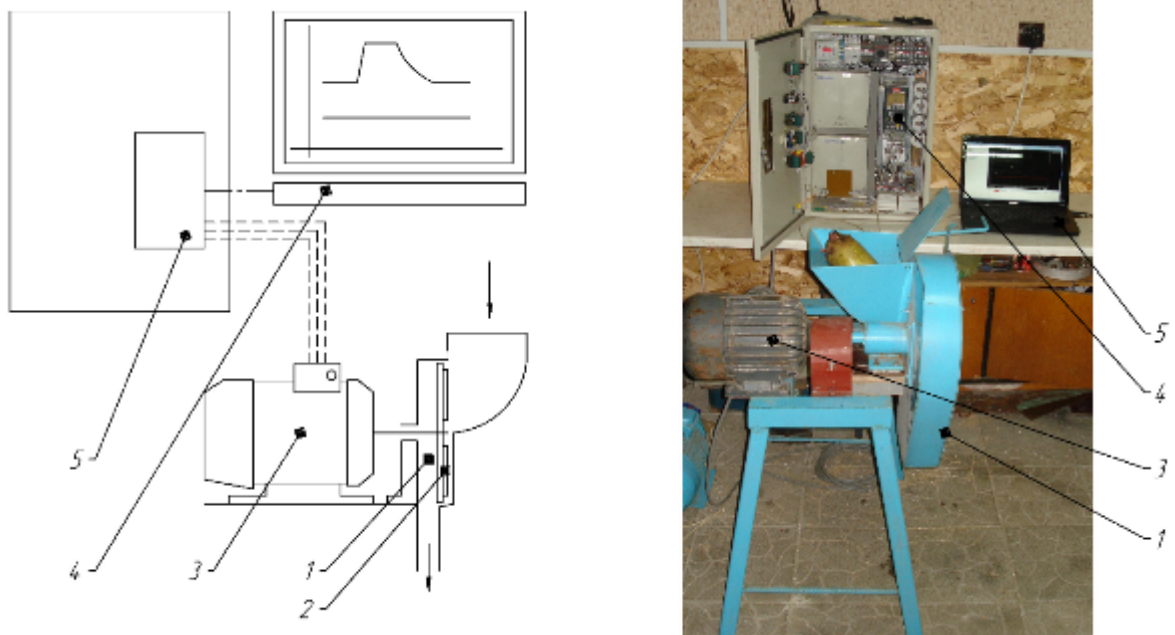


Рисунок 3.4 – Схема (а) та загальний вигляд (б) дослідного стенду для експериментальних випробувань подрібнювача: 1 - подрібнювач коренеплодів; 2 – експериментальний ніж; 3 - електродвигун; 4 – ПК; 5 - частотний перетворювач

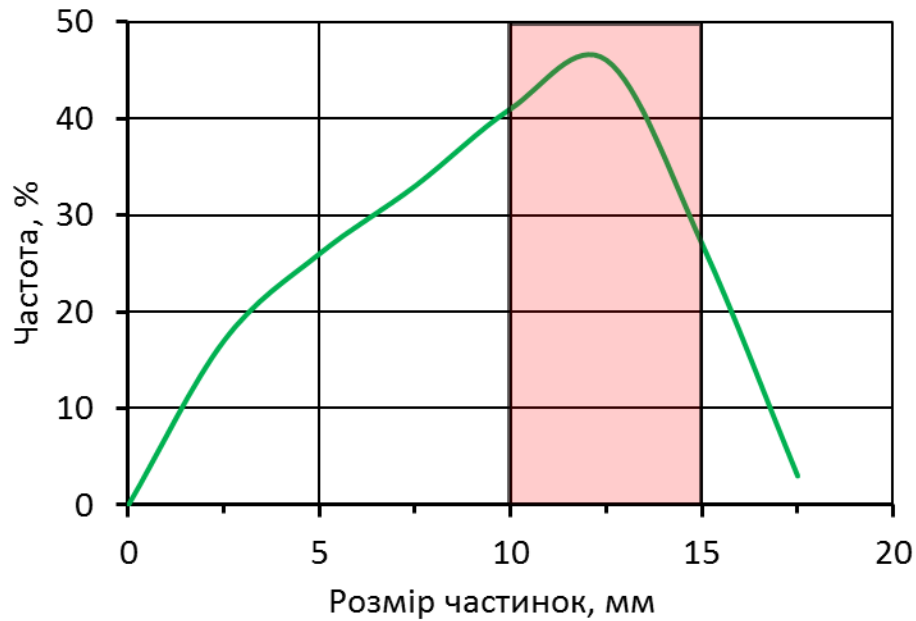


Рисунок 3.5 - Розподіл подрібнених частинок за фракціями і межами зоотехнічних вимог

Фракційний склад часток подрібненої маси визначали методом ситового аналізу без виміру довжини, так як цей параметр вкладався в межі зоотехнічних вимог при кожному з досліджених режимах роботи подрібнювача. Після проведення експерименту був побудований графік розподілу подрібнених частинок за фракціями (рис. 3.7). Як видно з графіку ширина і товщина найбільшої кількості подрібнених частинок (46 %) знаходиться в інтервалі від 10...15 мм, а середній арифметичний розмір подрібнених частинок становить 9 мм. Коефіцієнт однорідності K_0 подрібненого корму становив 0,46. Враховуючи якість подрібнення матеріалу, можна зазначити, геометричні параметри ножів а також їх кут нахилу обґрунтовані правильно, так як використання ножів з обраними параметрами забезпечує необхідну якість подрібненого продукту.

Графічне зображення поверхні відгуку від взаємодії швидкості різання і кута ковзання при подрібненні представлено на рис. 3.6.

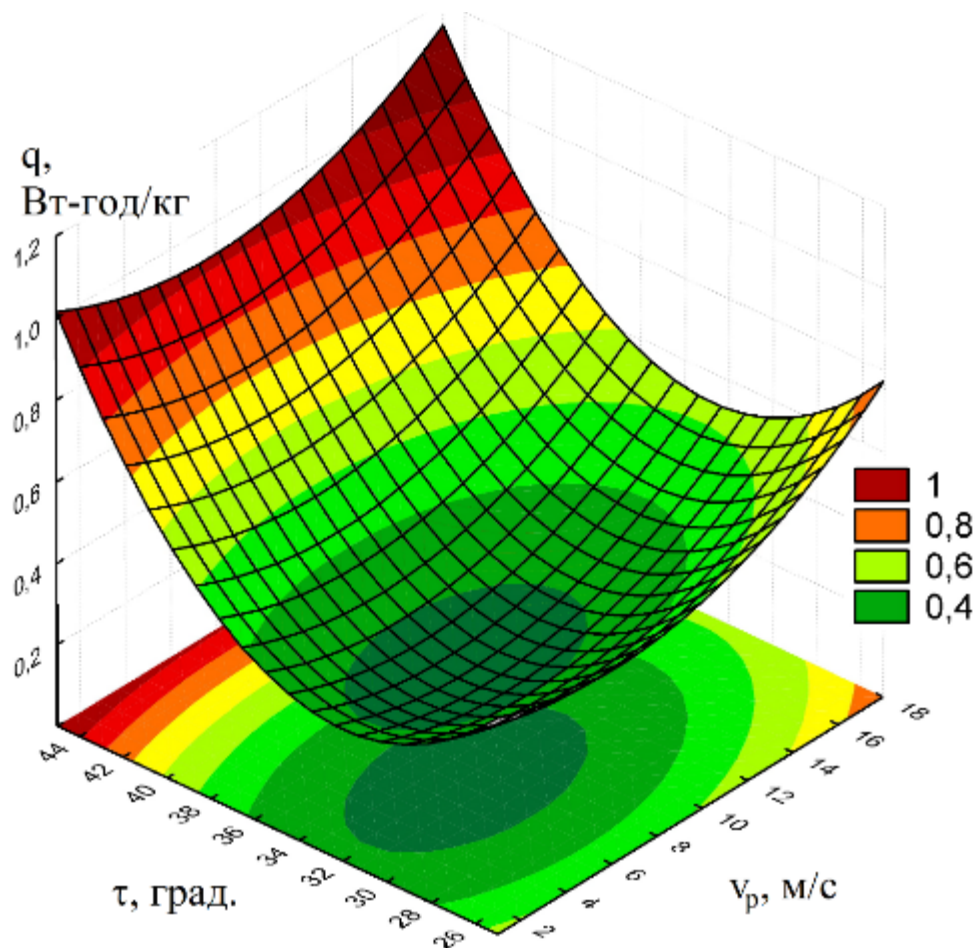


Рисунок 3.6 - Залежність питомої енергоємності подрібнення коренеплодів від кута ковзання та швидкості різання

Рис. 3.18 показує, що поверхня відгуку питомої енергоємності від взаємодії швидкості різання і кута защемлення коренеплодів має мінімум 0,42 Вт-год/кг в області експерименту при $v_p = 6...9$ м / с і кути ковзання $28...33$ °.

3.5 Висновки по розділу

1. Максимальне значення питомого зусилля різання спостерігається при мінімальних значеннях керованих факторів – швидкості різання та кута ков-

зання. Характер зменшення значення досліджуваного показника зі збільшенням швидкості різання близький до лінійного і набуває мінімального значення 142 Н/м при максимальному значенні швидкості 9 м/с.

Що стосується кута ковзання, то його значення впливає на силу різання не лінійно, і набуває мінімуму при значеннях $\tau=25\dots30^\circ$. Подальше зростання кута ковзання призводить до збільшення сили різання, що пояснюється шкідливим тертям, що виникає між фасками леза і матеріалом.

2. Ширина і товщина найбільшої кількості подрібнених частинок (46 %) знаходиться в інтервалі від 10...15 мм, а середній арифметичний розмір подрібнених частинок становить 9 мм. Коефіцієнт однорідності K_0 подрібненого корму становив 0,46. При цьому значення питомої енергоємності від взаємодії швидкості різання і кута защемлення коренеплодів має мінімум 0,42 Вт-год/кг в області експерименту при $v_p=6\dots9$ м/с і куті ковзання $=28\dots33^\circ$.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги охорони праці при роботі з подрібнювачами коренеплодів

Загальні вимоги охорони праці при роботі з подрібнювачами коренеплодів охоплюють низку заходів, спрямованих на забезпечення безпеки працівників під час експлуатації цього обладнання. Ці вимоги базуються на законодавстві України про охорону праці, зокрема на Законі України «Про охорону праці», та враховують міжнародні стандарти безпеки.

Перед початком роботи з подрібнювачами коренеплодів необхідно провести навчання працівників з питань охорони праці. Робітники повинні бути ознайомлені з правилами безпечної експлуатації обладнання та отримати відповідний інструктаж щодо порядку дій у разі аварійної ситуації. Важливо також пройти медичний огляд, щоб переконатися у відсутності протипоказань для роботи з машинами та обладнанням.

При експлуатації подрібнювачів коренеплодів слід використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), такі як захисні окуляри, рукавиці, спеціальний одяг та взуття, що запобігають травмам від випадкового потрапляння шматків коренеплодів чи інших предметів. Крім того, при роботі з машинами підвищеної шумності рекомендовано використовувати навушники або вушні вкладиші для захисту органів слуху.

Технічний стан подрібнювачів має регулярно перевірятись. Перед початком роботи слід переконатися, що всі рухомі частини обладнання надійно закріплені, захисні кожухи встановлені та функціонують належним чином. Забороняється запускати подрібнювач у випадку виявлення несправностей або за відсутності захисних елементів.

Процес подрібнення повинен проводитися лише при повному відключенні обладнання від електромережі під час обслуговування або очищення машини від залишків коренеплодів. Працівники мають дотримуватись безпечної відстані від рухомих частин під час роботи обладнання та не виконувати ніяких дій, що можуть спричинити травмування.

Особливу увагу слід приділяти зберіганню й використанню інструментів та матеріалів. Робочі місця повинні бути організовані таким чином, щоб забезпечити вільний доступ до обладнання, уникнути скупчення сторонніх предметів, а також мінімізувати ризик нещасних випадків. Приміщення для роботи з подрібнювачами повинні бути добре освітленими, мати належну вентиляцію та бути обладнаними первинними засобами пожежогасіння.

У разі виникнення аварійної ситуації або травмування, працівники повинні негайно припинити роботу, повідомити керівника та, у разі потреби, надати або викликати медичну допомогу. Керівники зобов'язані забезпечити регулярне навчання та інструктаж з охорони праці, а також створити умови для безпечної роботи працівників.

4.2 Розробка проекту інструкції з охорони праці при роботі з подрібнювачами коренеплодів

1. Загальні положення

1.1. Інструкція з охорони праці при роботі з подрібнювачами коренеплодів встановлює вимоги для забезпечення безпеки під час експлуатації обладнання, обслуговування та профілактичного ремонту.

1.2. Інструкція розроблена відповідно до вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону праці», інших нормативно-правових актів у сфері охорони праці та безпеки на виробництві.

1.3. До роботи з подрібнювачами коренеплодів допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання та інструктаж з охорони праці, а також мають відповідну кваліфікацію.

1.4. Працівники зобов'язані виконувати вимоги цієї інструкції, дотримуватись правил безпечної експлуатації обладнання, використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) та бути ознайомленими з порядком дій у разі аварій.

2. Вимоги до засобів індивідуального захисту (ЗІЗ)

2.1. Під час роботи з подрібнювачами коренеплодів необхідно використовувати такі засоби індивідуального захисту:

Спеціальний робочий одяг (халати, комбінезони), який щільно прилягає до тіла, щоб уникнути затягування в рухомі частини обладнання.

Захисні окуляри для захисту очей від пилу та уламків коренеплодів.

Гумові або спеціальні рукавички для захисту рук.

Захисне взуття з антиковзкою підошвою.

Захисні навушники або вушні вкладиші (у разі роботи на обладнанні з підвищеним рівнем шуму).

3. Вимоги до безпечної експлуатації обладнання

3.1. Перед початком роботи працівник зобов'язаний перевірити технічний стан подрібнювача, переконатись у справності всіх елементів, наявності захисних огорожень і заземлення обладнання.

3.2. Забороняється працювати на несправному обладнанні або обладнанні без належного захисного кожуха.

3.3. Перед завантаженням коренеплодів необхідно відключити подрібнювач від електромережі, а також забезпечити безпечний доступ до зони завантаження.

3.4. Забороняється здійснювати чищення, ремонт або профілактичне обслуговування обладнання без повного його відключення від електромережі.

3.5. Необхідно дотримуватись безпечної відстані від рухомих частин під час роботи обладнання. Забороняється ставати на подрібнювач або використовувати сторонні предмети для подавання матеріалів.

4. Вимоги до безпеки під час роботи

4.1. Під час роботи з подрібнювачем коренеплодів забороняється залишати працююче обладнання без нагляду.

4.2. У разі виникнення аварійної ситуації або несправностей необхідно негайно зупинити обладнання, повідомити керівника та заборонити його подальшу експлуатацію до усунення несправностей.

4.3. У приміщенні, де проводиться подрібнення коренеплодів, повинна бути забезпечена належна вентиляція, щоб уникнути накопичення пилу або шкідливих речовин.

4.4. Забороняється працювати в стані алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також при поганому самопочутті.

5. Пожежна безпека

5.1. На робочому місці повинні бути наявні первинні засоби пожежогашіння (вогнегасники, пісок, лопати).

5.2. Забороняється зберігати легкозаймисті матеріали поблизу подрібнювача.

5.3. У разі виникнення пожежі необхідно негайно повідомити відповідні служби, зупинити роботу обладнання, відключити його від електромережі та скористатися засобами пожежогашіння.

6. Заключні положення

6.1. Після завершення роботи необхідно відключити подрібнювач від електромережі, очистити його від залишків коренеплодів та провести дезінфекцію.

6.2. Робоча зона повинна бути очищена від сміття, залишків продуктів і дезінфекційних засобів.

6.3. У разі травмування або надзвичайної ситуації необхідно негайно звернутися до керівника та медичного персоналу.

6.4. Всі працівники зобов'язані регулярно проходити навчання та інструктажі з охорони праці.

7. Відповідальність

7.1. Працівники, які порушують вимоги цієї інструкції, несуть відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

7.2. Керівники несуть відповідальність за створення безпечних умов праці, проведення інструктажів та забезпечення засобами індивідуального захисту.

4.3 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Порядок дій під час авіаційного нальоту.

Зберігайте спокій. Не піддавайтеся паніці, адже це може лише погіршити ситуацію. Виконуйте всі інструкції, надані відповідними службами, чітко та без зволікань.

Негайно сховайтеся в укриття. Якщо є можливість, швидко перемістіться до найближчого укриття або бомбосховища. Укриття можуть бути в спеціально відведених місцях (підвали, спеціальні сховища) або в найближчих будівлях, якщо спеціальних сховищ немає. Якщо поблизу немає захищених споруд, шукайте природні або штучні укриття: глибокі ями, траншеї, підземні переходи або підвали будівель.

Перебуваючи вдома. Відключіть газ, воду та електроенергію. Це може знизити ризик виникнення пожеж або аварій у разі руйнувань.

Спустіться до підвалу або найближчого укриття. Якщо підвалу немає, займіть місце в найбільш захищеній частині будинку: біля несучих стін, подалі від вікон та дверей. Ляжте на підлогу, прикрийте голову руками або подушкою

для захисту від уламків. Якщо укриття немає, використовуйте ванну кімнату або інші приміщення з великою кількістю стін між вами та зовнішнім середовищем.

Перебуваючи на відкритій місцевості. Ляжте на землю, обличчям вниз, прикрийте голову руками. Обирайте місце, де є заглиблення або інший природний захист. Уникайте високих споруд, мостів, електричних ліній та автомобілів, які можуть стати додатковою небезпекою. Не залишайтеся біля вікон або скляних конструкцій, оскільки вибуховою хвилею може розбити скло.

Перебуваючи в автомобілі. Зупиніть машину в безпечному місці, подалі від мостів, тунелів, високих будівель. Вийдіть з автомобіля та шукайте укриття, ляжте на землю.

Після сигналу "Відбій". Переконайтеся, що безпечно покидати укриття, уважно прислухайтеся до офіційних повідомлень. Допоможіть постраждалим, якщо це можливо, та негайно викличте рятувальні служби, якщо є поранені. У разі пошкодження будівлі або загрози нових нальотів – залишайтеся в укритті, доки не отримаєте відповідні інструкції. Не панікуйте та дотримуйтесь офіційних інструкцій. Завжди прислухайтеся до офіційних повідомлень через засоби масової інформації та від рятувальних служб, які повідомлять про безпечний момент для повернення до нормального життя.

Завжди заздалегідь підготуйте план дій для себе та родини на випадок авіанальоту, визначте безпечні місця та тримайте під рукою необхідні речі для екстрених ситуацій (документи, аптечка, засоби першої допомоги, вода та їжа).

4.4 Висновки по розділу

У розділі "Охорона праці" розглянуто основні вимоги до безпечної експлуатації подрібнювачів коренеплодів. Визначено заходи щодо забезпечення

безпеки працівників, зокрема використання засобів індивідуального захисту, проведення інструктажів і регулярних перевірок технічного стану обладнання. Підкреслено важливість дотримання правил пожежної безпеки та швидкої реакції на аварійні ситуації. Особлива увага приділяється розробці інструкції з охорони праці та організації робочого процесу для мінімізації ризиків травматизму та нещасних випадків.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА УДОСКОНАЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ

5.1 Вихідні дані

У цьому розділі аналізується очікувана економічна ефективність використання новозробленого подрібнювача кормів. На даний момент ТОВ «ELIKOR», яке розташоване в місті Полтава, виробляє подрібнювач коренеплодів ПК-1. Цей пристрій було обрано як прототип для нашої проектної розробки. Для порівняння економічних показників ми розглянемо експериментальний подрібнювач і модель ПК-1, використовуючи приклад їх застосування на молочно-товарній фермі, яка має поголів'я 400 корів. Важливим аспектом є те, що раціони годівлі, а також річний обсяг робіт із подрібнення буряків детально представлені в додатку А.

Вихідні дані для розрахунків зібрані в таблиці 5.1. Тут ми наводимо основні показники, які включають витрати на електроенергію, трудозатрати, вартість обслуговування обладнання та інші важливі економічні показники, що дозволяють зробити обґрунтовані висновки про переваги розробленого подрібнювача в умовах реального виробництва.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку техніко-економічних показників

Показник	Варіанти	
	ПК-1	удосконалений
Річний об'єм робіт, т	730	730
Добовий об'єм робіт, т	3,5	3,5
Продуктивність, т/год.	0,8	0,85
Потужність приводу, кВт	2,2	1,5
Питома енергоємність, кВт·год/т	2,75	1,75
Вага, кг	48,4	32,6
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Вартість, грн.	4150	3850

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівняння базового та удосконаленого подрібнювачів коренеплодів проводиться на основі аналізу питомих експлуатаційних витрат, які складаються з кількох ключових елементів. Основні компоненти цих витрат включають заробітну плату працівників, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування, а також витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання.

Для точності розрахунків ми будемо використовувати методики та рекомендації, зазначені в джерелі [36]. Зокрема, ми проаналізуємо, як зміни в дизайні та технічних характеристиках удосконаленого подрібнювача можуть вплинути на зниження експлуатаційних витрат. Це може включати в себе, наприклад, зменшення споживання електроенергії завдяки більш ефективним двигунам або зниження витрат на обслуговування за рахунок використання більш надійних матеріалів.

Також, окрему увагу буде приділено аналізу трудовитрат, оскільки удосконалений подрібнювач може забезпечити підвищену продуктивність та зменшити час, необхідний для виконання робіт. Цей комплексний підхід дозволить нам отримати чітке уявлення про економічні переваги нового обладнання в умовах реальної експлуатації, що в свою чергу сприятиме оптимізації загальних витрат на виробництво кормів для тваринництва.

Таблиця 5.2 - Економічні показники розробленого подрібнювача

Показник	Варіанти	
	ПК-1	розроблений
Річний об'єм робіт, т	730	730
Добовий об'єм робіт, т	3,5	3,5
Продуктивність, т/год.	0,8	0,85
Потужність приводу, кВт	2,2	1,5
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1

Вартість, грн.	4150	3850
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	52,85	46,82
в т.ч.: витрати на електроенергію	7,14	4,23
заробітна платня	43,72	40,74
витрати на ТО та ремонт	1,14	1,05
амортизаційні відрахування	0,85	0,80
Капітальні вкладення, грн.	-	3850,00
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	4401,90
Строк окупності капітальних вкладень, років	53,70	47,61
Питомі приведені витрати, грн./т		0,87
Річний економічний ефект, грн.	-	4445,70

5.3 Висновки по розділу

Економічна оцінка розробленого подрібнювача коренеплодів показала, що в порівнянні з базовою моделлю ПК-1, він демонструє значні переваги у сфері експлуатаційних витрат завдяки зменшенню енергоємності. Це зниження енерговитрат дозволяє не лише зменшити щомісячні витрати на електроенергію, але й покращити загальну рентабельність виробництва.

Згідно з нашими розрахунками, строк окупності нового обладнання на молочно-товарній фермі, що має 400 голів, становитиме всього 0,87 року. Це вказує на швидке повернення інвестицій, що є особливо важливим у сучасних умовах ринкової конкуренції.

Крім того, річний економічний ефект, що очікується від впровадження розробленого подрібнювача, становить 4445,70 грн. Цей показник відображає не лише безпосередню економію на витратах, але й потенційний приріст прибутку за рахунок підвищення продуктивності, поліпшення якості кормів та загального підвищення ефективності виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проектування, вдосконалення конструкції подрібнювачів коренеплодів, їх робочих органів, а також оптимізації режимів роботи подрібнювачів присвячена велика кількість робіт вчених та інженерів. Необхідність найменш витратної підготовки коренеплодів до згодовування привела до створення великої кількості різноманітних подрібнювачів і різних конструкцій робочих органів. Аналітичний огляд існуючих конструкцій подрібнювачів коренеплодів і їх робочих органів виявив ряд недоліків, вирішення яких можливе на основі всебічного вивчення процесу подрібнення.

2. Використання в пропонованому подрібнювачі ножів, встановлених під кутом нахилу α до його твірної, трансформує кут заточування леза ножа, що веде до зниження зусилля різання коренеплодів. На опір коренеплодів різанню при заданій пропускній здатності і якості подрібненого корму значний вплив мають геометричні параметри руйнуючих елементів, а також швидкість різання і фізико-механічні властивості коренеплодів.

3. Максимальне значення питомого зусилля різання спостерігається при мінімальних значеннях керованих факторів – швидкості різання та кута ковзання. Мінімального значення - 142 Н/м при максимальному значенні швидкості 9 м/с та куті ковзання $\tau=25\dots30^\circ$. Подальше зростання кута ковзання призводить до збільшення сили різання, що пояснюється шкідливим тертям, що виникає між фасками леза і матеріалом. Коефіцієнт однорідності подрібненого корму становив 0,46, що задовольняє зоотехнічним вимогам. При цьому значення питомої енергоємності від взаємодії швидкості різання і кута защемлення коренеплодів має мінімум 0,62 Вт-год/кг в області експерименту при $v_p=6\dots9$ м/с і куті ковзання $=28\dots33^\circ$.

4. У розділі "Охорона праці" розглянуто основні вимоги до безпечної експлуатації подрібнювачів коренеплодів. Визначено заходи щодо забезпечення безпеки працівників, зокрема використання засобів індивідуального за-

хисту, проведення інструктажів і регулярних перевірок технічного стану обладнання. Підкреслено важливість дотримання правил пожежної безпеки та швидкої реакції на аварійні ситуації. Особлива увага приділяється розробці інструкції з охорони праці та організації робочого процесу для мінімізації ризиків травматизму та нещасних випадків.

5. Згідно з нашими розрахунками, строк окупності нового обладнання на молочно-товарній фермі, що має 400 голів, становитиме всього 0,87 року. Крім того, річний економічний ефект, що очікується від впровадження розробленого подрібнювача, становить 4445,70 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Національний проект “Відроджене скотарство” / Міністерство аграрної політики та продовольства України, Національна академія аграрних наук України // [Текст, таблиці, додатки]. – К.: ДІА, 2018 – 44 с.
2. Офіційний сайт Державної служби статистики України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: www.ukrstat.gov.ua.
3. Статистичний збірник «Сільське господарство України» за 2014 рік / за ред. О. М. Прокопенко. – К.: Державна служба статистики України, 2015. – 379 с.
4. Бойко А.І. Підвищення надійності кормодробарок та подрібнювачів / А.І. Бойко, А.В. Новицький // Механізація сільськогосподарського виробництва. - К.: НАУ. - 1997. - Т. III. - с.6 - 8.3.
5. Основи перспективних технологій виробництва продукції тваринництва [текст] / [Г.М. Калетнік, М.Ф. Кулик. В.Ф. Петриченко та ін.] ; під ред. Г.М. Калетніка, М.Ф. Кулика. В.Ф. Петриченка, В.Д. Хорішка. – Вінниця : Енозіс, 2007. – 584 с.
6. Гевко І. Синтез змішувачів з гвинтовими робочими органами [текст] / І. Гевко, Р. Рогатинський, А. Дячун // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – 2012. – № 16. – С. 237–246.
7. Nevko R.B. The investigation of the process of a screw conveyer safety device actuation [text] / R.B. Nevko, O.M. Klendiy // INMATEH. Agricultural engineering. – 2014. – Vol. 42. –No.1. – P. 55–60.
8. Pankiv Vitalii. Throughput capability of the combined screw chopper conveyor [text] / Vitalii Pankiv // Вісник ТНТУ. – 2017. – № 1 (85). – С. 69–79.

9. Рогатинський Р. Оптимізація параметрів гвинтових транспортотехнологічних систем [текст] / Р. Рогатинський, І. Гевко, Л. Рогатинська // Вісник ТНТУ. – 2013. – № 1 (69). – С. 123–230.

10. Pankiv V.R., Tokarchuk O.A. Investigation of constructive geometrical and filling coefficients of combined grinding screw conveyor [text] / V.R. Pankiv, O.A. Tokarchuk // INMATEH– Agricultural engineering. National Institute of research development for machines and installations designed to Agriculture and food industry. Inma Bucharest. – 2017. – Vol. 51. – No. 1/2017. – Pg. 59–68.

11. Fitzgerald L. Winter feeding of cattle / L. Fitzgerald // Biatas Tillage Farmer. - 1990. - Т. 44. - № 9. - P. 19-20.

12. Herlitzius T. Messer von Feldhäckslern zum richtigen Zeitpunkt schleifen - Grundlagenuntersuchungen / T. Herlitzius, U. Becherer, J. Teichmann // Landtechnik. - 2009.-Vol. 64.-№2. - P. 131-133.

13. Jurco V. Vplyv zlozenia krmnej davky na kvalitu mlieka / V. Jurco // Nas Chov. - 1989. - Т. 49. - № 3. - S. 119-121.

14. Обґрунтування параметрів шнекових транспортерів-подрібнювачів коренеплодів / Виговський А.Ю., Барановський В.М., Паньків В.Р., Грицай Ю.В. : монографія. К. : Аграр Медіа Груп, 2019. 300 с.

15. Грицай Ю.В., Попович П.В, Барановський В.М, Паньків В.Р. Комбінований шнековий-транспортер подрібнювач. МПК В65G33/16, В65G33/24 : пат. на корисну модель 125415 Україна. № u201711835 ; заявл. 04.12.2017 ; опубл. 10.05.2018. Бюл. № 9/2018. 4 с.

16. Грицай Ю.В. Математична модель функціонування завантажувального бункера транспортера-подрібнювача. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль, 28-29 листопада 2018 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2018. Т. 1. С. 71 – 72. 173

17. Основи розробки комбінованих очисних систем коренезбиральних машин : монографія [Барановський В.М., Дубчак Н.А., Теслюк В.В. та ін.]. Тернопіль, 2015. 176 с.

18. Analytical research results of the combined root digger / Herasymchuk N.A., Baranovsky V.M., Herasymchuk O.O., Pastushenko A.S. INMATEH. – Agricultural Engineering. INMA Bucharest : National Institute of researchdevelopment for machines and installations designed to agriculture and food industry, 2018. Vol. 54. No. 1/2018.

19. Динамічний аналіз взаємодії коренеплоду з рифом еліпсного вальця / Паньків М.Р. та ін. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2003. Вип. 33. С. 234—241.

20. Паньків М.Р. Транспортно-сепаруючі робочі органи бурякозбиральних машин. Сільськогосподарські машини. 2000. Вип. 7. С. 108–115.

21. Паньків М.Р., Гевко І.Б. Експериментальні дослідження сепарації вороху коренеплодів кулачково-вальцьовим очисником. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2002. Вип. 80. С. 253–262.

22. Пилипець М.І. Технологічні основи очистки і сортування коренеплодів. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Механізація сільськогосподарського виробництва. 1998. Т. 4. С. 354–367.

23. Дослідження очисників-сортувальників створених на основі профільних навитих заготовок / Пилипець М.І. та ін. Сільськогосподарські машини. 2001. Вип. 8. С. 197– 204.

24. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Паньків М.Р. Визначення кінематичних і технологічних параметрів кулачкових транспортно-технологічних систем машин. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2000. Т. 3. № 4. С. 70–77.

ДОДАТКИ

Додаток А

Вихідними даними до розрахунку об'єму робіт будуть: поголів'я корів на молочно-товарній фермі - 400 голів; плановий річний надій від корови - 5600 кг; раціон годівлі при такій продуктивності (табл.).

Добовий раціон годівлі корів

Вид кормів	Період годівлі	
	Зимовий (210 діб)	Літній (155 діб)
Силос кукурудзяний	28	-
Сіно	6,5	-
Сінаж	8,7	-
Коренеплоди	7,9	-
Комбікорм	3,3	2,8
Зелена маса	-	59,5
Всього	54,4	62,3

Загальний річний об'єм робіт процесу подрібнення коренеплодів приготування та роздавання кормів буде рівна

$$P = 1,1g_{\text{доб}}n_kD = 1,1 \cdot 7,9 \cdot 400 \cdot 210 = 729960 \text{ кг} = 730 \text{ т.}$$

де $g_{\text{доб}}$ – добова потреба в коренеплодах на голову, кг.

n_k – кількість корів на фермі, гол.

D – тривалість періоду підготовки коренеплодів, діб.

ДНШРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Модернізація конструкції подрібнювача кормових буряків

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-23
Муравйов Ростислав Олександрович

Керівник: к.т.н., доцент
Івлєв Віталій Володимирович

Дніпро 2024

Мета і задачі досліджень

Метою роботи є зниження енергоємності подрібнення коренеплодів шляхом обґрунтування конструктивних параметрів ріжучого апарату режимів його роботи.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі задачі:

1. На основі аналізу способів подрібнення та конструкцій подрібнювачів коренеплодів визначити шляхи удосконалення процесу.
2. Теоретично дослідити процес подрібнення коренеплодів та обґрунтувати параметри ріжучого елемента (ножа).
3. Провести лабораторні дослідження процесу різання коренеплодів та встановити режими роботи подрібнювача.
4. Провести аналіз удосконаленого подрібнювача коренеплодів з точки зору охорони праці.
5. Визначити економічну ефективність удосконаленого подрібнювача коренеплодів.

Об'єкт дослідження - процес подрібнення коренеплодів ножовим ріжучим апаратом.

Предмет дослідження – закономірності взаємозв'язку технологічних і конструкційних параметрів ріжучого апарату подрібнювача коренеплодів.

Аналіз стану питання

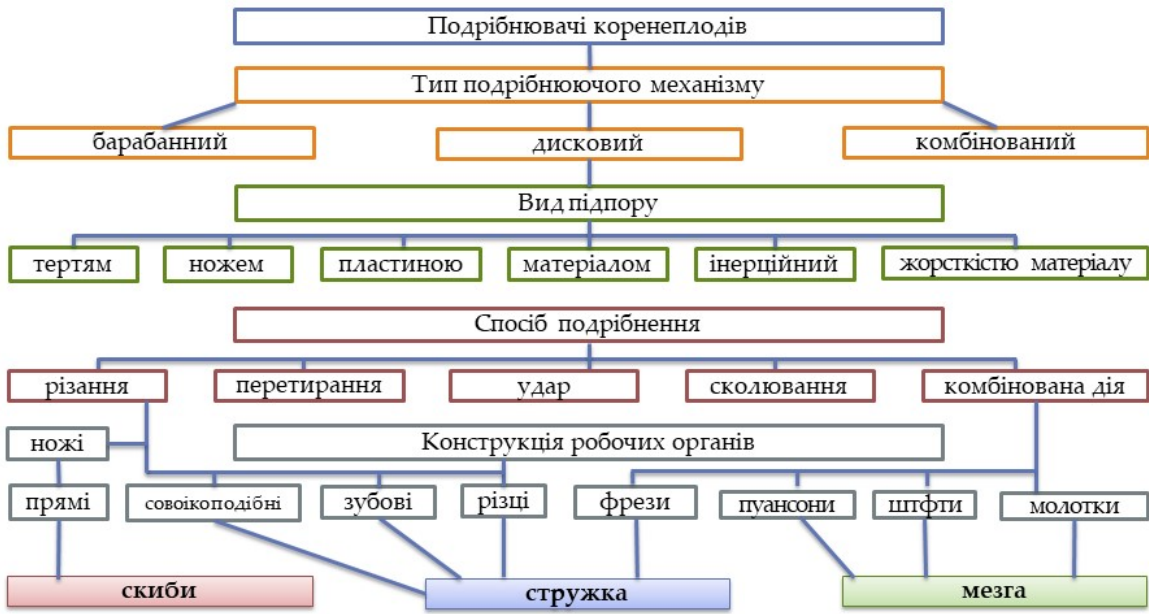


Рисунок 1 – Класифікація машин для подрібнення коренеплодів

Аналіз стану питання

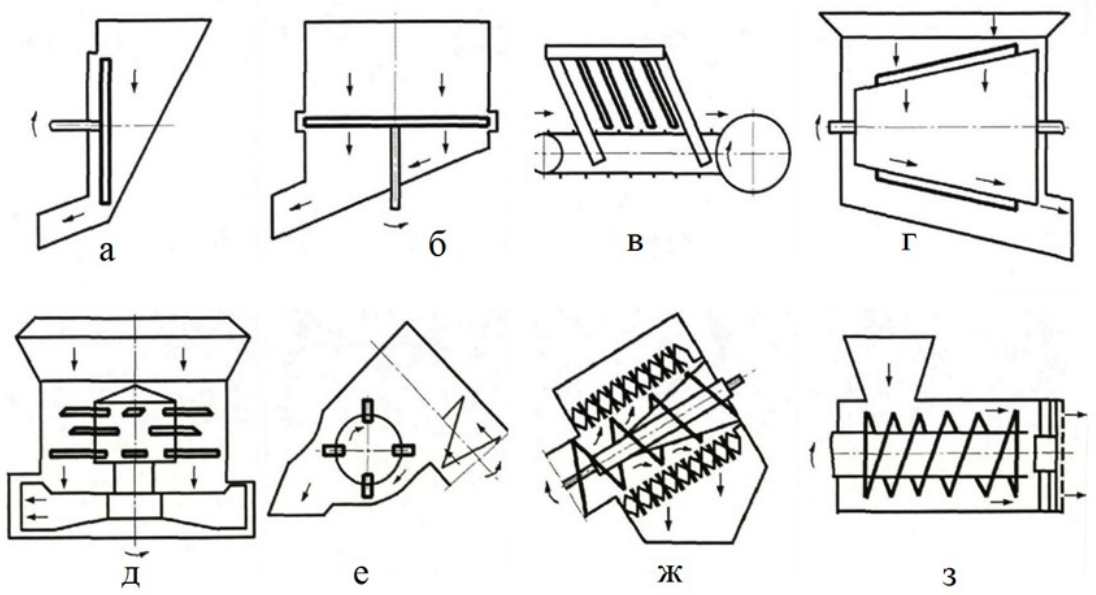


Рисунок 2 - Типи подрібноуючих апаратів подрібноувачів коренеплодів: а - вертикально-дисковий; б - горизонтально-дисковий; в – транспортерно-ножовий; г – барабанно-ножовий; д - роторний; е - молотковий; ж – шнеково-ножовий; з - пастопріготовлювач

Теоретичні дослідження

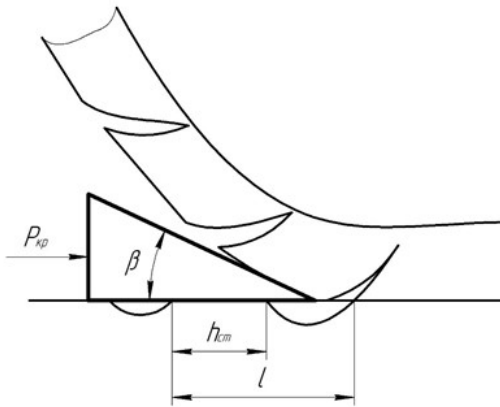


Рисунок 3 - Схема утворення стружки при різанні коренеплодів

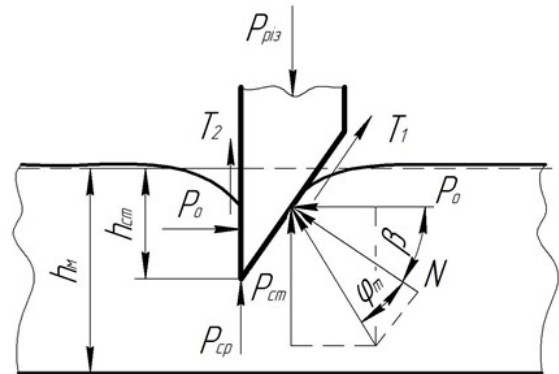


Рисунок 4 – Силова взаємодія леза з матеріалом

критична сила різання

$$P_{piz} = \delta \Delta S \sigma_p + \frac{E h_{cm}^2}{2 h_m} \Delta S (tg \beta + f \sin^2 \beta + \mu (f + \cos^2 \beta)).$$

на зусилля різання коренеплодів, крім геометричних параметрів леза ножа, важливий вплив завдають фізико-механічні властивості коренеплодів

5

Теоретичні дослідження

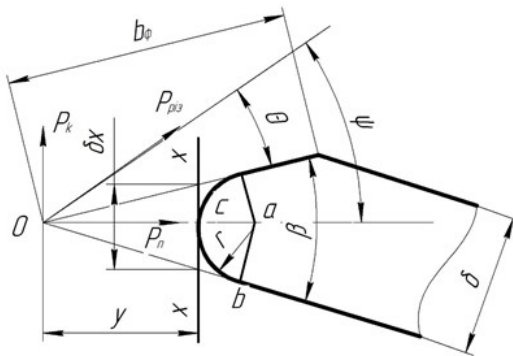


Рисунок 5 - До визначення гостроти леза

оптимальне значення **гостроти леза** при даному куті заточення, що забезпечує максимальну стійкість до зламу:

$$\delta x = \frac{3 P_{pB} \sin(\alpha + (\beta/2))}{l_3 [\sigma_3]} \left(1 + \frac{1}{\sin(\beta/2)} \right).$$

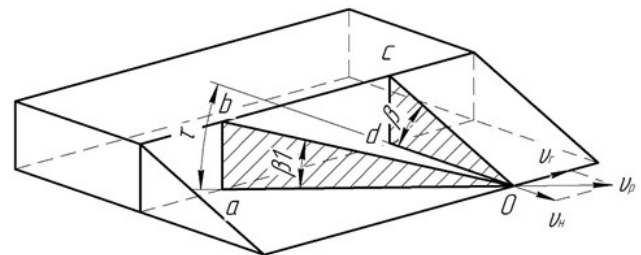


Рисунок 6 - Схема кінематичної трансформації кута заточення: v_p - швидкість різання; v_n - нормальна складова швидкості різання; v_t - тангенціальна складова швидкості різання

трансформований кут заточування

$$\beta_1 = \arctg (tg \beta \cos \tau).$$

де β - кут заточування ножа, град.;
 τ - кут ковзання (нахил ножа відносно матеріалу), град.

6

Лабораторні дослідження



Рисунок 7 - Загальний вигляд установки для дослідження процесу різання коренеплодів

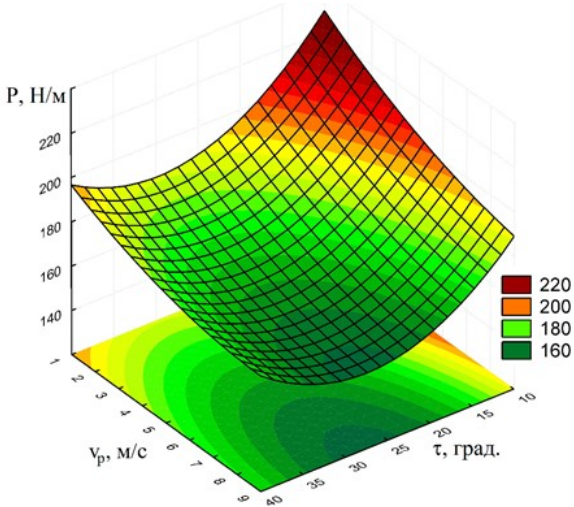


Рисунок 8 - Залежність питомої сили різання від кута ковзання та швидкості різання

$$Y = 3,144 - 0,65X_1 + 0,1X_2 + 0,487X_1X_2 - 0,162X_1^2 + 0,006X_2^2$$

максимальне зниження питомої роботи різання спостерігається при кутах ковзання 25...30 ° та максимальній (для стану) швидкості різання 9 м/с

Лабораторні дослідження



Рисунок 8 – Стенд на основі малогабаритного подрібнювача, оснащеного експериментальним ріжучим апаратом

поверхня відгуку питомої енергоємності від взаємодії швидкості різання і кута защемлення коренеплодів має мінімум 0,42 Вт-год/кг в області експерименту при $v_p = 6...9$ м / с і куту ковзання 28...33 °.

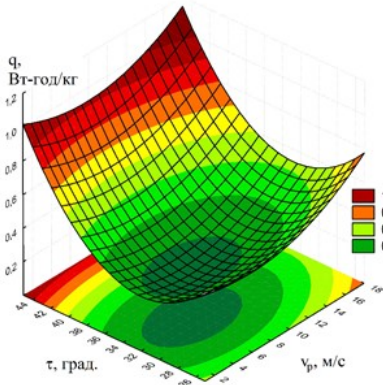


Рисунок 9 - Залежність питомої енергоємності подрібнення коренеплодів від кута ковзання та швидкості різання

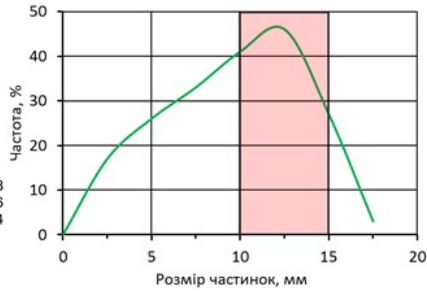


Рисунок 10 - Розподіл подрібнених частинок за фракціями і межі зоотехнічних вимог

найбільша кількість подрібнених частинок (46 %) знаходиться в інтервалі від 10...15 мм, отже коефіцієнт однорідності рівний 0,46, що відповідає зоотехнічним вимогам

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

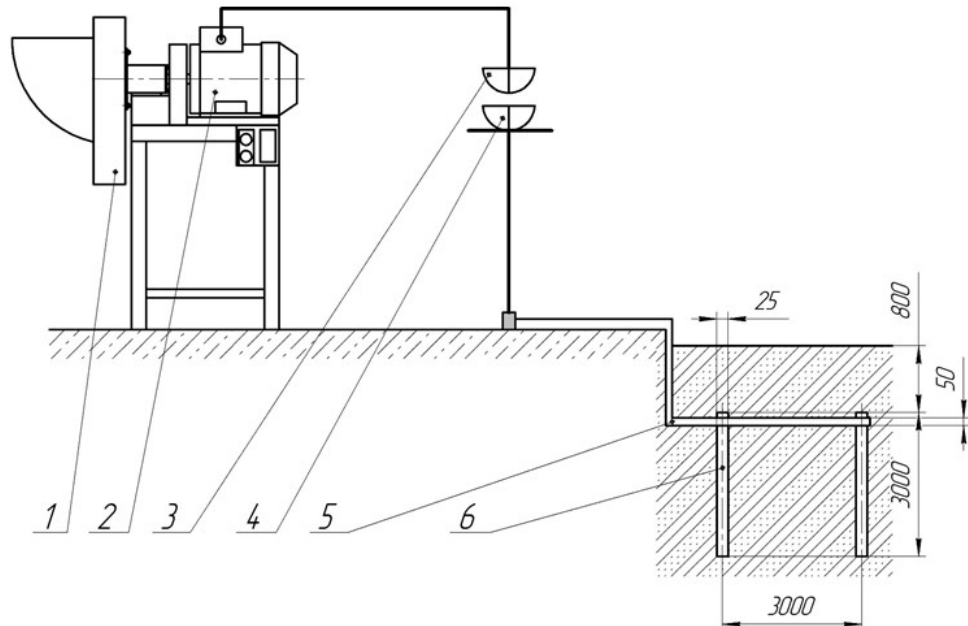


Рисунок 11 – Схема контурного захисного заземлення подрібнювача: 1 - подрібнювач; 2 – електродвигун; 3 – триполюсна електрична вилка; 4 – триполюсна розетка; 5 - горизонтальна смуга; 6 – вертикальний заземлювач

Показники економічної ефективності

Показник	Варіанти	
	ПК-1	розроблений
Річний об'єм робіт, т	730	730
Добовий об'єм робіт, т	3,5	3,5
Продуктивність, т/год.	0,8	0,85
Потужність приводу, кВт	2,2	1,5
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Вартість, грн.	4150	3850
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	52,85	46,82
в т.ч.: витрати на електроенергію	7,14	4,23
заробітна платня	43,72	40,74
витрати на ТО та ремонт	1,14	1,05
амортизаційні відрахування	0,85	0,80
Капітальні вкладення, грн.	-	3850,00
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	4401,90
Строк окупності капітальних вкладень, років	53,70	47,61
Питомі приведені витрати, грн./т		0,87
Річний економічний ефект, грн.	-	4445,70

Загальні висновки

1. Проектування, вдосконалення конструкції подрібнювачів коренеплодів, їх робочих органів, а також оптимізації режимів роботи подрібнювачів присвячена велика кількість робіт вчених та інженерів. Необхідність найменш витратної підготовки коренеплодів до згодовування привела до створення великої кількості різноманітних подрібнювачів і різних конструкцій робочих органів. Аналітичний огляд існуючих конструкцій подрібнювачів коренеплодів і їх робочих органів виявив ряд недоліків, вирішення яких можливе на основі всебічного вивчення процесу подрібнення.

2. Використання в пропонованому подрібнювачі ножів, встановлених під кутом нахилу α до його твірної, трансформує кут заточування леза ножа, що веде до зниження зусилля різання коренеплодів. На опір коренеплодів різанню при заданій пропускній здатності і якості подрібненого корму значний вплив мають геометричні параметри руйнуючих елементів, а також швидкість різання і фізико-механічні властивості коренеплодів.

3. Максимальне значення питомого зусилля різання спостерігається при мінімальних значеннях керованих факторів – швидкості різання та кута ковзання. Мінімального значення - 142 Н/м при максимальному значенні швидкості 9 м/с та куті ковзання $\tau=25...30^\circ$. Подальше зростання кута ковзання призводить до збільшення сили різання, що пояснюється шкідливим тертям, що виникає між фасками леза і матеріалом. Коефіцієнт однорідності подрібненого корму становив 0,46, що задовольняє зоотехнічним вимогам. При цьому значення питомої енергоємності від взаємодії швидкості різання і кута защемлення коренеплодів має мінімум 0,62 Вт-год/кг в області експерименту при $v_p=6...9$ м/с і куті ковзання $\tau=28...33^\circ$.

4. Приведено вимоги охорони праці при роботі на розробленому подрібнювачі коренеплодів, розраховано його захисне заземлення та приведено порядок дій у разі виникнення надзвичайної ситуації в ДДАЕУ.

5. Економічна оцінка розробленого подрібнювача коренеплодів показала, що в порівнянні з базовим ПК-1 він має переваги за експлуатаційними витратами за рахунок зменшення енергоємності. При цьому строк окупності при впровадженні на МТФ на 400 голів складе 0,87 роки, а річний економічний ефект за нашими розрахунками становить 4445,70 грн.