

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Підвищення ефективності процесу

подрібнення коренеплодів

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-21

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Шевченко Андрій Олександрович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2022

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

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Шевченко Андрій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності процесу подрібнення коренеплодів

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«18» жовтня 2022 року № 3008

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2022 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичні дослідження подрібнювача. 3. Лабораторні дослідження процесу. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна оцінка 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 видав	завдання прийняв
1	Дудін В.Ю., доцент		
2	Дудін В.Ю., доцент		
3	Дудін В.Ю., доцент		
4	Деркач О.Д., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Мельянцов П.Т., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.10.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2022 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2022 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2022 р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2022 р.	
5	Економічний	до 26.11.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2022 р.	

Студент

(підпис)

Шевченко А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

	<i>Форма</i>	<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кількіс ть аркуші</i>	<i>Номер аркуша</i>	<i>Примі тка</i>

Шевченко А.О. Підвищення ефективності процесу подрібнення коренеплодів /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

Вступна частина статті містить актуальну актуальність, сформульовані цілі та завдання, обґрунтування методу дослідження. Аналіз проблемної ситуації показав, що одним із найбільш раціональних методів є подрібнення коренів корму. У розділі 2 проводиться теоретичне дослідження процесу. В результаті експериментальних досліджень було визначено обґрунтовані параметри різального обладнання та подрібнювачів коренеплодів. Дослідження розробленої конструкції проводилося з погляду охорони праці. Зроблено економічне обґрунтування розробки. Зроблено висновки та складено список використаної літератури.

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

Вступ

	7
1 Аналіз стану питання	9
1.1 Значення коренеплодів для годівлі тварин	9
1.2 Технології підготовки коренеплодів до згодовування	11
1.3 Технічні засоби для підготовки коренеплодів до згодовування	16
1.4 Класифікація подрібнювачів коренеплодів	27
1.5 Висновки	29
2 Теоретичні дослідження подрібнювача	30
2.1 Особливості конструкції подрібнювального обладнання	30
2.2 Модель силової взаємодії матеріалу з різальним інструментом	34
2.3 Оптимізація форми різальної кромки	51
2.4 Висновки	56
3 Лабораторні дослідження процесу	57
3.1 Програма та методика	57
3.2 Результати досліджень	61
3.3 Висновки	66
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	67
4.1 Загальні визначення та поняття	67
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	68
4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів	68
4.4 Правила безпеки при виконанні робіт з подрібнення коренеплодів	70
4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	72

	8
4.6 Висновки	73
5 Економічна оцінка подрібнювача коренеплодів	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	78
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	80
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Без розвитку потужної кормової бази може бути розвитку тваринництва. Збільшення частки коренеплодів у раціоні тварини може посилити основу раціону. При правильній агротехніці та достатній кількості води вихід поживних речовин на одиницю площі вищий, ніж у інших кормових рослин, таких як трави та злаки. Коренеплоди є чудовим кормом для всіх видів тварин, особливо молочних та молодняку корів. Надають молокоутворюючу дію на дійних корів, дозволяючи отримувати високі надої за зиму, можуть бути замінені такою ж кількістю цукрових буряків, внаслідок чого середньодобовий приріст живої маси вищий на 2,6%.

Під час підготовки коренеплодів до згодовування найбільш енергоємним процесом є їх подрібнення. Вивченню процесу подрібнення коренеплодів присвячено значну кількість наукових досліджень, проте коренеплодні дробарки, що випускаються промисловістю, мають досить високу енергоємність подрібнення, а подрібнені продукти не відрізняються високою якістю. Повністю відповідає вимогам технології тваринництва.

У зв'язку з цим завдання зниження енергоємності коренеплодів за збереження якості подрібненого продукту, що відповідає вимогам технології тваринництва, вимагає подальшого вирішення.

Метою даної є зниження енергоємності коренеплодів шляхом демонстрації конструктивних параметрів ріжучого обладнання та режиму його роботи.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

1. Ґрунтуючись на аналізі методу подрібнення та конструкції дробарки для коренеплодів, вирішіть, як покращити процес.
2. Теоретичне дослідження процесу подрібнення коренеплодів та обґрунтування параметрів ріжучого елемента (ножа).
3. Провести лабораторні дослідження процесу різання коренеплодів та встановити режим роботи подрібнювача.
4. З погляду охорони праці зробити аналіз удосконаленого подрібнювача коренеплодів.

5. Визначити економічну ефективність удосконаленого подрібнювача коренеплодів.

Мета дослідження - процес подрібнення коренеплодів ножовим ріжучим пристроєм.

Предметом дослідження є закономірності взаємозв'язку технічних та конструктивних параметрів різального обладнання подрібнювачів коренеплодів.

Метод дослідження. Теоретичними та експериментальними методами досліджено технічні та конструктивні параметри ріжучого обладнання подрібнювача коренеплодів. Теоретичні дослідження проводилися з використанням основних законів теорії різання, положень теоретичної механіки та опору матеріалів.

1 Аналіз стану питання

1.1 Значення коренеплодів для годівлі тварин

Коренеплоди широко використовуються як корм для худоби. Завдяки гарній агротехніці та високій врожайності коренеплодів вихід поживних речовин з одиниці площі вищий, ніж у інших кормових рослин – трав та злаків, тому коренеплоди забезпечують певний рівень продуктивності тварин та підтримують гарне здоров'я та високу якість продукції [3].

Коренеплоди характеризуються високим вмістом води (72,92%), низьким вмістом клітковини (4,9% на суху речовину), низьким вмістом жиру та приблизно половиною білка (1,2%), близько половини якого становлять аміді. Білки коренеплодів містять відносно велику кількість амінокислот (лізин та триптофан) [3].

Встановлено, що деякі незамінні амінокислоти, у тому числі лізин, триптофан, гістидин, лейцин, ізолейцин, фенілаланін, треонін, метіонін, валін та вітаміни, не синтезуються у тварин і повинні надходити з їжею. Відсутність або дефіцит незамінних амінокислот у кормах продуктивності тварин та порушення обміну речовин в організмі.

Жуйні тварини можуть компенсувати нестачу незамінних амінокислот білками, синтезованими антральними мікробами [23].

Суха речовина коренеплодів представлена в основному вуглеводами (цукри, крохмальні та пектинові компоненти). Таким чином, коренеплоди мають високу засвоюваність органічної речовини 85,90%. Вміст сирого протеїну в сухій речовині коливається від 4,12%, близько половини якого знаходиться у вигляді небілкових сполук азоту.

Коренеплоди характеризуються низькою зольністю, переважно солями калію, мало кальцієм та фосфором [3].

Коренеплоди багаті на вітамін С (аскорбінова кислота) і вітаміни групи В, а морква багата каротином. Вітамін С необхідний для загоєння ран та розвитку

сполучної тканини, сприяє загоєнню переломів кісток, має протиінфекційні та антитоксичні властивості. Додавання до раціону тварин кормів, багатих на аскорбінову кислоту, особливо взимку, значно прискорює ріст і підвищує продуктивність тварин. Вітаміни групи В, за винятком вітамінів В5 (РР, нікотинова кислота) та В4 (холін), не можуть синтезуватися в організмі тварин. Потреба тварини у вітамінах групи В задовольняється кількістю містяться в раціоні та вітамінів, що синтезуються мікроорганізмами в травному тракті. Вітаміни групи В особливо необхідні телятам та ягнятам у молочний період. Відсутність цього вітаміну у тварин призводить до зниження апетиту та зниження приросту живої маси [10].

Засвоюваність поживних речовин у коренеплодів дуже висока, тому їх відносять до кормів, що характеризуються поживними властивостями [18].

Згодовування коренеплодів стимулює діяльність травних залоз у корів та свиней. У жуйних тварин коренеплоди сприяють розвитку сприятливої мікрофлори в рубці, а у свиней коренеплоди є основним соковитим раціоном з низьким вмістом клітковини [12].

З коренеплодів на корм вирощують цукрову тростину, моркву та ріпу.

Кормовий буряк є чудовим вологим кормом для всієї худоби, особливо молочних корів та свиней [5]. Згодовування кормових буряків восени, взимку та ранньою весною може наблизити раціон у ці періоди до літнього. Кормовий буряк легко перетравлюється і засвоюється і за кормовою значущістю поступається лише силосу [6].

Кормовий буряк містить відносно мало білка, але містить дуже цінні вільні амінокислоти. У 100 кг кормових буряків міститься 12,4 кормових одиниць і 0,3 кг перетравного протеїну, 40 г кальцію, 40 г фосфору [3].

Однією з найбільш цінних переваг кормових буряків є високий вміст у ній вуглеводів, переважно сахарози. При вмісті сухої речовини 11,12% вміст вуглеводів у буряках становить 6,7%.

Кормовий буряк містить менше каротинів, вітамінів В і С, ніж інші коренеплоди, і містить 1,3% білка, 0,1% жиру, 0,9% клітковини, 9,5%

безазотистих екстрактів та 0,9% золи. Як компонент силосних кормів, усуває надмірну кислотність шлункового соку тварин, що утворюється при згодовуванні силосу [29].

Додатковим джерелом корму є бадилля кормового буряка, яке подають у свіжому або силосованому вигляді, в зеленому вигляді згодовують великої рогатої худоби і в невеликих кількостях свиням і вівцям, листя кормового буряка містить каротин (4,5 г на 100 кг корму). Вони вдвічі багатші білком, ніж коренеплоди. У 100 кг сиру міститься 10,5 кормових одиниць і 0,7 кг перетравного протеїну, 260 г кальцію та 50 г фосфору. У складі листя міститься велика кількість органічних кислот, неорганічних солей та вітамінів, які сприяють підвищенню продуктивності худоби [23].

Таким чином, наведені вище дані свідчать, що коренеплоди займають важливе місце в кормовому балансі худоби. Вони багаті на вуглеводи, містять багато вітамінів, мають лактувальну і підживлену дію, підвищують апетит, посилюють слиновиділення, полегшують засвоєння грубих кормів і концентратів. Тому коренеплоди слід включати до раціону тварини.

1.2 Технології підготовки коренеплодів до згодовування

Підготовка корму до згодовування підвищує засвоюваність, знижує енерговитрати на пережовування, запобігає захворюванням тварин і знищує шкідливий вплив корму на організм тварини. Кожен вид корму має фізико-механічні властивості [30]. Тому для обробки при приготуванні використовуються різні машини, об'єднані в потокові технологічні лінії, залежно від прийнятої в господарстві схеми підготовки кормів до згодовування. [36].

Основні технічні схеми підготовки коренеплодів до згодовування такі [34].

- а) миття (чистка);
- б) миття (чистка) → подрібнення;
- в) миття (чистка) → подрібнення → сушіння;

г) миття (чистка) → подрібнення → дозування → силосування.

На комбікормових заводах задля забезпечення комплексної механізації підготовки кормів до згодовування створюють потокові технологічні лінії (ПТЛ) з машинами за кожен корм.

На рис. 1.1 показано основні ПТЛ, що використовуються для підготовки коренеплодів до згодовування. Робота з завантаження коренеплодів зі складів та ящиків на транспортні засоби для всіх шляхів сполучення однакова. Це робиться тракторним грейфером. Навантаження на проміжний склад самоскидом.

Бункер-накопичувач або живильник без байпасу [12] щоб уникнути переривання роботи ПТЛ через відсутність корму. Поточний запас коренеплодів ПТЛ складається в приймальні, бункері ПБ-15, транспортерах ТК-5 або ТК-5Б, живильник ТЗК-30М або ПЗМ-1,5 [13].

Перша технічна схема (а) підготовки коренеплодів до згодовування проста і менш енерго- та металомістка, ніж усі інші схеми. Питомі енерговитрати на підготовку коренеплодів до згодовування за цією технічною схемою становлять 1,05 кВт*год/т при використанні мийок та 0,52 кВт*год/т при використанні обладнання сухого чищення. Питома металоємність еквівалентна 231 кг-год/т. Ця схема використовується для годування великої рогатої худоби, оскільки цей вологий корм необхідно подрібнювати під час годування інших видів тварин [22]. Коренеплоди зазвичай забруднені ґрунтом, піском і можуть містити сторонні предмети (каміння, тріски, метал), тому технічні схеми переробки коренеплодів повинні передбачати операції сухого чищення чи миття. Для очищення пухких або прилиплих коренеплодів до кореневого ґрунту та інших забруднень застосовують різне обладнання для миття та сухої чистки [21], виконане як окремі машини або як транспортні одиниці для подрібнювачів. За відсутності спеціальних мийних пристроїв застосовують мийки від подрібнювачів МРК-5, ІБК-5, ІКМ-5 та ІКМ-Ф-10 [33].

Кулачки, ролики, стрижні, барабани, турбіни і шнекові очищувачі, що обертаються, використовуються для сухого чищення.

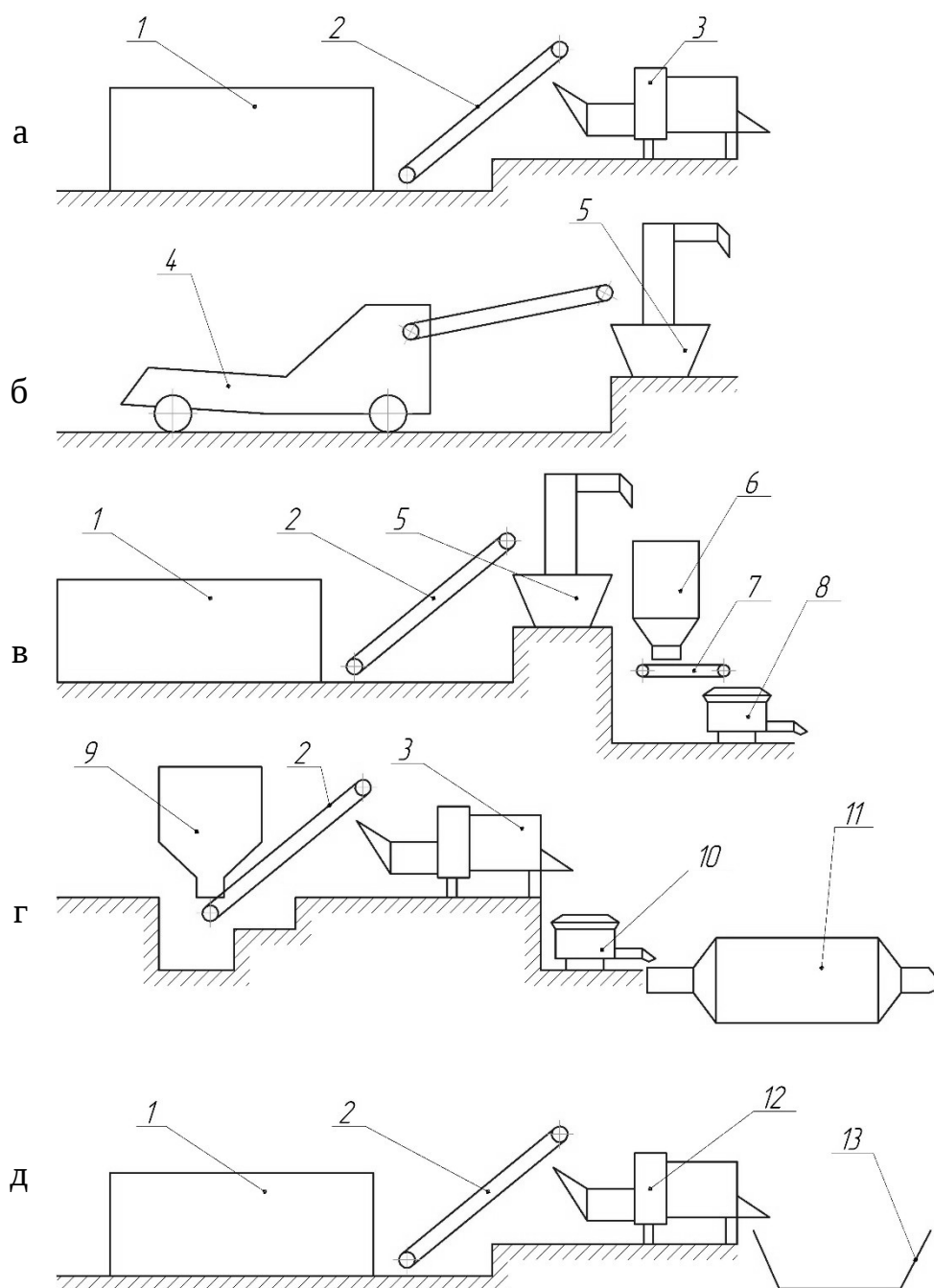


Рисунок 1.1 – ПТЛ для підготовки коренеплодів до згодовування: 1 – приймальний бункер. 2 – скребковий транспортер ТС-40М 3 – миття коренеплодів МКЛ-10; 4 - транспортер-навантажувач ТЗК-30М; 5 - машина-

мийка-подрібнювач ІКМ-Ф-10; 6 - бункер-дозатор; 7 - конвеєр складальний, 8 - подрібнювач-змішувач ПОЗОВ-3, 9 - живильник з транспортером ТК-5Б, 10 - подрібнювач ІР-Ф-1, 11 - сушильний агрегат АВМ-1,5, 12 - агрегат для приготування силосу збірного типу АРС-10А. 13 - силосна траншея

Для сухого очищення коренеплодів в умовах кормосховища рекомендується використовувати валковий шнековий очищувач [36]. Сухе чищення ефективно тільки для очищення коренеплодів, вирощених на легких ґрунтах, вологе чищення більш популярне, оскільки забезпечує якісне очищення коренеплодів, вирощених на всіх типах ґрунту.

Незважаючи на підвищену питому енергоємність (2,23 кВт*год/т) порівняно зі схемою (а), більш ефективною є схема (б) підготовки коренеплодів до згодовування з промиванням або сухим очищенням та подрібненням. Це пов'язано з тим, що велика площа поверхні частинок подрібненого корму прискорює процес травлення та покращує засвоюваність поживних речовин, тому поживні речовини найбільш активно засвоюються тваринами лише у подрібненому вигляді. З іншого боку, подрібнені коренеплоди краще транспортуються розподільними механізмами. Питома металоємність цієї технічної схеми на 241,5 кг год/т вище, ніж у технічної схеми (а).

Застосування технічної схеми (в) дозволяє повніше збалансувати раціони тварин. Результатом є збільшення продуктивності тварин на 1,10% та зниження витрат на корми на одиницю продукції на 15%. Ця схема застосовується тільки за наявності комбикормового заводу, що потребує великої кількості техніки та додаткового обладнання, підвищує питому продуктивність по металу до 378,5 кг-год/т. Крім того, він дуже енергоємний - 5,39 кВт*год/т, тобто витрата електроенергії у 2,4 рази вища порівняно з технічною схемою (б). Застосування технічної схеми (ж) підготовки коренеплодів до підживлення дозволяє підвищити концентрацію поживних речовин у коренеплодах у 4,5 рази порівняно із сировиною. Сушені коренеплоди є чудовою заміною зернових у сумішах повного раціону. Для

сушіння використовується пара АВМ-0,4 та АВМ-0,65, або один АВМ-1,5 та СБ-1,5 [15]. З усіх перерахованих вище схем підготовки коренеплодів до згодовування ця схема є найбільш енерго- і металомісткою. Питома витрата енергії даної технологічної лінії становить 11,47 кВт*год/т, без урахування тепловіддачі палива, що спалюється при сушінні, що збільшує питому витрату енергії до 1345 кВт*год/т. Питома металомісткість становить 9133 кг*год/т, що у 20 разів вище, ніж у схемі (б).

З зими до весни за відсутності свіжого коріння рекомендується підгодовувати тварин комбісилос, приготований за технічною схемою (г), але ця схема використовується короткочасно. Препарат Combicillo є одним із способів збереження поживних речовин у коренеплодах при їх підготовці для худоби. Змішаний силос готують із кількох інгредієнтів (трава, коренеплоди, трав'яне борошно, солома, жом цукрових буряків, морква та ін.) [16]. Усі компоненти Комбісилосу ретельно очищають від перемелених і зайвих домішок, подрібнюють за допомогою силосорізок [17], кормоподрібнювачів [19] і коренерізок [20] і змішують у заданих пропорціях. Однак, як правило, ці машини малопродуктивні та якість приготованого ними силосу невисока [22].

Універсальним агрегатом для приготування змішаного силосу є агрегат АРС-10А, який виконує кілька операцій, таких як промивання, подрібнення, дозування та перемішування [38]. Питома щільність металу та енергоємність даної технічної лінії становлять 315,3 кг-год/т та 4,01 кВт*год/т відповідно, що значно нижче за технічні схеми (в, г). Зниження цих показників досягається за рахунок меншого використання технічних засобів, необхідних для підготовки коренеплодів до підживлення. Однак при порівнянні з технічними схемами (а, б) питома енергоємності вищі у 3,8 та 1,8 рази відповідно.

Аналіз технічної лінії підготовки коренеплодів до згодовування, що включає операції промивання або сухої чистки та дроблення, хоча і з дещо підвищеними енерговитратами (1,18 кВт*год/т). Ми можемо зробити висновок, що схема (б) є найбільш доцільною. Схема (а) обумовлена тим, що подрібнені корми краще засвоюються тваринами. Однак питома енергоємність

підготовки коренеплодів до годування серією машин, що входять до технічної лінії (б), нижче в 2,4 рази в порівнянні з технічними схемами (в, г, д), 2,23 кВт*год/т, тобто у 5,1 рази.

1.3 Технічні засоби для підготовки коренеплодів до згодовування

Необхідність подрібнення коренеплодів із необхідною якістю та низькими енерговитратами сприяла створенню численних подрібнювачів [12, 18]. Вони різняться щодо організації робочих процесів, конструктивного виконання, технічних схем металомісткості та енергоспоживання. На рис. 1.2 показано основні типи подрібнювального обладнання для подрібнювачів коренеплодів.

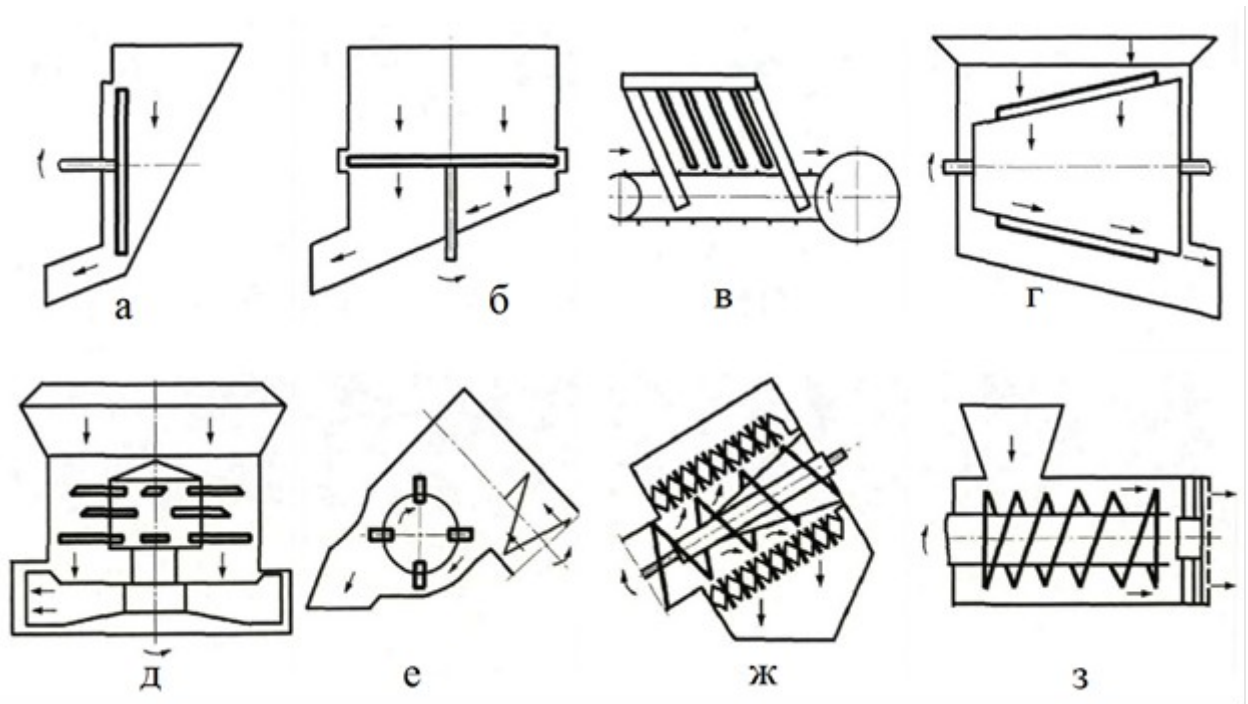


Рисунок 1.2 – Типи подрібнювачів коренеплодів: а – вертикальні диски. б – горизонтальний диск; в – транспортувальний ніж, г – барабанний ніж, г – поворотний, д – молоток, з – шнековий ніж,

Подрібнювачі коренеплодів поділяються на ножові, молоткові та комбіновані, за типом використовуваного в подрібнювачі елемента [28]. Залежно від розташування робочих органів подрібнювачі поділяються на

безліч підтипів. Подрібнювач коренеплодів з дисковим пристроєм, що обертається, показаний на рис. 1.3 [8]. Дробарка містить циліндричний основний корпус 1, ротор 2 з Г-подібною лопаттю 3, бункер приймання 4 і реверсивний ніж 5, встановлений в основному корпусі 1. .

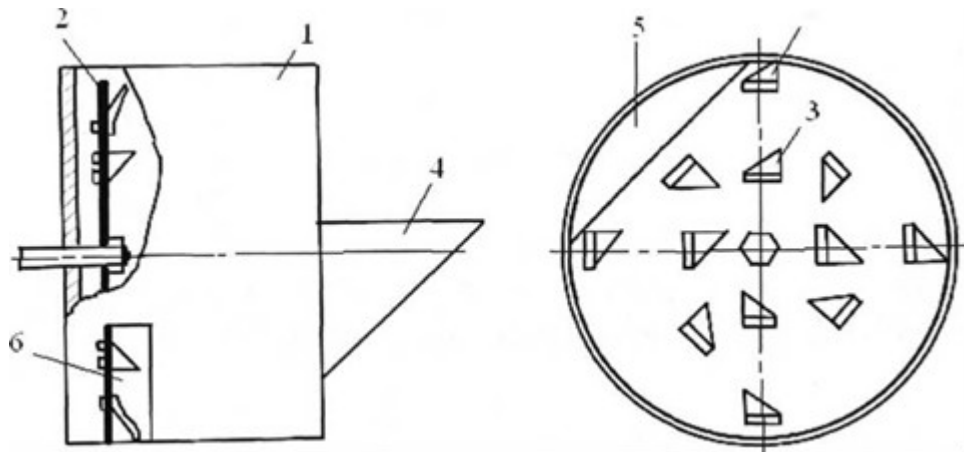


Рисунок 1.3 – Подрібнювач із вертикальним диском

Сировина завантажується в бункер 4, засмоктується в корпус 1 повітряним потоком, створюваним лопатками 3 ротора 2, подрібнюється лопатками 3 і викидається назовні через розвантажувальне вікно 6.

Істотним недоліком подрібнювача є те, що ніж повторно подрібнює вихідний продукт при багаторазовому ударі по ньому. За такої конструкції подрібнювача коренеплодів неможливо отримати подрібнений продукт з однорідним фракційним складом.

На рис. 1.4 показаний подрібнювач коренеплодів із горизонтальним диском [22]. Він містить бункер завантаження 1, верхній 2 і нижній ножові диски 3, розташовані на приводному валу 4. Ножові диски 2 і 3 мають похилі ножі 5 з вікнами 6 для проходу матеріалу (стружки). Ножі 5 розташовані навколо диска попарно в одному напрямку, зміщеному вбік від осі обертання. Нижній диск 3 має металеві лопаті 7. У просторі між дисками знаходиться робоче колесо 8, з'єднане з валом 4 через підшипники 9 кочення. Бункер має 1 розвантажувальне вікно 12.

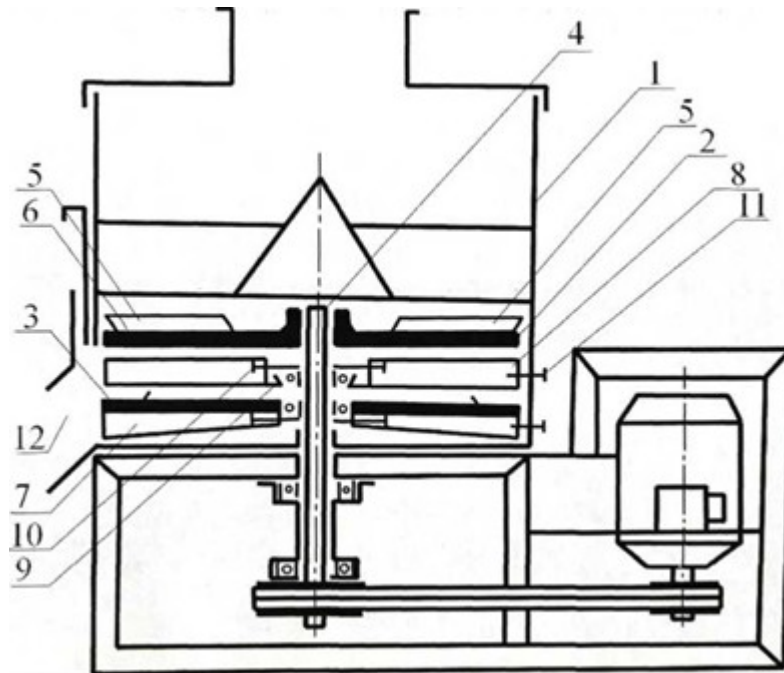
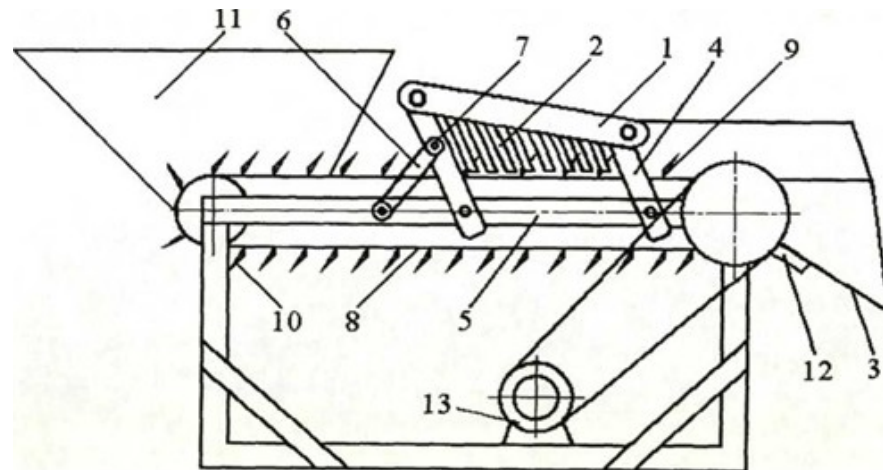


Рисунок 1.4 – Подрібнювач коренеплодів із горизонтальною дисковою дробаркою

Ніж 5, закріплений на верхньому диску 2, проходить через наскрізне вікно 6 в диску 2 в простір під ним, з якого крильчатка 8 подає стружку назовні через розвантажувальне вікно 12. Для більш тонкого помелу закріпіть крильчатку 8 на стінці бункера 1. Матеріал, що проходить через вікно 6 верхнього ножового диска 2, потрапляє на нижній диск 3, де відбувається повторне подрібнення. Проходячи через вікно 6 нижнього ножового диска 3 зріз потрапляє під диск і викидається звідти лезом 7, закріпленим на нижньому диску 3. Ножі дискових подрібнювачів мають різну швидкість різання по радіусу. В результаті швидкість різання не може бути оптимізована. Тому дискові подрібнювачі не набули широкого поширення для механічної обробки коренеплодів. Використання двоступеневого подрібнення збільшує енергоємність подрібнення.

Конвеєрний ніж для подрібнення коренеплодів показаний рис. 1.1 [24]. Подрібнювач коренеплодів включає ріжучий пристрій з рамою 1 з

консольними ножами 2. Верх рами 1 встановлений під кутом до розвантажувального лотка 3 і шарнірно прикріплений до рами 5 підвіскою 4, її переміщення запобігає підрамнику 6 з англійською шпилькою 7.



Малюнок 1.5 – Конвеєрно-ножовий подрібнювач коренеплодів

Ріжучий пристрій встановлено на транспортері 8 і має планку 9, на якій встановлений консольно ніж 10, нахилений вперед по ходу руху транспортера 8 під кутом $40-60^\circ$ до горизонталі. Планки 9 мають канавки для проходження 2 ножів ріжучого пристрою. До транспортера 8 може примикати завантажувальна горловина 11 з прорізом для пропуску 10 ножа спереду.

Недоліком такої конструкції є те, що нарізаний продукт є пластиною, довжина і товщина якої визначаються розміром нарізаного коренеплоду і відстанню між сусідніми ножами, причому останній параметр обмежується конструкцією подрібнювача. Подрібнювачі з конвеєрними ножами можуть також включати подрібнюючий пристрій подрібнювача з конвеєрними пластинами, показане на рис. 1.6.

Подрібнювач складається з бункера 1 (без дна) і нижнього колосникового механізму (транспортера 2) з ріжучою пластиною 4, шарнірно прикріпленої до ланцюга 3.

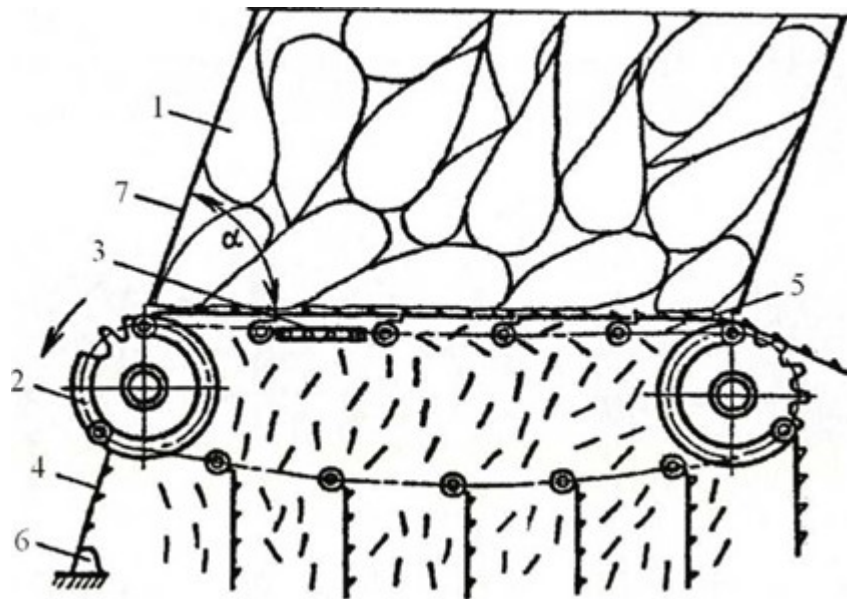


Рисунок 1.6 - Конвеєрний пластинчастий подрібнювач коренеплодів

Сполучна та роз'єднувальна пластини 4 на робочій частині укладаються одна на одну таким чином, що утворюється однорідна робоча поверхня терки. Демпфер 6 встановлений на відстані від приводного валу, що дорівнює радіусу вільного переміщення ріжучої пластини 4. Передня стінка 7 бункера 1 з боку виходу з нього ріжучої пластини 4 нахилена під гострим кутом з робочою гілкою. Цей кут менший за кут тертя кореня об стінку робочої гілки.

Ланцюги 3 переміщують ріжучі пластини 4 при обертанні приводного валу конвеєра 2. Ріжучі виступи 5 ріжучої пластини 4 зрізають коренеплоди і зрізають частинки матеріалу у вигляді окремих стружок, що проходять через щілини. Обходячи вікно ріжучої пластини 4 і простір між гілками конвеєра 2, опускаються в зону розвантаження.

Подрібнювачі з конвеєрними пластинами можуть подрібнювати коренеплоди лише за низьких швидкостях різання, оскільки вони обмежені конструктивними особливостями подрібнювача. Збільшення швидкості різання призводить до того, що пластини ударяються об стінки бункера, що

негативно впливає на енерговитрати дроблення. Крім того, знос та тертя ланок ланцюга скорочує термін їхньої служби.

На рис. 1.7 показаний робочий орган барабанно-конусний подрібнювач коренеплодів [6], який є ножовою дробаркою барабанного типу. Робочий орган містить барабан 2, встановлений в нижній частині бункера 1, з вікнами 3 і ріжучими виступами 4, розташованими рядами в шаховому порядку на його поверхні. Барабан 2 має форму зрізаного конуса, вісь якого встановлена горизонтально під кутом, рівним куту нахилу генератора по відношенню до висоти конуса, так що верхня поздовжня лінія барабана 2 розташована горизонтально. Велика основа 5 відкрита, її центр знаходиться нижче центру малої основи і закритий заглушкою 6. Ряд ріжучих виступів 4 розташований на поверхні барабана 2 під кутом до його осі. Барабан 2 жорстко закріплений на валу 7 встановленому на підшипниках 8.

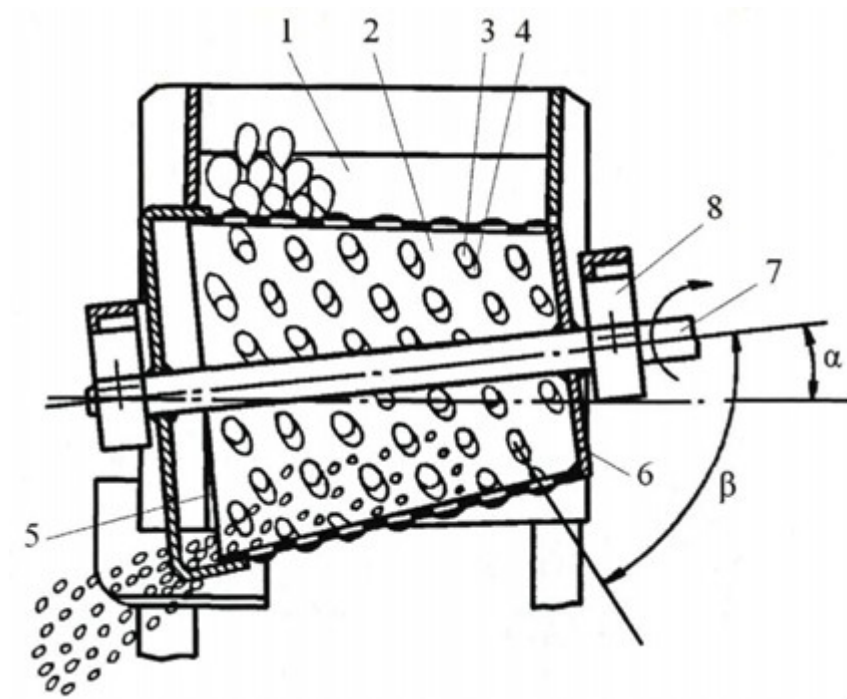


Рисунок 1.7 - Барабанно-конусний подрібнювач

Коренеплоди, що подаються з бункера 1 на барабан 2, що обертається, подрібнюються під дією ріжучих виступів 4. Подрібнений матеріал, що

пройшов через вікно 3, викидається в барабан 2. Під дією нижньої частини останньої і сил, що виникають при її обертанні, подрібнений продукт назовні через відкриту основу 5.

Барабанні подрібнювачі мають більш високу продуктивність у порівнянні з подрібнювачами інших конструкцій. Якщо барабан має форму зрізаного конуса, то швидкість різання коренеплодів буде різною в різних частинах барабана і не може бути оптимізована. Також подрібнений продукт може забити внутрішню порожнину барабана, особливо зі збільшенням швидкості обертання барабана. Показаний на рис. 1.8 вертикальний барабанний подрібнювач не має перерахованих вище недоліків [15]. Подрібнювач має бункер 1, в якому встановлений барабан 2, що обертається, вікно 3 і ріжучі виступи 4, розташовані на його поверхні в шаховому порядку. Барабан 2 виконаний у вигляді порожнистого циліндра з відкритим дном. Барабан 2 жорстко закріплений на валу 5, встановленому на підшипниках 6. Бункер подрібнювача 1 кріпиться до опори 7.

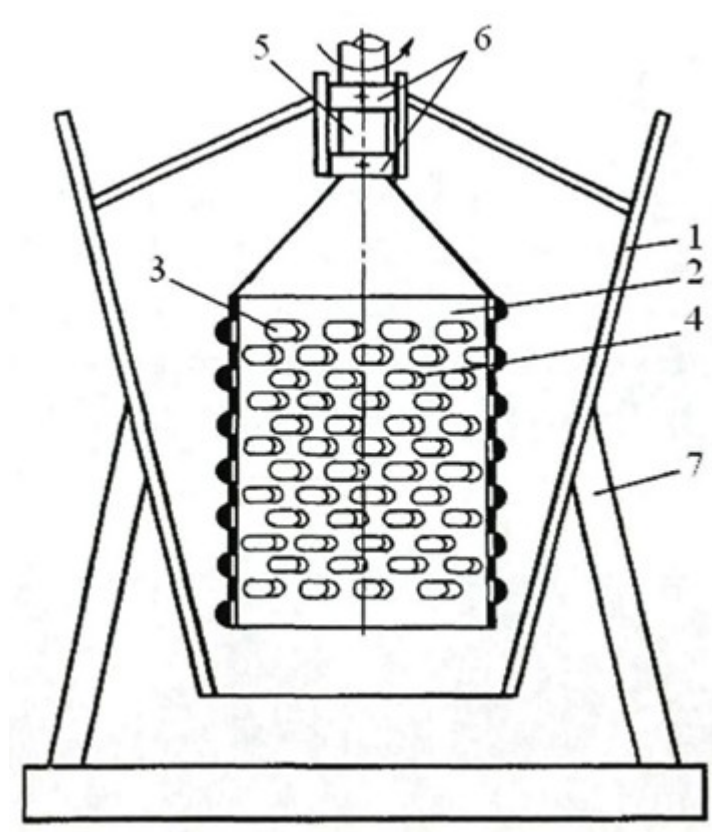


Рисунок 1.8 – Вертикальний барабанний подрібнювач

Скинуті в бункер 1 коренеплоди затиснуті між стінкою бункера 1 і ріжучими виступами 4 барабана 2, що обертається. Подрібнений продукт проходить через вікно 3 всередину 2 барабана і потім видаляється назовні через відкрите днище барабана 2 під дією сили тяжіння.

Недоліком цього подрібнювача є те, що подрібнений продукт прилипає до внутрішньої стінки барабана за рахунок відцентрової сили, що діє барабан. Крім того, консольне кріплення барабана знижує надійність конструкції.

У минулому столітті у комбікормовому виробництві для подрібнення коренеплодів широко застосовувалися машини наступних марок: Волгар-5, КПП-4, МРК-5, ІКС-5, КДУ-2, АПК-10, ІКМ-5. , ІКМ-Ф-10. Основний ріжучий пристрій [30] (рис. 1.9) подрібнювача «Волгар-5» також відноситься до кількох ножових подрібнювальних пристроїв барабанної дії.

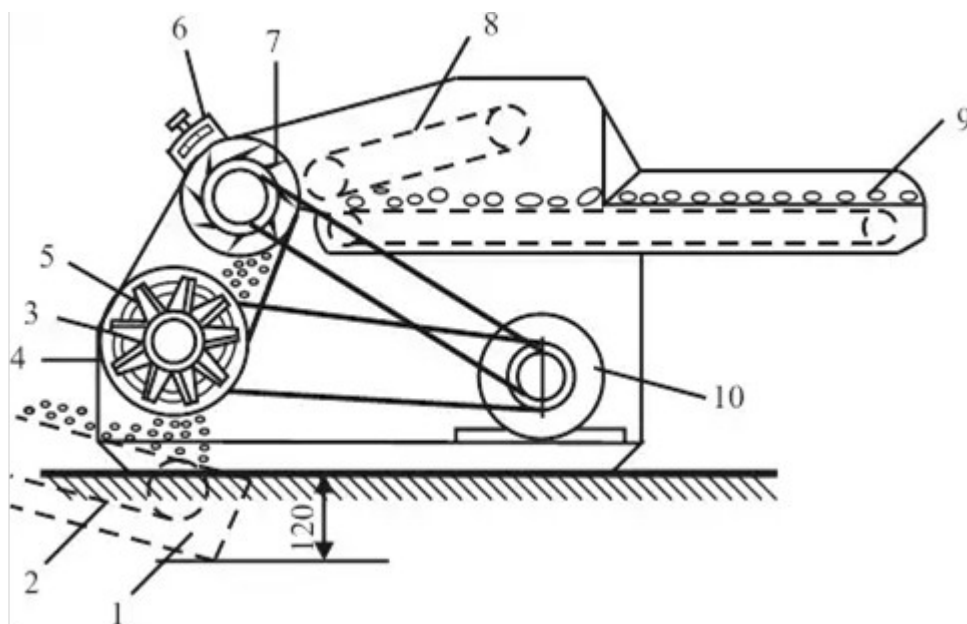


Рисунок 1.9 - Подрібнювач кормів "Волгар-5"

Дана машина призначена для подрібнення соковитих та грубих кормів (силос, коренеплоди, баштанні, солома, сіно) на тваринницьких та птахівницьких фермах. Може використовуватися як самостійна машина, так і для установки в технічні лінії комбікормового заводу. Підлягає подрібненню корм завантажується рівномірним шаром на кормовий транспортер 9. Тут він

стискається прес-конвеєром 8 і надходить у первинний ріжучий апарат 7. Після попереднього подрібнення на частинки довжиною 20,80 мм сировина надходить у вторинний ріжучий пристрій 3, де подрібнюється ,10 мм та вивантажується через розвантажувальне вікно.

Недоліком подрібнювача "Волгар-5" є складність його конструкції, особливо вторинного ріжучого пристрою. Крім того, використання двостадійного помелу негативно позначається на енергоємності помелу та якості одержуваного корму.

У порівнянні з подрібнювачем «Волгар-5» при подрібненні коренеплодів МРК-5 (рис. 1.10) більш економічний за енерговитратами на тону подрібненого корму і видаляє забруднення з коренеплодів, не вимагає додаткового обладнання.

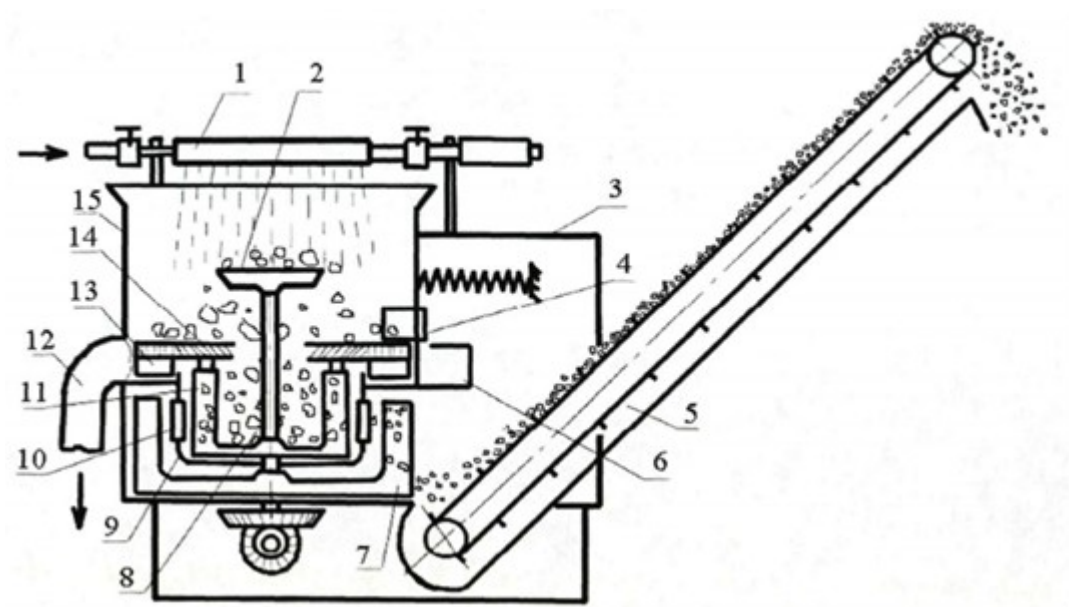


Рис. 1.10 – Коренерізка-мийка МРК-5: 1 – розпилювач; 2 - малий диск; 3 – кожух; 4 – демпфер; 5 – транспортер; 6 – вікно; 7 - крилач; 8 - головний вал; 9 - внутрішній циліндр із кожухом; 10 – ніж; 11 - крильчатка ножового пристрою; 12 - трубка; 13 - лопатка для видалення бруду; 14 - великий мийний диск; 15 - робочий циліндр

Коріння, що надходять у робочий циліндр 15 з малого мийного диска 2, потрапляють на великий мийний диск 14 і омиваються струменем води. При заповненні робочого циліндра 15 корінням частина коренів потрапляє у внутрішній циліндр 9 і скочується з великого диска, що чистить 14, приводячи в обертання крильчатку 7 ножового пристрою. Під дією відцентрової сили коренеплоди притискаються до зовнішньої стінки внутрішнього циліндра 9 переносяться на ніж 10 і подрібнюються в стружку. Потім крильчатка ножового пристрою 11 викидає стружку на конвеєр 5 через вікно робочого 6 циліндра 15.

Одним з недоліків є ненадійність ріжучого пристрою, оскільки ніж зламається, якщо потрапить у ножовий пристрій каміння або інших сторонніх предметів.

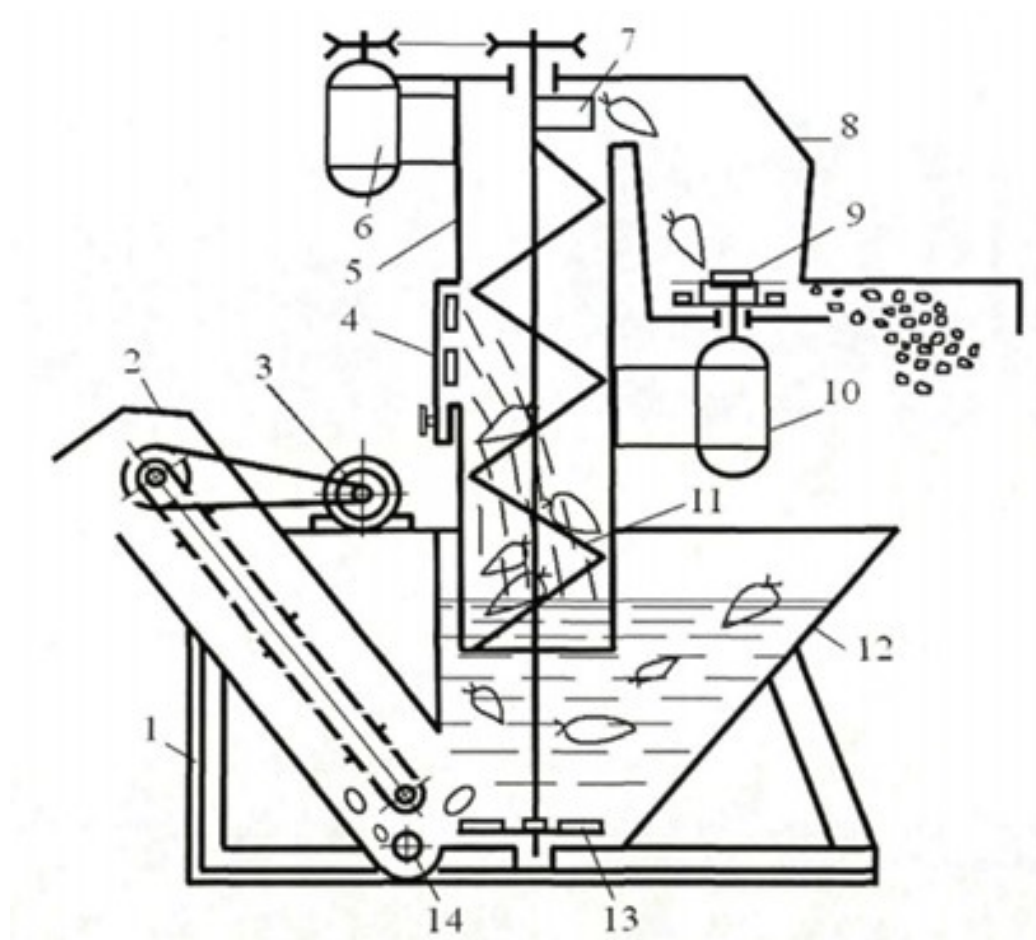


Рисунок 1.11 - Подрібнювач ІКМ-Ф-10: 1 - рама, 2 - транспортер, 3, 6, 10 - електродвигуни. 4 – колектор водопостачання; 5 - кожух; 7 - ежектор; 8 -

корпус подрібнювача; 9 - подрібнювач; 11 - шнек; 12 - бак; 13 – крильчатка; 14 - люк

Горизонтальний дисковий подрібнювач реалізований в ІКМ-Ф-10 [10] (рис. 1.11), що є вдосконаленим варіантом ІКМ-5. Призначений для миття коренеплодів та нарізки на частинки розміром до 10 мм (для свиней) та скибочками товщиною до 15 мм (для великої рогатої худоби).

Технічний процес машини здійснюється в такий спосіб. Коренеплоди надходять у бак 12, де вони змиваються від землі вихором води, створюваним крилячем 13, і звільняються від каміння, яке транспортером 2 видаляються назовні. Промите коріння надходить у шнек 11 і перед подачею в подрібнювач 9 вдруге промиваються від бруду зустрічним потоком води.

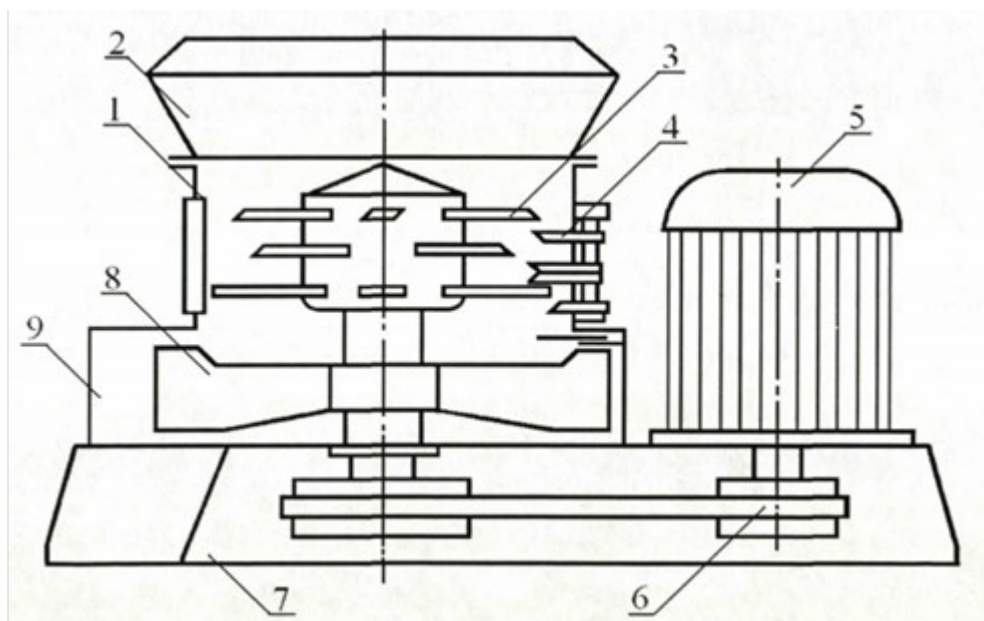


Рисунок 1.12 – Кормоподрібнювач-змішувач ІСК-3: 1 – робочий об’єм; 2 – приймальна камера; 3 - лопаті несучого гвинта; 4 - ніж; 5 – електродвигун; 6 - клинопасова передача; 7 – рама; 8 - швирилка; 9 – вивантажувальне вікно

Типовим подрібнювачем з роторним подрібнювачем є змішувач для подрібнення кормів ІСК-3 [26] (рис. 1.12). Подаються в приймальну камеру 2 коренеплоди під дією сили тяжіння, створюваної подрібнювачем 8,

потрапляють в робочу камеру 1. Під дією відцентрової сили коренеплоди подрібнюються робочою камерою 1, роторним ножем 3 і зустрічним ножем 4 та виводяться через отвір 9.

Роторні подрібнювачі відрізняються інтенсивним подрібненням кормів, простою конструкцією, але недоліками є підвищені енерговитрати, найгірша якість корму, що подрібнюється, і значне виділення клітинного соку через багаторазові удари.

1.4 Класифікація подрібнювачів коренеплодів

Подрібнювачі коренеплодів різних типів та конструкцій з різними техніко-економічними, експлуатаційними та якісними показниками використовуються у сучасному сільськогосподарському виробництві досить широко. При переробці одного й того ж виду корму подрібнювачі з різними конструктивними особливостями мають різну руйнівну дію на продукт, що надає вирішальний вплив на основні показники продуктивності подрібнювача.

Проведений раніше аналіз механізованих засобів подрібнення коренеплодів та плодів дозволив розробити їхню систематику (рис. 1.13). Це дозволяє оцінити сильні та слабкі сторони існуючих машин та визначити напрямок пошуку найбільш раціональної схеми подрібнювального обладнання. Це гарантує мінімальні енерговитрати подрібнення при заданій продуктивності та отриманні корму необхідної якості.

За призначенням подрібнювачі коренеплодів діляться на коренерізки, в яких різання здійснюється без виділення клітинного соку з подрібненого матеріалу. Коренеплоди подрібнюють барабанною теркою або стрічкою, але спостерігається незначне виділення клітинного соку. Машина для приготування пасти, яка подрібнює коренеплоди на пасту.

Багатоступінчастий подрібнювач можна використовувати для приготування кормів для великої рогатої худоби, свиней та птиці, оскільки він має широкий діапазон регулювань для подрібнення коренеплодів.

Подрібнювачі з одним лезом використовуються для подрібнення більшості коренеплодів худоби. Істотною перевагою перед багатоступінчастими подрібнювачами є значно нижча витрата енергії на подрібнення корму. Приготування комбікормів для різних тварин потребує подрібнення кормів певної якості. За вимогами зоотехніки товщина нарізки коренеплодів при годівлі великої рогатої худоби має бути 10-15 мм, телят та свиней 5-10 мм, птиці 3-4 мм.



Рисунок 1.13 – Класифікація подрібнювачів коренеплодів

Коренеплоди також можна перетворити на пасту у спеціальній пастамашині та згодувати свиням. Відповідно до викладеного подрібнені частинки класифікують як великі (розмір частинок не перевищує 10...15 мм), середні (5...10 мм), дрібні (3...4 мм), дрібні (менше) можна розділити на 3 мм).

Залежно від типу подрібнюваного матеріалу розрізняють універсальні подрібнювачі, що використовуються для подрібнення різних видів кормів, та спеціальні подрібнювачі, призначені для подрібнення певних видів кормів. За типом подрібнювального обладнання машини для подрібнення коренеплодів

діляться та об'єднуються в барабанні, шнекові, дискові, роторні, молоткові та конвеєрно-ножеві. Подрібнювачі з дисковим та барабанним ножами ударяють по сировині один раз. Це означає менше споживання енергії для різання. Барабанні мають більшу продуктивність у порівнянні з усіма іншими. Швидкість різання коренеплодів не може бути оптимізована, оскільки ножі в подрібнювачах дисків мають різну швидкість різання по радіусу диска при обертанні.

1.5 Висновки

Конструкції подрібнювачів коренеплодів, їх удосконаленню, робочим органам та оптимізації режимів роботи подрібнювачів присвячено велику кількість досліджень вчених та інженерів. Необхідність найдешевшої підготовки коренеплодів до годівлі створила велику кількість різних подрібнювачів та різних конструкцій робочих органів. Аналітичний огляд існуючих конструкцій подрібнювачів коренеплодів та його робочих органів виявив ряд недоліків. Рішення можливе на основі всебічного вивчення процесу подрібнення.

У зв'язку з викладеним розробка подрібнювачів коренеплодів з низькими енерговитратами на подрібнення, що гарантують необхідну якість продукту, що отримується при заданій продуктивності, є актуальним і важливим науково-технічним завданням.

Незважаючи на численні дослідження, присвячені вивченню процесу подрібнення у подрібнювачах коренеплодів різної конструкції, проблема подрібнення коренеплодів з низькими енерговитратами та досягненням якості подрібненого продукту, що відповідає вимогам технології тваринництва, залишається невирішеною.

У зв'язку з викладеною метою роботи є зниження енергоємності коренеплодів та підвищення якості продукції шляхом розробки подрібнювача

та демонстрації його оптимальних конструктивних параметрів і режимів роботи.

2 Теоретичні дослідження подрібнювача

2.1 Особливості конструкції подрібнювального обладнання

Робоча частина будь-якого ріжучого інструменту розуміється як матеріальне тіло і оформлене у вигляді лез (одного або кількох). Перетин опорної та робочої граней ножа називається ріжучою кромкою леза. Клин має одну ріжучу кромку, і розрізання продуктів відбувається в одній площині. Утворений опорною та робочою гранями кут α , отримав назву кута заточування леза.

Односторонній клин (рис. 2.2), він має робочу (похилий) та опорну (пряму) грані. Двосторонній клин, коли немає опорної грані, тому що обидві його грані є робочими. Кут, створений робочими гранями, є кутом заточування такого клина. Для двостороннього повністю симетричного клину кут дорівнює подвійному куту одностороннього клину. У перерізі ріжуча кромка може мати складну форму, кут заточування зазвичай приймається певного радіуса r і визначається дугою кола (зазвичай сотих частках міліметра) (рис. 2.1). Ширина кромки δ характеризує величину гостроти (затуплення) і приймається рівною $2r$ леза. Розглянемо ріжучу кромку одностороннього плоского клина, представленого на рис. 2.2. Лінія торцевої ріжучої кромки може бути як прямолінійної (ab) так і вигнутої. Кут, утворений із площиною матеріалу буде різним, і змінюватиметься від ступеня вигину кромки ножа.

Односторонній клин утворює кут α , кут загострення чи заточування. Прямий клин ножа, послідовно з'єднаний з двох односторонніх пластинчастих

ножів за допомогою зварювання. Сучасні типи пластинчастих ножів виготовляють зі стрічкової та смугової сталі, вони попередньо заточені та оброблені, ножі виготовляються методом холодної згинання, характеризуються наявністю зміцнювальних фасок у ріжучої кромки ab , такі фаски підвищують стійкість β (рис. 2.1).

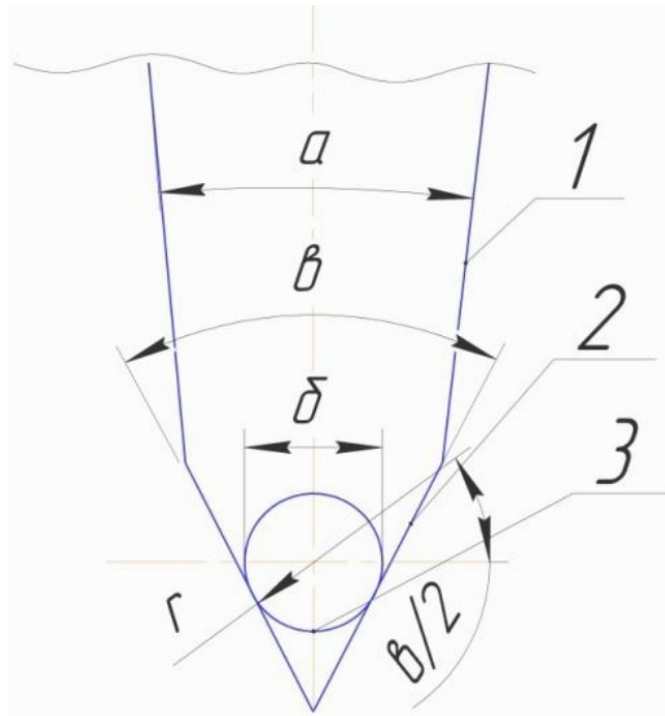


Рисунок 2.1 – Головні геометричні параметри леза ножа-клина

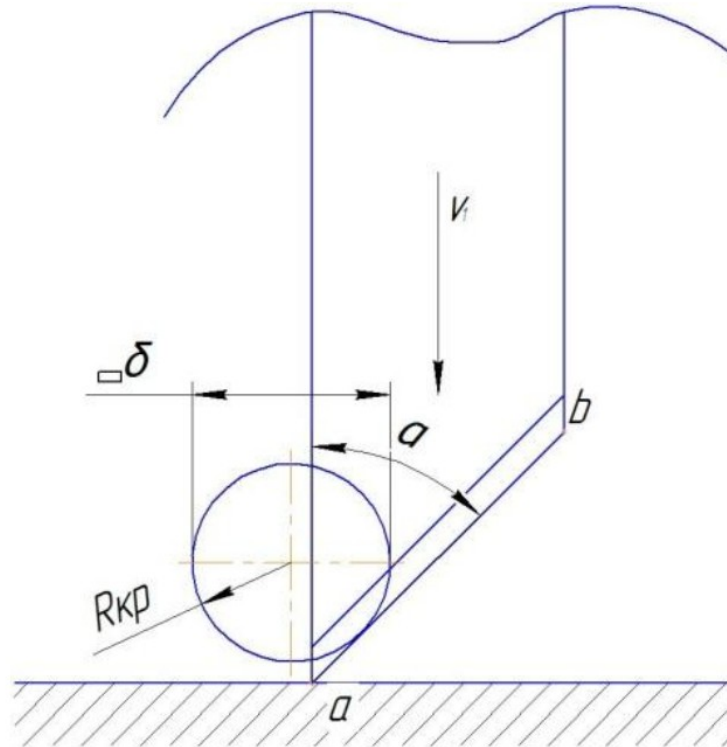


Рисунок 2.2 – Ріжуча кромка плоского ножа

Геометричні параметри леза (форма ріжучої кромки ножа та тип заточування) визначаються реологічними властивостями матеріалу. Виходячи з вищесказаного, розглянемо існуючі форми ріжучої кромки ножа рис. 2.3. Для повноцінного поняття цієї проблеми розглянемо різні лезові інструменти, а також різноманіття форм ріжучих кромки.

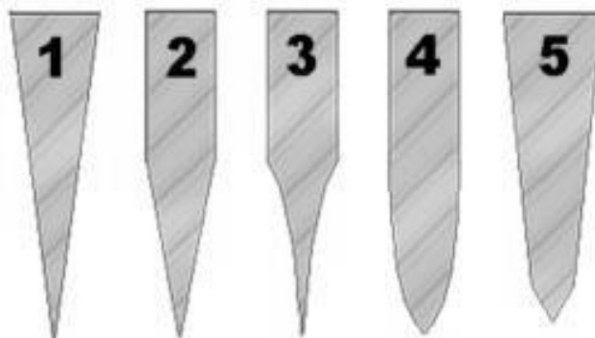


Рисунок 2.3 - Переріз плоского клина

Залежно від форми перерізу можна виділити такі основні типи:

1. Прямі грані від корпусу ножа (утворює гострий кут заточування). Ідеально пристосований для різання із-за малого кута ріжучої кромки та плоских спусків. Для нормального різання пристосований погано через тонкість ріжучої кромки.

2. Ніж з прямими гранями ріжучої кромки. Подібний до ножа першого типу, але кромку утворює більш тупий кут, це дає більшу міцність і зносостійкість, але зменшення якості зрізу.

3. Ніж з увігнутими гранями ріжучої кромки. Використовується, де необхідна гострота та тонкість різання, ідеально підходить для поділу сировини. Виготовлення граней спеціальним циліндричним інструментом.

4. Ніж з опуклими гранями ріжучої кромки. Ніж підходить при ударах, що рубають, і має особливу міцність з гіршими показниками питомого зусилля різання при розрізанні сировини.

5. Клин з прямими підведеннями до ріжучої кромки. Подібний до першого типу ножа і за рахунок утворення підводів ріжуча кромка утворюється тупішим кутом. У процесі дослідження обрано сукупність ріжучих органів лезових інструментів, зокрема форму ріжучої кромки, підібрано так, щоб мінімізувати втрати соку при проколюванні коренеплода та зменшити концентрацію напруг у різних точках ріжучої кромки.

Раціональна форма леза ножа визначається режимом різання та реологічними властивостями оброблюваного матеріалу. Макрогеометрія леза характеризується видом та кутом заточування. Розрізняють симетричне та несиметричне, одно- та двостороннє заточування. У ножах, що використовуються для ковзаючого різання, кут заточування коливається в діапазоні 10-35 °.

Макрогеометрія ріжучої кромки, в цілому, залежить від матеріалу, що розрізається, і його специфічних особливостей. На підставі проведених досліджень, основними показниками, що впливають на тонке подрібнення сировини, є товщина ріжучої кромки, висота робочої грані, вид та кут заточування. Багато в чому експлуатаційні властивості ножів визначаються ріжучою здатністю та зносостійкістю. Мікрогеометрія ножа формується на етапі заточування, визначається параметрами абразиву і режимами шліфування, а також твердістю обраного матеріалу.

Стійкість різальної кромки до зламу є однією з найважливіших характеристик ножів. При заданих режимах різання ця характеристика пов'язана з механікою різання і визначається, в основному параметрами робочого органу. Огляд літературних джерел показує, що при виборі конструктивних параметрів ножів ковзаючого та різання, що рубає, автори дотримуються емпіричних співвідношень.

Слід зазначити, що у низці робіт розрахункові схеми відповідають лише статичним умовам навантаження і за розрахунку стійкості ножів необґрунтовано спрощуються. Новим завданням для вдосконалення процесу різання сировини є створення точкового (квазиточечного) механічного інструменту, який при проектуванні на поверхню матеріалу, що розрізається, дає пляму малого перерізу, умовно - точку. Такий інструмент дозволяє зменшити кількість пружних деформацій поверхні матеріалу, а зворотно-поступальний рух ножа замінюється рухом з постійною швидкістю. Подібний інструмент дозволяє значною мірою поєднати переваги механічного інструменту та способів розрізання з використанням лазерних променів, водяних струменів та плазмового різання.

Фактично, подібні різальні інструменти не вимагають заточування тривалий час. Часто саме кількість заточок і визначає довговічність ножа та використовується як її показник. Виготовлення показаних ножів особливо

важливе для різання соковмісних матеріалів з великим опором різання в початковий момент. Еластичний інструмент невеликого перерізу при роботі схильний до вигину його робочої ділянки, що викликає похибку різання матеріалу.

2.2 Модель силової взаємодії матеріалу з різальним інструментом

Аналізуючи межу контакту лезового інструменту і матеріалу, що розрізається, під час розвитку науки про різання, наприклад, роботи І.А.Тиме і В.П.Горячкіна, можна сказати, що «вибір раціональних режимів різання та оптимальної геометрії ножів, враховує як характеристики різального апарату», і властивості оброблюваного матеріалу. Стійкістю та жорсткістю оцінюється здатність ножа чинити опір навантаженням у процесі роботи, жорсткість оцінюється прогином робочого органу в результаті дії бічної сили, а стійкість – це здатність оболонки зберігати вихідну форму під дією зусилля різання.

Під час вивчення досліджень низки авторів слід розрізняти як статичну, і динамічну стійкість. Великою критичною сили оцінюється статична стійкість, коли оболонка втрачає вихідну форму і випирає убік. Динамічна характеризується додатком сили у процесі різання «виникненням резонансних параметричних коливань ножа», у якому стійкість втрачається, і збереження прямого ходу стає неможливим.

Узагальнена схема різання лезом наведена рис. 2.6. Лезо, під дією сили впроваджується в матеріал, що розрізається, і здійснює його поділ своєю ріжучою кромкою або вершиною двогранного кута, утвореного гранями (фасками) леза. У зоні безпосереднього контакту ріжучої кромки з матеріалом утворюється нова поверхня, внаслідок тиску вершини леза на матеріал. Епюра напруги від реакції сили різання наведена рис. 2.3.

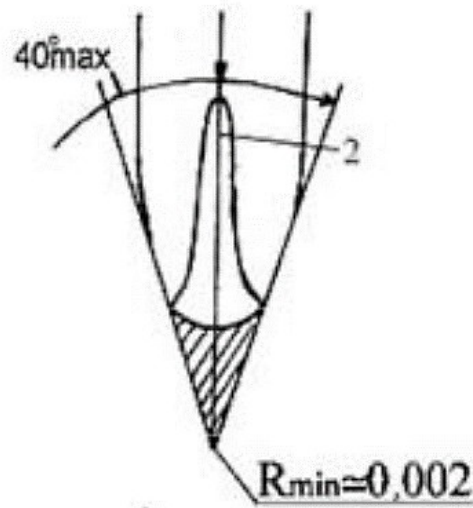
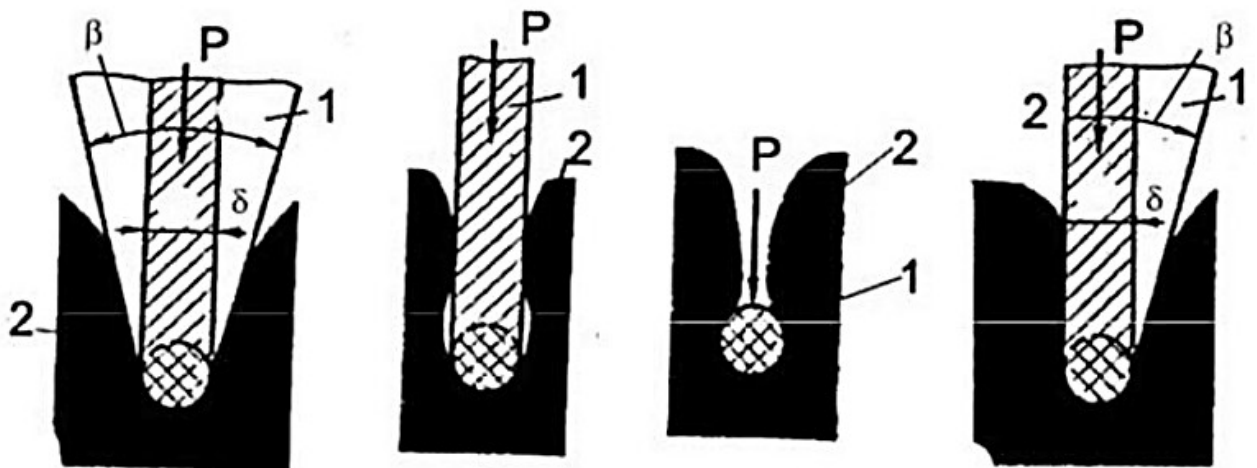


Рисунок 2.3 - Епюра напруги від реакції сили різання

Максимальне значення реакції 2 посідає край, а реакції, що утворюються з його гранях (фасках) значно менше (за величиною). Епюра реакцій визначає функцію сили у процесі різання від елементів різальної частини лезового інструменту. У процесі різання заштриховані зони рис. 2 добре підтверджують основну функцію елементів, і ілюструє їх особливості. Значення передніх і задніх кутів (фасок) другорядне для процесу різання лезом і вказується шляхом встановлення їх під кутом $\beta = 0$. Лезо набуде вигляду полотна, малюнок 2.4 б, з товщиною кромки δ , мм. Прямий пластинчастий ніж робить різання матеріалу 2 розтягуванням полотна 1 відповідною поздовжньою силою, і в деяких випадках успішніше, ніж просто лезо, на малюнку 2.4 а, що володіє фасками.

Процес різання та доцільність застосування фасок знаходяться у вузькій залежності від реологічних властивостей оброблюваного матеріалу. Для пружних матеріалів фаски сприймають він 70% прикладеної сили різання. Для таких матеріалів зусилля різання прямим пластинчастим ножом іноді до 20 % більше, ніж лезом з фасками. Фаски в даному випадку, посилюючи опір краю леза, розтягують волокнисту структуру матеріалу, що зменшує тиск на край.



Малюнок 2.4 - Різні види леза: а – лезо з двома гранями; б -пряме лезо; в -лезо-точка; г – одностороннє лезо; 1 – ніж; 2 – матеріал; Р – сила різання; β – кут загострення; δ – товщина леза

Впровадження леза, проекції в точку, малюнок 2.4 в, що представляє собою натягнутий дріт або струну діаметром δ , в такий же матеріал сильно утруднено впливом, що віджимає матеріалу, який пружно відновлює свій об'єм в розрізі. Значно збільшується зусилля, необхідне для різання і дротяний поділ матеріалу стає працездатним, оскільки він, розтягуючись, втрачає прямолінійність. У практиці прикладом застосування дротяного леза може служити різання масла, мила та інших подібних матеріалів. Фаски леза, таким чином, мають істотне значення для різання пружних матеріалів, вплив фасок збільшується або знижується в залежності від реологічних властивостей матеріалу. На основі відомих концепцій та визначень геометрії найпростішого інструменту, наприклад, поворотного інструменту з різальним клином у перерізі, вивчають конструктивні особливості складніших інструментів.

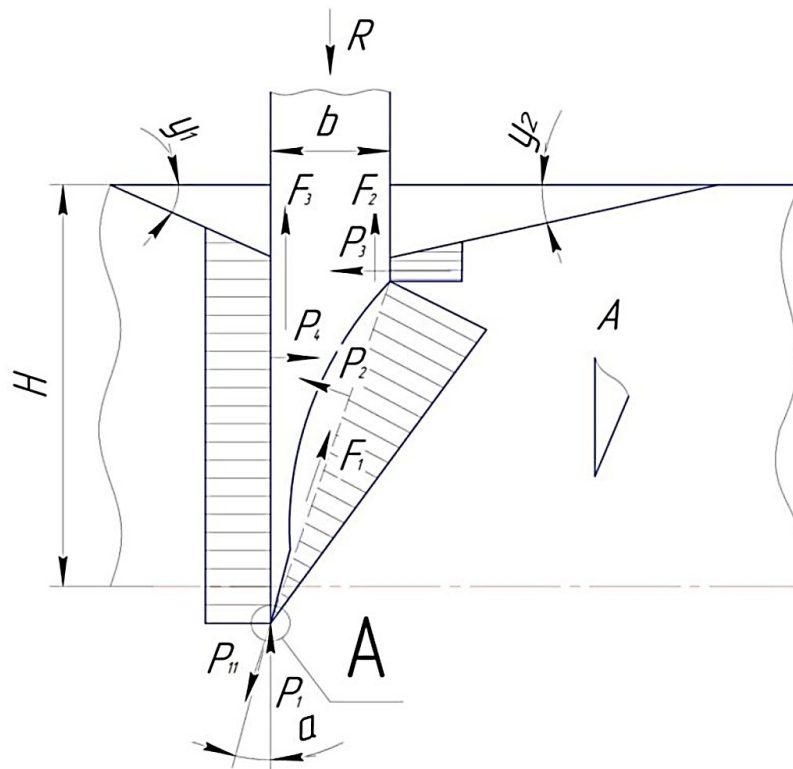


Рисунок 2.5 – Схема впливу сил з боку матеріалу на лезовий інструмент

Характерною особливістю різання подібного виду сировини є залежність параметрів робочого інструменту від деформацій, що виникають у матеріалі, і, як наслідок, самого процесу подрібнення від швидкості різання. Швидкість кромки леза характеризує напрямок різання у цій точці. Специфічною властивістю в'язких матеріалів є швидкість поширення у них напружень і деформацій. Ущільнення матеріалу має істотне значення (наприклад, попереднє вичавлювання соку продукту), і особливо актуально при різанні волокнистих матеріалів. Умовно різання можна розділити на повільне (при швидкості $0,1 \dots 0,3$ м/с) і швидке (понад $0,3$ м/с).

У загальному випадку на низьких швидкостях процес різання включає два характерні періоди (зони) взаємодії між лезом і матеріалом - попереднє стиснення матеріалу і його негайне руйнування. При динамічному різанні утворюються додаткові чинники: значно зменшується кут різання, зміна

ріжучої кромки (наприклад, при ковзанні різанні), збільшення опору прошарками матеріалу, зниження сили тертя, збільшення різниці між деформацією в матеріалі та швидкістю застосування навантаження. У результаті відбувається концентрація напруги під ріжучою кромкою, зменшення ступеня попереднього стиснення матеріалу і обсяг матеріалу, що деформується, зменшується.

Під час динамічного різання руйнівна напруга досягає швидше порівняно з квазістатичним. Слід враховувати, що при динамічному різанні вплив сили різання на сировину силовий вплив леза на матеріал, за певних умов, може бути квазіударного характеру. Зі співвідношенням швидкості деформації в шарі складно-структурного матеріалу пов'язані сила і робота і ступінь попереднього стиснення, а також прийнята швидкість різання. Цим визначається характер взаємодії та акуратність зрізу матеріалу. З підвищенням швидкості характерним є зменшення зусилля різання і роботи різання. Зменшення початкового стиснення шару матеріалу є також істотним фактором, він передує процесу руйнування та подальшому поділу матеріалу.

Так при динамічному подрібненні швидше досягається критичне зусилля різання і руйнування матеріалу відбувається раніше. У матеріалі мало, як і швидкість поширення деформації, через що при високошвидкісному різанні напруги виявляються локалізованими під кромкою, в результаті чого руйнування матеріалу вимагає мінімальних витрат енергії. Слід розглядати залежність зусилля швидкості різання як зміну властивостей матеріалу від швидкості впливу. Зниження зусилля та роботи руйнування відбувається в результаті дії наступних факторів: концентрації напружень під кромкою леза, а також зниження коефіцієнта тертя та ін.

Для прикладу розглянемо картину деформації для нормального різання коренеплоду. На рис. 2.5. показано схему сил, що впливають на ніж з боку матеріалу.

Розглянемо сили, що діють на ніж з боку суцільного поздовжнього перерізу:

Якась сила, з якою лезовий інструмент впливає на коренеплід, розглядається у вигляді її складових і, по осях і відповідно. Спроекуємо значення сил на вісь у:

$$P_{кр} = P_y = P_1 + N_1 \sin \alpha_1 + F_1 \cos \alpha_1 + N_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1) + F_1 \cos(\alpha_2 - \alpha_1) + N_3 \sin \alpha_3 + F_3 \cos \alpha_3 + F_4 + F_5 \quad (2.1)$$

Спроекуємо значення сил на вісь х:

$$P_x = N_5 + N_1 \cos \alpha_1 - F_1 \sin \alpha_1 + N_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1) + F_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1) - N_3 \cos \alpha_3 + F_3 \sin \alpha_3 - N_4 \quad (2.2)$$

де P_1 – сила руйнування поверхні матеріалу, прикладена до крайки леза, Н;

N – нормальна сила в напрямку швидкості різання, Н;

F – дотична сила в напрямку різання, Н.

$$\sigma_p = S_{\sigma p} \times \sqrt{2}(\sum_1^6 R_i - 3)) + \sigma_{p,ср} \quad (2.3)$$

Припустимо, що максимальною контактною напругою є межа міцності матеріалу, що розрізається на зріз $\sigma_{зр}$, Па:

$$\sigma_{зр} = \frac{\sigma_{p,с} + \sigma_{p,р}}{2} \quad (2.4)$$

Площа крайки леза:

$$F_{kp} = \delta_1 l \quad (2.5)$$

де δ_1 – ширина крайки леза, м;

l – довжина контакту крайки леза з матеріалом, м.

$$l = 2\sqrt{H(2r - H)} \quad (2.6)$$

H – величина врізання ножа, м;

r – радіус коренеплода, м.

При різанні, як процесу стиснення в робот запропоновано наступне рівняння для підрахунку сили різання:

$$P = \frac{\sigma_0 S R K_j^m}{(K_l - 1)^{(m-1)}} \cdot 1 - \frac{1}{\frac{t(K_l - 1)^{(m-1)}}{R+1}} \quad (2.7)$$

де σ_0 – умовна межа текучості, МПа;

S – швидкість ножа, м/с;

K_1 – коефіцієнт повздовжної усадки матеріалу;

R – радіус коренеплода, м;

t – глибина різання, м;

m – політропа стиску.

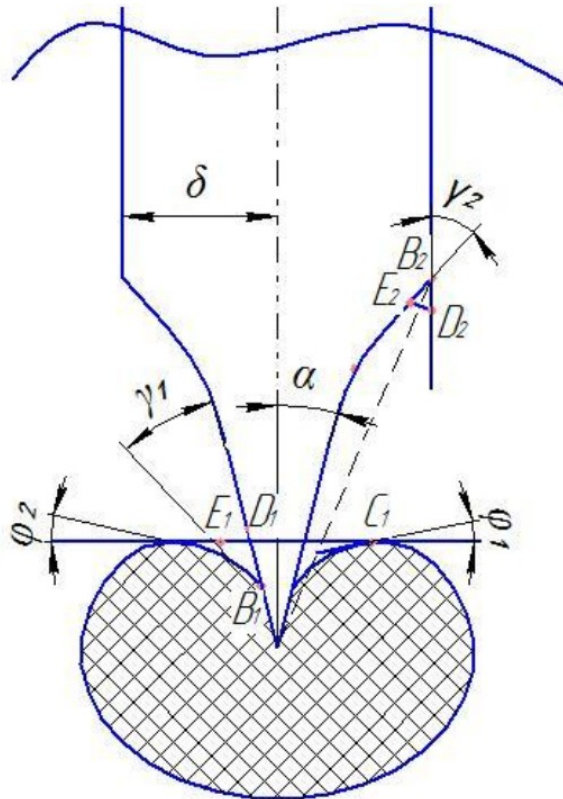


Рисунок 2.6 – Деформація матеріалу під дією леза ножа

Напруги τ визначаються згідно з моделлю узагальненого лінійного тіла з рівняння:

$$\tau + \mu \frac{\dot{\tau}}{(G_1 + G_2)} = \frac{G_1 G_2}{(G_1 + G_2)} \epsilon + \mu \frac{\dot{\epsilon}}{(G_1 + G_2)} \quad (2.8)$$

де $\dot{\tau}$ – швидкість зміни дотичних напружень, Па/с;

μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, Па · с

Виходячи зі сказаного, при квазістатичному різанні проглядаються дві зони контакту: зона стиснення ножем шару матеріалу (деформація) (зона А) та зона розрізання (руйнування) матеріалу (зона Б) (рис. 2.7). У цьому випадку деформація стиску поширюється на всю товщину матеріалу.

l – довжина контакту крайки леза з матеріалом;

E – модуль деформації;

$h_{ст}$ – величина деформації матеріалу;

h – початкова висота матеріалу;

f – коефіцієнт тертя.

Вираз (2.9) цілком універсальний за своєю структурою, він встановлює зв'язок найбільш важливих параметрів Процес різання, з розширеними можливостями формула визначає залежності в основному в квазістатичній взаємодії робочого інструменту з матеріалом. Тому при ковзанні різанні кут робочої кромки леза (кут різання) зменшується і трансформує ширину кромки ножа, що еквівалентно різання гострим ножом.

Контактна руйнівна напруга (σ_p) визначається або експериментально, або за довідковою літературою. У загальному випадку σ_p слід вважати змінною величиною для процесів різання пластинчастим ножом. Враховуючи, що ріжуча здатність леза обумовлена його гостротою δ , для визначення σ_p запропонована формула:

$$\sigma_p = k\delta^m \quad (2.10)$$

де δ – еталонна величина гостроти.

Умовний модуль деформації E визначається експериментально, він є коефіцієнтом пропорційності між відносною деформацією та напругою.

Більш наочно може бути показано взаємодію ножа з сировиною, використовуючи діаграму зміни сил, що відповідають зануренню ножа в матеріал (рис. 2.8).

На ділянці БВ, коли клин леза розрізає матеріал, зусилля Р і загальна деформація матеріалу зростають, а швидкість деформації стиснення під вістрям леза зменшується і становить приблизно 0,25-0,30 товщини матеріалу. Шар, розташований під кромкою леза, починає ущільнюватись і переміщатися за бічними похилими краями леза.

Подальшому зануренню клину в матеріал супроводжує його місцеве підняття, що свідчить про невелику величину зони локалізації об'ємної деформації та порівняно малу швидкість поширення деформації в матеріалі.

На ділянці ВГ діаграми зростання зусилля Р інтенсивно збільшується, досягаючи максимуму у точці Р (критичного значення). Відносна деформація стиснення у своїй мінімальна (0,2-0,25 його товщини), відповідно загальна деформація стиску становить 0,75—0,85 товщини. На цій ділянці об'ємна деформація зростає незначно. У матеріалі спостерігається інтенсивне ущільнення структури. Це триває доти, поки шкірка коренеплоду не починає руйнуватися. Стан напруженості досягає свого граничного значення, і лезо розрізає матеріал. Шари матеріалу починають проштовхуватись і переміщатися убік, ущільнюючись до моменту розриву нижнього шару матеріалу. Процес руйнування матеріалу відбувається послідовно.

При подальшому зануренні леза в перерізі ГД відзначається падіння сили. На даній ділянці процес розрізання неоднорідного коренеплоду значно відрізняється від однорідного різання матеріалу.

У перерізі ДЕ зусилля зростає. Однак сила в точці Е буде трохи меншою від сили в точці F. На даній ділянці відбувається кінцевий поділ шкірки коренеплода. Повним поділом шарів характеризує ділянку ЄЖ (закінчення процесу розрізання).

Завжди існує попереднє стиснення матеріалу при розрізанні лезом, коефіцієнт менше одиниці. Зростання коефіцієнта λ показує вдосконалення

процесу розрізання, оскільки сума робіт A , що витрачаються в процесі початкового стиснення та різання, зі збільшенням λ зменшується.

Напрямок, що розвивається, вважається параметричне моделювання сили різання від величини занурення леза в матеріал, за допомогою сучасних графічних програм. Описуваний метод реалізований у програмі Solid Works, за допомогою діаграм розподілу зусиль у ножі та матеріалі (рис. 2.9).

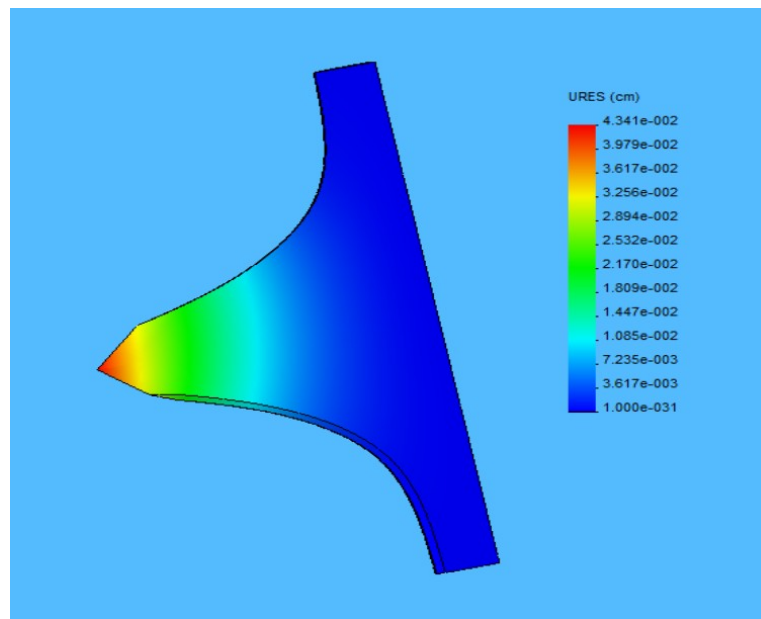


Рисунок 2.9 - Картина, що відображає розподіл та розповсюдження напруг під кромкою в лезовому інструменті при взаємодії з матеріалом

Аналіз діаграми демонструє силову взаємодію леза робочого елемента з сировиною, подальший поділ матеріалу до наявності під ріжучою кромкою контактної напруги (σ_p). Значенням критичного зусилля $P_{кр}$ визначається момент виникнення руйнівної напруги, прикладеного до ножа і долає сили опору, що мають різне походження та проявляються в матеріалі. Найбільш важливим об'єктом досліджень є умова, за якої сила різання досягає величини, її прийнято називати критичним зусиллям різання.

Для практичних розрахунків розглянемо узагальнений профіль леза клину. На рис. 2.10 показана прийнята з цією метою розрахункова схема стосовно зазначеного профілю. Спільна сила P , що впливає на ніж, показується її складовими P_y і P_x , по осях.

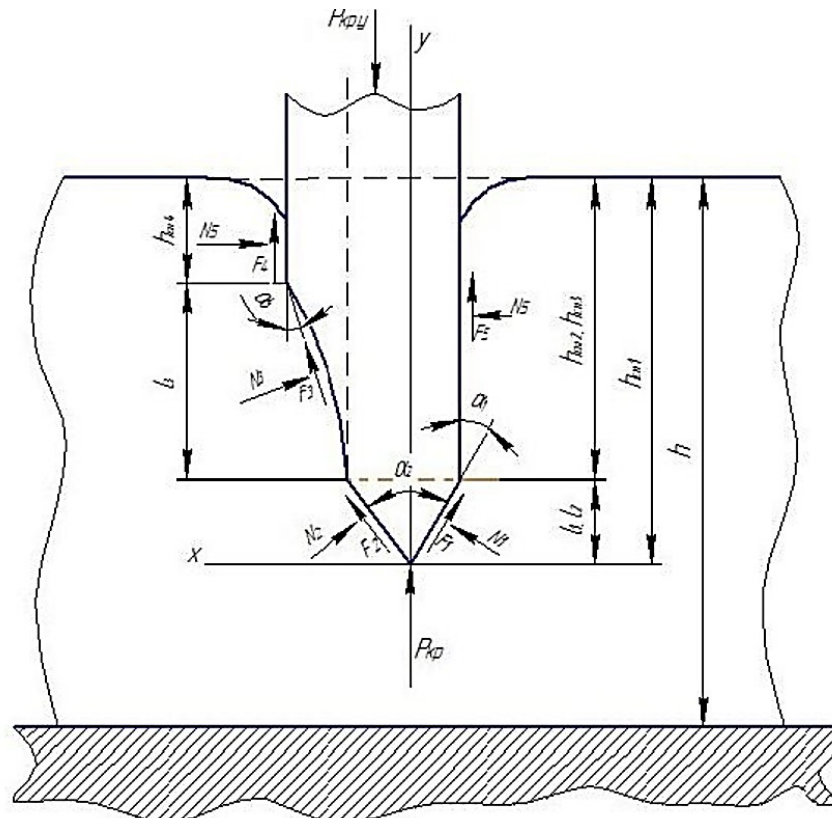


Рисунок 2.10 - Силова взаємодія леза ножа з матеріалом

Загальна сила, що діє на лезо:

$$P = \sqrt{P_y^2 + P_x^2} \quad (2.10)$$

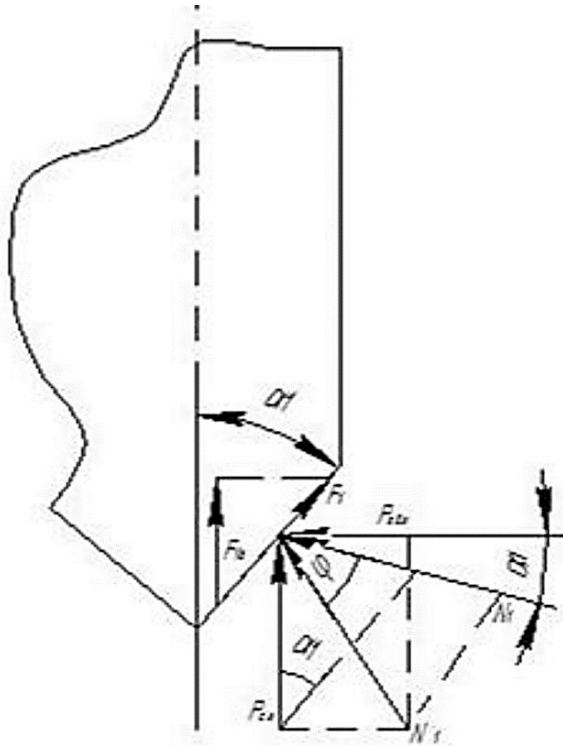


Рисунок 2.11 – Сили, що діють на площину притуплення ножа

$$N_1 = f(P_{\text{ст}} \sin \alpha_1 + P_{\text{об}} \cos \alpha_1) \quad (2.11)$$

$$F_1 = N_1 f \quad (2.12)$$

де f – коефіцієнт тертя.

$$F_1 = f(P_{\text{ст}} \sin \alpha_1 + P_{\text{об}} \cos \alpha_1) \quad (2.13)$$

$$f = \operatorname{tg} \varphi \quad (2.14)$$

де φ – кут тертя.

$$N_1 = N_1 \cos \varphi = \sqrt{P_{\text{ст}}^2 + P_{\text{об}}^2} \cos \alpha_1 = f(P_{\text{ст}} \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 + P_{\text{об}} \cos^2 \alpha_1) = f\left(P_{\text{ст}} \frac{1}{2} \sin 2\alpha_1 + P_{\text{об}} \cos^2 \alpha_1\right) \quad (2.15)$$

У практичних розрахунках ряду матеріалів ми можемо взяти $n=1$. Елементарна сила стиску, що діє зі сторони стовпчика площею dF довжиною dx , (рис. 2.12) буде рівна:

$$dP_{\text{ст}} = E \varepsilon_{\text{ст}} dh_{\text{ст}} \operatorname{tg} \alpha_1 \quad (2.16)$$

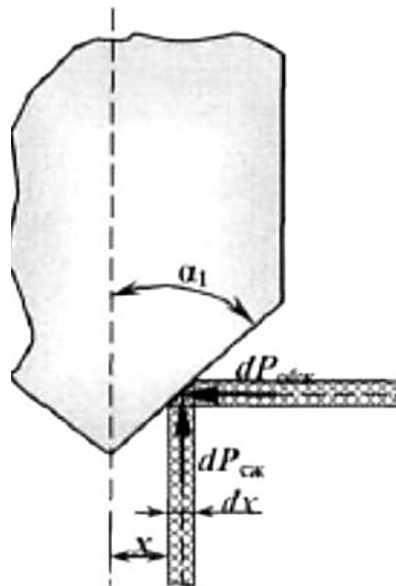


Рисунок 2.12 - Елементарна сила стиску матеріалу лезом

Для ножів, з різною геометрією, які впливають із узагальненої залежно, можливі такі особливі випадки:

1. Система, що діє на клинок у вигляді одностороннього клину (рис. 2.13):

$$P_{\text{кр}} = P_k + A_y + B_y + F_5 + F_6 \quad (2.17)$$

$$F_6 = \mu \frac{F}{2} \times \frac{h_{\text{СЖ.1}}^2}{h} \times f \quad (2.18)$$

$$N_6 = \frac{F}{2} \times \frac{h_{\text{СЖ.1}}^2}{h} \times f \quad (2.19)$$

$$P_x = A_x + B_x + N_5 + N_6 \quad (2.20)$$

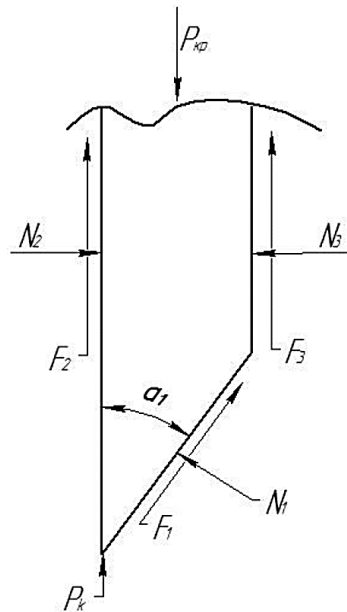


Рисунок 2.11 – Схема сил для леза у вигляді одностороннього клина

2. Система сил, що впливають на ніж у вигляді двостороннього симетричного клину (рисунок 2.12):

$$P_{\text{кр}} = P_k + 2A_y + 2B_y + 2F_5 \quad (2.21)$$

$$P_x = 2A_x + 2B_x + 2F_5 \quad (2.22)$$

2.3 Оптимізація форми різальної кромки

Використання тонкого пластинчастого ножа для різання сировини з точки зору зниження енергоємності процесу розрізання і автоматизації роботи різального обладнання, важливий підбір раціональної форми. В апараті для різання на частини сировини, як робочий інструмент запропонований пластинчастий ніж з формою у вигляді двостороннього клину і торцевою частиною із загостреним двостороннім заточенням (рис. 2.12).

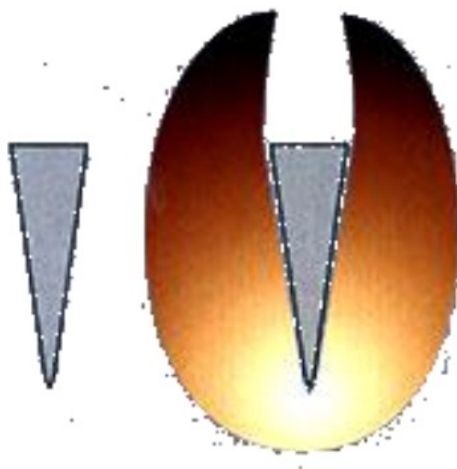


Рисунок 2.12 – Схема руху прямого клина в матеріалі

Матеріал розташовується на жорсткій основі 1, в яку входить торець ножа 2. Передбачається, що для зменшення питомого зусилля різання і, як наслідок зменшення енергоємності процесу різання сировини, необхідно оптимізувати форму прямого ножа-клина з одностороннім заточенням. Повний спуск утворює практично «чистий» клин. Він і функціонує акуратно, розділяючи матеріал, що розсікається, з незмінним, не залежним від глибини розрізу зусиллям.

В принципі, сила, необхідна для відділення матеріалу, що розрізається, зростає тільки доти, поки ніж повністю не зануриться в нього (за рахунок збільшення поверхні тертя між краєм ножа). Коли вся ширина леза вже

занурена в матеріал, і вся бічна поверхня вже стикалася з матеріалом, опір різі більше не збільшується і залишається незмінним незалежно від глибини різі. Більш того, для цього матеріалу при відповідній ширині ножа воно буде мінімальним, кут його ріжучої кромки можна вивести порівняно гострий. Плоскі бічні грані клина врівноважують його рух у матеріалі, що розрізається, і допомагають утримувати заданий напрямок в точній площині різі. Увігнутий спуск (рис. 3.3), завдяки бічним паралельним поверхням клин показує найменший опір при різанні, за рахунок найменшої поверхні тертя між кромкою ножа і матеріалом, що розрізається.

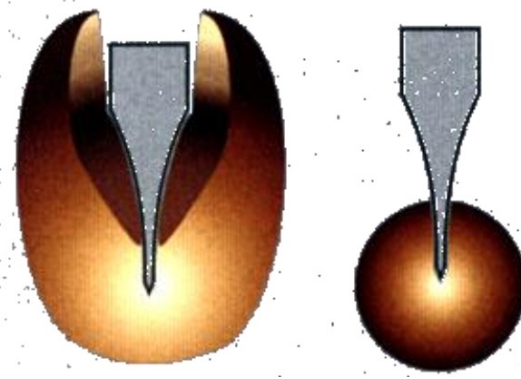


Рисунок 2.13 – Схема руху клина з увігнутим спуском у матеріалі

Максимальний стиск матеріалу відповідає максимальній силі застосування, тому визначити величину сили різання на кромці:

$$P_{кр} = \gamma P_{різ} \quad (2.23)$$

де γ - загальне зусилля на ріжучій крайці ножа.

Для визначення раціональної форми лезового інструменту розглянемо розв'язання задачі за допомогою методу кінцевих елементів (МКЕ).

Застосування МКЕ до розрахунку деформації коренеплоду, як сферичної оболонки рис. 2.14, пов'язане зі значними труднощами, зумовленими непостійною кривизною оболонки.

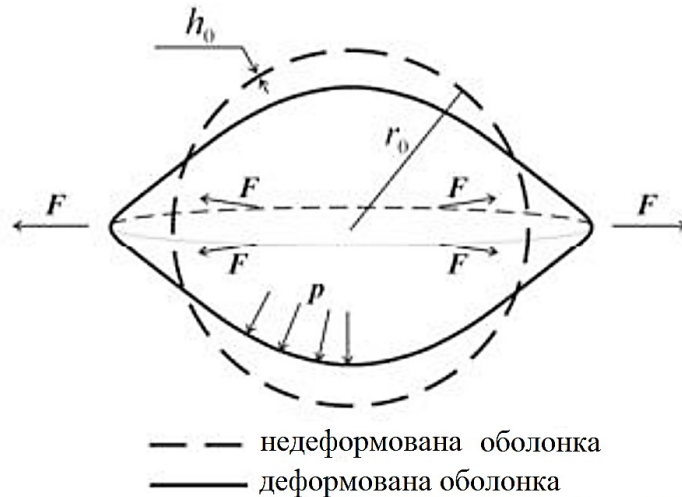


Рисунок 2.14 – Модель оболонки від x інтервалі ab .

Подаємо вихідну функцію $y=y(x)$ у вигляді ламаної 1-2-3-4-5-6 (рис. 2.15).

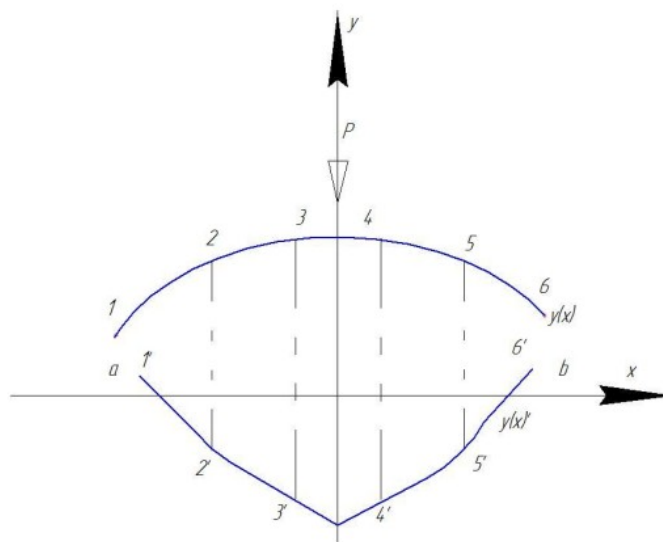


Рисунок 2.15 – Функція у виді набору точок

Для розрахунку пружного вигину деякого елемента леза ножа з, імовірно

з спочатку прямою формою, один кінець якого жорстко закріплений, а другий зігнутий вниз, внаслідок дії деякої сили (показано рис. 2.16). Таким елементом може бути представлена деформація маси коренплоду під впливом лезового інструменту.

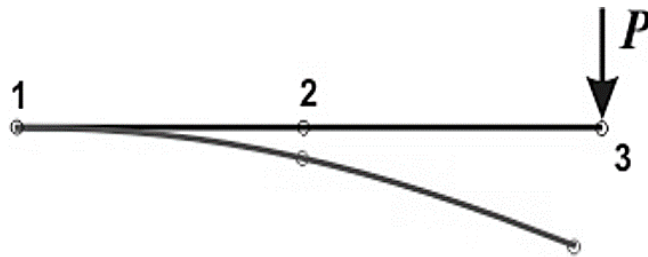


Рисунок 2.16 – Балка у вигляді двох кінцевих елементів

На рис. 2.17 балка вже розбита у вигляді двох кінцевих елементів, перший кінцевий елемент має вузли 1 та 2, а другий елемент – 2 – 3. Спільним для сусідніх кінцевих елементів є 2 вузол. Розглянемо властивості кінцевого елемента у загальному вигляді з вузлами i та j рис. 2.17.

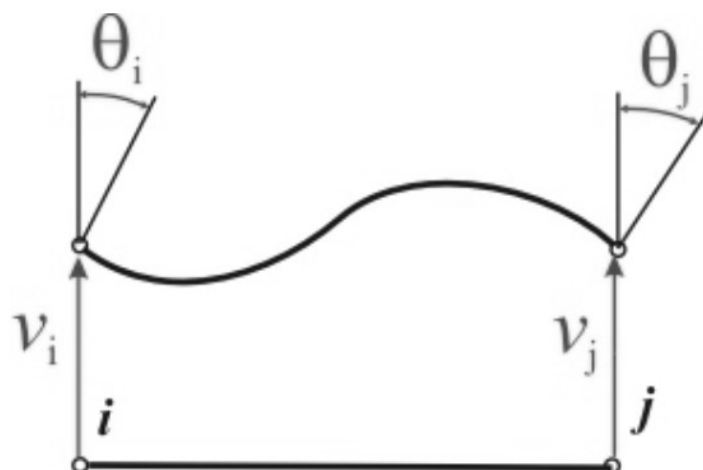


Рисунок 2.17 – Балка у вигляді двох кінцевих елементів

Кінцевим елементом є така частина конструкції, переміщення будь-якої

точки якої можна виразити через пересування вузлів без істотної втрати точності розв'язання. Кожна точка кінцевого елемента системи з вузлами i_j при вигині має два ступені свободи.

Можливість виключення концентрацій напруги у різних точках ріжучої кромки, може бути забезпечена однаковими похідними в точці різання для пружної лінії поверхні коренеплоду.

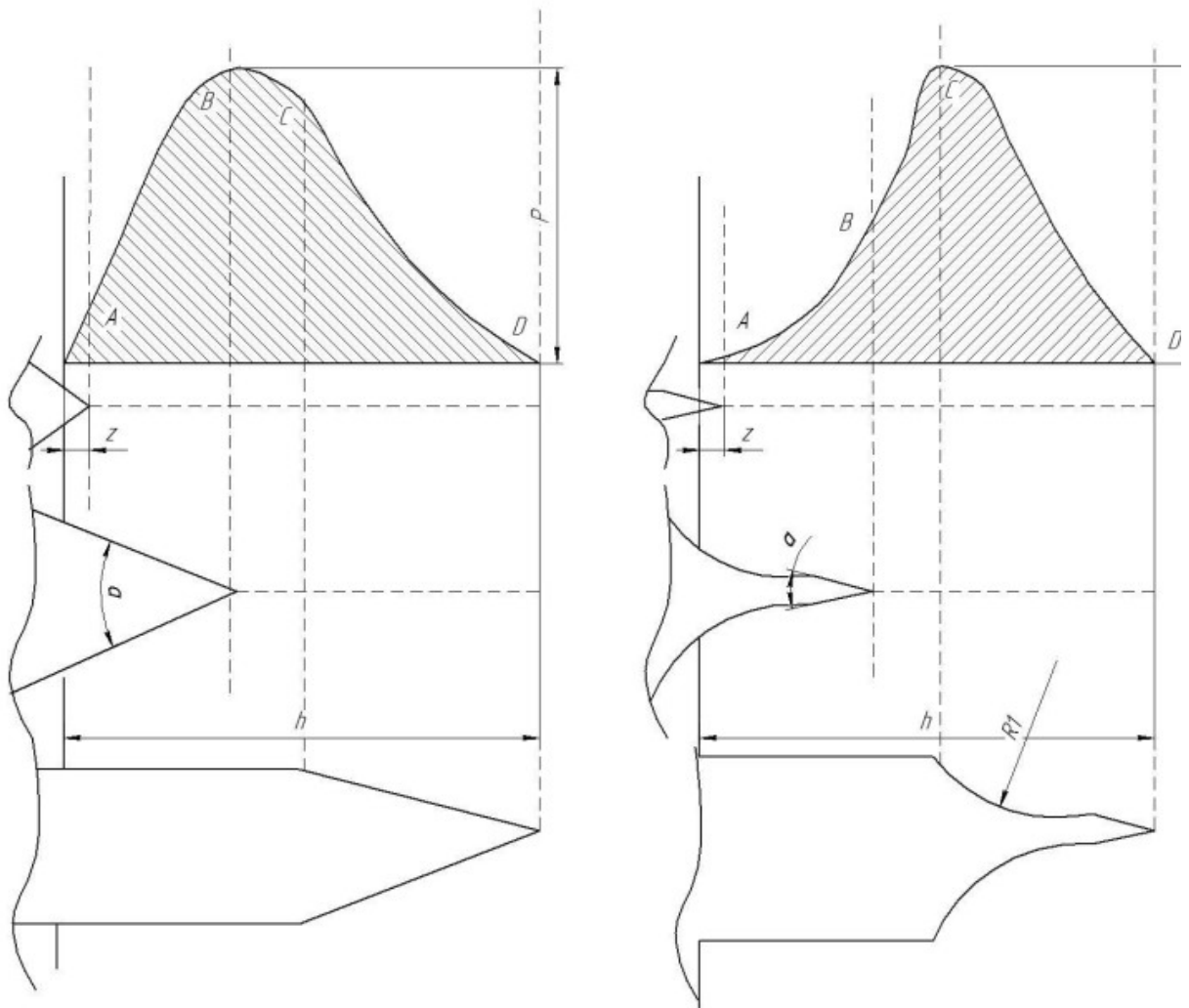


Рисунок 2.18 – Діаграма залежності зусилля різання сировини від форми лезового інструменту: а) прямим клином; б) оптимізованою формою лезового інструменту

При різанні матеріалу коефіцієнт λ менше одиниці через попереднього

стиснення сировини лезом. Плавне підвищення коефіцієнта на рис. 2.18 показує вдосконалення процесу різання, оскільки зменшується повна робота A , необхідна процесу різання. Як видно з діаграми на малюнку 2.18, у випадку з прямим клином відбувається різке збільшення зусилля різання пропорційно наростанню площі ножа. на малюнку 2.18, б відбувається плавне зростання зусилля різання і досягає свого максимуму в точці, фактичні ж напруги встановити важко і справжню площу контакту важко визначити.

2.4 Висновки

1. При стисканні матеріалу лезом робочого органу при невеликій швидкості подачі, деформація в матеріалі поширюється з тією ж швидкістю, рівномірно. При високошвидкісному стисканні матеріалу, не рівномірно розподілу деформацій, вони локалізуються поблизу ріжучої кромки.

2. В пружному стані матеріалу швидкість поширення деформації дорівнює поширенню швидкості звуку. Якщо сила, що діє миттєво та короткочасно, то у матеріалі з пружнопластичними властивостями область поширення деформацій буде обмеженою.

Швидкість поширення імпульсу більшості продуктів порядку $5 \cdot 10^3$. Наближення швидкостей різання до швидкостей поширення деформації дозволить змінити кількість деформацій і, відповідно, зменшення роботи, як наслідок, призведе до підвищення виходу продукту.

3 Лабораторні дослідження процесу

3.1 Програма та методика

Для оптимізації конструктивних параметрів подрібнювача коренеплодів та підтвердження теоретичних передумов та висновків дослідження було використано таку програму.

- розробка та виробництво експериментальної установки для проведення досліджень.

- визначення та уточнення механічних та фізичних властивостей буряків. Такі характеристики, як кут нахилу кромки ножа по відношенню до напрямку діючої сили та швидкості різання, конкретні операції різання залежно від густини, вологості, габаритів та маси;

- визначення кількості експериментів та вибір технічних засобів вимірювання;

- дослідження залежності питомих енерговитрат від швидкості різання коренеплодів та форми леза ножа.

Мета лабораторних досліджень – визначення оптимальних конструктивних параметрів подрібнювача коренеплодів. До них відносяться швидкість різання коренеплодів, кут установки, тип ножа і таке інше. Це дозволяє подрібнювати коренеплоди з мінімальними енерговитратами, якістю, встановленим вимогами до тваринницької техніки.

Дослідження процесу різання проводилося з використанням експериментальної установки, що включає: копер 4 з вертикальними напрямними 3, якими під дією сили тяжіння переміщається затискач 2 з пристосуваннями для фіксації проб сокових кормів. Експериментальний ніж 4 прикріплений до тензометричної балки 5. За рахунок зміни висоти розташування повзуна 1, що фіксує рухому платформу 2 на початку експерименту, змінюється кінцева швидкість ножа 5 в момент взаємодії зі зразком швидкість різання. Для визначення швидкості вимірюємо час проходження платформи напрямної. Ножі приєднані до тензометричної ланки, щоб можна було фіксувати зусилля зі зрізування коренеплодів.

Конструкція копра дозволяє змінювати швидкість різання в межах 1-3 м/с завдяки зміні початкової висоти платформи. Товщина стружки, зрізаної при переміщенні зразків коренеплодів у пристосуванні, в межах 2-15 мм. Обертанням ножа навколо осі кріплення можна регулювати кут різання від 0 до 30°.

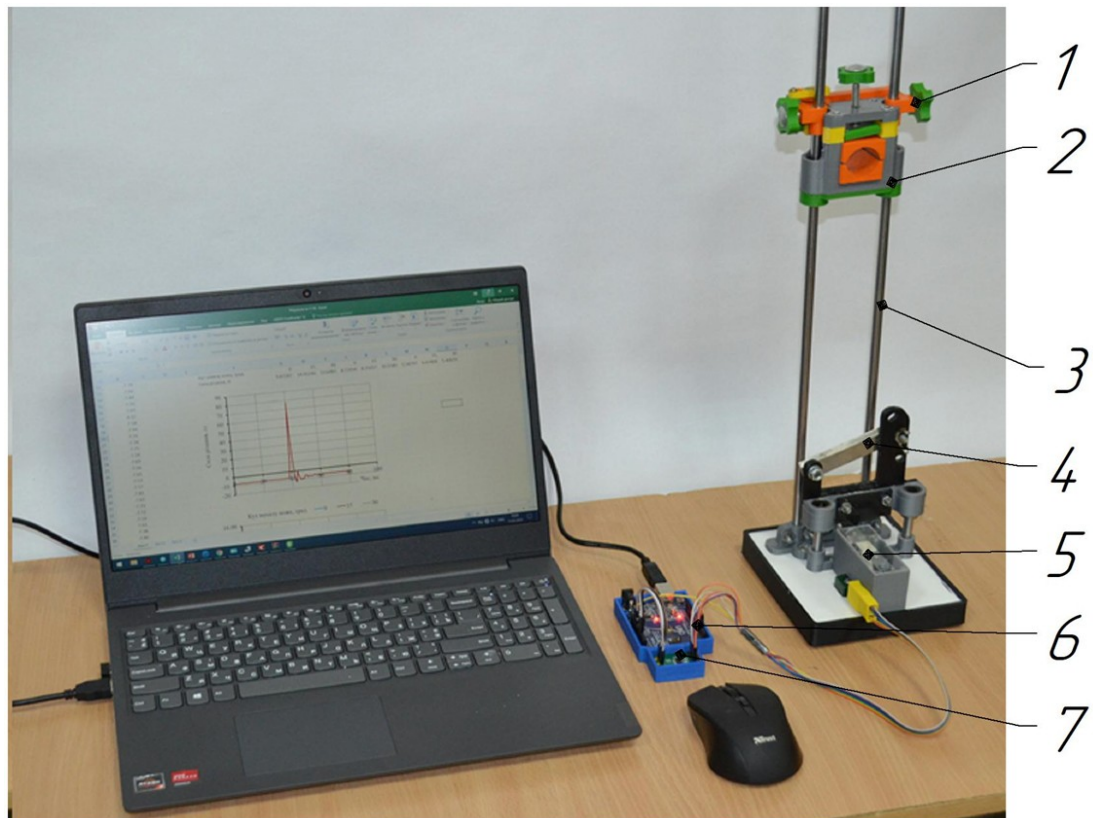


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментальної установки: 1 - повзунок, 2 - рухома платформа, 3 - напрямна, 4 - ніж, 5 - тензодатчик, 6 - датчик ваги NH711

Робота копра здійснюється в такий спосіб. До тензометричної ланки кріпиться ніж з необхідними параметрами та положенням, що відповідає схемі експерименту. Від одного або двох коренів вирізають зразок діаметром 32 мм без видимих дефектів будови і поміщають його в пристрій на платформі з положенням, що забезпечує зрізання необхідної товщини стружки. Потім платформу із зразком коренеплоду піднімають нагору напрямної та

закріплюють на повзуні. Повзунок розміщений на висоті, що забезпечує різання з необхідною швидкістю. Потім платформа звільняється та опускається під дією сили тяжіння. При цьому на ПК фіксуються сила різання та час спуску платформи.

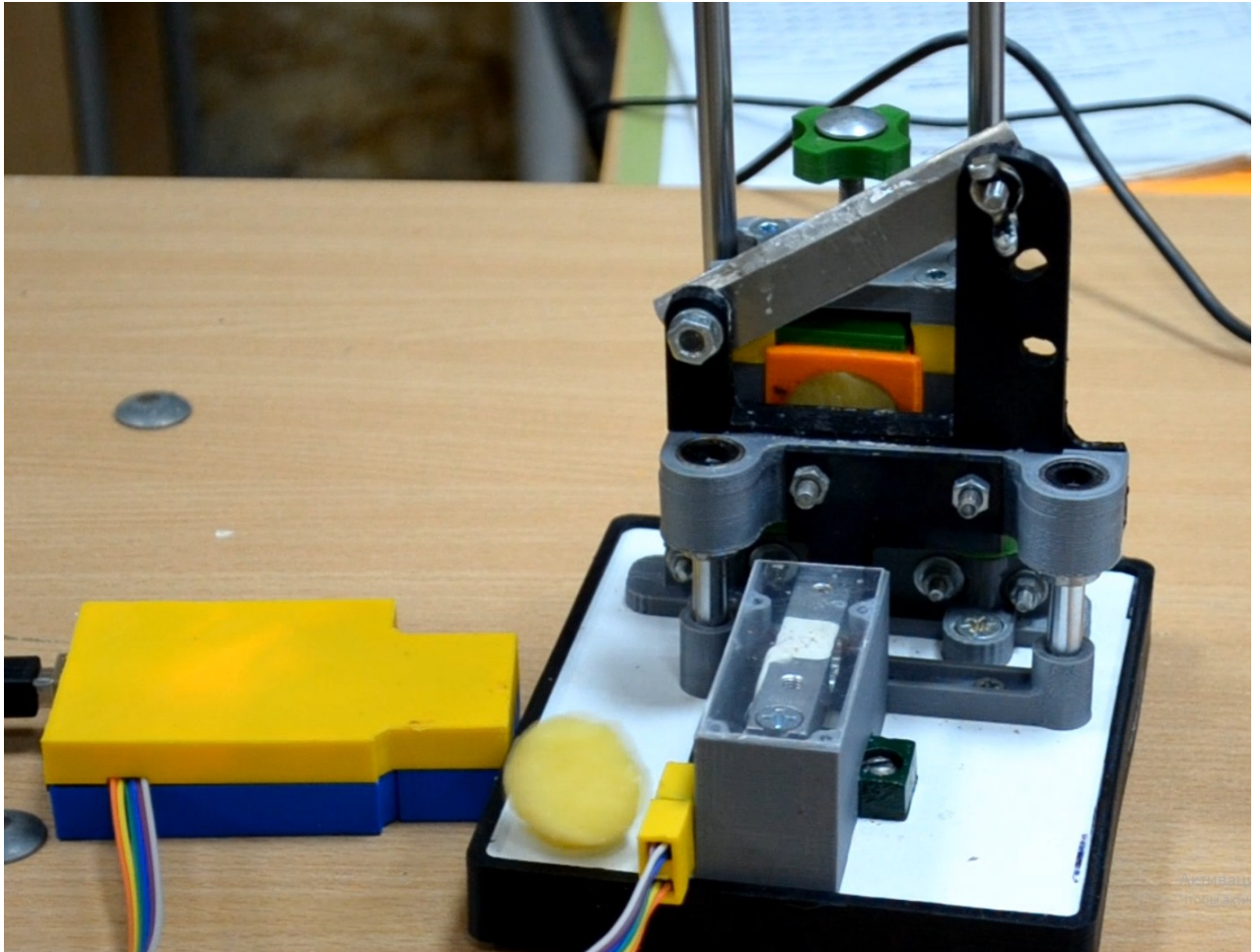


Рисунок 3.2 – Платформа із закріпленим зразком після різання

Для визначення енергетичного параметра (сили різання) процесу різання коренеплодів до вимірювального пристрою кріпили ніж у спеціальному тримачі. Це тензометрична балка, що приводиться в дію вигином, прикріплена до консолі. У верхній тримач ножа встановлюється куточок із напрямною. На напрямну містився вантаж змінного розміру.

Тензорезистор (рис. 3.3) складається з корпусу та розміщеної на ньому торцевої металевої плівки, на якій за мостовою схемою розміщені чотири тензорні резистори (два вимірювальні та два компенсаційні).

Вихідний контакт тензодатчика підключається дротом до входу датчика ваги НХ711, з якого дані передаються модуль Arduino Uno A Tmega 328P-PU. Використано програмне забезпечення Arduino-1.8.9-windows для реєстрації сигналів тензодатчика. Це програмне забезпечення відображає таблицю з двома стовпцями: час переміщення платформи зі зразком та зусилля тензодатчика датчика. Роздільна здатність датчика ваги НХ711 становить 80 Гц. Це означає, що один вимір займає 125 мікросекунд.

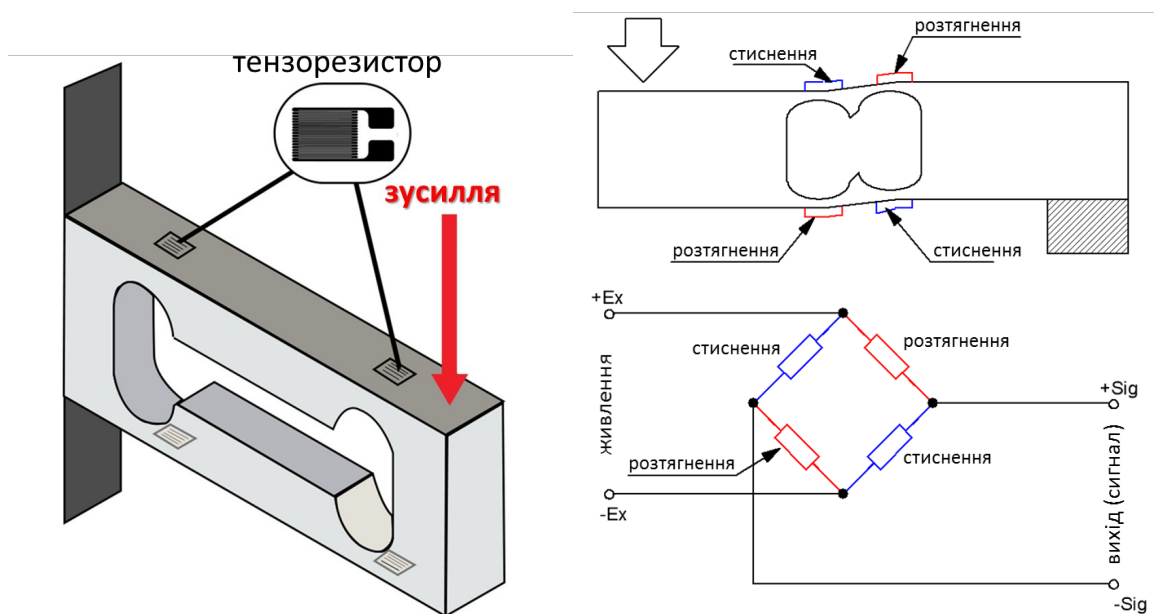


Рисунок 3.3 – Мостова схема з'єднання тензорезисторів

Швидкість різання визначали наступним чином. У верхній та нижній частині направляючих копра було встановлено електричні контакти, які замикалися платформою при відповідному її положенні. Після того, як пружина звільнюється початкова швидкість руху платформи складає V_0 , що спричинена дією пружини. Далі платформа рухається вниз із прискоренням вільного падіння g . При цьому верхній контакт розмикається і на модуль

Arduino Uno A Tmega 328P-PU передається електричний сигнал, який запускає процес вимірювання. При входженні соковитого корму в контакт з ножом замикається нижній контакт і на модуль Arduino Uno A Tmega 328P-PU передається електричний сигнал, який припиняє процес вимірювання. Таким чином, в програмному забезпеченні «Arduino-1.8.9-windows» відображається таблиця з двома колонками – час руху платформи зі зразком та зусилля на тензометричному датчику. Фіксується початкове значення часу t_1 і кінцеве значення часу t_2 . Їх різниця $\Delta t = t_2 - t_1$ і є час руху платформи. Відстань, яку проходить платформа є H (рис. 4). Тоді рівняння руху платформи можна записати у вигляді

$$H = V_0 \Delta t + \frac{g(\Delta t)^2}{2} = V_0(t_2 - t_1) + \frac{g(t_2 - t_1)^2}{2} . \quad (3.1)$$

А швидкість в момент входження соковитого корму в контакт з ножом розраховується за формулою

$$V = V_0 + g\Delta t = V_0 + g(t_2 - t_1) . \quad (3.2)$$

Виразивши V_0 з (5) і підставивши в (6) остаточно маємо вираз для розрахунку швидкості руху платформи V

$$V = \frac{H}{(t_2 - t_1)} + \frac{g(t_2 - t_1)}{2} . \quad (3.3)$$

3.2 Результати досліджень

Спочатку було проведено дослідження впливу товщини стружки (виліт зразка) на питоме зусилля різання для ножів різної форми ріжучої крайки (рис. 3.4).

Ніж 1	Ніж 2	Ніж 3
-------	-------	-------

Рисунок 3.4 – Форма ріжучої крайки дослідних ножів

За результатами досліджень було встановлено, що ніж з двома фасками має найбільші значення зусилля різання, в порівнянні з ножем з одною фаскою та експериментальним ножем – в 3...4 рази. Відмінність між ножем 1 та ножем 3 – 10...15 % (рис. 3.5).

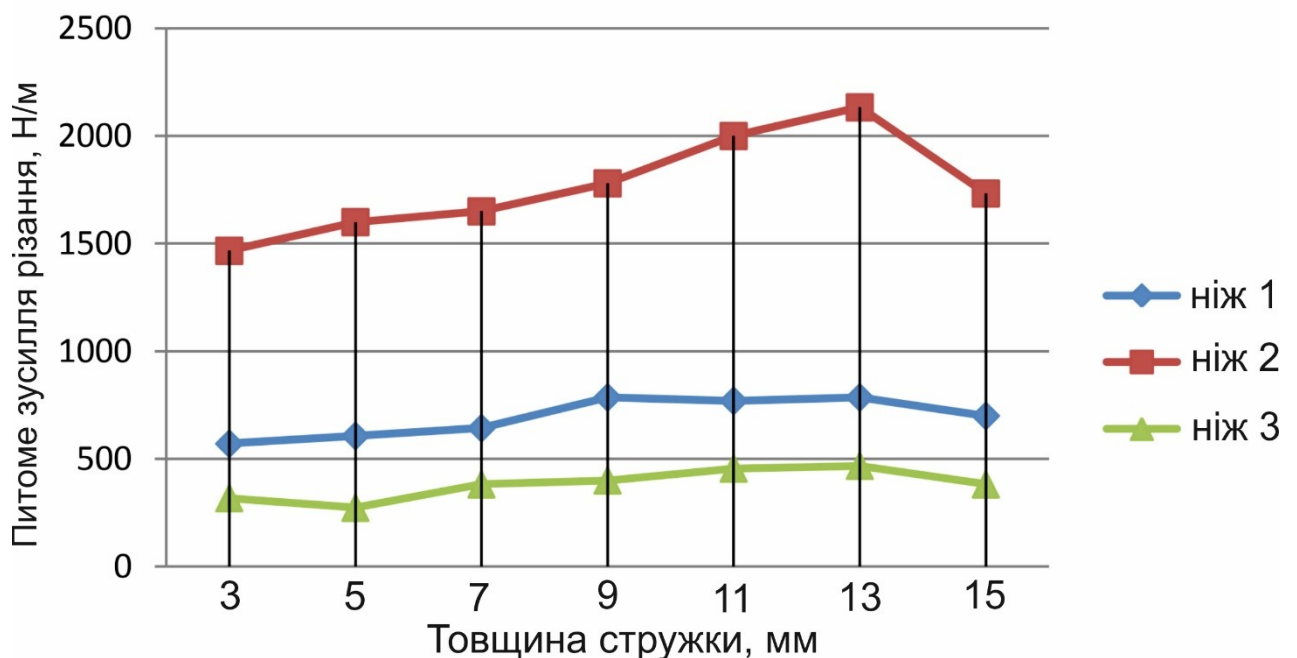


Рисунок 3.5 – Вплив товщини стружки (виліт зразка) на питоме зусилля різання для ножів різної форми ріжучої крайки

Подальші дослідження було проведено для з ножа з одною фаскою та експериментального ножа. Експериментальними факторами були кут нахилу ножа (x_1) та швидкість різання (x_2). Критерієм дослідження є сила різання (y_1).

За результатами дослідження отримано математичну модель сили різання коренеплоду на основі вивчених факторів. Отримана математична модель мала вигляд:

$$y_1 = 98,55 - 9,83x_1 - 3,92x_1^2 - 7,67x_2 + 0,836x_2^2 + 1,75x_1x_2 - 0,125x_1x_2^2 + 0,126x_1^2x_2 + 0,31x_1^2x_2^2. \quad (3.4)$$

Після видалення незначних коефіцієнтів (критерій Стюдента) рівняння регресії (3.4) має вигляд

$$y_1 = 127 - 1,7x_1 - 0,021x_1^2 - 0,167x_2 + 0,0,175x_1x_2 \quad (3.5)$$

Або розкодовано:

$$F_{\text{різ}} = 127 - 1,7v - 0,021v^2 - 0,167y + 0,175vy, \quad (3.6)$$

де $F_{\text{різ}}$ - сила різання Н.

y – кут встановлення ножа, град;

v – швидкість, м/с.

Графічно залежність (3.6) має вигляд (рис. 3.6).

Як видно з графіка, оптимальне значення нахилу ножа для діапазону швидкостей, що досліджується, знаходиться в межах $42...51^\circ$. Чим вища швидкість різання, тим менша величина кута нахилу ножа. На нашу думку це свідчить про те, що вплив величини перетворення кута заточування

зменшується зі збільшенням швидкості різання. При високих значеннях швидкості різання, крім статичних умов руйнування матеріалу, активний вплив починає динамічна складова (наприклад, розпилювання, викликане частковим ковзанням зразка по лезу ножа).

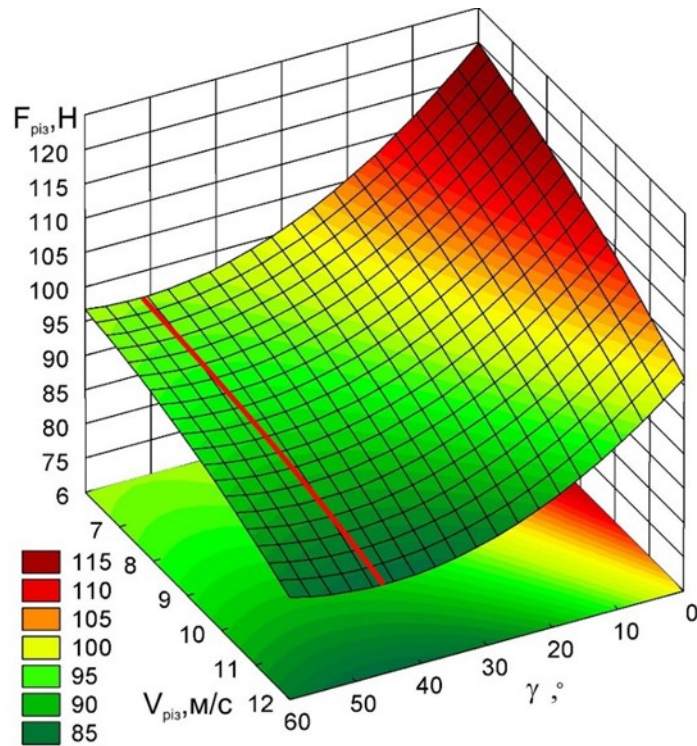


Рисунок 3.6 – Залежність сили різання від кута встановлення ножа та швидкості різання для ножа з однією фаскою

Для експериментального ножа результуюча математична модель мала вигляд:

$$y_2 = 98,55 - 9,83x_1 - 3,92x_1^2 - 7,67x_2 + 0,83x_2^2 + 1,75x_1x_2 - 0,125x_1x_2^2 + 0,125x_1^2x_2 + 0,31x_1^2x_2^2. \quad (3.7)$$

Після видалення незначних коефіцієнтів (критерій Стюдента) рівняння регресії (3.7) має вигляд

$$F_{\text{різ}} = 127,2 - 1,7\gamma + 0,021\gamma^2 - 0,167v - 0,176v^2 + 0,175\gamma v - 0,0083\gamma v^2 - 0,0029\alpha^2 v + 0,002\gamma^2 v^2, \quad (3.8)$$

де $F_{\text{різ}}$ - сила різання Н.

γ – кут встановлення ножа, град;

v – швидкість, м/с.

Графічно залежність (3.8) має вигляд (рис. 3.7).

Вплив кута нахилу ножа показує, що при максимальній швидкості різання мінімум сили зміщується у бік менших значень кута нахилу. При цьому оптимальне значення нахилу ножа для досліджуваного діапазону швидкостей лежить у межах 38-47 °.

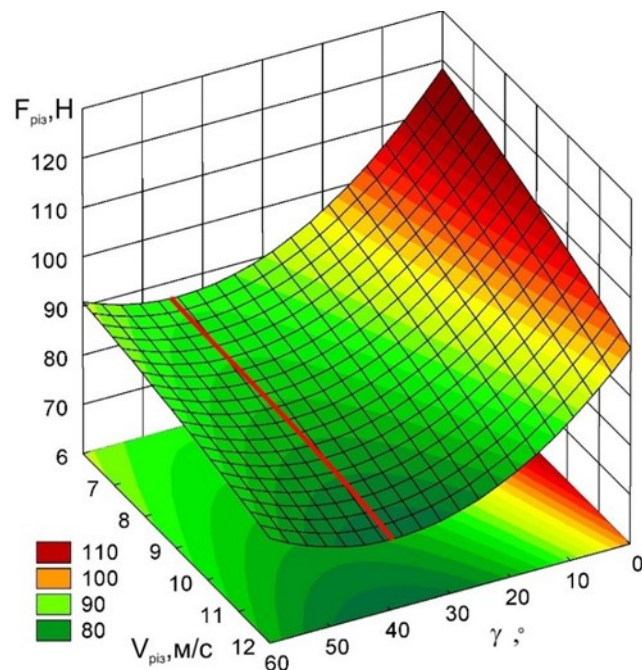


Рисунок 3.7 – Залежність сили різання від кута встановлення ножа та швидкості різання для експериментального ножа

В цілому за результатами експериментальних досліджень встановлено, що для обох конструкцій ножа вплив кута його нахилу на силу різання має нелінійний характер і має добре виражені оптимуми. Щодо швидкості, то, природно, сила різання зі збільшенням швидкості зменшується, але оптимальне значення знаходиться поза діапазоном досліджень.

3.3 Висновки

Дослідно-експериментальними дослідженнями процесу подрібнення коренеплодів встановлено таке:

- ніж з двома фасками має найбільші значення зусилля різання, в порівнянні з ножем з одною фаскою та експериментальним ножем – в 3...4 рази. Відмінність між ножем 1 та ножем 3 – 10...15 %

- при використанні ножа з однією фаскою сила різання приблизно пропорційна швидкості різання. Добре виражений оптимум - 42 ... 51 ° від кута нахилу ножа.

- при використанні експериментальних ножів характер залежності сили різання аналогічний прямому випадку, але мінімальне значення 76 Н спостерігається при нахилі ножів під кутом 38,2 °.

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Загальні визначення та поняття

Згідно Закону України «Про охорону праці» [23], «охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності».

Законодавство про охорону праці складається з приведеного вище Закону, Кодексу законів про працю України, Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів.

У відповідності до визначення [17], «об'єкт підвищеної небезпеки – це об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру».

Щодо розроблюваного в дипломній роботі подрібнювача коренеплодів, то він не підпадає під вказане визначення, та не являється об'єктом

підвищеної небезпеки. Проте в загальній технологічній схемі лінії приготування кормів для ВРХ є також легкозаймиста кормова складова – сіно, наявність якого може призвести до виникнення пожежі, яку згідно [22] відносять до надзвичайних ситуацій техногенного характеру. «Пожежа - це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі та створює загрозу життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, призводить до матеріальних збитків» [25].

4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Під час подрібнення коренеплодів на оператора можливий вплив приведених нижче шкідливих і небезпечних виробничих факторів, на які треба звертати увагу під час роботи [24]:

- «рухомі машини і механізми;
- підвищений рівень шуму;
- підвищена швидкість руху повітря (протяги);
- гострі кромки обладнання;
- рухомі частини виробничого обладнання (транспортер, барабан);
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена вологість повітря;
- підвищена швидкість руху повітря (протяги);
- слизька підлога;
- біологічна небезпека (хвороботворні мікроорганізми, тварини);
- хімічна небезпека;
- біологічна небезпека (хвороботворні мікроорганізми, тварини);
- небезпека ураження електричним струмом».

4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора подрібнювача від дії шкідливих та небезпечних факторів

Заходи з організації безпеки роботи - своєчасність проведення

інструктажів з охорони праці. Спочатку проводять **вступний** інструктаж, його здійснює спеціаліст служби охорони праці або інший фахівець відповідно до наказу (розпорядження) по господарству, який має на це посвідчення, пройшовши навчання і перевірку знань та навичок з охорони праці. Цей інструктаж проводять для всіх працівників, які приступають до роботи.

Наступним проводять **первинний інструктаж** на робочому місці, керуючись затвердженими в господарстві інструкціями з охорони праці,.

До самостійної роботи з подрібнювачем коренеплодів допускаються особи, які є повнолітніми і досягли 18-річного віку та не мають медичних протипоказань, а також мають відповідати вимогам:

- мати професійну підготовку по фаху, в тому числі з питань охорони праці;
- мають кваліфікацію на 1 групу з електробезпеки;
- мають довідки про попередній, при прийомі на роботу, і визнані придатними за станом здоров'я до виконання обов'язків;
- пройшли вступний і первинний інструктаж на робочому місці;
- пройшли стажування і перевірку знань з питань охорони праці.

Операторам подрібнювача коренеплодів проходять повторний інструктаж з охорони праці не рідше, ніж один раз на пів року і щорічну перевірку знань з питань безпеки праці.

Технічні заходи безпеки роботи. Оператор подрібнювача коренеплодів має бути забезпечений спецодягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, відповідно до «Типових галузевих норм безплатної видачі засобів індивідуального захисту».

Для захисту робітників від запилення на об'єкті використовуються системи примусової вентиляції. У приміщенні, де працює подрібнювач, від продукту подрібнення сіна, ще одного компонента кормосуміші виділяється 20 г пилу на годину. Для видалення зайвого пилу необхідно визначити необхідну продуктивність вентилятора.

Згідно з [17], максимальна концентрація пилу, що містить до 10% вільного SiO₂, становить 4 мг/м³.

Свіже повітря, що надходить у приміщення кормоцеху, повністю очищене від пилу (P₀ = 0).

Отже

$$L = \frac{P}{P_1 - P_0} = \frac{20000}{4 - 0} = 5000 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.1)$$

де P - кількість пилу, що викидається в приміщення, мг/год.

– концентрація пилу в чистому повітрі, що аспірується, мг/м³;

- Допустима концентрація пилу в приміщенні, мг/м³.

Залежно від отриманої продуктивності приймаємо застосування осьових вентиляторів продуктивністю 5600 м³/год, що монтуються у стіни приміщення.

4.4 Правила безпеки при виконанні робіт з подрібнення коренеплодів

Надіньте спецодяг, потім увімкніть освітлення і вентиляцію. Перевірте робоче місце. Перевірити наявність, придатність і міцність перехідних містків, майданчиків, сходів і поручнів. Вільний прохід, безконтактний перемикач, перемикач від сторонніх предметів, сировини та відходів. При змінній роботі вивести робоче місце зі зміни. Переконайтеся, що машини, інструменти та обладнання знаходяться в справному стані. Перевірити надійність комплектуючих машин, устаткування, захисних кожухів і огорож, заземлення, вузлів приводу (ремені, ланцюги, шківи, вали, шестерні, муфти), кришки, заслінки та запірну арматуру. Переконайтеся, що в подавальному транспортері та бункері немає сторонніх предметів. Перевірте наявність та комплектність вогнегасників, аптечок та сигналізації. Розмістіть інструменти та обладнання, щоб було зручно використовувати. Запускаючи подрібнювач коренеплодів, спочатку перевірте стрічку конвеєра, щоб впоратися з предметами, які

випадково впали на неї. Подрібнювач слід ремонтувати відповідно до інструкцій виробника. Не прошовуйте оброблюваний корм в барабан або під горловину приймального бункера робочої машини. Працюючи з подрібнювачем коренеплодів, не стійте перед робочим органом, оскільки він може потрапити на металеві предмети (зазвичай болти, гайки) і спричинити травми. При подрібненні вологого корму і його вивантаженні через бічну горловину дробильної камери не ставайте в площину обертання ротора. Не подавайте матеріал в подрібнювач вручну, не відкривайте кришку подрібнювальної камери, не перевіряйте та не очищайте магнітний бар'єр та горловину приймального бункера. Не подрібнюйте коренеплоди, якщо вони містять металеві та інші домішки. Запустіть подрібнювач коренеплодів на холостому ході і переконайтеся, що немає зовнішніх шумів, вібрації, тертя або нагріву підшипників, а також роботу пристроїв управління та сигналізації. Після того, як двигун досягне номінальної швидкості (визначається за звуком, тахометром або амперметром відповідно до конструкції машини), повільно відкрийте клапан на бункері та відкрийте розподільник або конвеєр, щоб забезпечити рівномірне подрібнення продукту. Продукт, що завис у бункері робочої машини і застряг у приймальній горловині, пропихайте штовхачем довжиною не менше 1 м, який виготовлено з дерева або пластику та при попаданні до подрібнюючого апарату легко руйнується. Під час роботи звертайте увагу на справність та ефективність технічного обладнання, систем всмоктування та вентиляції, ущільнювачів, електрообладнання, пристроїв управління та сигналізації. Після повної зупинки подрібнювача спеціальним обладнанням (скребками, очисниками, щітками) очистити робочі органи від залишків соковитого корму. При зупинці машини для регулювань або технічного обслуговування вимкніть вимикач живлення магнітного пускача та розмістіть плакат: «Не вмикайте! Люди працюють.» Вимкніть загальні вимикачі під час складання ножів та чищення. Залишок корму подати на ріжучу частину диску, встановіть запобіжник.

Після закінчення роботи з подрібнювачем вимкніть систему подачі матеріалу. Устаткування, що працює під тиском, перевіряє наявність

залишкового тиску за допомогою індикатора на пристрої та відкриває клапан, що забезпечує падіння тиску до атмосферного. Після зупинки двигуна очистіть машину та робочу зону від залишків сировини, приміщення, залишків корму та пилу. Посипте тирсою мокру або слизьку підлогу, щоб очистити її. Повідомте особу, яка здійснює заміну, про будь-які дефекти в роботі або роботі обладнання. Укласти інструменти та пристрої, запасні частини (штовхач, очисник тощо) у шафу на зберігання або передати в змінник. Зніміть спецодяг та засоби індивідуального захисту для чищення, обслуговування або зберігання.

4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Враховуючи вищевикладене, найімовірнішим НС є пожежа, тому приведемо обов'язки та дії працівника при виникненні пожежі на тваринницькій фермі. Кожен працівник ферми при виявленні будь-яких ознак займання або займання (задимлення, запаху гару, підвищення температури тощо) [25] має:

- негайно припинити роботу та зателефонувати до пожежної частини за номером 101, вказавши адресу ферми, рідне місто, ім'я, прізвище, по батькові та номер телефону.

- взяти всіх можливих заходів для евакуації людей, тварин та цінностей.
- вимкнути стаціонарне електроустаткування від електромережі.
- почати гасіння пожежі наявними первинними засобами пожежогасіння.
- повідомте свого безпосереднього керівника та повідоміть навколишніх співробітників.

- залишіть будинок, якщо є загальні сигнали небезпеки.

На особу, відповідальну за структурний підрозділ, якому стало відомо про пожежу, покладаються такі обов'язки:

- зателефонуйте до пожежної частини телефоном.
- негайно сповістити підлеглих та інших співробітників.
- повідомте про пожежу працівника пожежної охорони об'єкта.
- вжити заходів щодо сприяння гасенню пожеж та евакуації людей, тварин та матеріальних цінностей;

До обов'язків працівника пожежної безпеки фермерського господарства входить таке:

- дублювати повідомлення про пожежу у пожежну частину та повідомляти власників.
- у разі загрози життю людини негайно організувати порятунок наявними силами та засобами.
- у разі потреби вимкніть світло та вживіть інших заходів, які сприятимуть запобіганню пожежам та задимленню приміщень будівлі.
- припинити всі роботи у будівлі, крім робіт, пов'язаних із протипожежними заходами.
- виключити із небезпечної зони всіх сторонніх працівників, які не беруть участь у локалізації пожежі.
- загальне керівництво гасінням пожежі до прибуття пожежної команди.
- забезпечити дотримання вимог техніки безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі.
- організовувати евакуацію та охорону тварин та цінностей при гасінні пожеж.
- організовувати збори пожежної частини, щоб допомогти обрати найкоротший шлях до пожежі.

Після прибуття пожежної частини відповідальний за пожежну безпеку господарства зобов'язаний повідомити начальника пожежної охорони про конструктивні особливості будівлі, прилеглих до неї будівель та споруд, кількість складованого матеріалу та пожежну небезпеку.

4.6 Висновки

Із застосуванням чинних нормативних документів проведено перевірку удосконаленого подрібнювача коренеплодів на відповідність вимогам охорони праці, встановлено вплив шкідливих та небезпечних факторів на працюючих. Щоб уникнути їх, пропонуються відповідні заходи та наводяться вимоги щодо безпечного проведення робіт. Встановлено, що найбільш вірогідною НС на об'єкті є пожежа, тому показано порядок дій працівників у разі пожежі.

5 Економічна оцінка подрібнювача коренеплодів

Для оцінки економічної ефективності подрібнювача коренеплодів, оснащеного удосконаленим ножом, визначимо та порівняємо витрати на виконання операції існуючим ПК-1 та новим варіанті.

Так як переваги розробленого подрібнювача коренеплодів є: вища продуктивність та менша потужність – тобто мають технічний характер – порівняння будемо проводити за операційними витратами, нехтуючи якісними характеристиками отриманих кормів, так як вони приблизно однакові. Операційні (експлуатаційні) витрати визначимо за наступною методикою.

Витрати на виплату заробітної плати визначимо за формулою

$$Z = nt \cdot f \cdot \delta \cdot D, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де n – чисельність операторів, люд.;

t – тривалість роботи подрібнювача коренеплодів на добу, год.;

f – тарифна ставка оператора за годину, грн/год.;

δ – коефіцієнт нарахування на виплату заробітної плати;

D – всього робочих днів на рік;

Тривалість роботи подрібнювача коренеплодів на добу визначимо виходячи з добової потреби в коренеплодах для малої молочної ферми.

$$t = \frac{Q_n}{Q_{\text{з.м}}}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де Q_n - добова потреба в коренеплодах для малої молочної ферми, т;

$Q_{зм}$ – продуктивність подрібнювача коренеплодів, т/год.

Амортизаційні відрахування:

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де B – балансова вартість подрібнювача коренеплодів, грн.

α – коефіцієнт відрахувань на амортизацію подрібнювачів коренеплодів, %.

Відрахування на ремонт і ТО:

$$P = \frac{B \cdot \beta}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.4)$$

де β – коефіцієнт відрахувань на ремонт подрібнювачів коренеплодів, %.

Витрати на енергоресурси, в нашому випадку електроенергія, розраховуємо за формулою:

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e, \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де N – потужність подрібнювача коренеплодів, кВт.;

c_e – ціна електроенергії, грн/кВт · год.

Загальні операційні витрати складуть

$$EB = Z + A + P + E, \text{ грн.}, \quad (5.6)$$

Економія операційних витрат

$$EEB = EB_1 - EB_2, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де EB_1 , EB_2 – операційні витрати за базовим та проектним варіантами, грн.

Термін окупності подрібнювача коренеплодів

$$P = \frac{B_2}{EEB}, \text{ грн.,} \quad (5.8)$$

де B_2 – балансова вартість подрібнювача коренеплодів, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності
подрібнювача коренеплодів

№ з.п.	Показник	ПК-1	розробка
1	2	3	4
1	Кількість операторів, люд.	1	1
2	Годинна тарифна ставка, грн/год.	66,8	66,8
3	Кількість робочих днів на рік	365	365
4	Поголівя корів на малій фермі, гол.	220	220
5	Добова потреба в коренеплодах, кг/гол.	12	12

6	Добова потреба в коренеплодах по фермі, кг	2640	2640
7	Продуктивність подрібнювача, кг/год	2000	1800
8	Тривалість роботи на добу, год.	1,32	1,47
9	Балансова вартість, грн.	56870	62330
10	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
11	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
12	Вартість електроенергії, грн/кВт год	7,64	7,64
13	Потужність на привід, кВт	40	16,6
14	Витрати на заробітну плату, грн.	39264,77	43627,53
15	Амортизаційні відрахування, грн.	5687,00	6233,00
16	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	4549,60	4986,40
17	Витрати на електроенергію, грн.	147238,0 8	67893,11
18	Експлуатаційні витрати, грн.	196739,4 5	122740,04
19	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	73999,41
20	Строк окупності, років	-	0,84

Висновки

Реалізація пропонованого подрібнювача коренеплодів в порівнянні з існуючим ПК-1 дозволяє знизити питомі енерговитрати на 41,5 % та отримати річний економічний ефект у сумі 4055,83 грн. Термін окупності додаткових капітальних вкладень складає 2,2 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Незважаючи на численні дослідження, присвячені вивченню процесу подрібнення у подрібнювачах коренеплодів різної конструкції, проблема подрібнення коренеплодів з низькими енерговитратами та досягненням якості подрібненого продукту, що відповідає вимогам технології тваринництва, залишається невирішеною. У зв'язку з викладеним розробка подрібнювачів коренеплодів з низькими енерговитратами на подрібнення, що гарантують необхідну якість продукту, що отримується при заданій продуктивності, є актуальним і важливим науково-технічним завданням.

2. При стисканні матеріалу лезом робочого органу при невеликій швидкості подачі, деформація в матеріалі поширюється з тією ж швидкістю, рівномірно. При високошвидкісному стисканні матеріалу, не рівномірно розподілу деформацій, вони локалізуються поблизу ріжучої кромки. В пружному стані матеріалу швидкість поширення деформації дорівнює поширенню швидкості звуку. Якщо сила, що діє миттєво та короткочасно, то у матеріалі з пружнопластичними властивостями область поширення деформацій буде обмеженою.

3. Дослідно-експериментальними дослідженнями процесу подрібнення коренеплодів встановлено таке: ніж з двома фасками має найбільші значення зусилля різання, в порівнянні з ножем з одною фаскою та експериментальним ножем – в 3...4 рази. Відмінність між ножем 1 та ножем 3 – 10...15 %; при використанні ножа з однією фаскою сила різання приблизно пропорційна швидкості різання. Добре виражений оптимум - 42 ... 51 ° від кута нахилу

ножа; при використанні експериментальних ножів характер залежності сили різання аналогічний прямому випадку, але мінімальне значення 76 Н спостерігається при нахилі ножів під кутом 38,2 °.

4. Із застосуванням чинних нормативних документів проведено перевірку удосконаленого подрібнювача коренеплодів на відповідність вимогам охорони праці, встановлено вплив шкідливих та небезпечних факторів на працюючих. Щоб уникнути їх, пропонуються відповідні заходи та наводяться вимоги щодо безпечного проведення робіт. Встановлено, що найбільш вірогідною НС на об'єкті є пожежа, тому показано порядок дій працівників у разі пожежі.

5. Реалізація пропонованого подрібнювача коренеплодів в порівнянні з існуючим ПК-1 дозволяє знизити питомі енерговитрати на 41,5 % та отримати річний економічний ефект у сумі 4055,83 грн. Термін окупності додаткових капітальних вкладень складає 2,2 роки.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Журавель Д.П., Дереза С.В., Болтянский Б.В., Особливості водопостачання в тваринництві. Щомісячний науково-практичний журнал «Тваринництво сьогодні», №8 Київ, 2018. С.66-71.
2. Скляр О.Г., Болтянська Н.І. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посіб. Мелітополь: Колор Принт, 2012. 720с.
3. Болтянський Б.В., Брагінець А.М., Скляр Р.В., Мілько Д.О. Навчальний посібник щодо виконання конструктивної частини в дипломних проєктах ОКР «Бакалавр» для студентів очної та заочної форм навчання. Мелітополь: ТДАТУ, 2011. 143 с.
4. Машина, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник / Р.В. Скляр, О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська, Д.О. Мілько, Б.В. Болтянський. К.: Видавничий дім «Кондор», 2019 . 608 с.
5. Дереза С.В., Болтянский Б.В., Дереза О.О. Обґрунтування параметрів міксер-роздавача кормів. Матеріали VII-ї Науковотехнічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (5-28 грудня 2018 року). Глеваха, 2019. С. 25-27.
6. Дереза С.В., Димченко Д.В. Аналіз підстилкового матеріалу для молочних корів. Збірник тез доповідей Всеукраїнської науковотехнічної конференції магістрантів і студентів ТДАТУ:, 2018. С. 25.
7. Дереза С.В., Болтянский Б.В., Дереза О.О. Обґрунтування експлуатаційно-технологічних параметрів кормороздавачного агрегату. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип.6. Т.3. Мелітополь, 2016. С.65- 72
8. Дереза С.В., Дереза О.О. Аналіз методів моделювання процесу змішування кормів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. Вип. 4.Т.1. Мелітополь, 2014. с. 95-100.

9. Скляр О.Г., Болтянська Н.І. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. 380 с.
10. Strenk, F. (1985). Peremeshivanie i apparaty s meshalkami [Stirring and agitating machines]. Leningrad: Himiya.
11. Dereza, O. O. & Dereza, S. V. (2014). Analiz metodiv modeliuвання protsesu zmishuvannya kormiv [Analysis of methods for modeling the process of mixing feed]. Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu, 4 (1), 95-101
12. Briukhovetskyi, A. M. & Boiarskyi, O. V. (1994). Modeliuвання protsesu zmishuvannya sypkykh komponentiv u lopatevomu zmichuvachi periodychnoi dii [Simulation of the process of mixing friable components in a blade of periodic action]. Kyiv: Urozhai
13. Rud, A. V., Evstratova, N. N. & Belousov, K. Yu. (2013). Razlichnyie podhodyi k modelirovaniyu protsesa dvizheniya materiala v vertikalnom vintovom konveyere [Different approaches to modeling the process of movement of material in a vertical screw conveyor]. Sbornik nauchnykh trudov SWorld, 4, 68–74.
14. Isaienko, A. M., Kachan, Yu. H. & Ivanov, V. I. (2007). Pro modeliuвання sehrehatsii rudy pid chas rukhu pokhyloi poverkhnei [On modeling of ore segregation during sloping motion]. Matematychnе modeliuвання, 1, 33–39
15. Nepchatov, D. M., Rusalev, A. M. & Boyko, I. G. (2011). Svodoobrazovanie syipuchih kormov i metodika ego opredeleniya [The formation of bulk feed and the method of its determination].
16. Visnyk Harkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, 108, 223–230
17. Hevko, I. B., Kalatsina, Yu. B. & Levenets, V. D. (2002). Zmishuvannya sypkykh materialiv hvyntovymy robochymy orhanamy [Mixing of bulk materials with screw working organs] .
18. Mizhvuzivskyi zbirnyk Luganskoho dergavnogo tekhnichnoho universytetu, 11, 75–83.

19. Chvartatskyi, R. I. (2017). Obhruntuvannia parametriv mashyn dlia podribnennia i zmishuvannia kormiv [Justification of parameters of machines for grinding and mixing of forages]. Ternopil.

20. Hlinenko, L. K. & Sukhonosov, O. H. (2003). Osnovy modeliuвання tekhnichnykh system [Fundamentals of technical systems modeling]. Lviv: Besket Bit.

21. Khmelovskiy, V. (2013). Obhruntuvannia parametriv bunkera kormopryhotuvalnoho ahrehatu [Justification of the parameters of the hopper of the feed preparation unit]. Tekhnika i tekhnolohii APK, 6, 13–15.

22. Basarhin, V. A., Vodianytskyi, H. P. & Tymkiv, V. V. (2017). Vyznachennia tekhnichnoho rivnia kormorozdavachiv-zmishuvachiv firmy svitu [Determination of the technical level of fodder mixers of the firm of the world]. Tvarynnytstvo Ukrainy, 3/4, 10–13.

23. 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.

24. 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.

25. 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

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

27. Analytical research results of the combined root digger / Herasymchuk H.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.

28. 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.

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

30. 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.

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

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

33. 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.