

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра обладнання харчових технологій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

_____ .
магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Удосконалення різання овочевих культур на машині марки А9-КРМ із дослідженням впливу кута різання на параметри процесу»

Виконав: студент VI курсу, групи ХОМ-61

напряму підготовки (спеціальності)

133 «Галузеве машинобудування»

8.05030313 Обладнання переробних і харчових виробництв _____ .

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Васильків Олександр Олександрович

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н. проф. Стадник Ігор Яославович.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____ .

(прізвище та ініціали)

Тернопіль - 2021 року

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Факультет машинобудування та харчових технологій. Кафедра, циклова комісія _____ Кафедра обладнання харчових технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр
 .Напрямок підготовки _____ 6.050503 Машинобудування
 (шифр і назва)

Спеціальність 8.05050313-Обладнання переробних і харчових виробництв
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри, голова
циклової комісії Кафедри Обладнання харчових технологій
д.т.н., професор Вітенько
Тетяна Миколаївна .
 _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Васильків Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення різання овочевих культур на машині марки А9-КРМ із дослідженням впливу кута різання на параметри процесу»

2. **Керівник проекту (роботи) Стадник Ігор Ярославович – д.т.н., проф.**
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “4” березня 2021 року №4/7-175

3. Строк подання студентом проекту (роботи) “22” травня 2021 року

4. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічний паспорт та інструкції з експлуатації монтажу та технічного обслуговування і ремонту машини марки А9-КРМ

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасного обладнання для різання коренеплодів, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження процесу у робочій камері машини марки А9-КРМ. 2. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних рішень по вдосконаленню процесу різання. 3. Фізичне моделювання поведінки бурякорізальних ножів в умовах руйнування граничного шару 4. Моделювання динаміки різання коренеплодів. Обґрунтування запропонованого математичного підходу до визначення конструктивних елементів різання. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Регресійний аналіз математичного процесу різання коренеплодів марки А9-КР (1 л.ф.А1.) Графічна залежність кута різання від питомої сили різання (1 л.ф.А1.) Оптимальні параметри загострення ножа (1 л.ф.А1.) 11. Залежність зміни висоти висоювання тістової заготовки від тривалості при різних значеннях тиску (1 л.ф.А1.) 12. Тривимірний графік від залежності потужності тиску і роботи при розділенні тіста на заготовки. (1 л.ф.А1)

7. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ЦЗ	Стадник І.Яд.т.н., проф..		
Охорони праці	Кравець О.І.– к.т.н., доц,		
Нормоконтроль	Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент		

8. Дата видачі завдання “4”03 2021 року .

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1.	<i>Анотація, Вступ. 1.Аналіз сучасного обладнання для різання, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження процесу різання машини марки А9-КРМ.</i>	06.03.21	
2.	<i>2. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних рішень по вдосконаленню процесу різання.</i>	14.03.21	
3.	<i>3. Фізичне моделювання поведінки бурякорізальних ножів в умовах руйнування граничного шару</i>	21.04.21	
4.	<i>4.Моделювання динаміки різання коренеплодів. Обґрунтування запропонованого математичного підходу до визначення конструктивних елементів різання.</i>	5.05.21	
5.	<i>Заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях</i>	05.05.21	
6.	<i>Загальні висновки. Перелік посилань. Додатки. Специфікації</i>	08.05.21	
7.	<i>. Графічна частина. 1. Регресійний аналіз математичного процесу різання коренеплодів марки А9-КР_(1 л.ф.А1.). 2. Геометрична 3D модель корпусу бурякорізки; Розрахунок відламування різальної кромки буряка; Оптимальні параметри загострення ножа; Розрахунок потужності на утворення стружки.(л.фА1.).</i>	08.05.21	
		12.05.21	

Студент
Олександрович

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

Васильків

(прізвище та ініціали)

Стадник Ігор Ярославович.

(прізвище та ініціали)

Олександр

Анотація

Автор кваліфікаційно магістерської роботи: Васильків Олександр Олександрович

Тема кваліфікаційно магістерської роботи: «Удосконалення різання овочевих культур на машині марки А9-КРМ із дослідженням впливу кута різання на параметри процесу»

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня наукового магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», «Обладнання переробних і харчових виробництв» – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2020.

Кваліфікаційна робота спрямована на удосконалення вузла та дослідження розроблених рішень по удосконаленню процесу різання коренеплодів. Розглянуто та запропоновано шляхи модернізації машини марки А9-КРМ.

Проведено загальний огляд існуючих машин, процесів різання. Розглянуто будову вузла різання й окремі складові, поставлено задачі та методи й засоби виконання. Запропоновано метод проведення ЕК. Проведено технологічний, кінематичний та енергетичний розрахунки пресу. Запропоновано модель ножа різання при проведенні загальних досліджень робочих процесів. Розглянуто ЕКТД режиму роботи вузла і ножа різання. Розрахунки ЕКТД пов'язані з визначенням параметрів: продуктивності, потужності, геометрії і параметрів ножа різання.

Робота складається з пояснювальної записки обсягом _____ сторінок (____ таблиць, _____ рисунків,) та графічної частини креслень формату А1.

Було зроблено аналіз сучасного обладнання для різання коренеплодів, вибір і обґрунтування основних напрямків експериментальних досліджень процесу різання в машині марки А9-КРМ.

Удосконалено вузол різання коренеплодів в машині марки А9-КР шляхом зміни конструкції ножа і ножової рами. Було розглянуто математичні моделі процесу різання і алгоритм побудови математичних моделей.

Розроблено фізичне представлення вузла різання коренеплодів в машині марки А9-КР. Проаналізовані результати експериментальних досліджень вузла різання коренеплодів в машині марки А9-КР. Проаналізовано техніку безпеки і надзвичайні ситуації на підприємстві та загальні висновки з літературою.

Ключові слова: процес різання, вузол, параметри.

Зміст

Анотація

Вступ

1. Аналіз сучасного обладнання для різання овочевих культур, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження процесу різання буряка

1.1 Огляд літературних і патентних джерел і аналіз конструкцій машини для різання марки А9-КРМ

1.2. Загальні підходи до опису процесу різання

1.3. Призначення та класифікація овочерізок

1.3.1. Будова і принцип роботи машини для різання буряка марки А9-КРМ

1.4. Мета і завдання кваліфікованої магістерської роботи

Теоретичні і експериментальні методи проведення досліджень

2.1. Теорія різання, особливості та конструкції форми ріжучого леза

2.2. Обґрунтування, основний зміст і опис модернізації машини для різання овочів А9-КРМ

2.2.1. Аналіз структури машини для різання овочів марки А9-КР-2В

2.2.2. Кінематичний розрахунок машини для різання

2.2.3. Технологічний розрахунок машини

2.2.4. Енергетичний розрахунок машини

2.3. Конструювання і розрахунок ножа вузла різання

2.4. Спосіб оцінювання ступеню придатності бурякорізальних ножів

2.5. Методика та результати досліджень

2.6. Спосіб отримання стружки трикутного та плоско-гібінчастого поперечних перерізів

3. Фізичне моделювання поведінки бурякорізальних ножів в умовах руйнування граничного шару

3.1. Визначення сил напруг при зрізанні плодів в стружку

3.2. Силова взаємодія плодів з ножами у відцентрових взаємодіях

3.3. Дослідження зусиль при різанні коренеклубнеплодів в стружку

3.4. Моделювання взаємодії активного ножа з плодом

3.5. Дослідження впливу кута торцювання на зносостійкість бурякорізальних ножів

4. Моделювання динаміки різання коренеплодів

4.1. Обґрунтування запропонованого математичного підходу до визначення конструктивних елементів бурякорізальних ножів

4.2. Перевірочний розрахунок удосконаленого корпусу бурякорізки з можливістю використання двохрядних рам

4.3. Вплив складових на потужність машини для різання плодів

4.4. Регресійний аналіз математичного процесу різання коренеплодів марки А9-КРМ

4.5. Визначення основних геометричних характеристик поперечних перерізів стружки

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5.1. Охорона праці

5.1.1. Аналіз виробничого травматизму.

5.2. Розроблення заходів захисту роботи від повеней.

Висновки

Перелік посилань

Специфікації

Додатки

Вступ

Для підвищення ефективності і перш за все зростання продуктивності праці відіграє зниження технологічних втрат сировини і нормування споживання електроенергії. Інтенсивні методи господарювання нерозривно пов'язані з ефективним використанням виробничих ресурсів, впровадженням ресурсозберігаючих технологій.

Харчова промисловість є однією з найбільш матеріаломістких галузей. На зниженні матеріаломісткості виробів позначається скорочення втрат сировини. Тому велика увага має приділятися удосконаленню технологічного процесу, створення і впровадження прогресивних технологічних схем. Процес різання набув широкого поширення в харчовій промисловості, а особливо в консервній, цукровій та м'ясній галузях. В консервній галузі процес різання широко використовується для подріблення буяків, моркви в стружку. Від параметрів даного процесу залежить її якість, яка є одним із основних факторів. Різна за товщиною стружка не допустима, так як має меншу пружність і знижує добру якість подальшого процесу, а товста значно підвищує тривалість процесу.

Аналіз наукових праць по підвищенню якості стружки та збільшення її однорідності вказав на можливий шлях удосконалення конструкції робочих органів машин, пошук оптимальних параметрів загострення ножів та способів їх зміцнення, підбір оптимального режиму різання та раціонального поперечного перерізу стружки. Сьогодні ще не вичерпані всі можливості щодо удосконалення конструкцій ріжучих органів машин та встановлення раціонального перерізу стружки.

Актуальність проведення дослідження по визначенню раціонального кута різання на утворення перерізу стружки встановив основу формулювання мети і задач досліджень.

Актуальність теми. Вплив кута різання на параметри процесу утворення стружки має велике значення на впливання параметрів. Дозволяє вплинути на продуктивність машини та ефективність усього виробничого

процесу. Позитивний характер ріжучого ножа на процес має кут різання. Тому на наш погляд недоліком є обмеження цього кута, так як вплив на утворення форми стружки за рахунок адгезії сповільнює процес. Конструкція кута різання потребує ЕТКД при намічених шляхах удосконалення. Актуальність роботи-ЕТД ножа різання на забезпечення ефективних параметрів утворення стружки.

Зв'язок роботи з програмами, темами. ЕТД магістерської роботи відповідають науковому напрямку досліджень ТНТУ імені Івана Пулюя. Вони виконані в рамках кафедри «ОХ».

Метою даної роботи є удосконалення геометрії робочого ножа різання для підвищення виробничої потужності та покращення якісних властивостей стружки.

У відповідності з поставленою метою сформульовані такі задачі дослідження: проаналізувати теоретичні засади і особливості різання коренеплодів: визначити ступінь впливу геометричних параметрів ножів на показники роботи машини і якість отриманої стружки: визначити шляхи удосконалення існуючих конструкцій робочих органів машини: розробити методики і експериментальну установку для проведення дослідження: визначити раціональний переріз стружки з огляду на її якісні показники: запропонувати нові технічні рішення по отриманню стружки раціонального поперечного перерізу.

Об'єкт дослідження – процес різання.

Предмет дослідження – вплив геометрії кута різання на параметри процесу утворення стружки.

Методи дослідження. ЕТД при застосуванні моделювання, механіки, теорії механізмів, деталей машин. Рішення здійснено апробацію комп'ютерного моделювання. Використанні МПЕ для результатів отримання даних засобів та методів вимірювання програмним ресурсом SolidWorks. Статистично-математичне використання програм для ПЕОМ.

Наукова новизна отриманих результатів:

- одержано розрахунок кута різання, що вплинуло на визначення параметрів різання коренеплодів;
- запропоновано удосконалення моделювання процесу різання;
- визначено дію зусиль і траєкторію переміщення стружки з урахуванням кута ножа.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено 3Д модель вузла різання. Встановлено фактори процесу різання. Запропоновано геометрію кута різання у вузлі машини A9-КРМ. Новизна досліджень можлива в навчальному процесі у дисципліні «КОХВ».

Особистий внесок здобувача. Робота виконана автором самостійно. Обґрунтовано конструкцію ножа, проведено розрахунки параметрів різання на утворення стружки .

Апробація результатів дисертації. Відбулося обговорення на науковій конференції: Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», (28-29 листопада, Тернопіль, 2020 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 1 наукових праці, тези наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків і додатків.

**Аналіз сучасного обладнання для різання овочевих культур,
вибір і обґрунтування основних**

напрямків дослідження процесу різання буряка

**1.1 Огляд літературних і патентних джерел і аналіз
конструкцій машини для різання марки А9-КРМ**

Для різання овочів використовують різноманітне обладнання, яке відрізняється за конструкцією і принципом роботи. Для того, щоб раціонально вибрати машину для виготовлення консервів потрібно проаналізувати їх переваги і недоліки. Проаналізуємо обладнання харчової промисловості, зокрема машин для різання корене-клубнеплодів на кубики, стружку і скибки.

Машина для різання овочів марки RU-3 на пластини, прямокутні стовпчики або кубики, виконана у вигляді барабана з обертовими в ньому лопатями (кулачками) і забезпечена по дотичній до кола обертання лопатей нерухомим плоским ножом і встановленими над ними на обертовому - валу дисковими ножами .

Для різання овочів на кубики (рис.1.1) попередньо очищені і вимиті овочі завантажуються в прийомний бункер 8 і потрапляють всередину барабанах 2 , де підхоплюються обертовими кулачками 8 і переносяться ними в верхню частину барабана на нерухомий плоский ніж 4 .

Нерухомий плоский ніж відрізає від овочів пластини певної товщини ; товщину пластини можна регулювати переміщенням планки знімача 24 . Потім зрізані пластини овочів дисковими ножами 5 ріжуться на смужки квадратного перетину; ці смужки потрапляють під блок поперечно - ріжучих ножів 6, які розрізають смужки на кубики.

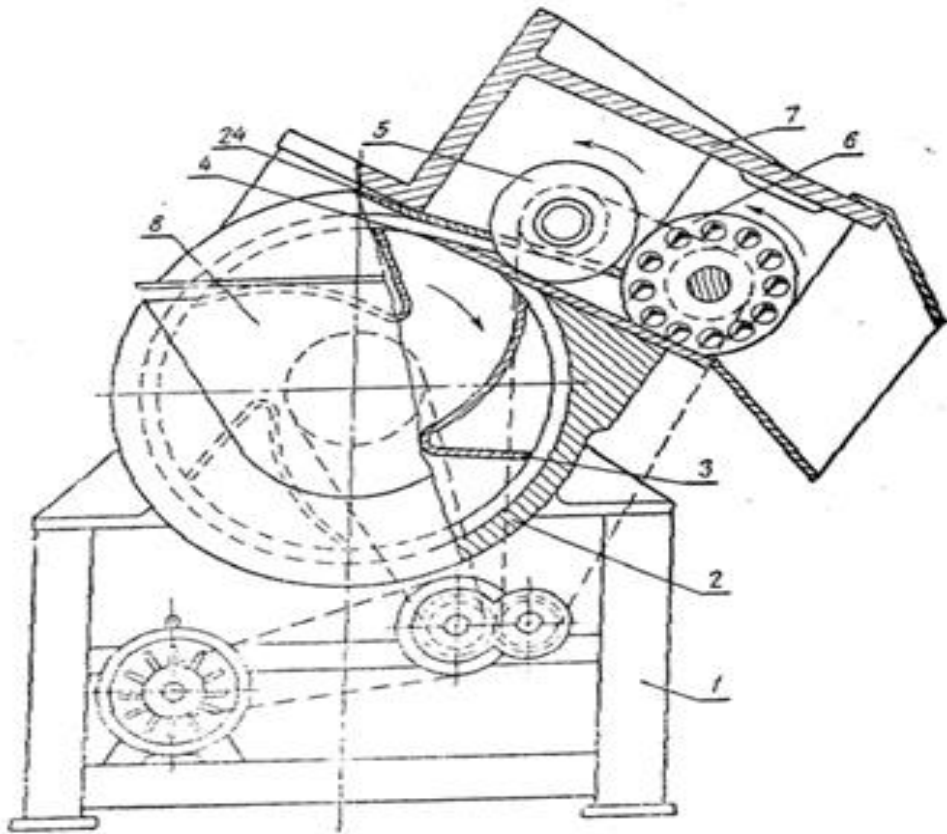


Рисунок 1.1 - Загальний вигляд машини для різання овочів марки RU-3.

При цьому відстань A між ножами при підході їх до нижньої точки під час розрізання продукту збільшується, завдяки чому відбувається відрив відрізаних кубиків один від одного, викидання їх за межі машини і попереджається заклинювання продукту між ножами (рис.1.2).

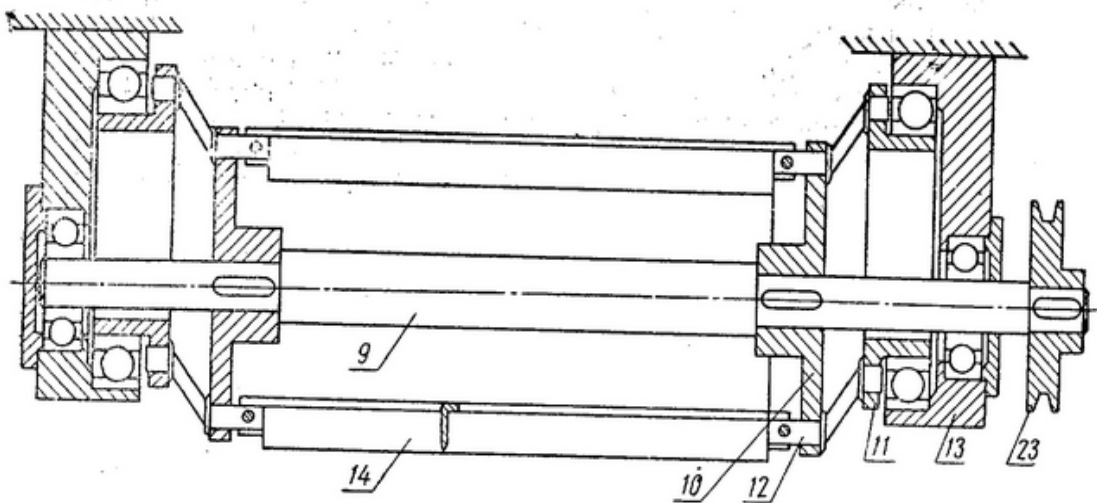


Рисунок 1.2 - Блок поперечно ріжучих ножів машини для різання овочів марки RU-3.

При розрізуванні овочів на смужки (локшину) знімають з машини блок поперечно - ріжучих ножів 6. При цьому овочі розрізаються плоским ножем 4 на пластини, а потім дисковими ножами 5 на смужки. Для різання овочів тільки на пластини знімають блок поперечно - ріжучих ножів 6 і набір дискових ножів. 5 .

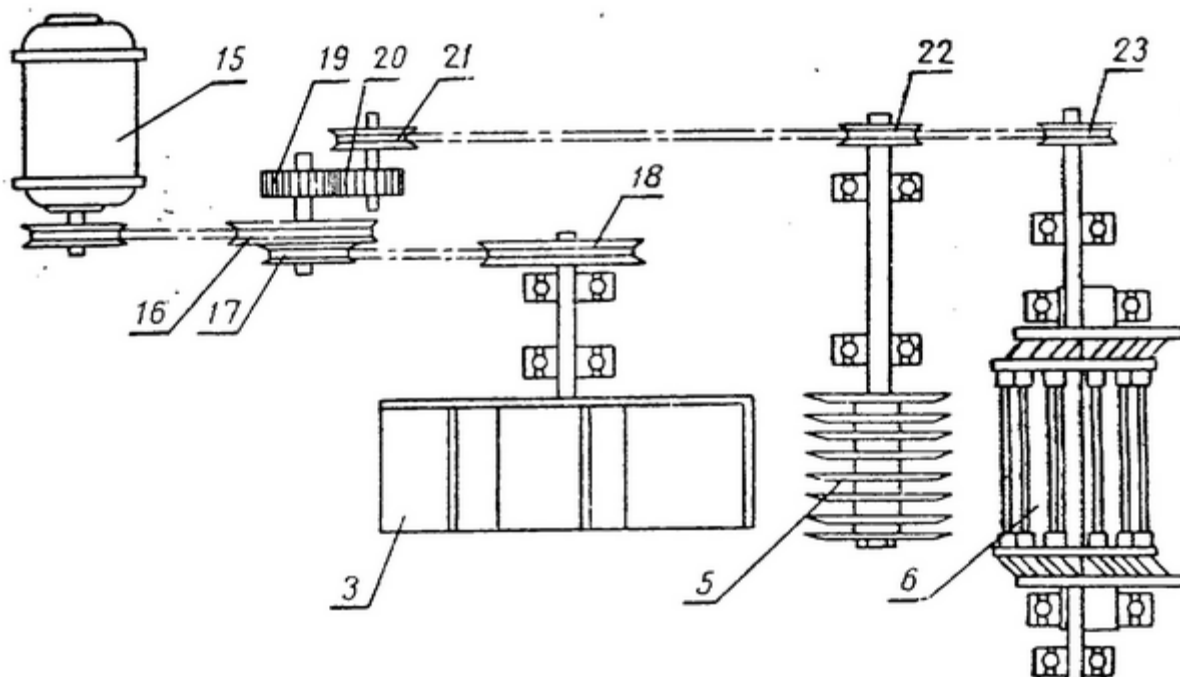


Рисунок 1.3 - Кінематична схема машини для різання овочів марки RU-3.

Конструкція для різання овочів марки RU-3 відрізняється від іншого обладнання тим, що з метою забезпечення універсальності різання овочів на пластини, прямокутні стовпчики або кубики. Після дискових ножів в кінематичній схемі машини (рис.1.3.) для різання встановлений блок поперечно - ріжучих ножів, причому як перші, так і другі ножі зроблені знімними, а також для забезпечення різання овочів на кубики блок поперечно - ріжучих ножів складений з центрального валика, що несе на своїх кінцях диски, і ексцентрично розташованих дискових втулок, з'єднаних з дисками короткими колінчатими валиками, між виступаючими кінцями яких укріплені пластинчасті ножі таким чином, що кожна пара

колінчастих валів з ножем , дисками і дисковими втулками утворює паралелограм , завдяки чому пластинчасті ножі при обертанні центрального валика рухаються по колу поступально , залишаючись паралельними між собою.

Машина для різання овочів і коренеплодів марки КУІ (рис.1.4) відноситься до консервної промисловості, а саме до машин для різання харчових продуктів, наприклад овочів і коренеплодів, на частини необхідних розмірів, зокрема для різання на кубики.

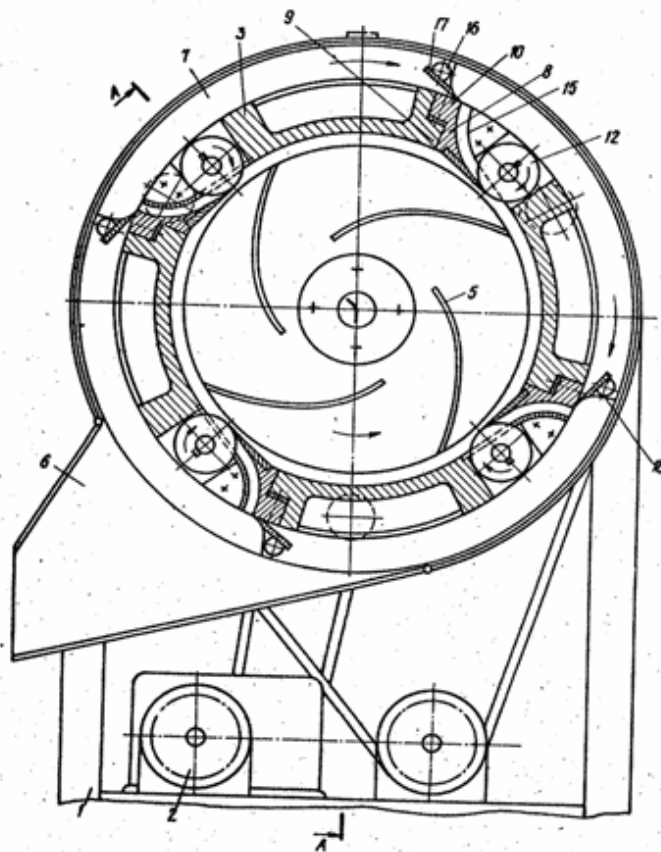


Рисунок 1.4 - Загальний вигляд машини для різання овочів і коренеплодів марки КУІ.

Овочі або коренеплоди безперервно подають у завантажувальний бункер 4 машини (рис.1.5), що має вихід в центральній частині ротора 5. Потрапляючи в порожнину корпусу овочі захоплюються лопатями ротора і прижимаються до поверхні корпусу 3, де дисковими ножами 12 і ножами 9 для різання на пластини розрізаються на бруски в результаті того, що

обертаються дискові ножі 12 і переміщення продукту відбувається лопатями ротора 5 направлено в одну сторону. Утворені бруски безперешкодно проштовхуються по криволінійному каналу, перетин якого кілька більше перетину брусків, до його виходу на зовнішній поверхні корпусу 3, при виконанні з якого на необхідну величину бруски плоскими ножами 17 барабана 7 розрізаються на кубики. Утворені кубики підхоплюються еластичними носіями 18 і виносяться через відповідний лоток в приймальний бункер.

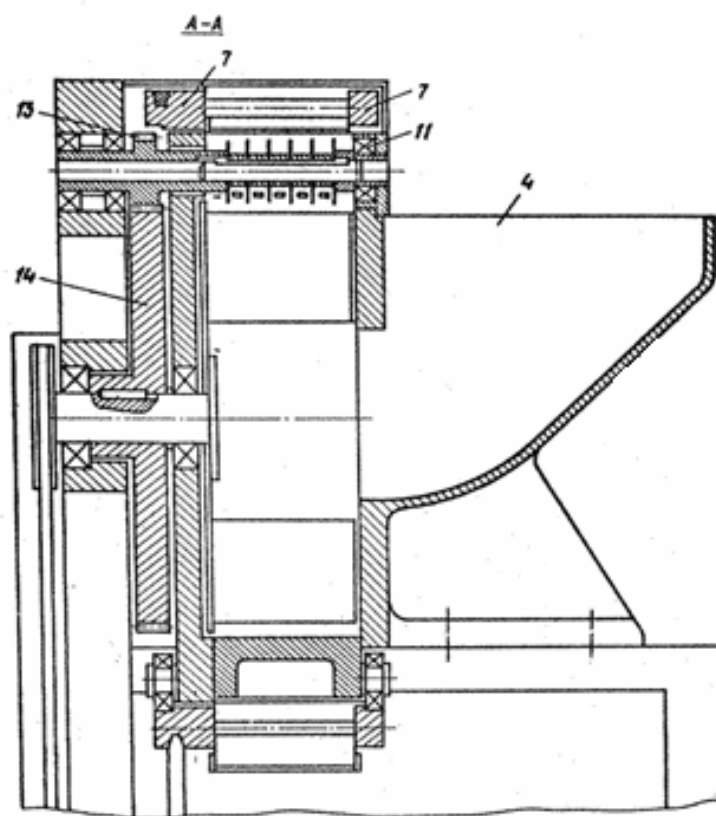


Рисунок 1.5- Розріз машини для різання овочів і коренеплодів марки КУУ.

Недоліками такої машини для різання овочів і коренеплодів марки КУУ є змінання оброблюваних овочів, і отримання шматочків неправильної форми, а крім того, невисока продуктивність.

Метою усунення змінання оброблюваних овочів та отримання шматочків, що мають форму правильних кубиків, і поліпшення таким

чином якості різання і підвищення продуктивності, вона забезпечена додатковими ножами для різання овочів на пластини, розташованими по колу корпусу, і доповненими блоками дискових ножів, закріпленими також по колу, пристрій для різання брусків на кубики виконано у вигляді розташованого коаксиально циліндричному корпусу барабана, по колу якого розміщені поворотні стрижні з плоскими ножами, встановленими з можливістю регулювання їх положення відносно корпусу, а останній має прорізи, розташовані за його кола, службовці для розміщення ножів для різання овочів на пластини і блоків дискових ножів, при цьому корпус з'єднаний з барабаном випускними криволінійними каналами, розташованими за блоками дискових полів. Стінки криволінійного каналу мають подовжнє насічку.

Конструкція для різання коренеплодів, овочів і фруктів марки МР-500 (рис.1.6) відноситься до харчової промисловості, зокрема до машин для різання коренеплодів, овочів, фруктів і ягід на кубики, стружку і скибочки, а також для нарізки картоплі.

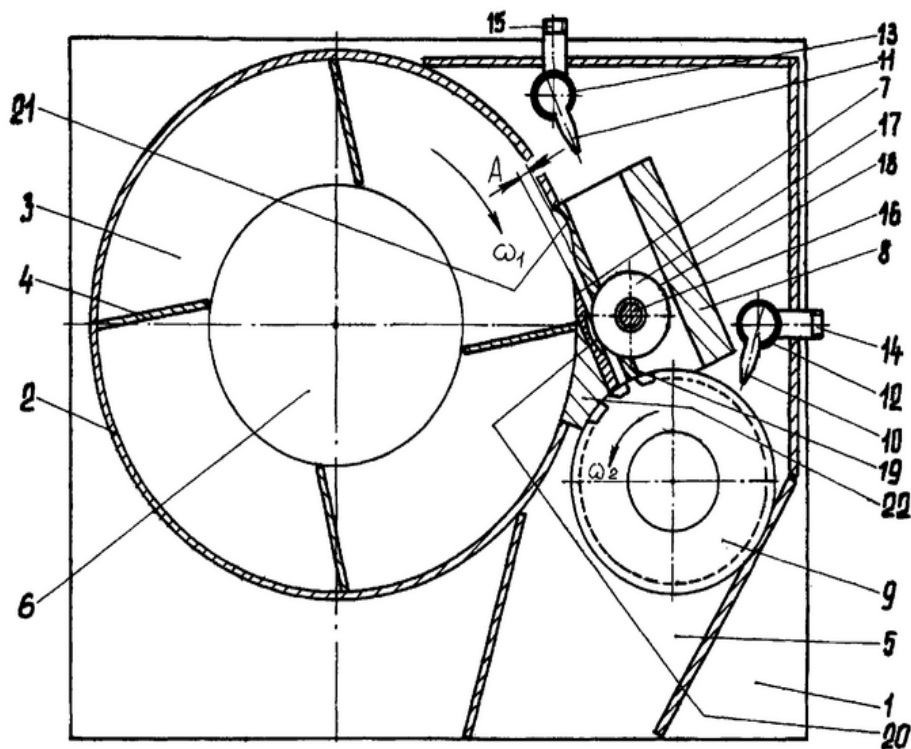


Рисунок 1.6 - Загальний вигляд машини для різання коренеплодів, овочів і фруктів марки МР-500.

Плоди округлої форми або у вигляді правильних або неправильних багатогранників транспортуючим пристроєм (в окремому випадку вручну) подають в завантажувальну воронку на кришці. При проходженні плода через отвір 6 в кришці він під власною вагою падає на одну з лопатей 4 ротора 3 . Далі за рахунок відцентрової сили , створюваної обертається лопаттю 4 ротора 3 , плід притискається до внутрішньої циліндричної поверхні барабана 2 . Долаючи сили інерції і тертя об поверхні вертикальної стінки підстави 1 і внутрішньої циліндричної поверхні барабана 2 і лопатей 4 , плід переміщається на нижню грань порожнистої призми блоку різання 8 і надходить на ріжучу кромку пластового ножа 7 . Ріжучою кромкою пластового ножа 7 відділяється стружка від плоду товщиною А. Плід із зменшеним розміром на величину А цієї ж лопаттю 4 подається на повторну операцію для відділення стружки. Відрізана таким чином стружка від плоду товщиною А за рахунок відцентрової сили і сили від ваги стружки подається в зазор між робочою поверхнею пластового ножа 7 і нижньою гранню блоку різання 8 . Цьому сприяє робоча полірована поверхня пластового ножа 7 і робоча полірована поверхня нижньої межі блоку різання 8 . Штовхається ззаду другим пластом (стружкою) перший надходить до робочих кромок 18 ножів 17 . Це переміщення стружки призводить до обертання ножів 17 на осі 16 . Робочими крайками 18 ножів 17 пласт розрізається на скибочки шириною 3 ; 5 ; 7,5 ; 10 ; 15 і 20 мм. Дугові поглиблення 20 на робочій поверхні пластового ножа 7 є протиріжучими пластинами для робочих крайок 18 ножів 17 . Це сприяє повному перерізу пласта від плоду на скибочки. Таким чином пазом шириною А , завдяки робочим крайкам 18 ножів 17 , відрізається або стовпчик квадратного або прямокутного перерізу (скибочки) від стружки плода. З пазу шириною А скибочки (стовпчик) підводиться до пазів ножового барабана 9 . Цими пазами локшина (стовпчик) підводиться до торця пластового ножа 7 і зрізується на кубик. Відрізані від стовпчика

кубики за рахунок відцентрової сили викидаються в випускний патрубок 5 в нижній частині основи 1 .

Для зміни геометричних розмірів стружки , стовпчики і кубиків з плодів переробляється продукції на підставі 1 встановлюють відповідний силовий каркас 22 з пластовим ножом 7 , блоком різання 8 і ножовим барабаном 9 .

При завершенні обробки харчових продуктів гнучким рукавом ніпелі 14 і 15 з'єднують з краном водопровідної води. При працюючих приводах ротора 3 і ножового барабана 9 з сопел 10 і 11 надходить вода і змиває сік і залишки продуктів шинкування з блоку різання 8 , ножового барабана 9 і випускного патрубка 5.

До недоліків описаної універсальної машини для різання коренеплодів, овочів і фруктів марки МР-500 для обробки харчових продуктів відносяться надмірне ускладнення конструкції і недостатня якість різання кубиків, стовпчиків, скибочок.

Для усунення цих недоліків необхідно забезпечити соплами для видалення потоками води залишків харчових продуктів , одне з яких розміщено над ножовим барабаном , а інше змонтовано над блоком різання , який виконаний у вигляді порожнистої прямокутної призми , в порожнині якої за допомогою осі розміщені дискові ножі , робочі кромки яких розміщені в пазах нижньої основи призми і сполучені з дуговими канавками на робочій поверхні пластового ножа. Пластовий ніж, блок різання і ножовий барабан змонтувати на силовому каркасі і виконати змінними .В нижній грані порожнистої прямокутної призми , зверненої у бік пластового ножа , виконати заглиблення. Ножовий барабан забезпечити індивідуальним електроприводом , сполучити з електричним ланцюгом харчування за допомогою перетворювача частоти.

Машина для різання овочів і фруктів марки А9-КИП (рис.1.7) відноситься до харчової промисловості, зокрема машин для різання плодів коренеплодів, овочів, фруктів і ягід на кубики, стружку і скибочки

Універсальна машина для обробки харчових продуктів працює таким чином.

Плоди округлої форми або у вигляді правильних або неправильних багатогранників транспортуючим пристроєм (в окремому випадку вручну) подають в завантажувальну воронку на кришці 10 . При проходженні плода через вікно в кришці 10 він під власною вагою падає на одну з лопатей 4 ротора 3 . Далі за рахунок відцентрової сили , створюваної обертається лопаттю 4 ротора 3 , плід притискається до внутрішньої циліндричної поверхні барабана 2. Долаючи сили інерції і тертя об поверхні вертикальної стінки підстави 1 і внутрішньої циліндричної поверхні барабана 2 і лопатей 4 плід переміщається на дугову поверхню сектора 6 і надходить на ріжучу кромку пластового ножа 12 . Ріжучої кромкою пластового ножа 12 відділяється стружка від плоду товщиною t (мм).

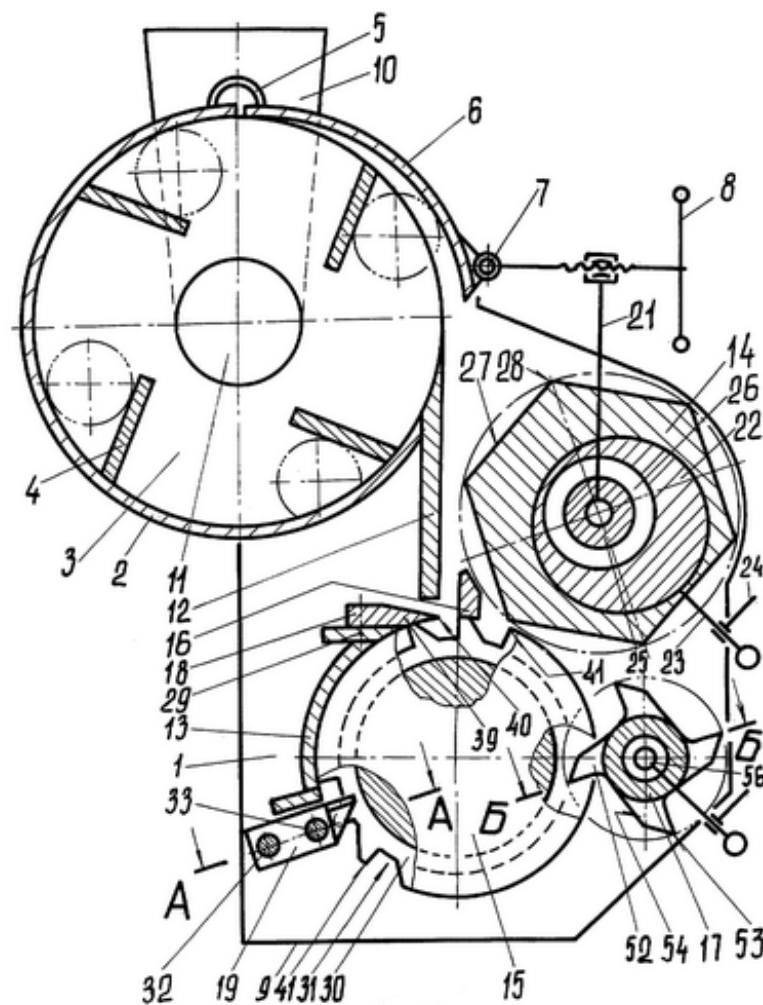


Рисунок 1.7 –Машина для різання овочів і фруктів марки А9-КИП.

Плід із зменшеним розміром на величину t цієї ж лопаттю 4 подається на повторну операцію для відділення другої стружки (рис.1.8). Відрізана таким чином стружка від плоду товщиною t за рахунок відцентрової сили і сили від ваги стружки падає вертикально вниз в напрямку ножового барабана 15. Цьому сприяє робоча полірована поверхня ножа 12 і відсікач 16 подавального пристрою. Ребра 28 і грані 27 вальця 14 примусово підштовхують стружку від плоду в пази 31 ножового барабана 15. Кожним пазом 31 відрізається стовпчик або локшина від стружки. Це відбувається таким чином, що вертикальна стінка паза 31 підводить локшину до ріжучої кромці 40 леза 39 ножа 18.

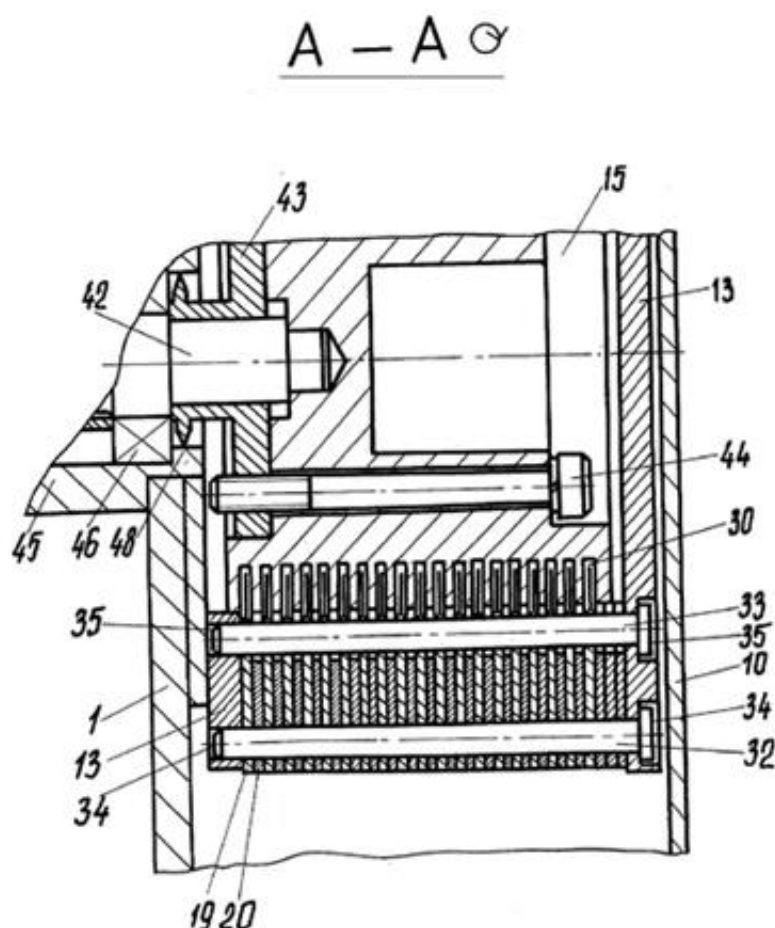


Рисунок 1.8 – Розріз ножового барабана з розміщеними лезами ножів в канавках барабану машини для різання овочів і фруктів марки А9-КИП.

Тангенціальний зріз локшини висотою b відбувається (рис.1.9) між ріжучою кромкою 41 паза 31 і ріжучою кромкою 40 леза 39 ножа 18 для

різання плодів на стовпчики або локшину. Відрізана від стружки у вигляді паралелепіпеда частина плоду канавкою 31 в блоці 13 різання переміщається до ножів 19 на пальцях 32 і 33. Ріжучими крайками 38 лез 37 ножів 19 локшина з плоду перетворюється на кубики з розмірами $t \cdot S \cdot b$. Під дією відцентрової сили кубики з пазів 31 викидаються в випускний патрубок 9 в нижній частині основи 1. Видалення кубиків і частини подрібнених плодів з пазів 31 і кільцевих канавок 30 забезпечує гребінка 17. Різцями 52 гребінки 17 витягують частини плодів з кільцевих канавок 30 і пазів 31, забезпечуючи цим геометрію нарізаних кубиків і паралелепіпедів.

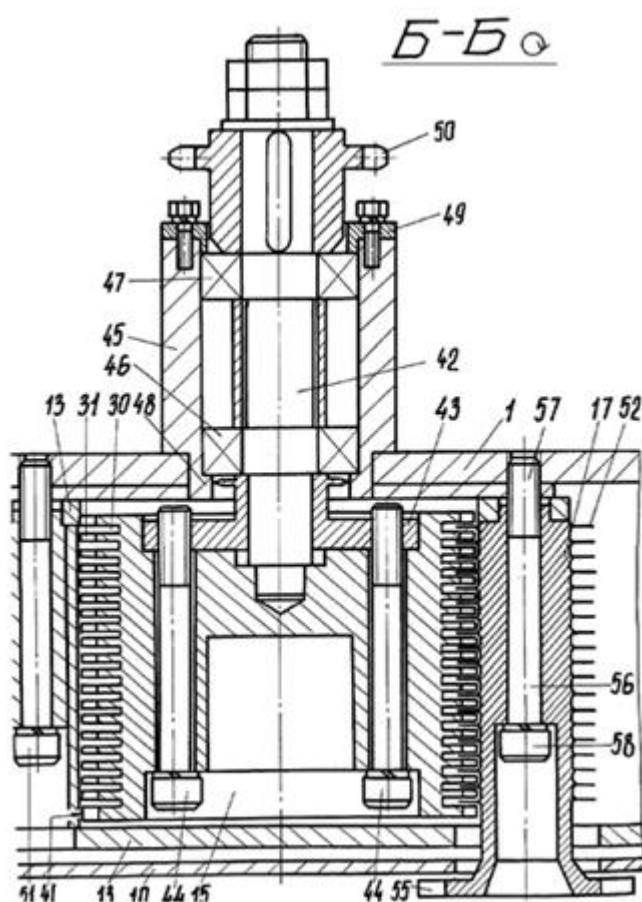


Рисунок 1.9 – Розріз гребінки для видалення залишків харчових продуктів з канавок і пазів ножового барабану машини для різання овочів і фруктів марки А9-КИП.

До недоліків описаної машини для різання овочів і фруктів марки А9-КИП відносяться складність конструкції, низька експлуатаційна надійність барабанів з Г-подібними і дисковими ножами і велика матеріаломісткість.

Для усунення цих недоліків дану конструкцію для різання овочів і фруктів марки А9-КИП необхідно забезпечити ножем для різання на стовпчики або локшину і блоками ножів для різання на кубики зі вставками між суміжними ножами , комплектом змінних ножових барабанів з кільцевими канавками і пазами на циліндричній поверхні пристрою і гребінкою для видалення харчових продуктів з ножового барабана , механізмом переміщення подавального пристрою в напрямку пластового ножа , виконаним у вигляді ексцентричної втулки , кінематично пов'язаної з механізмом радіального переміщення дугового сектора , лезо ножа для різання на стовпчики або локшину з ріжучої кромкою на торці встановлено тангенціально до ріжучим кромкам на виступах пазів ножового барабана , а в кільцевих канавках ножового барабана розміщені односторонні леза ножів для різання на кубики , ріжучі кромки яких орієнтовані радіально до осі обертання ножового барабана , а на діаметрально протилежному боці в кільцевих канавках з можливістю повороту і фіксації розміщені гребінки для видалення залишків харчових продуктів з канавок і пазів ножового барабана , при цьому кожній гребінці додана форма різця з ріжучої кромкою і потиличної фаскою на тильній його грані, різці на гребінці сформовані в пакети, а їх ріжучі кромки взаємно видалені з рівним кутовим кроком. Гребінка забезпечена маховичком. Гребінка на підставі змонтована за допомогою осі обертання. Ніж для нарізання стовпчиків або локшини виконаний окремим . Кут заточування односторонніх лез ножів для різання на кубики виконаний менш 15° . Привід є електродвигун і мотор- редуктор , з'єднаний з електричним ланцюгом харчування за допомогою частотного перетворювача з зміною промислової частоти від 0 до 100 Гц.

1.2 Загальні підходи до опису процесу різання

Процеси різання використовують, коли необхідно подати визначеної форми подрібненим частинкам. В основу теорії різання покладено те, що витрата енергії визначається сумою робіт на деформацію продукту та його

руйнування. До тепер не існує узагальненого математичного опису подрібнення різних матеріалів в апаратах різних конструкцій і різного принципу дії.

Існує два підходи до математичного опису подрібнення:

- підхід, який базується на розгляді процесу руйнування однієї частинки для встановлення залежності розмірів готового продукту від енергії, витраченої на подрібнення, так званий «закон подрібнення»;
- підхід, який базується на розгляді процесу подрібнення сукупності частинок для встановлення розподілу за розмірами готового продукту залежно від його фізико-хімічних властивостей типу й величини навантаження, що спричинює процес подрібнення.

При використанні першого підходу визначають роботу, спрямовану на зміну розмірів частинок матеріалу. Цей підхід описаний у роботах Ріттінгера, Кирпичова та Кіка, Штарлеса.

Модель Ріттінгера має

$$A_S = \sigma_S \cdot l^2 (i - 1), \text{ вигляд [13, с.325]:} \quad (1.1)$$

σ_S - питома поверхнева енергія; l – лінійний розмір частинки; i – ступінь подрібнення; A_S – робота, спрямована на одержання нової поверхні при створенні частинок менших розмірів.

Модель Кирпичова-Кіка [13, с.325]:

$$A_V = \frac{\sigma_S^2}{2E}, \quad (1.2)$$

A_V – робота, спрямована на одержання нового об'єму при створенні частинок менших розмірів; E – модуль пружності.

Однак жодна із запропонованих моделей не набула значного поширення, тому що вони є спробою описати процес подрібнення за допомогою емпіричних і напівемпіричних залежностей.

До другого підходу належить математичний опис процесу подрібнення на основі випадкових марківських процесів; кібернетичного підходу до процесу хімічної технології; використання функцій подрібнення; використання принципів системного аналізу; використання експериментально-статистичних методів.

В основі математичного моделювання різання - покладено визначення безпосередньо сили різання. Розглянемо механізм процесу різання. Складемо диференціальне рівняння, яке описує рух леза в продукті.

На ніж діють сили опору: F_r - сила різання, G - сила тертя між бічною поверхнею леза і продуктом, P_i - сила інерції. У випадку прояву продуктом адгезійних властивостей, замість сили тертя використовуємо силу адгезії $F_{ад}$.

Силу тертя визначають за формулою [13, с.325]:

$$G = G_{mp} + k_1 V = G_{mp} + k_1 \frac{dy}{dt}, \quad (1.3)$$

де G - коефіцієнт, що залежить від питомого навантаження продукту на бічну поверхню ножа; V - швидкість ковзання між продуктом і поверхнею ножа; k_1 - коефіцієнт впливу швидкості ковзання на силу тертя; y - переміщення ножа в продукт; t - тривалість різання.

Сила інерції P_i [13, с.326]:

$$P_{in} = ma = m \frac{d^2y(t)}{dt^2} \quad (1.4)$$

де m - приведена до ножа маса різального механізму; a - прискорення ножа в продукті.

Отримуємо рівняння руху [13, с.326]:

$$F_r + G + P_i = 0 \quad (1.5)$$

Враховуючи рівняння 1 і 2, розкриваємо члени рівняння [13, с.325]:

$$F_r + \left(G_{mp} + k_1 \frac{dy(t)}{dt} \right) + m \frac{d^2y(t)}{dt^2} = 0, \quad (1.6)$$

Рішення рівняння [13, с.326]:

$$y(t) = \frac{C_1 \cdot m \cdot e^{\frac{k_1 t}{m}}}{k_1} - \frac{(F_r + G_{mp}) \cdot t}{k_1} + C_2, \quad (1.7)$$

де C_1 і C_2 - постійні інтегрування.

При початкових умовах $t=0 \Rightarrow y=0 \Rightarrow dy/dt = V$ маємо [13, с.327]:

$$y(t) = \frac{(F_r + G_{mp} + V_{oy} + k_1) \cdot m \cdot e^{\frac{k_1 t}{m}}}{k_1^2} - \frac{(F_r + G_{mp}) \cdot t}{k_1} + \frac{(F_r + G_{mp} + V_{oy} + k_1) \cdot m}{k_1^2}, \quad (1.8)$$

Диференціюємо рівняння [13, с.327]:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{(F_r + G_{mp} + V_{oy} + K_1) \cdot m \cdot e^{\frac{k_1 t}{m}}}{k_1^2} - \frac{F_r + G_{mp}}{k_1} \quad (1.9)$$

З рівняння знаходимо силу різання [13, с.327]:

$$F_r = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{\frac{k_1 t}{m}} (G_{mp} + V_{oy} + k_1) + G_{mp}}{e^{\frac{k_1 t}{m}} - 1} \quad (1.10)$$

де $dy(t)/dt$ - швидкість руху ножа.

При розрахунку сили і потужності різання необхідно знати питому силу різання як відношення сили різання до довжини зрізу L [13, с.328]:

$$F_n = \frac{F_r}{L} \quad (1.11)$$

Розглянемо другий випадок, коли на продукт проявляє адгезійні властивості.

Сила адгезії може бути непостійна. Це характерно для неоднорідних за структурою продуктів. Наприклад, у продукті може бути тонка міцна оболонка, яка не дозволяє продукту деформуватися при затупленні ножа.

Силу адгезії визначаємо за формулою [13, с.329]

$$F_{ad} = P_{ad} S \cos(\alpha + \alpha_0) \quad (1.12)$$

де P_{ad} - щільність адгезії, N/m, S - площа контакту продукту з ножем.

Рівняння руху ножа [13, с.329]:

$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + F_r + F_{ad} = 0 \quad (1.13)$$

Приймаємо, що міцність адгезії лінійно залежить від тривалості t різання:

$$P_{ad} = b + ad \quad (1.14)$$

де a і b - експериментально знайдені коефіцієнти отримуємо рішення рівняння. Враховуємо початкові умови $t = 0 \Rightarrow y = 0, dy/dt = V_{oy}$, і отримуємо рівняння [13, с.330]:

$$y(t) = V_{oy}t \frac{t^2(3F_r + S\cos(\alpha + \alpha_0)(b + ad))}{6m} \quad (1.15)$$

Диференціюємо рівняння. Визначимо швидкість різання [13, с.330]:

$$y(t) = \frac{2V_{oy}t - 2F_r t + S\cos(\alpha + \alpha_0)(2bt + at^2)}{2m} \quad (1.16)$$

З рівняння визначаємо силу різання [13, с.331]:

$$F_r = \frac{2V_{oy}t - S\cos(\alpha + \alpha_0)(2bt + at^2)}{2t} - \frac{m}{t} \frac{dy}{dt} \quad (1.17)$$

Найчастіше щільність адгезії змінюється в часі за законом [13, с.332]:

$$P_{ad} = B e^{bt} \quad (1.18)$$

Тоді, розкривши члени рівняння, провівши аналогічні перетворення, отримуємо силу різання [13, с.333]:

$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + F_r + B e^{bt} S \cos(\alpha + \alpha_0) = 0 \quad (1.19)$$

$$F_r = \frac{V_{oy}}{t} - \frac{BS(\alpha + \alpha_0)(b - b e^{bt})}{tb^2} - \frac{dy}{dt} \frac{m}{t} \quad (1.20)$$

1.3. Призначення та класифікація овочерізок

Зокрема до машин для різання корене-клубнеплодів, овочів, фруктів і ягід на кубики, стружку і скибочки, а також для нарізки картоплі при виробництві смаженої картоплі .

Продуктивність овочерізок в дуже великій мірі залежать від її якості нарізання корене-клубнеплодів. Форма при нарізці корнеклубнеплодів на скибочки товщиною 5, 7, 10 мм; стовпчики з розмірами перетину 5x5, 7x7, 10x10 мм; кубики з розмірами ребра 7, 10 мм різних видів корнеклубнеплодів. Їхня поверхня повинна бути гладкою, без тріщин.

Машини для різання корене-клубнеплодів, овочів, фруктів і ягід можна класифікувати виходячи з взаємною відносного руху буряка і ріжучих пристроїв:

овочерізки з рухомими ріжучими пристроями;

овочерізки з нерухомими ріжучими пристроями.

До овочерізки з нерухомими ріжучими пристроями відносяться: відцентрові типу СЦБ-12, СЦБ-16, А2-ПБР-24 і барабанні. До овочерізки з рухомими різальними пристроями відносяться дискові з верхнім і нижнім приводами. У відцентрових овочерізках рами з ножами закріплені в вирізах вертикального корпусу. Овочі чи коренеплоди, що надходить в овочерізки, переміщуються щодо ножів при допомозі ротора-завитка і притискається до ножів під дією відцентрової сили і лопатей ротора.

У дискових овочерізки рами з ножами встановлюють у вирізи диска, що обертається навколо вертикальної осі, буряк залишається нерухомою і притискається до ножів під дією сили тяжіння і спеціальними притискними пристроями.

У барабанних овочерізки ножі з рамами закріплені в вирізах стінки барабана, що обертається навколо вертикальної осі; буряк знаходиться всередині барабана, утримується від обертання разом з ним і притискається до ножів спеціальними притисками.

На відцентрових овочерізки при нормальних умовах експлуатації одержують нарізку найкращої якості, в них витрачається найменше число ножів на 100 т буряка в порівнянні зі овочерізками інших конструкцій. Ножі можна міняти на ходу. Продуктивність овочерізки регулюють зміною частоти обертання ротора або числа встановлених ножів. Дискові овочерізки споживають менше енергії з відцентровими і барабанними, на них можна отримувати порівнянні зі овочерізками інших конструкцій. Для заміни ножів овочерізки зупиняють.

Барабанні овочерізки прості, але в процесі експлуатації потрібна велика кількість ножів і енергії, нарізка виходить низької якості, ножі можна замінювати тільки при зупинці.

До всіх типів овочерізок пред'являють однакові вимоги: висока продуктивність, хороша якість нарізки продуктів; простота і зручність обслуговування і ремонту; надійність і економічність.

Принцип дії бурякорізок заснований на відносному русі буряка і ножів. Такий рух може здійснюватися різними шляхами. У дискових бурякорізках рухаються ножі, закріплені на диску, що обертається, а буряк нерухомий. У відцентрових бурякорізках ножі закріплені нерухомо на стінках вертикального циліндра, буряк же рухається по внутрішній поверхні циліндра, притискаючись до ножів відцентровою силою.

1.3.1. Будова і принцип роботи машини для різання буряка марки А9-КРМ

Машина для різання корене-клубнеплодів марки А9-КРМ призначена для різки корнеклубнеплодів на стружку товщиною 5, 7, 10 мм; стовпчики з розмірами перетину 5x5, 7x7, 10x10 мм; кубики з розмірами ребра 7, 10 мм різних видів корнеклубнеплодів (буряка, картоплі, моркви білого кореня та інших). Машина призначена для установки в комплексі по виробництву овочевих консервів, а також для самостійної роботи.

Машина виготовляється в кліматичному виконанні УХЛ категорії розміщення 4 по ГОСТ 15150-69.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

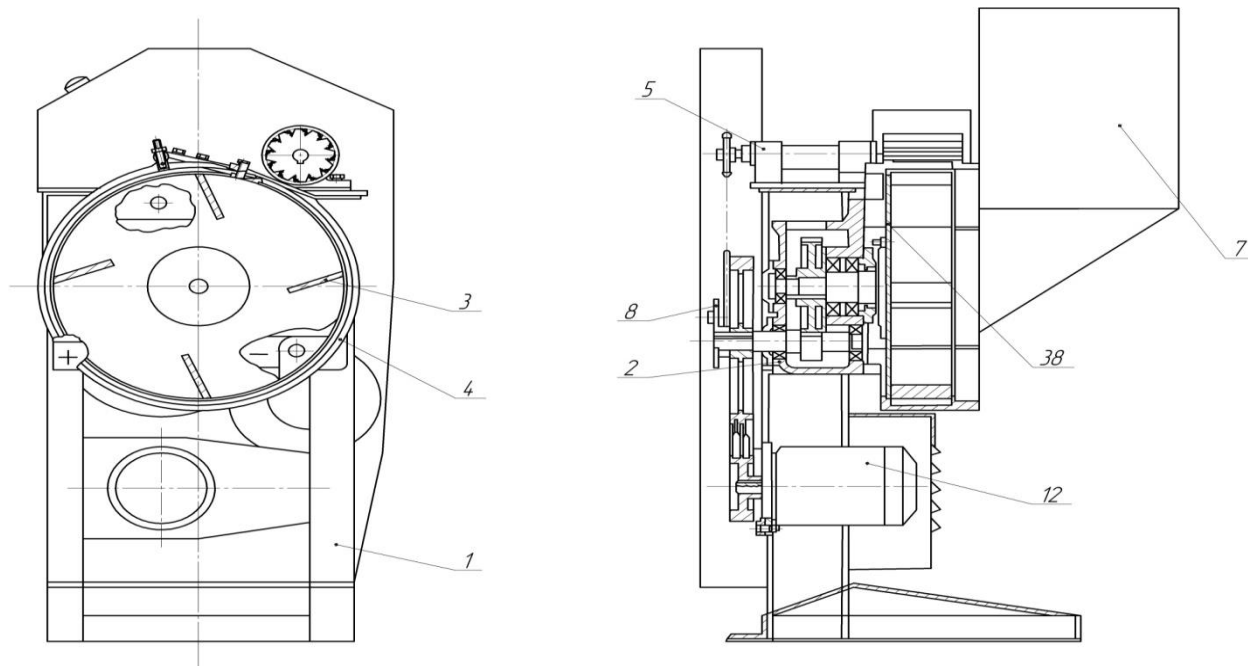
Основні показники машини :

1. Продуктивність технічна на буряках (по ГОСТ 1722- 67) при різанні на скибочки товщиною 10 мм, кг / 4 не менше.....3000
2. Встановлена потужність, кВт, не більше.....1,5
3. Синхронна швидкість обертання, об/хв.....1500
4. Маса, кг, не більше296

5. Габаритні розміри, мм, не більше:

- Довжина640
- Ширина840
- Висота1360

Машина складається з таких частин (рис.1.10): станини 1, що призначена для кріплення робочих органів: прикріплено до пластини фланцем. Електродвигуна 12, який редуктора 2 з двома валами, що з'єднані парою зубчастих коліс. Електродвигун і корпус редуктора розміщені всередині станини. На стійці станини укріплений контрпривід з веденою та ведучою зірочками 8. До редуктора кріпиться обойма 4 з закріпленими на ній ріжучими органами. Барабан, складається із двох сталевих дисків, з'єднаних між собою 4-ма лопатями, розташований в обоймі, і кріпиться до фланця вихідного вала редуктора. В передньому диску барабана є центральний отвір, через який в середину барабана поступає сировина. До передньої частини обойми прикріплений вантажний бункер 2. На верхній плиті станини встановлений корпус 5 який приводиться в обертання ланцюговою передачею через контрпривід (ланцюг ПР-12,7-1820-1-ГОСТ 13568-75, 86 ланок). На зовнішньому кінці вала встановлена крильчатка, яку можна замінити відрізним барабаном 5.



1.11. Ножові рами машини для різання плодів марки А9-КРМ: 1 - корпус; 2 - отвори для кріплення регулюючої планки; 3-паз для клина; 4 - отвори для кріплення ножів; 5 - фігурний паз для установки регулюючого гвинта.

Ножі закріплюють в ножових рамах, конструкції яких залежать від типу машини для різання корене-клубне плодів та конструкції ножів.

На рисунку 1.11 представлена рама для машини для різання корене-клубне плодів марки А9-КР-2В з нерухомою регулювальною планкою і рухливими ножами. В таких рамах при регулюванні зазору між ріжучою кромкою ножа і планкою необхідно переміщати ніж; тому він повинен мати, подовжасті пази для кріплення його до рами. У сталевому литому корпусі 1 рами є отвори 2 для кріплення регулювальної планки, паз 3 під кутом $3^{\circ} 30'$, в якому переміщається клин, отворів 4 для кріплення ножів і фігурний паз 5 для установки болта, якими регулюється положення рами по висоті корпусу машини для різання корене-клубне плодів.

Для регулювання зазору між ріжучою кромкою ножа і планкою переміщують ножі, які мають круглі отвори для кріплення (рис.1.12). Припливи рами мають довгасті отвори 2, в які встановлюють болти для кріплення ножів. Корпус рами має два виступи 3 і 6, внутрішня поверхня яких обробляється по радіусах з таким розрахунком, щоб ширина западини рами була рівна ширині кільцевого простору корпусу дискової бурякорізки.

Для регулювання положення планки по висоті є паз 4 із нахилом 1: 15. Планки закріплюють болтами, які встановлюють в отвори 5. Щоб вийняти ножову раму з гнізда диска, в виступах рами є отвори 7, в які входять штирі спеціального знімача.

Для врізання в буряк леза ножа повинні підніматися над планкою на деяку величину a , причому необхідну висоту підйому ножа регулюють планкою розташованої перед ножем. Планка піднімається і опускається за допомогою сталевого клина 5, Стружка, виходячи з під ножа, не повинна круто згинатися і внаслідок цього ломиться; тому лезо ножа встановлюють

2. Розкрити особливості процесу різання, переваг і недоліків процесного та апаратурного оформлення, особливостей впливу кута різання на матеріальні і енергетичні потоки утворення стружки;
3. Розробити теоретичні узагальнення особливостей різання з параметрами утворення стружки;
4. Визначити впливи геометричних параметрів ріжучих ножів та їх кріплення на динаміку процесу:
 - а) кінематичний і технологічний розрахунок різання буряка;
 - б) розрахунок деталей вузлів;
 - в). провести теоретичний аналіз відомих математичних моделей процесу різання;
5. Математична формалізація перехідних процесів в умовах різання буряка і фізичних впливів на утворення стружки:
 - вплив температурних параметрів на тривалість різання;
 - вплив динамічних параметрів роботи різання;
 - вплив зміни динамічних і температурних режимів роботи машини при різних впливах.
6. Узагальнити і оцінити перспективи використання кута заточування;
7. Здійснити теоретичну і експериментальну оцінку можливостей застосування барабанного ножового кріплення.
8. Розробити заходи з охорони праці та цивільного захисту.

Розділ 2

Теоретичні і експериментальні методи проведення досліджень

2.1. Теорія різання, особливості та конструкції форми ріжучого леза

Для подрібнення буряку використовують спеціальні бурякорізальні машини. Принцип дії бурякорізок заснований на відносному русі буряка і ножів. Такий рух може здійснюватися різними шляхами. У дискових бурякорізках рухаються ножі, закріплені на диску, що обертається, буряк нерухомий. У відцентрових бурякорізках ножі закріплені нерухомо на стінках вертикального циліндра, буряк же рухається по внутрішній поверхні

циліндра, притискаючись до ножів відцентровою силою. У барабанних бурякорізках ножі закріплені на стінках горизонтального барабана, що обертається, буряк знаходиться усередині барабана і утримується від обертання спеціальними пристосуваннями. До всіх типів бурякорізок пред'являються однакові вимоги: висока продуктивність, надійна і економічна робота, зручність експлуатації і ремонту, можливість регулювання продуктивності. Відцентрові бурякорізки дозволяють, не зупиняючи їх роботи, проводити зміну ножів, регулювати продуктивність як шляхом зміни частоти обертання ротора, так і кількістю працюючих ножів, контролювати якість стружки від кожного ножа, видаляти сторонні предмети, що потрапили, очищати ножі і регулювати їх підйом, змінювати профіль стружки. Але вони мають досить складну конструкцію, велику питому витрату електроенергії, дають підвищений вміст браку в стружці, і їх складно ремонтувати. Барабанні бурякорізки простіші по конструкції, дають хорошу стружку, мають менший в порівнянні з відцентровою бурякорізкою питоми витрата електроенергії, але зміна, регулювання і очищення ножів здійснюються, тільки при зупинці бурякорізки. Дискові бурякорізки мають меншу питому витрату електроенергії, чим відцентрові і барабанні, дають хорошу стружку, але вимагають зупинки для зміни, регулювання і очищення ножів. На переважній більшості вітчизняних бурякоцукрових заводів експлуатуються бурякорізки відцентрового типу, що мають принципово однакову конструкцію, і відрізняються числом встановлюваних ножових рам (а, отже і продуктивністю), видом приводу і окремими конструктивними елементами.

В залежності від співвідношення нормальної сили P_n рис.2.1 (утворена нормальним тиском леза на матеріал, що подрібнюється) та дотичної сили (яка спричиняє повздовжнє переміщення леза ножа під час різання) всі випадки різання можна розділити на такі види:

- Різання, що відбувається лише за рахунок нормальної сили P_n без врахування дотичної сили P_d та без повздовжнього переміщення S_t (рубуючі різання)
- Різання, що відбувається за врахування дотичної сили P_d і повздовжнього переміщення S_t без ковзання матеріалу по кромці леза, в цьому випадку кут між нормаллю до леза і напрямом його переміщення τ_k не перевищує кута тертя леза по φ_{kd} (нахилене різання) матеріалу ;
- Різання, що відбувається за врахування дотичної сили P_d з проковзуванням в цьому випадку кут $\tau_k > \varphi_{kd}$ (ковзаючі різання).

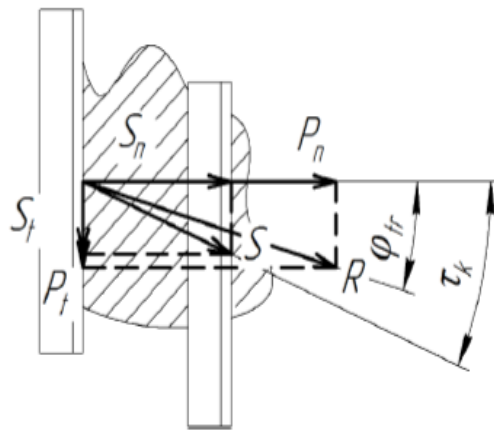


Рис. 1.1. Схема взаємного розміщення нормальної P_n і дотичної P_t сил різання, нормального S_n і дотичного S_t переміщення ножа при ковзаючому різанні: τ_k – кут ковзання; φ_{tr} – кут тертя леза по матеріалу.

Для кількісного визначення проковзування леза в процесі різання науковцями було введено поняття коефіцієнта ковзання леза ε , який являє собою відношення тангенційної V_t складової загальної швидкості леза до її нормальної V_n складової, або відношення тангенційної S_t до нормальної S_n переміщення:

$$\varepsilon = \frac{V_t}{V_n} = \frac{S_t}{S_n} = \operatorname{tg} \tau_k$$

Відмінність між ковзаючим та нахиленим різанням у тому, що у першому випадку різання відбувається за рахунок прикладення до ножа двох взаємно перпендикулярних сил P_d та P_n . В другому випадку різання здійснюється примусовим переміщенням ножа в матеріалі по заданому напрямку.

При нахиленому та ковзаючому різанні відбувається трансформація кута заточення ножа та кромки леза, величина якої залежить від співвідношення нормальної і тангенційної складових швидкості різання.

При різанні цукрових буряків бурякорізальними ножами плоского типу рис.2.2а, з сталою довжиною робочої частини ножа ($h_1=h_2$), або ножами кенігсфельдського типу рис.2.2б, з прямим торцюванням (ψ_1) матиме місце рубаюче різання, оскільки буряки в процесі різання рухатимуться під прямим кутом до ріжучих кромки ножів.

Для подрібнення буряка на кубики, скибочки, стовпчики застосовуються ножі, які класифікуються в залежності від форми ріжучого леза і від способу виготовлення. Ніж являє сталеву пластинку завдовжки 140-190 мм і шириною 70-90 мм, спеціально оброблену.

Залежно від способу виготовлення ножі поділяються на фрезеровані і штамповані. Ріжучі леза фрезерованих ножів виготовляють різної форми рисунок 1.3, штамповані ножі зустрічаються тільки однієї форми. Фрезеровані ножі виготовляють зі сталевих пластин, штамповані з листової сталі певної товщини.

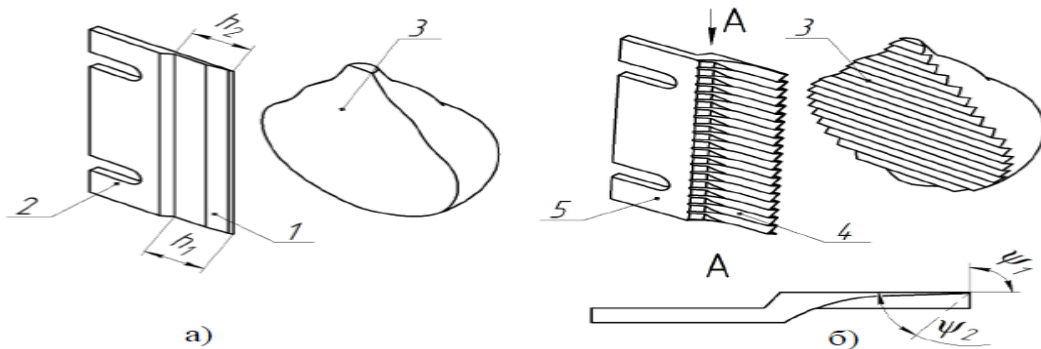


Рис. 1.2. Види різання цукрових буряків плоским (а) та кенігсфельдським (б) ножем: 1 – робоча частина плоского ножа; 2 – кріпильна частина плоского ножа; 3 – цукровий буряк; 4 – робоча частина кенігсфельдського ножа; 5 – кріпильна частина кенігсфельдського ножа; b_1, b_2 – довжина сторін плоского ножа (якщо $b_1 = b_2$, то довжина робочої частини стала); ψ_1 – кут прямого торцювання кенігсфельдського ножа ($\psi_1 = 90^\circ$); ψ_2 – кут косо́го торцювання кенігсфельдського ножа ($0^\circ < \psi_2 < 90^\circ$).

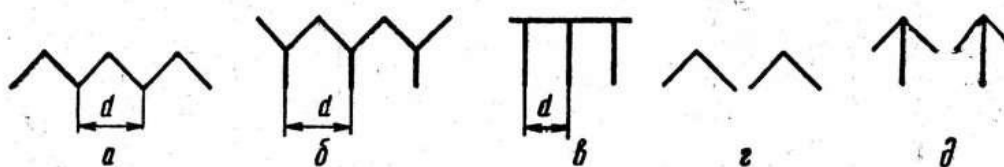


Рисунок 2.3 – Форми ріжучого леза різної конструкції ножів

Ножі Чижека системи Голлер (рис.2.3) і кенігсфельдські застосовуються для різання здорового буряка. Для переробки мерзлого буряка застосовують пальцевидні ножі. Ребристий плоский фрезерний ніж дуже складний у виготовленні і застосовується для отримання дуже товстої бурякової стружки.

Дифузійні ножі виготовляють зі сталі марки У-7 у відповідності з технічними умовами. Відстань між суміжними ребрами ріжучих лез ножів називається кроком (поділом) ножа; для кожного типу ножів крок може бути дорівнює 4, 5, 6 і 8 мм.

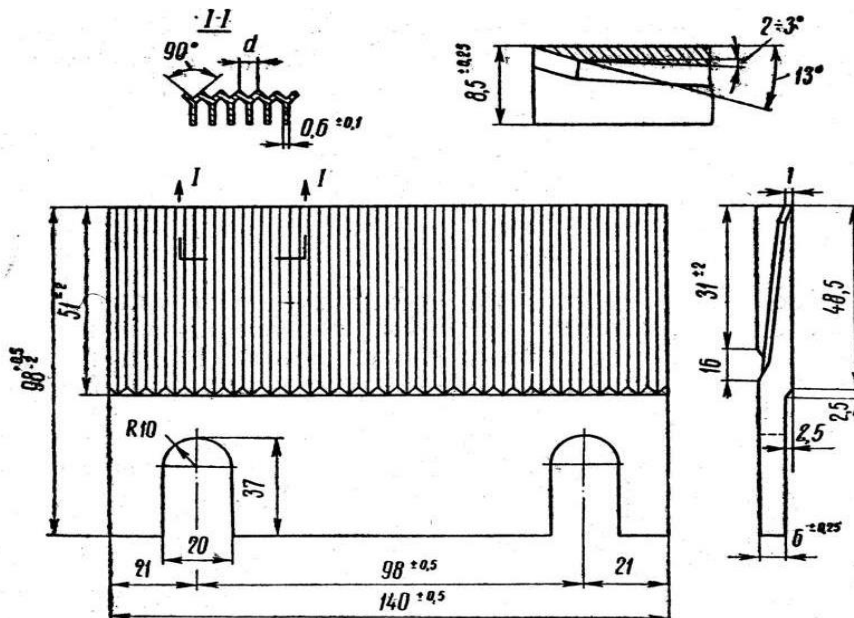


Рисунок 2.4. - Овочерізальний ніж Чижека

Овочерізальні ножі для кріплення в рамі мають два круглих отвори під болти з голівками потайними.

На рисунку 2.4 показані фрезеровані ножі Чижека типу 1012 для машин різання корене-клубнеплодів марки А9-КР-2В. На вітчизняних консервних заводах застосовуються також штамповані ножі Голлера і фрезеровані кенігсфельдські ножі.

2.2. Обґрунтування, основний зміст і опис модернізації машини для різання овочів А9-КРМ

Машина для різання марки А9-КРМ призначена для різання овочів на кубики, стовпчики, скибочки. Овочі подрібнюються для виготовлення овочевих консервів. Дана машина дозволяє отримати в деякій мірі з порушенням вимог нарізання буряка, що впливає на якість консервів. Одночасно із цим недоліком, часто відбувається не різання, а дроблення продукту.

Враховуючи вище згадане, пропонуємо підвищити якість різання та продуктивність за допомогою таких методів:

- збільшити кут загострення ножів, що зменшить зусилля різання;

- збільшення частоти обертання ріжучого барабана.

2.2.4. Аналіз структури машини для різання овочів марки А9-КР-2В

Основною механічною операцією, яка виконується машиною для різання є подрібнення буряка на скибочки, стовпчики, кубики. Структурна схема складається на першому етапі конструювання нової машини або дослідження існуючої. Схема включає основні частини устаткування, їх призначення і взаємозв'язок. Зображена структурна схема на рисунку 2.5.

По принципу дії машини для різання корене-клубнеплодів відноситься до обладнання з механічним приводом. Робочий орган (барабан) кріпиться на валу і здійснює обертовий рух, який передається через ланцюгову і пасову передачу від електродвигуна.

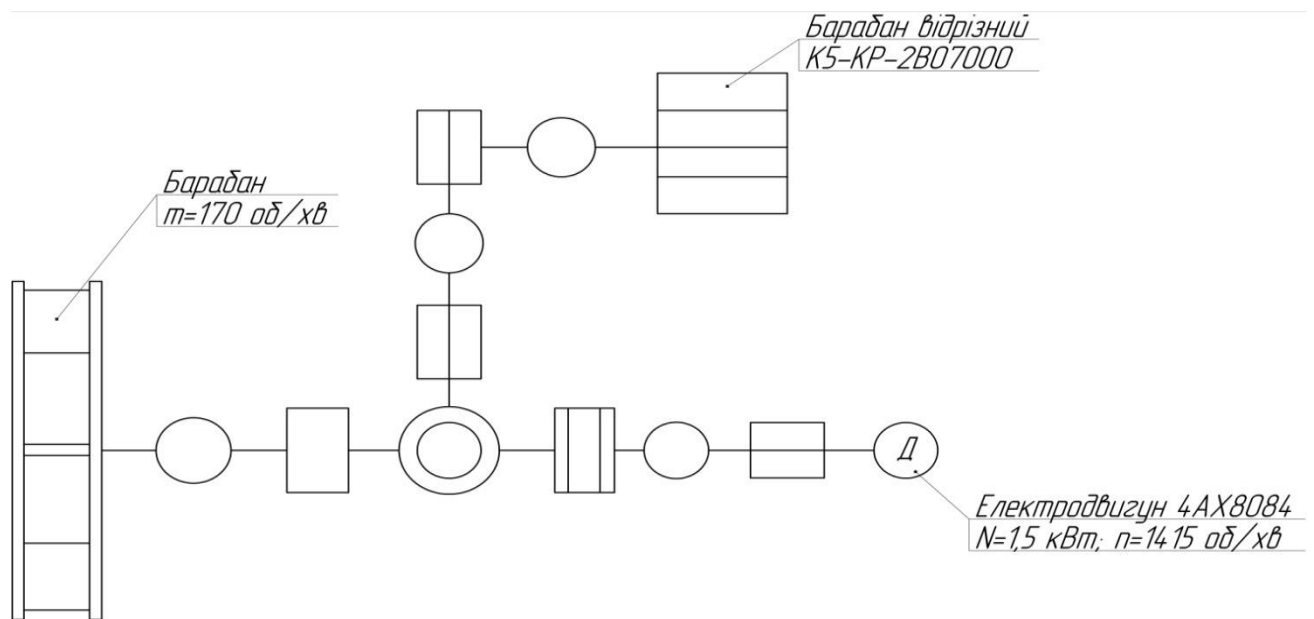


Рисунок 2.5. Структурна схема машини для різання корене-клубнеплодів марки А9-КР-2В

2.2.5. Кінематичний розрахунок машини для різання

Для подальших силових та кінематичних розрахунків розробляється кінематична схема машини.

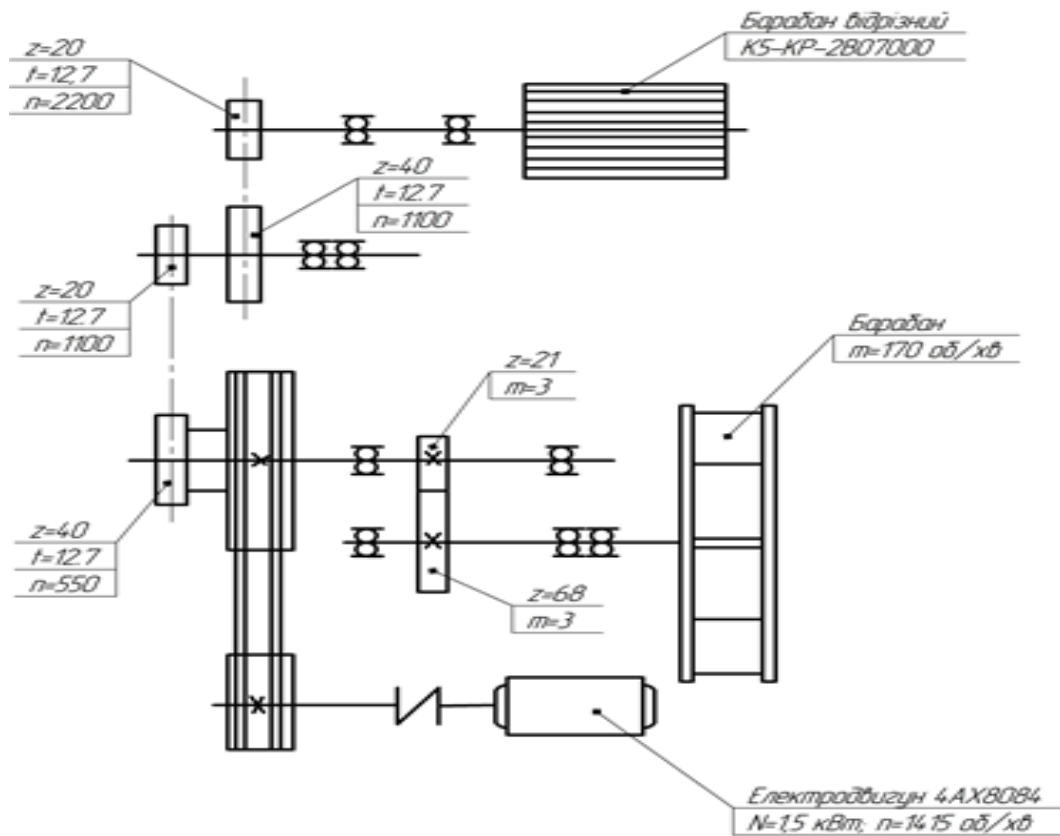


Рисунок 2.6. - Кінематична схема машини для різання овочів марки А9-КР-2В

Знаходимо загальний коефіцієнт корисної дії приводу:

$$\eta = \eta_{nn} \cdot \eta_n^4 \cdot \eta_m \quad (2.1)$$

η_1 -ККД пасової передачі: $\eta_m = 0,98$ [1, с. 5, табл. 1.1];

η_2 -ККД підшипників: $\eta_n = 0,99$ [1, с. 5, табл. 1.1];

η_3 -ККД ланцюгової передачі: $\eta_m = 0,96$ [1, с. 5, табл. 1.1]

Тоді:

$$\eta = 0,98 \cdot 0,99^4 \cdot 0,96 = 0,90$$

Визначаємо необхідну потужність електродвигуна, і орієнтовну частоту обертання його вала [4, с.86]:

$$P_\delta = P / \eta = 1,26 / 0,90 = 1,4 \text{ (кВт)} \quad (2.2)$$

Отже даний двигун нам підходить.

Електродвигун постійного струму 4АХ80В4 з параметрами $N=1,5\text{кВт}$, $n=1415\text{об/хв}$ і ковзанням $3,7\%$.

Номінальна частота обертання вала електродвигуна:

$$n_n = 1415 - (1415 \cdot 0,037) = 1363 \text{ (об/хв)}$$

Кутова швидкість [1, с.88]:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} \quad (2.3)$$

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 1363}{30} = 142,6 \text{ (рад/с)}$$

Знаходимо передаточні числа.

Передаточне число приводу [1, с.89]:

$$i = n_{ном} / n_n = 1363 / 150 = 9,08 \quad (2.4)$$

Передаточне число редуктора циліндричного становить $i_{ц}=8$, тоді передаточне число конічної передачі

$$i_k = 9,08 \cdot 8 = 1,08$$

Приймаємо $i_k = 1,1$.

Визначаємо кутові швидкості і частоти обертання валів редуктора:

$$n_{\partial\partial} = 1363 \text{ (об/хв)};$$

$$\omega_{\partial\partial} = 142,6 \text{ (рад/с)}.$$

- тихохідний вал редуктора [1, с.92]:

$$n_2 = n_m = 110 \text{ (об/хв)};$$

$$\omega_2 = \omega_{\partial\partial} / i_p = 142,6 / 13,1 = 10,9 \text{ (рад/с)} \quad (2.5)$$

- швидкохідний вал редуктора [1, с.92]:

$$n_1 = n_n \cdot i_p = 110 \cdot 1,1 = 121 \text{ (об/хв)} \quad (2.6)$$

$$\omega_1 = \omega_{\partial\partial} / i_{kn} = 142,6 / 12 = 11,9 \text{ (рад/с)}$$

(2.42)

Крутний момент на валу двигуна [1, с. 92]:

$$T_{\partial\partial} = \frac{P_{\partial\partial}}{\omega}$$

(2.7)

$$T_{\text{дв}} = \frac{150 \cdot 10^3}{142,6} = 1052 \cdot 10^3 \text{ (Н} \cdot \text{мм)}$$

- на тихохідному валу [1, с.92]:

$$T_2 = \frac{P_2}{\omega_2} \quad (2.44)$$

$$T_2 = \frac{140 \cdot 10^3}{10,9} = 12844,04 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

- на швидкохідному валу [1, с.92]:

$$T_1 = \frac{T_2}{i_p} \quad (2.8)$$

$$T_1 = \frac{12844,04}{1,1} = 11676,4 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

2.2.6. Технологічний розрахунок машини

Продуктивність машини для різання визначається кількістю подрібнених нею буряків за певний проміжок часу при дотриманні заданої якості скибочок, стовпчиків, кубиків з буряка, які залежить від загальної довжини ріжучих лез ножів, які беруть участь у обробці, швидкості різання, товщини продукту, об'ємної маси буряків в умовах їх знаходження в корпусі машини для різання корене-клубнеплодів та характерних для даного типу машин для різання корене-клубнеплодів та експлуатаційних коефіцієнтів.

Знаходимо продуктивність за формулою [5, с.38]:

$$G = \frac{24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot L \cdot a \cdot v \cdot \rho \cdot K_k \cdot K_e}{1000} \quad (2.9)$$

де L - загальна довжина ріжучої кромки ножів, м; a - висота підйому ножів в машині для різання корене-клубнеплодів, м; приймається умовно як товщина нарізаного буряка; v - швидкість різання, м / с; ρ - насипна щільність буряка в корпусі машини для різання корене-клубнеплодів, кг / м³ ($\rho = 600$ кг / м³); K_k - конструктивний коефіцієнт враховує ступінь використання ножів машини для різання корене-клубнеплодів ($K_k = 0,90$); K_e - експлуатаційний коефіцієнт, рівний відношенню тривалості роботи машини для різання корене-клубнеплодів без зупинок за добу в годинах до

загального часу в добі ($K_e = 0,85$ без резервної машини для різання корене-клубнеплодів).

Довжина ріжучої кромки ножів [5, с.38]:

$$L = l \cdot m \cdot n$$

(2.10)

де l довжина ріжучої кромки одного ножа, $l = 0,128$ м; m - число ножових рам машини для різання корене-клубнеплодів $m=8$; n - кількість ножів в одній ножовій рамі, $n = 2$;

$$L = 0,128 \cdot 8 \cdot 2 = 2,05 \text{ (м)}$$

Швидкість різання [5, с.38]:

$$g = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (2.11)$$

де D - діаметр відрізного барабана машини для різання корене-клубнеплодів, $D = 0,124$ м; n - частота обертання вала машини для різання корене-клубнеплодів, $n = 2200$ хв.

$$g = \frac{3,14 \cdot 0,124 \cdot 110}{60} = 0,72 \text{ (м/с)}$$

Звідси продуктивність машини для різання корене-клубнеплодів:

$$G = \frac{24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 2,05 \cdot 0,0012 \cdot 0,72 \cdot 600 \cdot 0,9 \cdot 0,85}{1000} = 70,2 \text{ (т/добу)}$$

2.2.7. Енергетичний розрахунок машини

Потужність приводу машини для різання корене-клубнеплодів. Потужність N потребує на привід машини для різання корене-клубнеплодів, витрачається на різання буряку N_1 , на подолання сил різання буряка по ножі і ножові рамі N_2 , на розгін буряків до швидкості різання N_3 і на подолання сил тертя між країнами рухомого і нерухомого шарів при вступі до машин для різання корене-клубнеплодів N_4 , кВт;

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad (2.12)$$

Потужність, потребує на різання буряка, N_1 , кВт [5, с.48];

$$N = \frac{M \cdot \omega}{1000}$$

(2.13)

де M - момент при різанні буряка відносно осі обертання, Н·м; ω - кутова швидкість обертання, рад / с [5, с.48];

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

(2.14)

де n - частота обертання завитка, хв^{-1} ;

$$\omega = \frac{3.14 \cdot 110}{30} = 11.5 \text{ (рад / с)}$$

$$M = F \cdot R$$

(2.15)

де F - загальне зусилля різання, Н; R - радіус різання, м ;

$$R = \frac{D}{2}$$

(2.16)

$$R = \frac{0.128}{2} = 0.064 \text{ (м)}$$

$$F = 100 \cdot f \cdot 2 \cdot l \cdot m \cdot \eta \cdot K$$

(2.17)

де f - питоме зусилля різання, Н / м ($f = 1330$ Н / м, тому $l = 14$ м.); η - безрозмірна величина, що враховує повітряні проміжки між буряковими корінням [5, с.42];

$$\eta = \frac{\rho}{\rho_m}$$

(2.18)

де $\rho = 600$ кг / м³ - насипна щільність буряка, $\rho_m = 1000$ кг / м³ - щільність бурякової м'якоти.

$$\eta = \frac{600}{1000} = 0,6$$

$$F = 100 \cdot 1330 \cdot 2 \cdot 0.128 \cdot 24 \cdot 0.6 \cdot 0.9 = 441262 \text{ (Н)}$$

$$M = 44126 \text{ (Н·м)}$$

$$N = \frac{441262 \cdot 11.5 \cdot 10}{1000} = 50.78 \text{ (кВт)}$$

Потужність, потребує на подолання сил тертя буряка по ножі і ножовій рамі N , [кВт]. [5, с.44]:

$$N_2 = \frac{M_2 \cdot \omega}{1000}$$

(2.19)

де M_2 -крутний момент, необхідний для подолання сил тертя буряка про ножі і ножові рами, [Н·м].

Крутний момент, необхідний для подолання сил тертя M_2 , Н·м [5, с.45]:

$$M = F \cdot \mu \cdot R$$

(2.20)

де μ - коефіцієнт тертя ковзання буряка по сталі ($\mu = 0,175 \dots 0,225$).

Повне зусилля притиснення буряка до ножів і рамам F , Н [5, с.45]

$$F = f \cdot y \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot 2 \cdot l \cdot K$$

(2.21)

Питомий тиск на внутрішню стінку корпусу машини для різання корене-клубнеплодів f_y , (H/m^2) [5, с.46].

$$f_y = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot R}{3} \tag{2.22}$$

$$f_y = \frac{600 \cdot 11.5 \cdot 0.064}{3} = 26450 \text{ (H/m}^2\text{)}$$

$$F = 26450 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 0.124 \cdot 2 \cdot 0.128 \cdot 0.9 = 4745.58 \text{ (H)}$$

$$M_2 = 4745.58 \cdot 0.225 \cdot 0.064 = 68.33 \text{ (H}\cdot\text{m}^2\text{)}$$

$$N_2 = \frac{68.33 \cdot 11.5 \cdot 10}{1000} = 1.16 \text{ (кВт)}$$

Потужність, необхідна для розгону буряків до швидкості різання N_3 , кВт [5, с.46].

$$N_3 = \frac{G \cdot \omega^2 \cdot R^2}{2 \cdot 1000} \tag{2.23}$$

де G - продуктивність машини для різання корене-клубнеплодів, кг / с.

Знаючи продуктивність машини для різання корене-клубнеплодів

$$G = 70.2 \text{ т / добу} (0,7 \text{ кг / с}).$$

$$N_3 = \frac{0,07 \cdot 11,5 \cdot 0,064}{2 \cdot 1000} = 1,17 \text{ (кВт)}$$

Потужність N , потребує для подолання сил тертя між країнами рухомого і нерухомого шарів при надходженні буряка в машини для різання корене-клубнеплодів, визначається в залежності від продуктивності машини для різання корене-клубнеплодів:

Продуктивність, т / добу 5,0 5,1 ... 6,0 6,1 ... 7,0 7,1 ... 8,0

Потужність N_4 , кВт 8,0 7,0 6,0 5,0

Якщо продуктивність машини для різання корене-клубнеплодів $G=7$ т/добу, то потужність $N = 5,0$ кВт.

$$N_4 = 50.78 + 1.16 + 1.17 + 5.0 = 58.11 \text{ (кВт)}$$

До загальної потужності, потрібної для приводу машини для різання корене-клубнеплодів, необхідно додати потужність, потрібну на механічні втрати в машині для різання корене-клубнеплодів і редукторі. Приріст потужності на подолання сил від механічних тертя становить приблизно 3% від сумарної потужності N .

$$N = 58.11 + 2.06 = 60.17 \approx 61 \text{ (кВт)}$$

В машині для різання стандартно передбачено електродвигун постійного струму 4ПФМ280sГЛУХ4 $N=1,5$ кВт, $n=1415$ об/хв.

2.3. Конструювання і розрахунок ножа вузла різання

Для отримання якісне нарізання буряка стружки на машині для різання плодів марки А9-КРМ необхідно, щоб буряк в процесі різання з достатнім зусиллям тулився до поверхні ножів і внутрішньої поверхні барабана або до диска машини для різання.

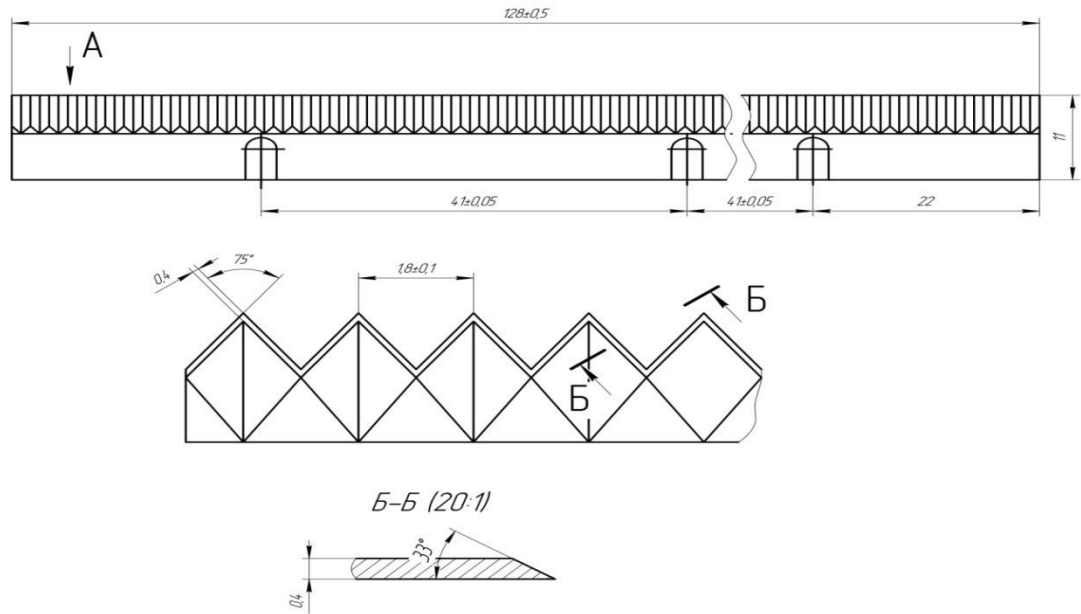


Рисунок 2.7 - Ескіз ножа машини для різання корене-клубнеплодів марки А9-КР-2В

В барабанних машинах для різання плодів діаметром 1200 мм при швидкості різання 8.2м/с тиск на внутрішній поверхні барабана становить близько 4,10 кПа, а для дискових машин для різання плодів при висоті шару буряка в бункері 3.0 м 30 кПа. Дійсно, тиск кореня буряка при різанні не може бути постійним, так як в процесі роботи машині для різання змінюються відцентрова сила і опорна поверхня кореня буряка. А при роботі дисковою машиною для різання плодів змінюються висота стовпа буряка над диском машини для різання плодів і опорна поверхня буряка.

Зусилля врізання ножа в буряк можна представити векторною сумою нормальних сил N_1, N_2, N_3 і сил тертя F_a і F_3 .

На підставі проведених досліджень запропоновано формулу 5.1 [2] для визначення зусилля різання стружки (Н).

$$R = b \cdot x \cdot \left[\left(\frac{\sigma_p \cdot l}{\sin \gamma} + \sigma_{риз} \cdot b \cdot \cos \alpha \right) \cdot (\cos \gamma + \mu \cdot \sin \gamma) \right] - \frac{\sigma_p \cdot l}{\cos \alpha} \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha) + 2 \cdot r \cdot \sigma_{см} \cdot \cos \left(\alpha + \frac{\beta}{2} \right)$$

(2.50)

де: σ_p - руйнуюче напруження клітин буряку на розрив, Па; b - ширина зрізу, м; γ - передній кут заточки ножа; β - кут загострення ножа, град; α - задній кут заточки ножа, град; l - довжина випереджаючої тріщини, м; $\sigma_{риз}$ - напруження різання буряку, Па; μ - коефіцієнт тертя по поверхні ножа; r - радіус заокруглення леза ножа, м; $\sigma_{см}$ - руйнуюче напруження матеріалу буряка на стиск, Па.

Дослідження показали (сторінка93 [2]), що значення які входять у дану формулу величин залежать від якості буряку і її біологічних властивостей і знаходяться в наступних межах:

$$\sigma_p = 3.34 \dots 11.25 \cdot 10^2 \text{ (кПа)};$$

$$\sigma_{риз} = 1.87 \dots 3.63 \cdot 10^3 \text{ (кПа)};$$

$$\sigma_{см} = 8.82 \dots 14.70 \cdot 10^2 \text{ (кПа)}.$$

Питоме зусилля різання буряку в середньому становить 6,85...14,7Н/см; коефіцієнт тертя буряку об поверхню ножів рівний 0,25, буряк ріжеться при тиску на внутрішню поверхню корпусу (0,5...0,8) МПа.

Отже зусилля різання буряку із ножем у якого ріжуча кромка загострена до кута 33°.

$$R = 0.001 \cdot 8.25 \cdot \left[\left(\frac{7.50 \cdot 10^2 \cdot 165}{\sin 33^\circ} + 2.50 \cdot 0.001 \cdot \cos 75^\circ \right) \cdot (\cos 33^\circ + 0.25 \cdot \sin 33^\circ) \right] - \frac{7.50 \cdot 10^2 \cdot 165}{\cos 75^\circ} \cdot (\sin 75^\circ - 0.25 \cdot \cos 75^\circ) + 2 \cdot 0.8 \cdot 10.50 \cdot \cos \left(75^\circ + \frac{12^\circ}{2} \right) = 1329.67$$

2.4. Спосіб оцінювання ступеню придатності бурякорізальних ножів

При різанні відбувається відділення однієї частини матеріалу від решти в результаті руйнування граничного шару. Руйнуванню в зоні контакту

ріжучого інструмента з матеріалом передують пружна та пластична деформації, величина яких залежить від будови та фізико-механічних властивостей матеріалу, швидкості його деформування. Так під дією зовнішньої сили інструмент створює в матеріалі деформацію та в момент часу, коли напруга стає рівною з межею міцності матеріалу відбувається його руйнування по лінії найбільших напруг.

Різання супроводжується складними фізичними та механічними процесами, які в значній степені залежать від реологічних властивостей продукції, а саме пружності, пластичності, в'язкості, міцності та інших. Так зовнішні фактори зумовлюють відносне зміщення частин або деформацію без порушення суцільності всієї маси, що залежить від властивостей матеріалу, його форми та способу прикладання зовнішніх сил. При деформації виникають внутрішні сили взаємодії між частинами тіла, мірою інтенсивності яких є напруга. Напруга зсуву, тобто відношення прикладеної сили до площі зсуву, а також мінімальна сила, що необхідна для переміщення прошарків продукції по площі зсуву є важливими реологічними характеристиками. З ростом напруги зсуву в'язкість маси матеріалу зменшується нерівномірно внаслідок неоднакового руйнування структури: спочатку при малих напругах спостерігається часткове відновлення структури, а далі відбувається лавинне руйнування структури з незначним відновленням.

З підвищенням температури матеріалу сили взаємодії між дисперсними частинками зменшуються, в'язкість падає та напруга зсуву зменшується. Зусилля, що витрачається на різання P містить опір продукції власне різанню $P_{різ}$ при розділенні матеріала з утворенням нових поверхонь; опір продукції пружним деформаціям $P_{пр}$, що викликаються зануренням в неї інструменту; силу тертя продукції P_T та інструмента, що пов'язана з обтисканням його деформованим продуктом.

$$P = P_{різ} P_{пр} P_T$$

$$P_{pi} \quad 0,8...0,9 P_s$$

– опір різанню;

$$P_{np} \quad \text{– опір пружним деформаціям;}$$

$$fP_{pi} \cos fpl \cos \alpha \quad \text{– сила тертя при обтисканні}$$

$$P_T \quad \text{інструмента продукцією;}$$

P – питоме зусилля при різанні; l – ширина шару продукції;

f – коефіцієнт тертя; α – кут нахилу леза інструмента до поверхні продукції; f – коефіцієнт тертя.

Силкові параметри різання, в основному, визначаються фізико-механічними властивостями продукції, температурою її поверхневого шару, геометричними характеристиками інструмента.

Також силу різання можна визначити в залежності від величини загального опору продукції:

$$P_{piz} = P_o P_p^2 P_l P_{T.C.} P_{T.B}$$

де P_o – загальна сила опору;

P_p – сила, необхідна для руйнування матеріалу;

P_l – сила лобового опору;

$P_{T.C.}$ – сила тертя на скосах ножа;

$P_{T.B.}$ – сила тертя на бокових гранях ножа.

За даними А.А. Романова величини розглянутих складових являють:

$$P_p \quad 0,9...0,95 P_{piz};$$

$$P_l \quad 0,01...0,02 P_{piz};$$

$$P_{T.C.} \quad 0,03...0,06 P_{piz}$$

$$P_{T.B.} \quad 0,46...0,92 P_{piz}$$

Іншим важливим параметром, що впливає на експлуатаційні характеристики машин для різання, є кут заточки ножа. Для гострого кута заточки (до 10 ... 120) відбувається зсув між прошарками матеріалу, що призводить до зростання загального опору ріжучому інструменту. При цьому

деформації підлягає значна зона матеріалу, швидкості процесу подрібнення незначні та деформація знаходиться практично у пружній області. Із збільшенням кута ріжучого клина зростають сили тиску та сили прилипання (адгезії). Зона пружної деформації зменшується, відбувається ковзання маси по граням ножа, що призводить до зменшення зусилля різання (10...200). Для більших кутів заточки (вище 200) матеріал налипає до граней ножа, що створює постійну застійну зону, за межами якої відбуваються пружні та пластичні деформації маси продукції.

В процесі різання буряків в бурякорізках важливою є проблема визначення моменту припинення подальшого використання ножів в бурякорізці і їх заміни на нові. Залежність ступеню придатності ножів від часу роботи відповідає роботі, які на початковому етапі «притираються» буряками - втрачають задирки та зменшують шорсткість ріжучих поверхонь і в результаті цього через певний час T після початку роботи дають найкращу якість стружки. Під час подальшої роботи ножі затуплюються, пошкоджуються і поступово наближаються в часі до моменту непридатності для подальшого використання. Працюють ножі, які мають або ідеальну форму заточування і не потребують часу для «притирання», або ножі із занадто потоншеними, а тому вразливими до пошкоджень ріжучими кромками. Взяття проб і оцінювання якості стружки по існуючій методиці (спосіб Сіліна) не завжди дозволяє оперативно і об'єктивно визначити оптимальний момент переходу на нові ножі, і тому цей момент визначається суб'єктивно - або за візуальним контролем якості стружки оператором, або за погіршенням показників роботи дифузійного апарата. Іноді ножі в бурякорізках замінюють за графіком, але цей спосіб також далекий від ідеального, бо одні ножі можуть травмуватися сторонніми предметами вже через декілька хвилин після початку роботи, а інші працювати декілька діб і різати якісну стружку. Очевидно, що, враховуючи високу вартість ножів, найбільш ефективним буде їх використання як можна довше, при умові отримання задовільної для переробки стружки.

Для оцінювання ступеню придатності бурякорізальних ножів (або інакше - для оцінювання ефективності процесу різання) в відцентрових бурякорізках ми хочемо звернути увагу на поведінку струменя стружки, що виходить з ножової рами. Схоже раніше на це ніхто уваги не звертав. Як показують спостереження струмінь стружки може мати різну форму в залежності від якості підготовки та ступеня зношеності ножів, розміру та тургору коренів буряків, стану бурякорізки та інших факторів. Частіше всього спостерігаються напрямлений, віялоподібний та проміжні між ними форми струменів стружки. Направлений струмінь стружки характеризується тим, що зрізана стружка рухається чітко вздовж пер ріжучої частини ножа, змінює напрямок на перегині ножа і щільним узгодженим пучком вилітає з рамки. Стружка в напрямленому струмені має довжину співмірну з розмірами коренів буряків, має однорідну товщину і містить малу кількість браку.

Віялоподібний струмінь характеризується тим, що значна частина стружки не рухається вздовж пер ріжучої частини ножа, а втрачає контакт з ножем в зоні ріжучої кромки і під різними кутами, хаотично вилітає з рамки. Стружка в віялоподібному струмені сильно подрібнена, має неоднорідну товщину і містить значну кількість браку. Шляхом спостережень ми прийшли до висновку, що тільки оптимальний процес різання буряків може утворювати стружку, яка рухається напрямленим струменем. Якщо це так, то у нас з'являється інструмент миттєвої візуальної оцінки процесу утворення стружки та оцінки впливу на цей процес тих, чи інших факторів.

Звичайно, для такої системи потрібно завжди вирішувати проблеми із забезпечення ритмічної роботи виробництва. Важливою є задача забезпечення зносостійкості бурякорізальних ножів, від яких залежить кількість та якість виробу. Незважаючи на впроваджені на заводах складні схеми і обладнання відділень з підготовки буряків не вдається гарантувати їх повну очистку від твердих домішок та забруднень, що сприяє їх зношуванню та пошкодженню. Внаслідок зношування ножів погіршується якість бурякової стружки, яка починає диспергуватися, тобто стає короткою та пошкодженою (мезга). Такі

ножі підлягають переточуванню. Після заточування ніж повертається у бурякорізальне відділення. Взагалі таких переточок ножа за умов відсутності значних крихких та пластичних пошкоджень можна зробити чотири.

З метою виявлення найбільш вразливих до зношування поверхонь проведено дослідження в умовах реального виробництва. Важливо також виявити механізми втрати ножем різальних властивостей та основні закономірності зміни геометрії різальної частини в залежності від тривалості роботи.

2.5. Методика та результати досліджень.

Для підвищення точності та достовірності результатів вимірювання, аналіз вимірів виконувався з використанням методів математичної статистики. Встановлено, що в процесі зношування збільшується радіус заокруглення біля вершини α різальної крайки та кут загострення. Під час експерименту нові бурякорізальні ножі встановлювались у ножові рами, а потім через відповідно 2, 4 та 12 годин досліджувався стан різальної частини. Для підвищення точності вимірювання виконувалось фотографування цифровою фотокамерою потрібної зони ножа, а потім зображення за спеціальною методикою оброблялось на комп'ютері із застосуванням графічних пакетів прикладних програм. Таким чином ми отримали чотири масиви вимірювань: 1-й масив – новий ніж, 2-й масив – ніж після двохгодинної роботи, 3-й масив – ніж після чотирьохгодинної роботи та 4-й масив – ніж після дванадцятигодинної роботи.

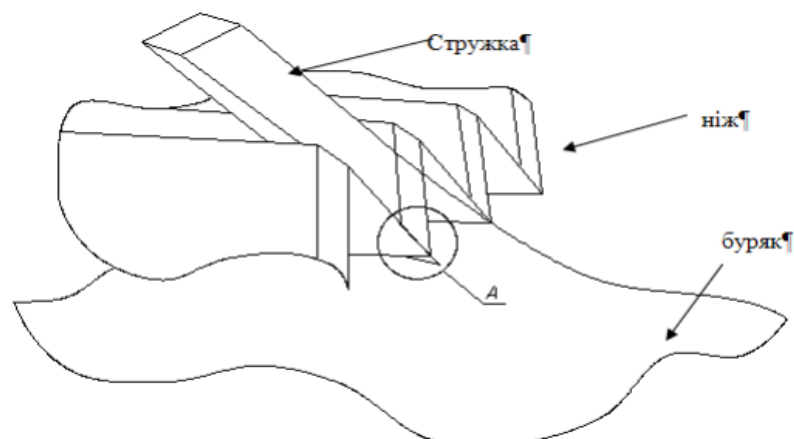


Рис. 2.8. Схема різання буряка

Під час проведення експерименту спостерігалось найшвидше зношування ділянки ножа, що знаходяться біля головної різальної вершини ножа та крайок в її околі, де чітко видно зношування леза ножа. На рисунку 2.8 схематично зображено процес різання буряка. В зоні А вершина різальної крайки вривається в буряк, що дозволяє відділити стружку. При цьому основне зусилля різання і відповідне тертя прикладені саме до цієї вершини. Бокові різальні крайки навантажені значно менше і забезпечують в основному форму стружки.

Аналіз динаміки процесу зношування дозволяє зробити висновок, що стійкість ножа (час роботи між переточками) визначається зносостійкістю саме вершини робочої крайки бурякорізального ножа. Весь період роботи ножів можна поділити на три частини: 1 – період припрацювання з інтенсивним зношуванням гострої частини крайки та формуванням оптимального радіуса заокруглення; 2 – період нормальної роботи з мінімальним зношуванням; 3 – період граничного стану, що характеризується досягненням радіуса заокруглення такого значення, при якому зрізання якісної бурякової стружки стає неможливим. Внаслідок затуплення різальної крайки збільшуються сили різання і тому стружка зминається, подрібнюється.

За характером пошкодження можна зробити висновок, що воно з'явилося внаслідок удару твердим тілом (камінчиком), що потрапило разом з буряками з поля.

2.6. Спосіб отримання стружки трикутного та плоско-гібінчастого поперечних перерізів

При зрізанні коренеклубів кожний другий зріз на коренях буряків-плоский, тобто на утворення наступних зигзагоподібних зрізів не впливає будь-яке регулювання ножів вздовж леза. В такому випадку якість стружки

не залежить від положення наступного ряду ножів в бурякорізці відносно попереднього, а отримана у такий спосіб стружка не містить браку, пов'язаного з не точним базуванням попереднього та наступного рядів ножів (один відносно одного), що дозволяє спростити конструкцію зигзагоподібних ножів до одного виконання, а також використовувати половину з необхідних для отримання стружки ножів з прямолінійною ріжучою частиною, які є простішими в використанні та виготовленні.

Для реалізації даного способу на практиці:

- в барабанних і дискових бурякорізках ножові рами з ножами кенінгсфельдського і плоского типу повинні чергуватися в напрямку руху барабана;

- в бурякорізці з дворядними або однорядними ножами рамами ряди ножів кенінгсфельдського і плоского типів повинні чергуватися в напрямку руху буряка. Схема набору ножів в двохрядну ножову раму машини для отримання трикутного чи плоско-гребінчастого поперечного перерізів стружки відображена на рис. 2.9.

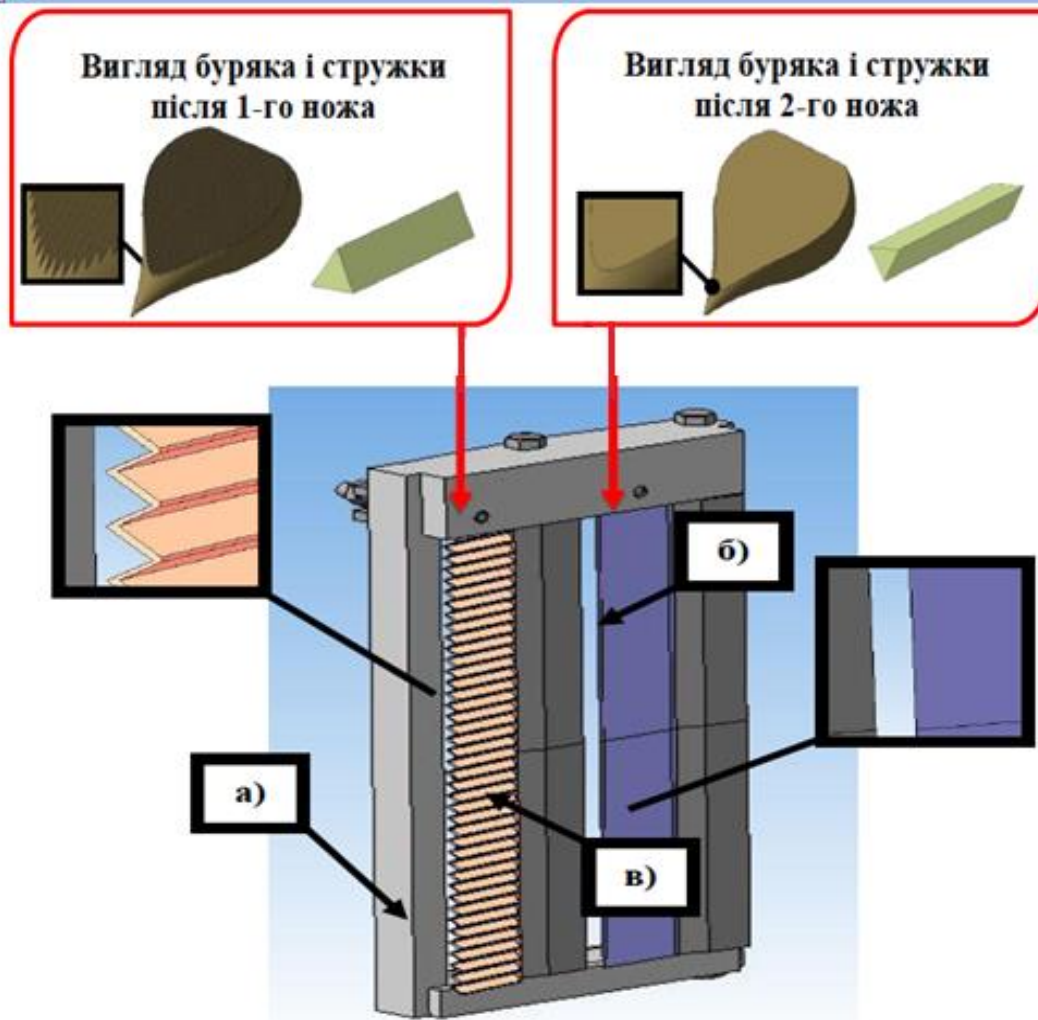


Рис. 2.9. Схема набору ножів в двохрядну ножову раму відцентрової різальної машини для отримання трикутного чи плоско-гребінчастого поперечних перерізів стружки: а) корпус ножової рами; б) плоский ніж; в) ніж кенігсфельдського типу.

Різання буряків в стружку відбувається таким чином:

- при різанні буряків в стружку 1-шим рядом ножів вона отримується трикутної форми і ребриста поверхня на тілі буряка;
- наступний ряд плоских ножів зрізає цю ребристість в трикутну стружку вирівнюючи поверхню буряка.

У випадку коли глибина врізання ножів з прямолінійною ріжучою частиною рівна глибині врізання ножів з зигзагоподібною ріжучою частиною буде утворюватися стружка трикутного профілю (при умові, що висота підйому кенігсфельдських ножів менша за висоту їх пер). Якщо висота підйому кенігсфельдських ножів буде вищою за висоту пер ножа, а висота підйому

плоских ножів співпадати з кенігсфельдськими, буде утворюватися плоско-гребінчаста стружка.

Продуктивність машини, поникність шару стружки і її механічні властивості покращуються при використанні спеціальних кенігсфельдських ножів з кутом при вершині 60° і кроком 7.5.мм. це можна пояснити тим, що в результаті різання буряків такими ножами утворюватиметься стружка, форма поперечного перерізу якої-рівносторонній трикутник. Рівносторонній трикутник має кращі механічні властивості (більший момент опору поти згину) в порівнянні із трикутником з кутом пи вершині 75° при однакових площах фігур. Продуктивність кенігсфельдських ножів з кутом при вершині 60° і кроком 7.5 мм буде на 10% більшою, оскільки такий ніж при довжині 165мм має 22 пера.

Для подальших розрахунків було розроблено 3D модель корпусу бурякорізки, так як нам необхідно взнати зусилля, які будуть виникати і чи корпус зможе нормально працювати (рис.2.10)

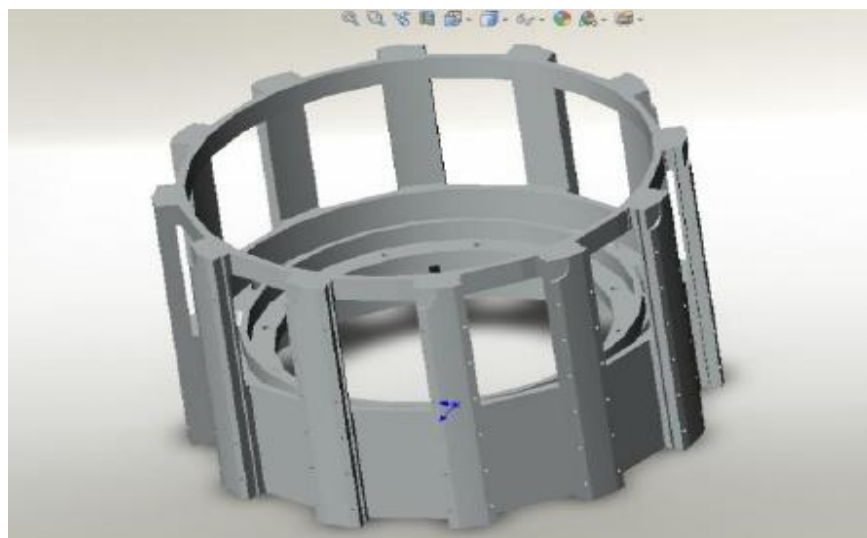


Рис. 2.10. Геометрична 3D модель корпусу бурякорізки

За допомогою програмного ресурсу SolidWorks буде проведено моделювання деформаційних та запас міцності.

3. Фізичне моделювання поведінки бурякорізальних ножів в умовах руйнування граничного шару

3.1. Визначення сил напруг при зрізанні плодів в стружку

Процеси різання використовують, коли необхідно подати визначеної форми подрібненим частинкам. В основу теорії різання покладено те, що витрата енергії визначається сумою робіт на деформацію продукту та його руйнування. До тепер не існує узагальненого математичного опису подрібнення різних матеріалів в апаратах різних конструкцій і різного принципу дії.

Існує два підходи до математичного опису подрібнення:

- підхід, який базується на розгляді процесу руйнування однієї частинки для встановлення залежності розмірів готового продукту від енергії, витраченої на подрібнення, так званий «закон подрібнення»;
- підхід, який базується на розгляді процесу подрібнення сукупності частинок для встановлення розподілу за розмірами готового продукту залежно від його фізико-хімічних властивостей типу й величини навантаження, що спричинює процес подрібнення.

При використанні першого підходу визначають роботу, спрямовану на зміну розмірів частинок матеріалу. Цей підхід описаний у роботах Ріттінгера, Кирпичова та Кіка, Штарлеса.

Модель Ріттінгера має вигляд [13, с.325]:

$$A_S = \sigma_S \cdot l^2 (i - 1),$$

σ_S - питома поверхнева енергія; l – лінійний розмір частинки; i – ступінь подрібнення; A_S – робота, спрямована на одержання нової поверхні при створенні частинок менших розмірів.

Модель Кирпичова-Кіка [13, с.325]:

$$A_V = \frac{\sigma_S^2}{2E}, \quad (3.1)$$

A_V – робота, спрямована на одержання нового об'єму при створенні частинок менших розмірів; E – модуль пружності.

Однак жодна із запропонованих моделей не набула значного поширення, тому що вони є спробою описати процес подрібнення за допомогою емпіричних і напівемпіричних залежностей.

До другого підходу належить математичний опис процесу подрібнення на основі випадкових марківських процесів; кібернетичного підходу до процесу хімічної технології; використання функцій подрібнення; використання принципів системного аналізу; використання експериментально-статистичних методів.

В основі математичного моделювання різання - покладено визначення безпосередньо сили різання. Розглянемо механізм процесу різання. Складемо диференціальне рівняння, яке описує рух леза в продукті.

На ніж діють сили опору: F_r - сила різання, G - сила тертя між бічною поверхнею леза і продуктом, P_i - сила інерції. У випадку прояву продуктом адгезійних властивостей, замість сили тертя використовуємо силу адгезії $F_{ад}$.

Силу тертя визначають за формулою [13, с.325]:

$$G = G_{mp} + k_1 V = G_{mp} + k_1 \frac{dy}{dt}, \quad (3.2)$$

де G - коефіцієнт, що залежить від питомого навантаження продукту на бічну поверхню ножа; V - швидкість ковзання між продуктом і поверхнею ножа; k_1 - коефіцієнт впливу швидкості ковзання на силу тертя; y – переміщення ножа в продукті; t - тривалість різання.

Сила інерції P_i [13, с.326]:

$$P_{ин} = ma = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} \quad (3.3)$$

де m - приведена до ножа маса різального механізму; a - прискорення ножа в продукті.

Отримуємо рівняння руху [13, с.326]:

$$F_r + G + P_i = 0 \quad (3.5)$$

Враховуючи рівняння 1 і 2, розкриваємо члени рівняння [13, с.325]:

$$F_r + \left(G_{mp} + k_1 \frac{dy(t)}{dt} \right) + m \frac{d^2y(t)}{dt^2} = 0, \quad (3.6)$$

Рішення рівняння [13, с.326]:

$$y(t) = \frac{C_1 \cdot m \cdot e^{\frac{k_1 t}{m}}}{k_1} - \frac{(F_r + G_{mp}) \cdot t}{k_1} + C_2, \quad (3.4)$$

де C_1 і C_2 - постійні інтегрування.

При початкових умовах $t=0 \Rightarrow y=0 \Rightarrow dy/dt = V$ маємо [13, с.327]:

$$y(t) = \frac{(F_r + G_{mp} + V_{Oy} + k_1) \cdot m \cdot e^{\frac{k_1 t}{m}}}{k_1^2} - \frac{(F_r + G_{mp}) \cdot t}{k_1} + \frac{(F_r + G_{mp} + V_{Oy} + k_1) \cdot m}{k_1^2}, \quad (1.8)$$

Диференціюємо рівняння [13, с.327]:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{(F_r + G_{mp} + V_{Oy} + K_1) \cdot m \cdot e^{\frac{k_1 t}{m}}}{k_1^2} - \frac{F_r + G_{mp}}{k_1}$$

(3.5)

З рівняння знаходимо силу різання [13, с.327]:

$$F_r = \frac{k_1 \frac{dy(t)}{dt} - e^{\frac{k_1 t}{m}} (G_{mp} + V_{Oy} + k_1) + G_{mp}}{e^{\frac{k_1 t}{m}} - 1} \quad (3.6)$$

де $dy(t)/dt$ - швидкість руху ножа.

При розрахунку сили і потужності різання необхідно знати питому силу різання як відношення сили різання до довжини зрізу L [13, с.328]:

$$F_n = \frac{F_r}{L} \quad (3.7)$$

Розглянемо другий випадок, коли на продукт проявляє адгезійні властивості.

Сила адгезії може бути непостійна. Це характерно для неоднорідних за структурою продуктів. Наприклад, у продукті може бути тонка міцна оболонка, яка не дозволяє продукту деформуватися при затупленні ножа.

Силу адгезії визначаємо за формулою [13, с.329]

$$F_{ad} = P_{ad} S \cos(\alpha + \alpha_0) \quad (3.8)$$

де P_{ad} - щільність адгезії, N/m, S - площа контакту продукту з ножом.

Рівняння руху ножа [13, с.329]:

$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + F_r + F_{ad} = 0 \quad (3.9)$$

Приймаємо, що міцність адгезії лінійно залежить від тривалості t різання:

$$P_{ad} = b + ad \quad (3.10)$$

де a і b - експериментально знайдені коефіцієнти отримуємо рішення рівняння. Враховуємо початкові умови $t = 0 \Rightarrow y = 0, dy/dt = V_{oy}$, і отримуємо рівняння [13, с.330]:

$$y(t) = V_{oy} t \frac{t^2(3F_r + S \cos(\alpha + \alpha_0)(b + ad))}{6m} \quad (3.11)$$

Диференціюємо рівняння. Визначимо швидкість різання [13, с.330]:

$$y(t) = \frac{2V_{oy}t - 2F_r t + S \cos(\alpha + \alpha_0)(2bt + at^2)}{2m} \quad (3.12)$$

З рівняння визначаємо силу різання [13, с.331]:

$$F_r = \frac{2V_{oy}t - S \cos(\alpha + \alpha_0)(2bt + at^2)}{2t} - \frac{m}{t} \frac{dy}{dt} \quad (3.13)$$

Найчастіше щільність адгезії змінюється в часі за законом [13, с.332]:

$$P_{ad} = B e^{bt} \quad (3.14)$$

Тоді, розкривши члени рівняння, провівши аналогічні перетворення, отримуємо силу різання [13, с.333]:

$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + F_r + B e^{bt} S \cos(\alpha + \alpha_0) = 0 \quad (3.15)$$

$$F_r = \frac{V_{oy}}{t} - \frac{BS(\alpha + \alpha_0)(b - b e^{bt})}{t b^2} - \frac{dy}{dt} \frac{m}{t} \quad (1.16)$$

3.2. Силова взаємодія плодів з ножами у відцентрових взаємодіях

В процесі різання у відцентровій бурякорізці взаємодіють 3 тіла: буряк, бурякорізальний ніж та бурякова стружка. Силова взаємодія буряка з ножем відбувається по передніх поверхнях ножа та новоствореному зрізі буряк (рис.3.6.).

Передня поверхня кенігсфельдського ножа складається з послідовно розташованих пер, кожне з яких – з верхньої та нижньої передніх площин ножа. Розглянемо випадки силової взаємодії, при яких лінії вершин пер кенігсфельдського ножа та передня поверхня плоского ножа:

-паралельні вектору швидкості різання v_p і коловій силі $P_{кб}$ (кут $\varepsilon=0^0$);

-не паралельні вектору швидкості різання v_p і коловій силі $P_{кб}$ (кут $\varepsilon>0^0$).

Кут ε залежить від підйому ножів (рис.3.6.). Тому рух буряка в середині відцентрової бурякорізки під час її роботи можна розкласти на 3 складові:

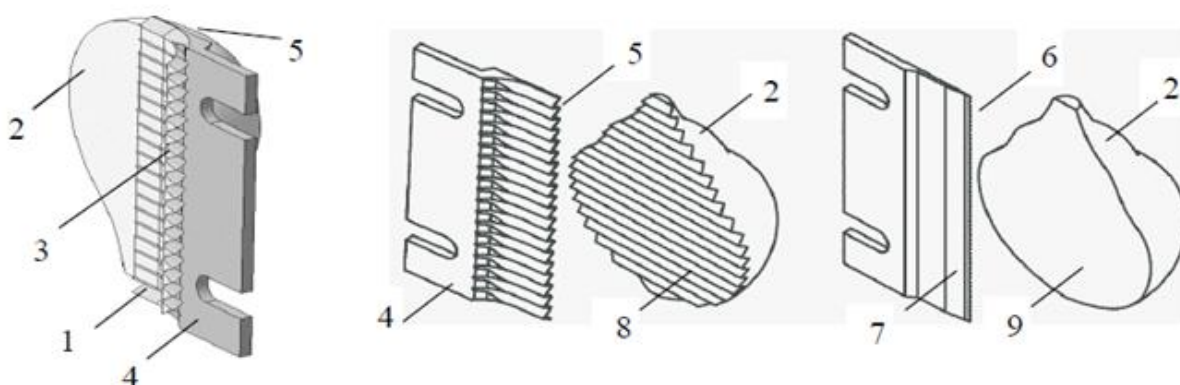


Рис. 3.6 . Елементи силової взаємодії буряка з ножем в процесі отримання бурякової стружки: 1 – задня поверхня кенігсфельдського ножа; 2 – цукровий буряк; 3 – стружка; 4 – кріпильна частина ножа; 5 – передня поверхня кенігсфельдського ножа; 6 – передня поверхня плоского ножа; 7 – задня поверхня плоского ножа; 8 – зріз цукрового буряка кенігсфельдським ножем; 9 – зріз цукрового буряка плоским ножем.

За рахунок цих рухів на верхній передній поверхнях кенігсфельдського ножа та передній поверхні плоского ножа виникають сили тертя. Описані

три сили складові руху буряка відпоідають обраним координатним осям XYZ декартової системи координат (рис.3.7). Тобто напрямок осі OX (ветикальна вісь) співпадає з напрямком дії відцентрової сили P, OZ (ортогональна вісь) з напрямком колової швидкості v_k , колової сили P_k та сили стискання

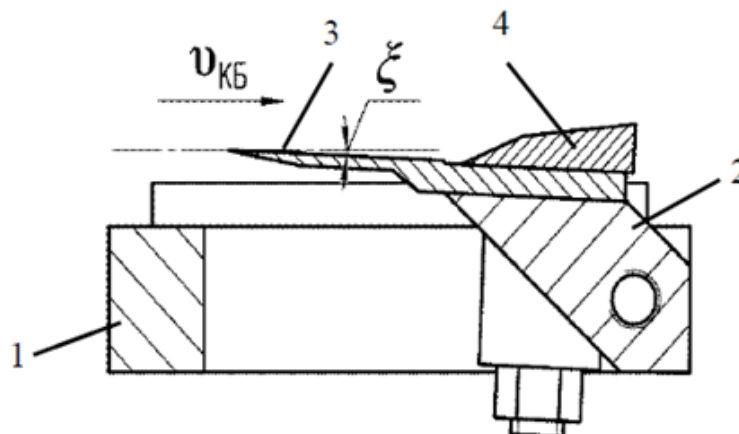


Рис. 3.7. Ножова рама з плоским ножом: 1 – основа ножової рами; 2 – поворотна стійка; 3 – плоский ніж; 4 – притискна планка.

бурякової стружки $P_{ст}$. При усталеному режимі роботи відцентрової бурякорізки приймаємо, що колова швидкість v_k буде рівною швидкості різання v_p ($v_k = v_p$).

У випадку $\varepsilon = 0^0$ ветикальна координатна площина XOY буде перпендикулярна до площини, що походить через лінії вершин пер кенігсфельбського або до передньої поверхні плоского ножа. Якщо $\varepsilon > 0^0$, то кут між вищевказаними площинами становитиме 90^0 .

Під час роботи відцентрової бурякорізки необхідно регулювати ножові рами для отримання заданого типу та необхідної площі поперечного перерізу бурякової стружки. Дане егулювання поводять шляхом зміщення ножових рам в вертикальному напрямі та зміною підйому бурякорізальних ножів. При підйомі ножів кут збільшується. У випадку сила номального тиску, що діє на верхню передню поверхню кенігсфельбського ножа P_H трансформується в $P_{H\varepsilon}$, яка буде визначаьттися за формулою:

$$P_{H\varepsilon} = P_{вб}^{xy} \cos \varepsilon + P_{тж}^{xy}$$

Крутний момент на валу ротора відцентрової бурякорізки буде визначатися за формулою :

$$M_{кр} = \frac{N_p}{\omega}$$

де $M_{кр}$ –крутний момент на валу ротора бурякорізки, Нм; N_p – потужність на валу отора, Вт.

Колове зусилля на кінцях лопатей ротора P можна визначити за формулою:

$$P_{кр} = \frac{2M_{кр}}{D_б}, \dots \text{або} \dots P_{кр} = \frac{N_p}{v}$$

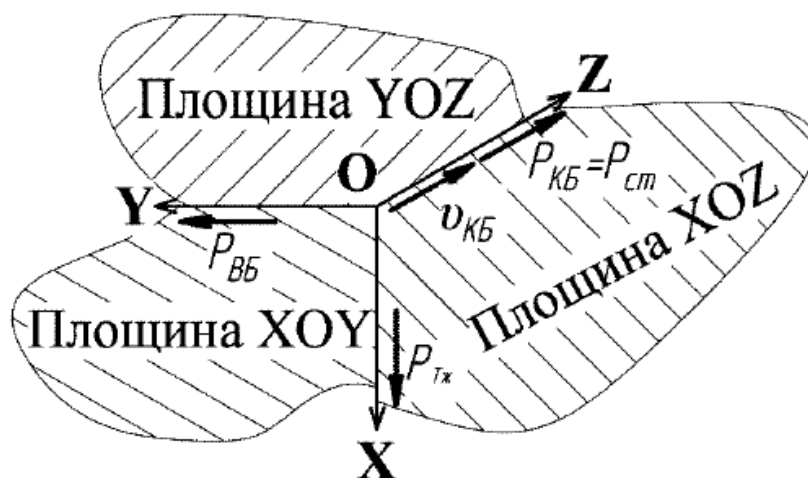


Рис. 3.3. Система координат, в якій розглядали силову взаємодію: $P_{ВБ}$ – відцентрова сила; $P_{Тж}$ – сила тяжіння; $P_{КБ}$ – колова сила, що діє на цукровий буряк; $P_{ст}$ – сила, що стискає бурякову стружку; $v_{КБ}$ – колова швидкість.

Оскільки буряки в процесі різання рухаються по внутрішній поверхні корпусу бурякорізки, то справджується рівняння $P_{кр} = P_{кб}$.

При відомій колівій швидкості обертання ротора колове зусилля можна визначити за формулою:

$$P_{кб} = \frac{N_д \eta_{пр}}{v_{кр}}$$

Вирішено аналітичним шляхом величину і напрям дії всіх елементів силової взаємодії буряків з передніми поверхнями ножів найпоширеніших

типів під час роботи відцентрових бурякорізок. Дані залежності дозволяють визначити вплив конструкції робочих органів на стабільність їх роботи, характер та напрям руху буряків, витрати енергії на тертя по передніх поверхнях ножів.

3.3. Дослідження зусиль при різанні коренеклубнеплодів в стружку

Під час процесу зрізання коренеплоду цукрового буряка в стружку виникають сили і напруги, які визначають процес і представляють науковий інтерес. Аналіз останніх досліджень показав, що більшість дослідників вивчали механічні параметри процесу отримання бурякової стружки: кути заточування бурякорізальних ножів, їх профіль, товщину леза, швидкість подачі коренеплодів в зону різання і тому подібне. Дослідження зусиль при різанні харчових продуктів (в тому числі буряка) лезвійним інструментом проводилися Клименком М.М. та ін. [1]. Вченими Гребенюком С.М., Белік В.Г. та Щербаковим А.М. в [2] зроблена спроба розширити уявлення про процес різання буряка з припущенням, що сили опору пропорційні квадрату швидкості. Проте там розглянуті емпіричні аспекти без врахування дійсних процесів, що відбуваються в зоні зрізання.

Для уточнення процесу зрізання стружки розглянемо декілька окремих завдань з теорії пружності, вирішення яких дозволить визначити напругу, що виникає в зоні різання, з метою оцінки характеристик міцності ножа. Окрім цього, це дасть можливість з урахуванням характеристик матеріалу буряка з'ясувати деталі утворення тріщин в тілі отримуваної стружки. У роботі Гребенюка [2] приведена епюра напруги в зоні різання, що носить ілюстративний характер (рис.3.8). Як видно, її можна розбити на дві складові: динамічну складову R , що виникає на передній поверхні ножа в результаті тиску на неї стружки, і рівнодійне навантаження, прикладене до ріжучої кромки в результаті руйнування матеріалу.

Таким чином, завдання можна розділити на дві складові частини: дослідження дій на ріжучу кромку і на передню поверхню ножа. Дію на

ріжучу кромку представимо у вигляді зосередженої сили на малому радіусі циліндрового перетину кромки. При цьому розглянемо два випадки: перший випадок – коли нормальна сила P_1 прикладена до вершини прямо (рис.3.4) і другий – коли сила згину P_2 також прикладена до вершини, але перпендикулярно напрямку руху .

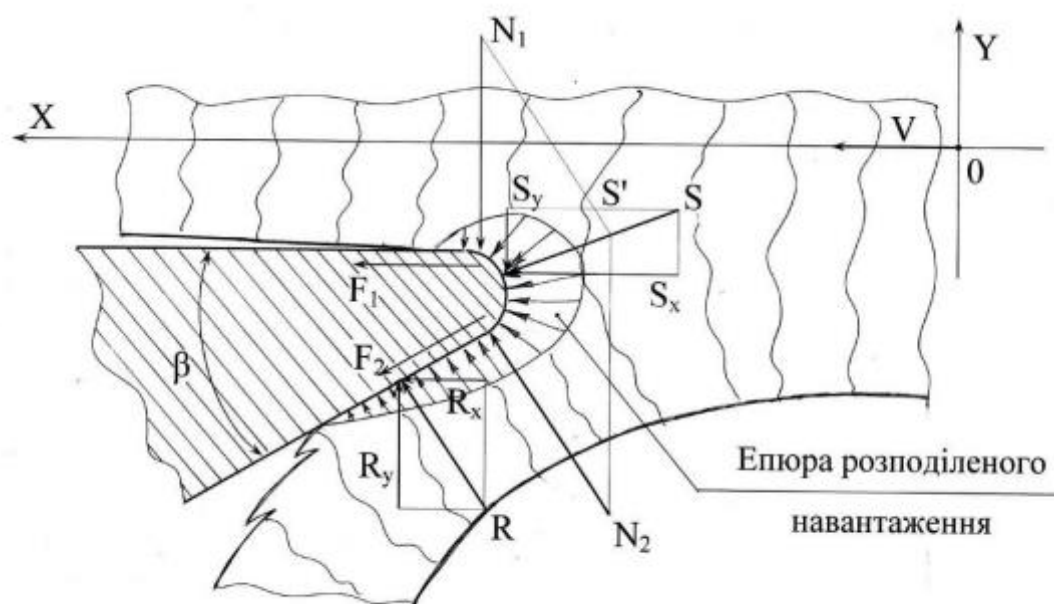


Рис. 3.4. Зусилля на ножі при різанні буряка

Для зручності та наглядності кут загострення ножа (β) – для безпосереднього різання бурякового коренеплоду (рис.3.4) – на схемах в декартових та полярних системах координат (рис.3.4 та 3.5) позначимо кутом 2α . У полярних координатах компоненти тензора напруги (σ_{rr} , $\sigma_{\theta\theta}$ та $\sigma_{r\theta}$) для першого випадку можна визначити так:

$$\sigma_r = -\frac{2P \cos \theta}{r(2\alpha + \sin 2\alpha)}, \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{r\theta} = 0$$

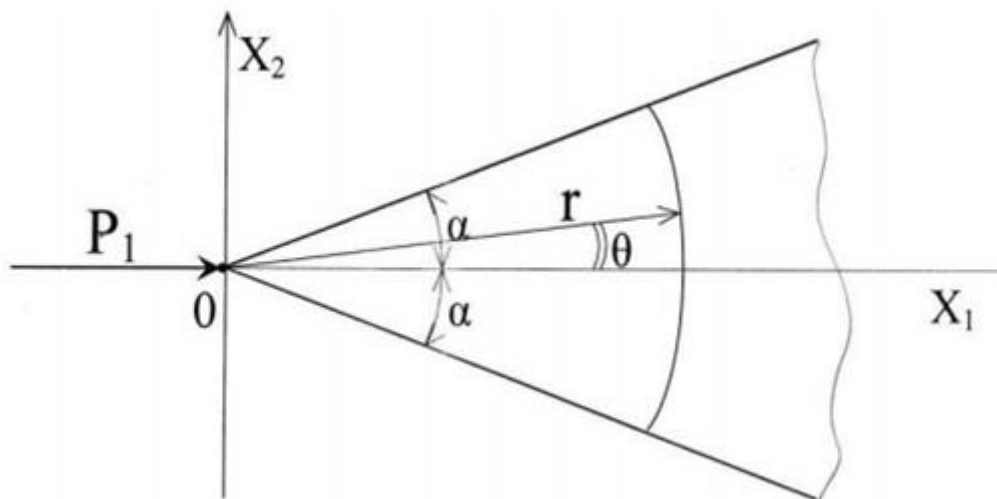


Рис. 3.5. Нормальна сила, що діє на кромку ножа

Залежність між компонентами тензора напруги в полярних координатах

$$\sigma_{rr}, \sigma_{r\theta}, \sigma_{\theta\theta}$$

і в декартових координатах ($\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}$) визначаються

рівняннями

$$\sigma_{rr} = \sigma_{11} \cos^2 \theta + \sigma_{22} \sin^2 \theta + \sigma_{12} \sin 2\theta$$

$$\sigma_{r\theta} = \sigma_{12} \cos 2\theta - \frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{2} \sin 2\theta$$

Враховуючи (2) компоненти тензора напруги в декартових координатах визначаються формулами:

$$\sigma_{11} = -\frac{2P_1 x_1^3}{(2\alpha + \sin 2\alpha)r^4},$$

$$\sigma_{22} = -\frac{2P_1 x_2^3}{(2\alpha + \sin 2\alpha)r^4},$$

$$\sigma_{12} = -\frac{2P_1 x_1^2 x_2}{(2\alpha + \sin 2\alpha)r^4}$$

де x_1 і x_2 – декартові координати.

Наприклад в зоні ріжучої кромки $x_1 = x_2 = r$ і при куту заточування $\alpha = 30^\circ$ матимемо:

$$\sigma_{11} = -\frac{2P_1}{(0.52 + 0.5)r} \cong -\frac{2P_1}{r}, \sigma_{22} = -\frac{2P_1}{r}, \sigma_{12} = -\frac{2P_1}{r}$$

При силі різання $P_0 = 17\text{Н}$, ширині ріжучого леза $h = 7 \cdot 10^{-3}\text{м}$ і радіусі закруглення леза ножа в межах $r = (3 \dots 40)^{-6}\text{м}$ отримаємо напругу на вістрі

ножа $\sigma_{11} = -(3 \dots 5) 10^2$ МПа. Знак мінус означає, що напруга направлена проти руху.

Зауважимо, що сила $P_1 = P_0 \sin 2\alpha$, а сила згину $P_2 = P_0 \cos 2\alpha$.

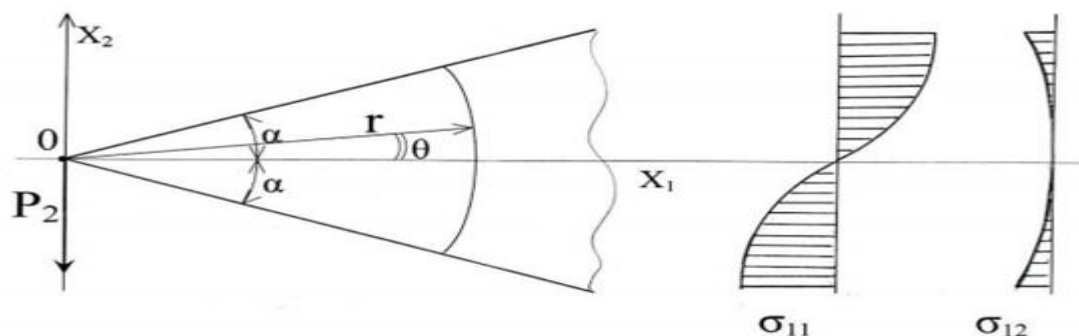


Рис. 3.8. Сила згину, що діє на ріжучу кромку ножа.

Компоненти тензора напруги для другого випадку (тобто для сили згину P_2) матимемо:

$$\sigma_{rr} = \frac{2P_2 \sin \theta}{r(2\alpha - \sin 2\alpha)}, \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\theta r} = 0$$

У декартових координатах:

$$\sigma_{11} = \frac{2P_2 x_1^2 x_2}{(2\alpha - \sin 2\alpha) r^4},$$

$$\sigma_{22} = \frac{2P_2 x_2^3}{(2\alpha - \sin 2\alpha) r^4},$$

$$\sigma_{12} = \frac{2P_2 x_1 x_2^2}{(2\alpha - \sin 2\alpha) r^4}$$

При тих же вихідних значеннях і $P_2 = 14.8$ Н отримаємо:

$$\sigma_{11} = \frac{2P_2}{0.51r} \cong \frac{4P_2}{r}, \sigma_{22} = \frac{4P_2}{r}, \sigma_{12} = \frac{4P_2}{r}$$

тоді $\sigma_{11} = (1.2 \dots 2) 10^3$ МПа.

Як видно, компоненти σ_{11} для першого та другого випадку відрізняються один від одного в чотири рази, тобто можливість руйнування ріжучої кромки вище від сили згину P_2 .

Подальші дослідження епюр для кута $\alpha = 30^\circ$ дозволяють дійти висновку, що існують дві зони: розтягування (верхня) і стискування (нижня). Причому зона стискування дещо більше, ніж зона розтягування в

співвідношенні 10,7 до 9,8, а це сприяє більшій працездатності матеріалу ножів. Таким чином, проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки: – можливість руйнування ріжучої кромки вище від сили згину P_2 ; – напруги стискування більші ніж напруги розтягування, що сприяє більшій роботоздатності матеріалу ножів.

3.4. Моделювання взаємодії активного ножа з плодом

Статистична обробка та використання результатів експериментальних досліджень при формуванні інженерної методики удосконалення конструкції різання буряка наведено та проаналізовано результати багатofакторного експериментального дослідження активних ножів. Для встановлення впливу вхідних факторів (довжина ходу активного ножа L , кут заточування ножа α , діаметр коренеплода d_k , робоча швидкість руху рами V_m) на критерій оптимізації (сила різання головок коренеплодів активним ножом $P_{різ}$) проведемо чотирьохфакторний експеримент на трьох рівнях варіювання, на основі якого отримано рівняння регресії у формі кодованих значень.

Для встановлення зв'язку між кінематичними та силовими параметрами процесу різання головок коренеплодів розроблено модель взаємодії активного ножа (2) з коренеплодом буряку (1), яка зображена на рис. 3.4. Згідно з нею агрегат рухається із швидкістю V_m , а ніж різання – швидкістю V_n . Абсолютну швидкість різання активним ножом $V_{рн}$ визначимо за формулою:

$$y = 63.23 - 0.1x_1 + 23.62x_2 - 1.79x_3 - 98.94x_4 - 0.01x_1x_2 - 0.002x_1x_3 - 0.003x_1x_4 - 0.01x_2x_3 + 5.73x_2x_4 + 0.32x_3x_4 + 0.01x_1^2 + 1.33x_2^2 + 0.21x_3^2 + 9.82x_4^2$$

Статистичну значущість коефіцієнтів рівняння регресії (1) визначали за критерієм Ст'юдента. Після відсіювання малозначущих коефіцієнтів у рівнянні отримано регресійну залежність для визначення сили різання $P_{різ}$

головок коренеплодів буряків активним ножом від дійсних значень факторів:

$$P_{\text{різ}} = 219.62 - 0.5L - 12/73a - 0.206d_k - 168/15V_m + 2.685aV + 0.016d_kV - 0.332a^2 + 0.001d^2 + 9.823V^2$$

3.5. Дослідження впливу кута торцювання на зносостійкість бурякорізальних ножів

На кожному етапі бурякопереробного процесу вдосконалення діючого обладнання сприяє підвищенню рентабельності виробництва. Тому пошук оптимальних геометричних та конструктивних параметрів бурякорізальних ножів, а також дослідження технологічного процесу їх загострення мають важливе значення для народного господарства України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що проблемі дослідження зносостійкості бурякорізальних ножів і відновлення гостроти їх різальних кромок приділяли увагу такі вчені як Рудик А.Є., Стечишин М.С., Явор В.А., Фень Є.К., Нечитайло В.Н., Ярмілко І.Г., Кайдалов А.А., Істомін Є.І. Ревуцький В.М., Ткач І.С., Васильєв Ю.Ф. та інші. Дослідники Гребенюк С.М., Щербаков А.М., Белік В.Г., Азрилевич М.Я. та інші робили розрахунки основних параметрів відцентрових бурякорізок та зусиль на ножі при різанні буряка. Їх дослідженнями доведено, що якість бурякової стружки залежить не тільки від якості сировини, а і від зносостійкості і конструкції бурякорізальних ножів, міцності і гостроти їх ріжучої частини. Питанню застосування косоного торцювання ножа приділялось недостатньо уваги. Аналіз літературних джерел показав, що збільшення кута загострення ножа підвищує зусилля зрізання та притискання буряка до ножа [1]. Тому дослідження оптимальних параметрів заточування ножів, зокрема кута торцювання, для зменшення опору різання і підвищення їх зносостійкості є важливим і актуальним.

Розкриття і теоретичне досліджень є визначення впливу кута косоного торцювання на зносостійкість ножів для зрізування будяків у стружку.

Встановлення розрахункових залежностей між геометричними параметрами леза та величиною, яка визначає місце злому різальної кромки під дією сили, що вигинає лезо ножа.

Відомо, що різальна (робоча) частина бурякорізного ножа 1 складається з фрезерованих V- подібних елементів (пер), які формують жолоби сходу стружки 2 (рис.3.8).

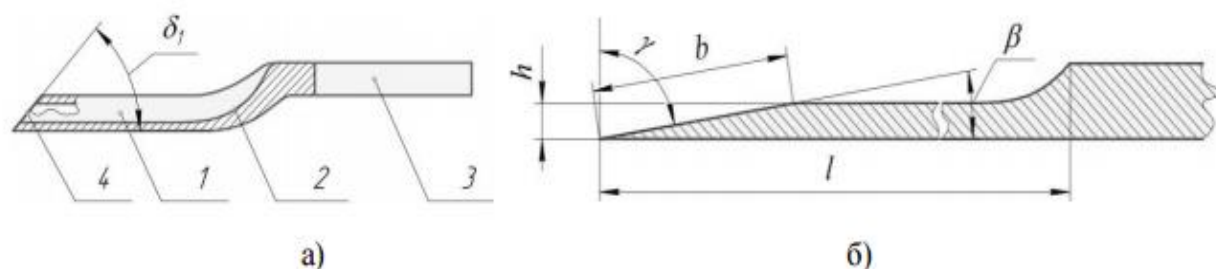


Рис.3.8. Геометричні параметри заточування бурякорізного ножа

За допомогою кріпильної частини 3 ніж фіксується в ножовій рамі. Кут торцювання робочої частини ножа δ_1 утворює різальну кромку 4. Технологія підготовки та відновлення – тобто заточування – бурякорізальних ножів включає правку (рихтування), торцювання під кутом δ_1 (рис. 3.8, а), потоншення перової частини на товщину h і довжину l (рис. 3.8, б) та остаточне загострення ріжучої кромки пера на ширину фаски b , що забезпечує отримання необхідного кута загострення ножа β – для безпосереднього різання бурякового коренеплоду. На практиці знаходять застосування ножі з прямим ($\delta_1 = 90^\circ$) та з косим ($\delta_1 < 90^\circ$) торцюванням [2].

Поставлена задача підвищення якості бурякової стружки шляхом вдосконалення геометрії заточування безреберних бурякорізальних ножів вирішується за рахунок того, що зменшення кута косоного торцювання технологічно дає можливість суттєво поширити перехідну поверхню (фаску), зменшити кут загострення β та сприяє формуванню плавної поверхні жолобу сходу стружки. Ножі з косим торцюванням краще ріжуть волокнисті та забруднені легкими домішками буряки. При такій формі

ріжучої кромки волокна гички та бур'янів під дією сили різання пересуваються з вершини пера ножа до його основи [3], додатково перетираючись об похилу та подовжену, порівняно з прямим торцюванням, ріжучу кромку ножа. Вершина пера ножа при цьому залишається чистою, що дозволяє довший час отримувати якісну стружку. Важливим є питання, який кут торцювання ножів є оптимальним.

Правила усталеної практики [2] рекомендують кут косоного торцювання $\delta_1 = 75^\circ$, їх автори вважають, що торцювання ножів під більш гострим кутом знижує міцність ріжучої частини і вона значно сильніше пошкоджується сторонніми предметами, що потрапляють в бурякорізки. Тому косоного торцювання ножів, в певній мірі, зменшує їх ресурс.

Розглянемо процес відламування кромки леза ножа. При проникненні леза в тіло буряка його кромка потерпає не тільки від стиснення, яке направлене по бісектрисі кута загострювання β , але і вигинаючої дії з боку матеріалу буряку хоч би внаслідок його анізотропності. З міркувань нормального протікання процесу різання ніж має відхилення на деякий кут γ (рис. 3.9). Це відхилення запобігає зайвому тертю ножа об матеріал буряка в процесі різання. Таким чином, реакція сили різання $P_{\text{різ}}$, що докладається до кромки, відхилена від бісектриси кута загострювання на кут φ

$$\varphi = \gamma + \beta.$$

Сила $P_{\text{різ}}$ може бути розкладена на складові: $P_n = P_{\text{різ}} \cos(\beta + \gamma)$;

$$P_d = P_{\text{різ}} \sin(\beta + \gamma)$$

де P_n – нормальна складова, H ; P_d – перпендикулярна до неї, H .

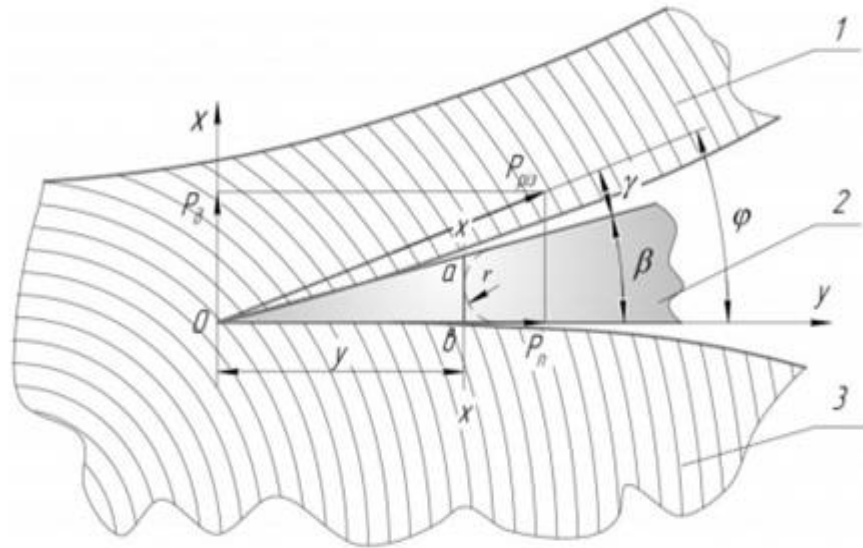


Рис.3.9. Схема до розрахунку відламування різальної кромки

Під дією сили P_d вершина леза вигинається і в деякому його перетині xx на відстані y від вершини гострого леза відламується. Знайдемо зв'язок між параметрами леза та величиною y . Момент, що вигинає, $M_{\text{виг}}$ в перетині xx від сили P_d буде:

$$M_{\text{виг}} = P_d y.$$

Напруга на вигин в цьому перетині буде:

$$\sigma_{\text{виг}} = M_{\text{виг}} / M_{\text{доп}} = 6 P_d y / h$$

де $M_{\text{доп}}$ момент опору, H ; h -товщина леза в перетині XX , м.

із трикутника oav відпоаідго до рис.3.8 $h = 2y \tan \beta$.

$$\text{тоді } \sigma_{\text{виг}} = 6 P_d y / (2y \tan \beta)^2 = 3/2 P_d / y \tan^2 \beta$$

$$\text{звідси: } y = 3/2 P_d / \sigma_{\text{виг}} \tan^2 \beta$$

Величина y визначає місце злому кінчика ножа. Вона пропорційна зусиллю P_d , що вигинає, та зворотно пропорційна допустимому напруженню $\sigma_{\text{виг}}$. Наприклад, для кута загострювання $\beta = 9^\circ$ отримаємо $y = 3,3 \cdot 10^{-7}$ м (при $\sigma_{\text{виг}} = 75,5 \cdot 10^3$ Па та $P_d = 10$ Н).

До цього часу розглядалось різання, коли кромка леза розташована нормально до напрямку руху коренеплоду буряка. Визначення величини кута загострювання в цьому випадку проводиться виходячи зі звичної уяви про геометрію кромки леза в статичному стані. Але наразі очевидна тенденція до косоного торцювання бурякорізальних ножів (похиле різання з ковзанням). В цьому випадку кут загострення в напрямку різання (робочого переміщення коренеплоду) змінює своє значення – зменшується залежно від кута ковзання ψ . Тобто спостерігається трансформація кута загострення, який для відмінності позначимо β .

На рис. 3.10 представлена схема ножа з кутом загострення d_{oc} , що дорівнює β . При проникненні ножа в матеріал буряка нормально, тобто за напрямком V_n , вказаний кут буде дорівнювати виміряному статично. У випадку, коли лезо ножа проникає в тіло буряка під деяким кутом ψ до нормалі, тобто в напрямку V_p , кут загострення повинен вимірюватися в площині, що проходить за цим напрямком, тобто буде дорівнювати куту aob , що дорівнює β_1 . Таким чином, при зменшенні кута торцювання збільшується значення приведенного кута, що призводить до зменшення відламування різальної кромки ножа. Також зменшення кута торцювання бурякорізального ножа призводить до подовження ріжучої кромки, тобто зменшується питоме навантаження на неї. Зносостійкість ножа підвищується.

З геометричних міркувань отримаємо: $\text{tg } \beta_1 = \text{tg } \beta \cos \psi$

Звідси: $\beta_1 = \text{arctg}(\text{tg } \beta \cos \psi)$

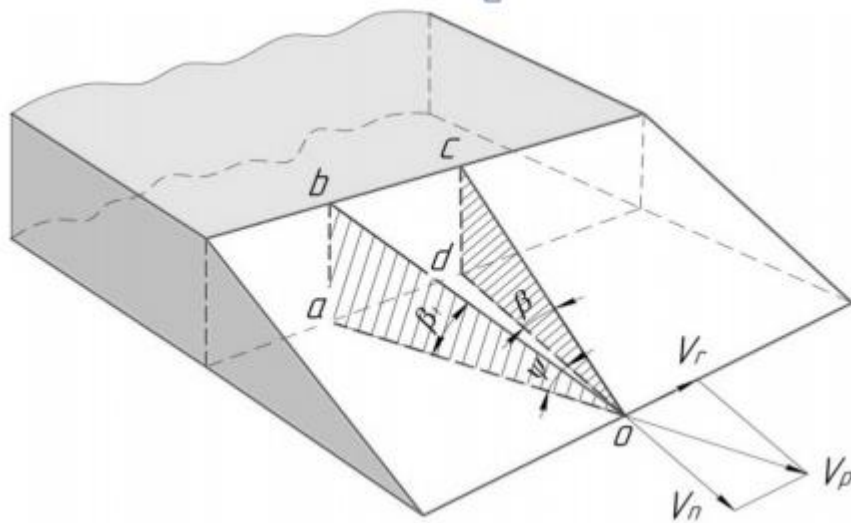


Рис.3.10. Трансформація кута загострення ножа при косому торцюванні

Експериментальні дослідження впливу геометричних параметрів заточування бурякорізальних ножів на якість бурякової стружки показали, що для всіх ножів зменшення кута торцювання до 60° суттєво впливає на якість стружки, особливо при роботі на 24-рамній бурякорізіці [4]. Найбільш оптимальними значеннями кута торцювання бурякорізального ножа стали зменшення кута торцювання.

Технологічно зменшення кута торцювання дає можливість вплинути на геометричні параметри ножів (довжину та ширину фаски), а головне – дає можливість зменшити кут загострення ріжучої кромки β . В свою чергу зменшення кута загострення ножа β призводить до зменшення опору при різанні буряка та підвищення роботоздатності ножа. Поширення фаски до $b = 1,9 \dots 2,2$ мм та збільшення довжини потоншення перової частини до $l = 20 \dots 22$ мм забезпечує плавний перехід від ріжучої кромки, фаски до жолобу сходу стружки. Все це мінімально травмує бурякову стружку та забезпечує її високу якість. Поверхні стружки стали більш гладкими, Стружка більш рівномірна у розрізі по довжині, а кількість браку в стружці зменшилась на $16 \dots 18\%$. На підставі проведених досліджень і виробничих випробувань [1, 5] за основу прийняті наступні параметри заточення ножів: потоншення $20 \dots 22$ мм, ширина фаски $1,9 \dots 2,2$ мм і кут торцювання – $63^\circ \pm 2^\circ$. Саме ці параметри (рис.3.11) дозволяють досягти значення кута загострення $9 \pm 1^\circ$

що, в свою чергу, дає стійкий ефект самозаточування бурякорізального ножа. $60^\circ \dots 65^\circ$.

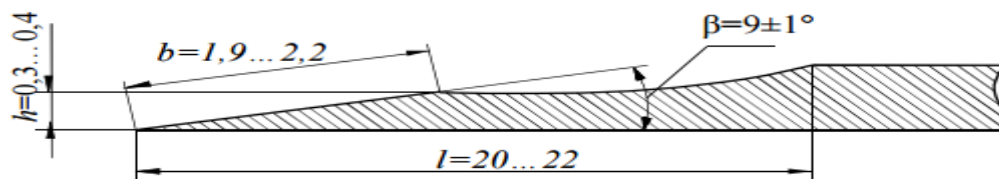


Рис.3.11. Оптимальні параметри загострення ножа.

Зменшення кута торцювання бурякорізального ножа призводить до подовження ріжучої кромки, тобто зменшує питоме навантаження на неї. Застосування кута торцювання $63 \pm 2^\circ$ та оптимальних параметрів загострення ножа дозволяє досягти значення кута загострення $9 \pm 1^\circ$ що, в свою чергу, дає стійкий ефект самозаточування ножа. Поширення фаски до $1,9 \dots 2,2$ мм та збільшення довжини потоншення перової частини до $20 \dots 22$ мм забезпечує плавний перехід від ріжучої кромки, фаски до жолобу сходу стружки. Все це мінімально травмує бурякову стружку, забезпечує її високу якість, гладкість поверхонь і зменшує витрати на тертя.

Таким чином, впровадження запропонованих параметрів загострення ножа дає можливість отримати бурякову стружку високої якості, на 2% збільшити вилучення цукру та майже вдвічі збільшити тривалість роботи ножа до переточування, що повністю підтверджується заводською практикою.

4. Моделювання динаміки різання коренеплодів

4.1. Обґрунтування запропонованого математичного підходу до визначення конструктивних елементів бурякорізальних ножів

Як відомо, для отримання жолобчастої стружки кенігсфельдськими ножами необхідно щоб зміщення сусідніх рядів бурякорізальних ножів становило половину кроку пер ножа. Це можливо досягти встановленням в ножові рами почергово рядів ножів виконання А та Б, або регулюванням положення ножових рам у вікнах корпусу відцентрової бурякорізки (у

випадку використання ножів лише одного виконання). Висота підйому ножів h_n повинна бути в діапазоні від 0.5 до 2 висоти пера ножа h . При h_n від 0 до 0.5 h (при умові, що корені не зміщуються у вертикальному напрямку і не відбувається деформація зрізу) різання буряків в стружку не відбувається.

Поверхня зрізу коватиме по ріжучій кромці ножа. При h_n від 0.5 до 0.7 h отримується жолобчаста стружка з товщиною менше 1мм. При $h_n = 2h$ отримується жолобчаста стружка. При $h_n > 2h$ має місце ромбовидно-пластовидна стружка.

При зрізанні жолобчастої стружки кенігсфельдськими ножами в процесі перших восьми зрізів отримуватиметься нерівномірна за площею поперечного перерізу стружка. Після восьми зрізів площа перерізу жолобчастої стружки стабілізується. Для визначення площі перерізу жолобчастої стружки було взято перерізи з установленими розмірами трьох стружок різної товщини.

Як видно із рисунку 4.1 для всіх поперечних перерізів стружки точки N , N_2 та N_3 співпадають з точками середини сторони пера O , O_1 O_2 , тобто довжина ріжучої частини однієї сторони пера буде дорівнювати сумі половини доїжини пера і половини сторони ромба ($BO+OC$, $B_2O_2+O_2C_2$ та $B_3^1 O_3+O_3C_3$). Площа поперечного перерізу одного жолоба для всіх випадків буде дорівнювати:

$$S = 2D_2C_2 \sin \alpha B_2C_2 - (B_2C_2)^2 \sin \alpha$$

Оскільки :

$$\delta = D_2C_2 \sin \alpha$$

$$S_{A_2B_2C_2D_2} = (B_2C_2)^2 \sin \alpha$$

$$B_2C_2 = B_2O_2 + O_2C_2 = \left(\frac{\kappa}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \right) + O_2C_2$$

Тоді :

$$S = 2\delta B_2 C_2 - S_{A_2 B_2 C_2 D_2}$$

Або

$$S = 2\delta B_2 O_2$$

На поперечному перерізі стружки (рис.4.1а,б,в) будують ромби (АВСД,, А₁В₂С₂Д₂, А₃В₃С₃Д₃) сторони відповідають товщині стружки. Проводимо діагоналі. Побудуємо відрізки через перетин діагоналей (МN, М₂Н₂, М₃Н₃) та паралельні сторони ромбів. Середина рідуючої частини ножа точками О,О₂О₃. На кожному з прперечних перерізів стружки будують ромби.

з вершинами жолобків стружин та з сторонами рівними сторонам ромбів АВСД, А₂В₂С₂Д₂ та А₃В₃С₃Д₃.

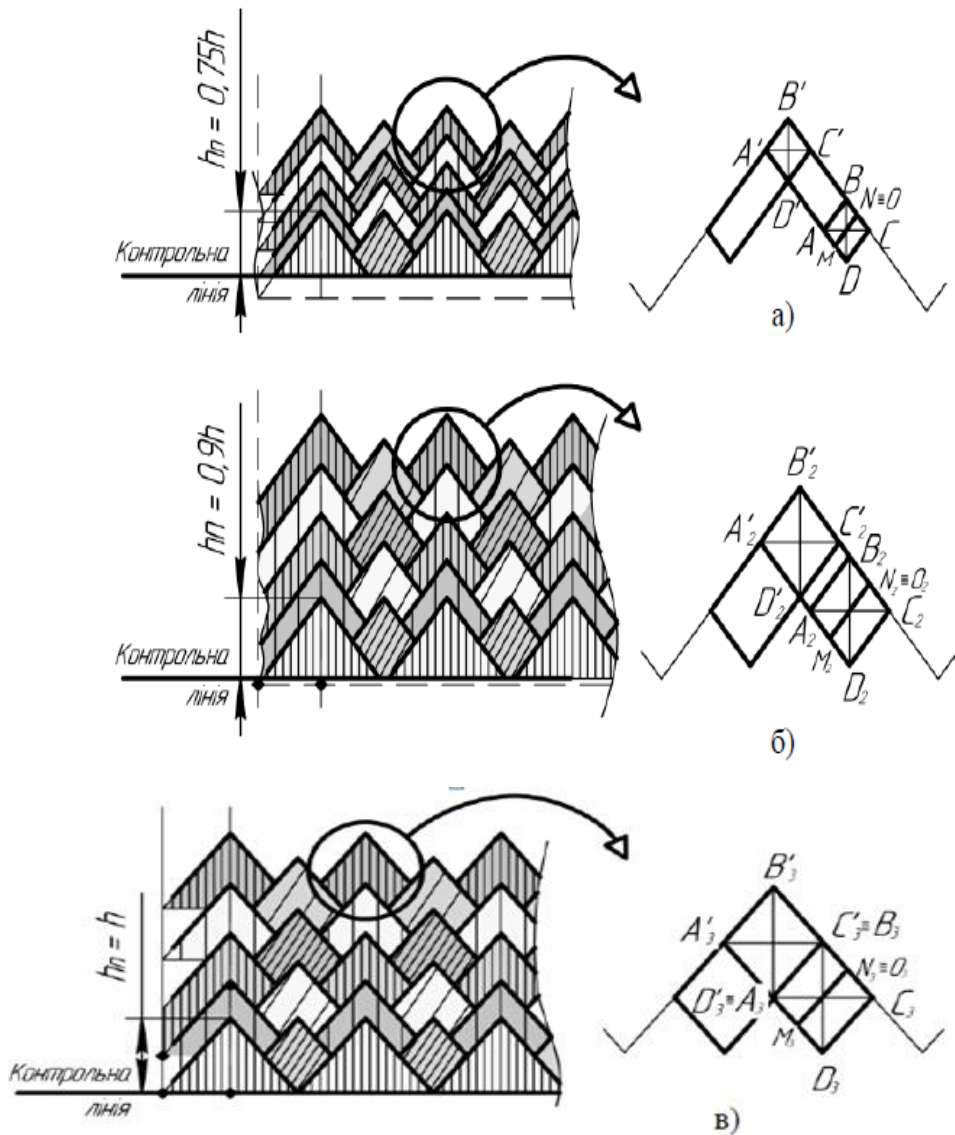


Рис. 4.1. Схеми отримання жолобчастої стружки кенігфельдськими ножами: а) тонка жолобчаста стружка; б) стружка середньої товщини; в) товста жолобчаста стружка.

$$S = \delta \cdot \frac{k}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (4.1)$$

де S – площа поперечного перерізу стружки, що сходить з одного пера, м²;

δ – товщина стружки, м;

k – крок ножа, м;

α – кут при вершині пера ножа, град.

Масу однієї стружини, що утворюється за один прохід одним пером ножа можна розрахувати за рівнянням:

$$m = S \cdot l \cdot \rho,$$

де: l – довжина стружини, м;

ρ – середня густина цукрових буряків, кг/м³ ($\rho = 1060$ кг/м³).

де: $l_{100г}$ – довжина 100 г стружки, м.

Або:

$$l_{100г} = \frac{0,1 \cdot \phi}{S \cdot \rho}, \quad (4.2)$$

де: ϕ – коефіцієнт, що враховує відсоток якісної стружки (при 3% браку $\phi = 0,97$; при 5% $\rightarrow \phi = 0,95$).

Як видно з попереднього рівняння довжина 100 г стружки (число Сіліна) значною мірою залежить від площі поперечного перерізу, тобто від ступеня подрібнення цукрових буряків, і лише частково від якості стружки (відсотку браку в ній) та якості коренеплодів.

Жолобчата та ромбовидна стружка. З отриманих графічним моделюванням схем зрізання жолобчатої стружки кенігсфельдськими ножами моделі 1011 визначалися товщини стружки в залежності від висот підйому ножів при їх зміщенні на 0,5 кроку. За отриманими даними було побудовано графік (рис. 4.2).

Залежність товщини стружки від висоти підйому ножів можна описати рівнянням прямої, яке матиме вигляд:

$$\delta = 0,8127 \cdot h_n - 0,0022, \quad (4.3)$$

де h_n – висота підйому ножів, м;

h – висота пера ножа, м.

Підставимо в рівняння (3.13) вираз (3.15) і отримаємо:

$$S = (0,8127 \cdot h_n - 0,0022) \cdot \frac{k}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (4.4)$$

Виразимо з рівняння (4.3) величину S , та прирівняємо її до рівняння (4.4)

Виконавши ряд перетворень отримаємо:

$$h_n = 0,2461 \cdot \frac{\phi \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{l_{100g} \cdot \rho \cdot k} + 0,00271. \quad (4.5)$$

За рівнянням (4.5) можна визначити підйом бурякорізальних ножів, який необхідно встановити в бурякорізках для отримання заданої довжини 100 г стружки жолобчатого чи ромбовидного поперечного перерізу, яка б відповідала вимогам конкретного дифузійного апарату.

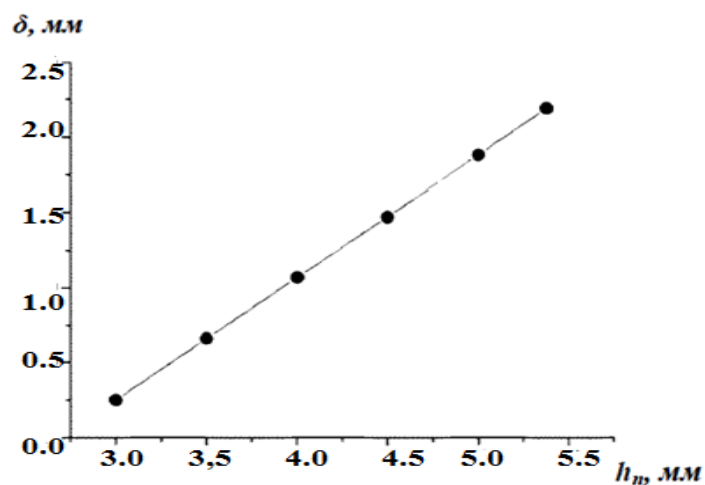


Рис.4.2. Графік залежності товщини стружки від висоти підйому ножів при зміщенні на 0.5 кроку

4.2. Перевірочний розрахунок удосконаленого корпусу бурякорізки з можливістю використання двохрядних рам

Аналіз результатів опрацювання експериментальних даних проведено у такій послідовності: визначено ступені впливу та ефект взаємовпливу факторів на критерій оптимізації; проведено графічний аналіз експериментально отриманих даних; визначено значення факторів, які забезпечують оптимізацію процесу доочищення головок коренеплодів. Для перевірки удосконаленого корпусу відцентрової бурякорізки з використання двохрядних рам на міцність згідно рис. 2.3. нами проведено моделювання.

У результаті виконаних експериментальних досліджень (загальна кількість дослідів становила $N = 135$) різання буряків активним плоским ножом встановлено, що за характером поверхні зрізу коренеплоди з гладкою та прямою поверхнею зрізу, а також зі сколами, впадинами, ступенями до 1 см складають 97% від загальної кількості обрізаних головок. Пошкоджені буряки становлять (ступінчаста непрямолінійна поверхня зрізу) становлять 3%. Прикладено сили та опір до матеріалу ножів, що становлять: силу тяжіння; тиск, що чинить буряк під час різання-0.8МПа; сума мас тиску на поверхню корпусу. Схема навантаження барабану (рис.4.3) побудована по розрахунковій сітці (б). Програмний комплекс дозволив розрахувати напруження (рис.4.4, деформацію (рис.4.5) загальний запас міцності (ис.4.6) і горизонтальна частина корпусу (рис.4.7).

Із рисунків випливає, що максимальні напруження виникають у верхній частині корпусу бурякорізки. Вони перевищують допустимого значення даної сталі ножів.

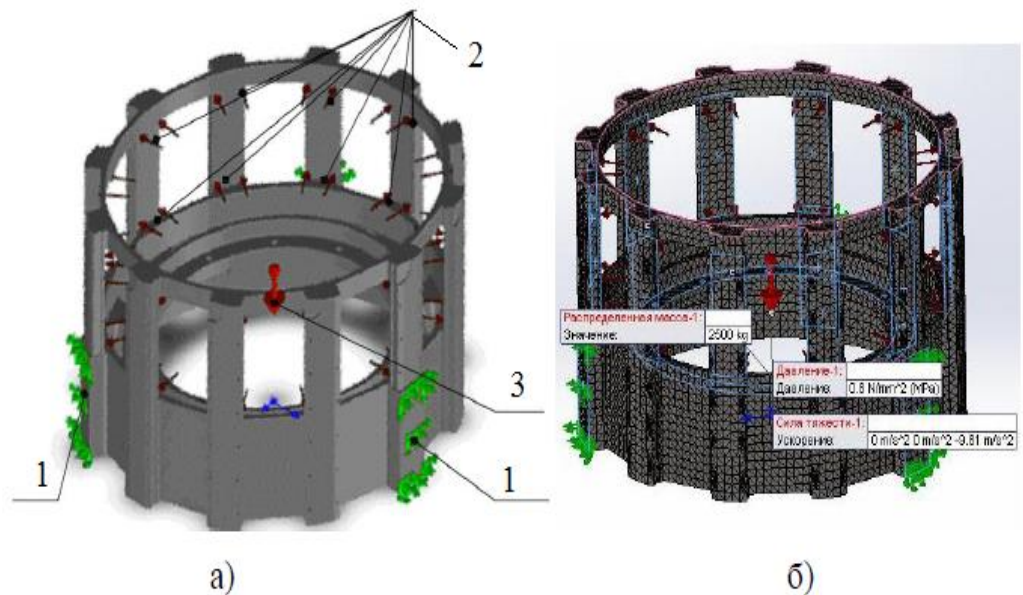


Рис. 4.3 Геометрична 3D модель корпусу бурякорізки з прикладеними опорами та силами (а) і розрахунковою сіткою (б): 1 – місця прикладання опор; 2 – зона дії тиску зумовленого відцентровою силою на внутрішню поверхню корпусу бурякорізки; 3 – позначення сили тяжіння прикладеної до центру мас

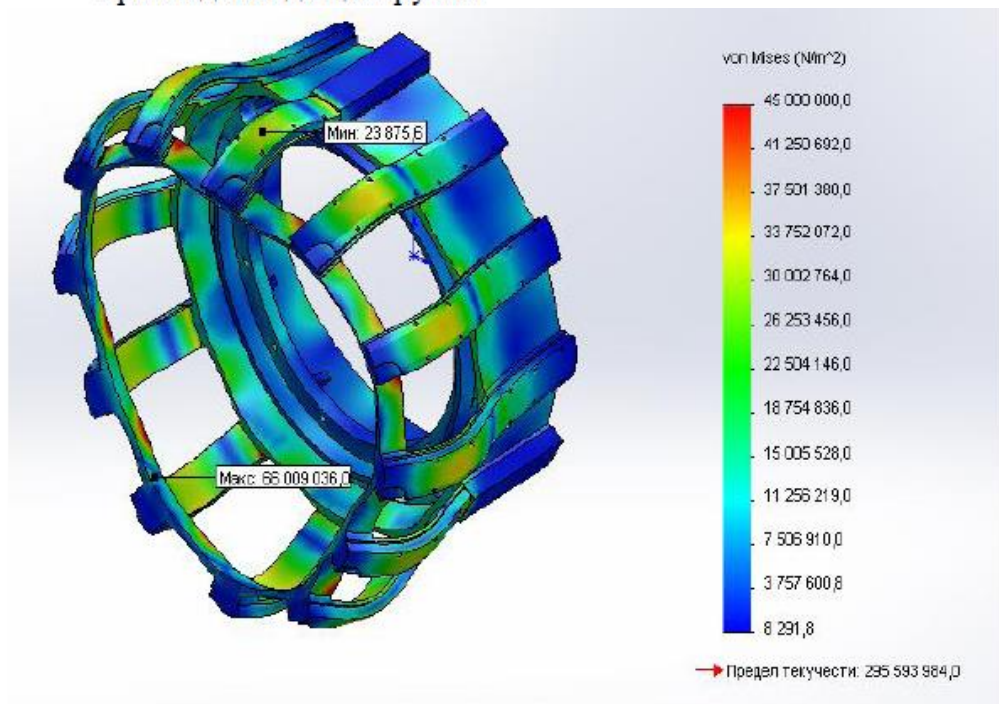


Рис. 4.4. Напруження в корпусі відцентрової бурякорізки

Мінімальні напруження виникають в несучих стійках корпусу бурякорізки.

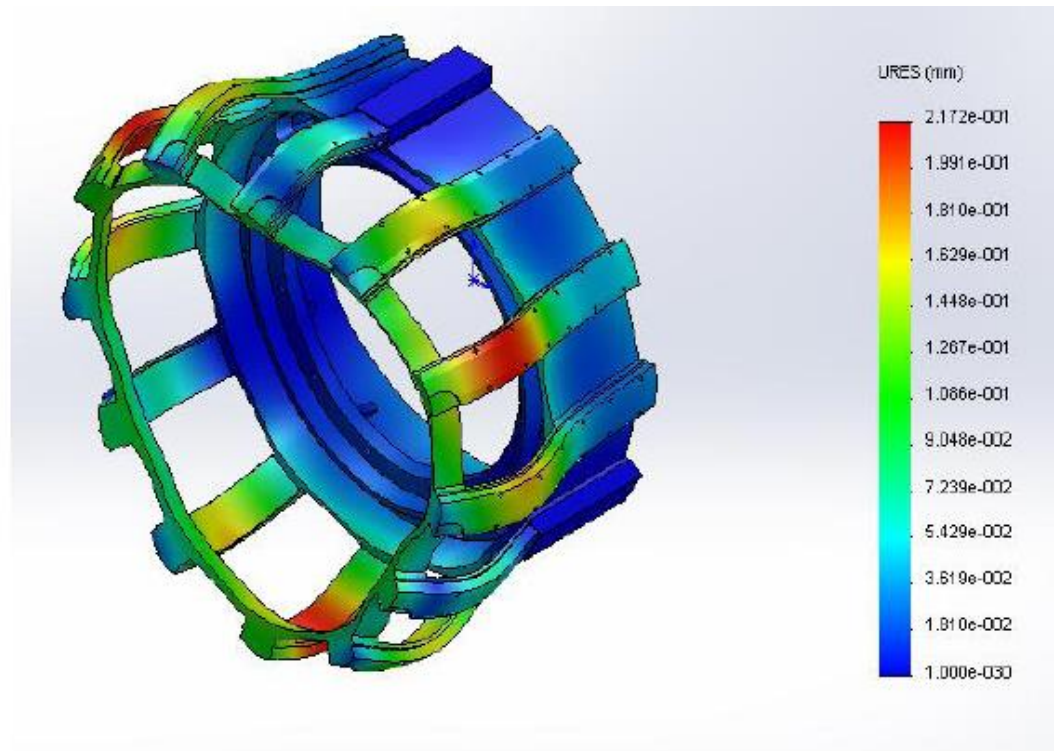


Рис. 4.5. Робочі деформація корпусу бурякорізки

Максимальної деформації зазнають проміжні стійки.

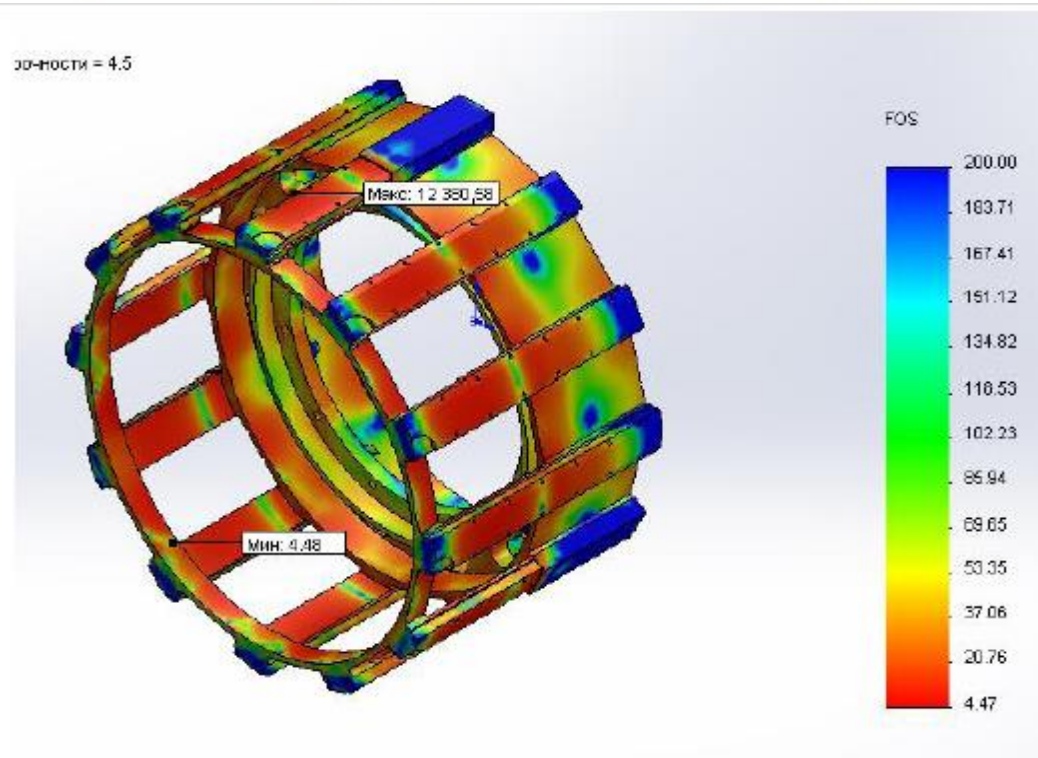


Рис. 4.6. Запас міцності корпусу бурякорізки

В ході комп'ютерного моделювання було: перевірено удосконалений корпус відцентрової бурякорізки на міцність (мінімальний запас міцності становить 4,48); визначено, що найбільш слабким місцем в його конструкції є верхня обичайка, оскільки там виникають максимальні напруження і саме тут спостерігається найменший запас міцності.

В перерізі корпусу бурякорізки мінімальний запас міцності є достатнім і він становить 4.48. Ці дані впливають із моделювання (рис. 4.7).

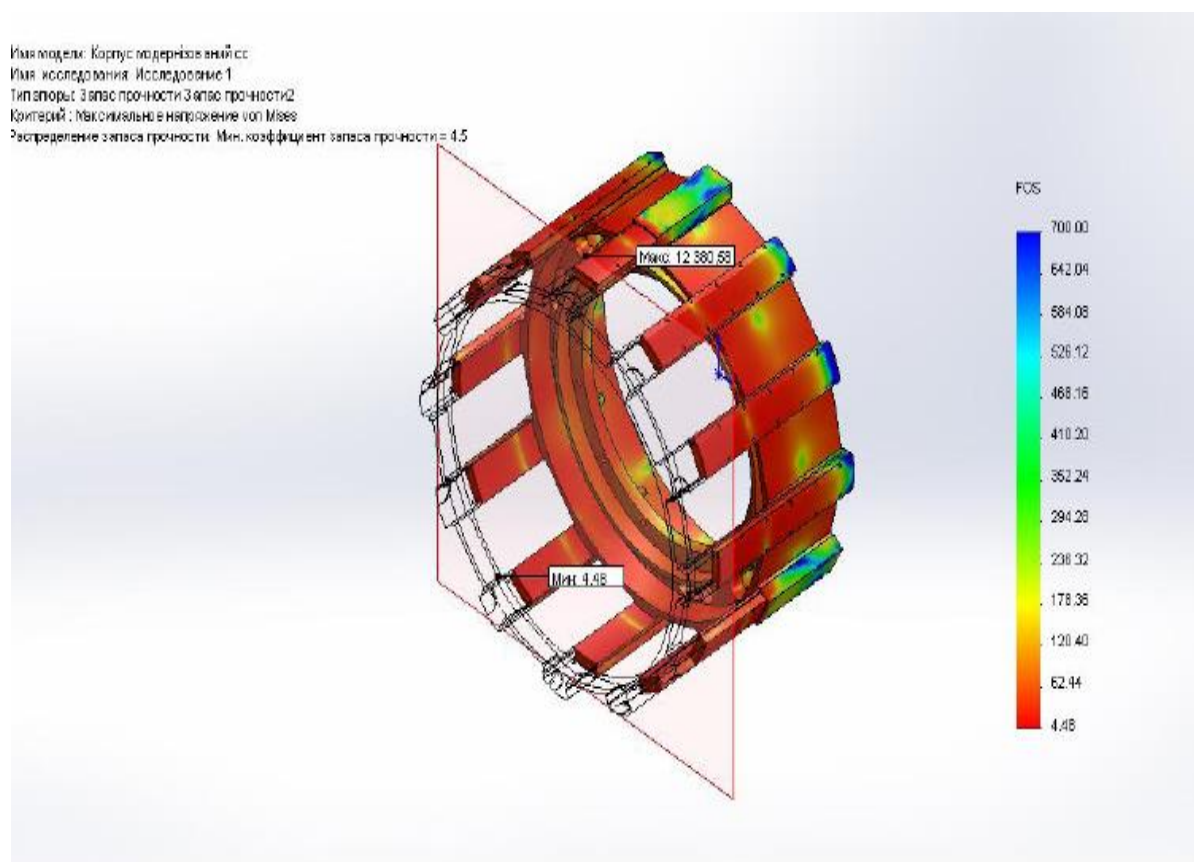


Рис. 4.7. Запас міцності в перерізі корпусу бурякорізки

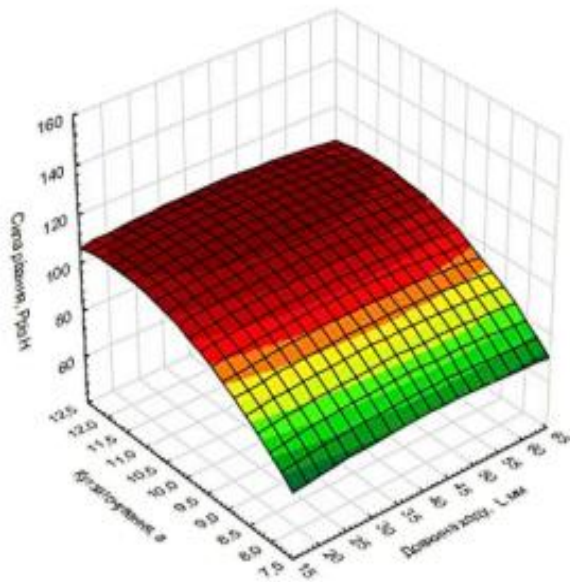
Аналіз результатів опрацювання експериментальних даних проведено у такій послідовності: визначено ступені впливу та ефект взаємовпливу факторів на критерій оптимізації; проведено графічний аналіз експериментально отриманих даних; визначено значення факторів, які забезпечують оптимізацію процесу доочищення головок коренеплодів. За

результатами проведених досліджень ножів побудовано поверхні відгуків залежності сили різання $P_{\text{різ}}$ від сукупності незалежних факторів, які впливають на виконання технологічного процесу різання активного типу (рис. 4.8).

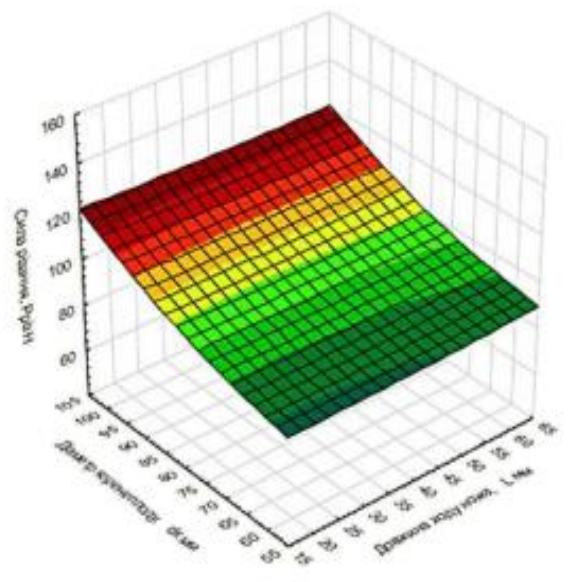
У результаті виконаних експериментальних досліджень (загальна кількість дослідів становила $N = 135$) різання буряків активним плоским ножом встановлено, що за характером поверхні зрізу коренеплоди з гладкою та прямою поверхнею зрізу, а також зі сколами, впадинами, ступенями до 1 см складають 97% від загальної кількості обрізаних головок. Пошкоджені буряки (ступінчаста непрямолінійна поверхня зрізу) становлять 3%.

В роботі виконано порівняння результатів експериментальних та аналітичних досліджень сили різання $P_{\text{різ}}$ головок коренеплодів буряків залежно від довжини ходу активного плоского ножа L та побудовано графічну залежність (рис. 4.8) при умовах, що $V_m = 2$ м/с, $d_k = 100$ мм, $\alpha = 8$. Використовуючи дані, отримані в результаті проведення багатofакторного експерименту з визначення сили різання головок коренеплодів активним плоским ножом та результати лабораторних досліджень корозійної стійкості матеріалів ножів.

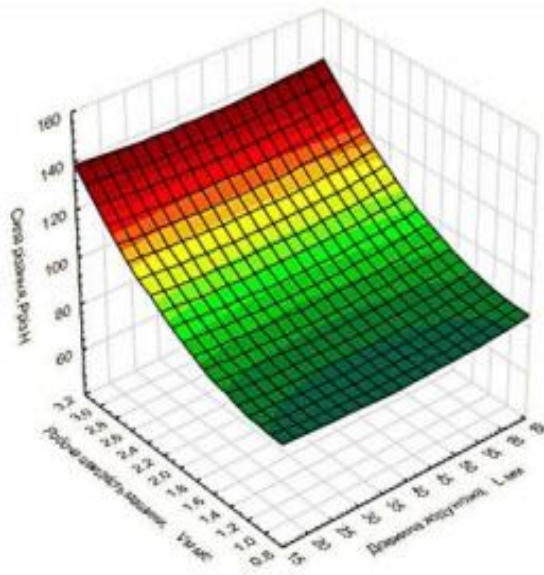
При проектуванні різання активного типу для підвищення показників якості та надійності виконання технологічного процесу запропоновано дотримуватись наступних рекомендацій: матеріал плоского ножа – сталь звичайної якості Ст. 3, нижня грань леза якого наплавлена тонким зносостійким сплавом сормаїту товщиною 1,5 мм; кут заточування леза ножа $\alpha = 8$; діапазон довжин ходу плоского ножа при виконанні ним технологічного процесу $L = 40 \dots 50$ мм, який забезпечується за допомогою блоку привода; поступальна швидкість бурякозбирального агрегату – 1,9 м/с.



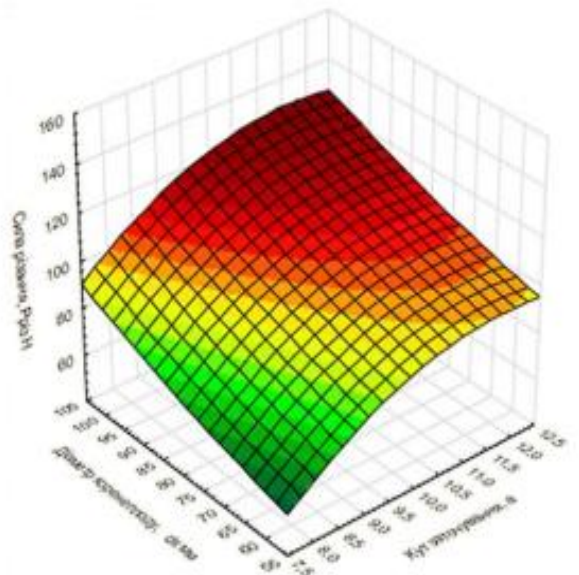
а)



б)



в)



г)

Рис. 4.8. Поверхні відгуків залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів від: а) $P_{різ} = f(L, \alpha)$; б) $P_{різ} = f(L, d)$ в) $P_{різ} = f(L, V_m)$; г) $P_{різ} = f(d, \alpha)$.

Встановлено незначну корозійну агресивність робочого середовища на досліджувані матеріали. Із урахуванням того, що максимальні напруження, які виникають у місцях кріплення ножа до блоку привода під час виконання технологічного процесу різання головок коренеплодів

буряків, становлять $\sigma_{\max} = 72,03$ МПа, що значно нижче допустимих напруження для якісних і сталей звичайної якості, та з метою підвищення показників раціональності запропоновано використовувати при виготовленні плоских ножів дообрізувачів матеріал – Ст. 3.

З графіків видно (рис.4.9), що кут загострення зростає (стає тупішим) зі збільшенням тривалості роботи бурякорізального ножа. На графіку спостерігається певна непостійність початкового кута загострення, що можна пояснити похибкою вимірювання та заточування, але для всіх точок на профілі ножа зберігається загальна закономірність.

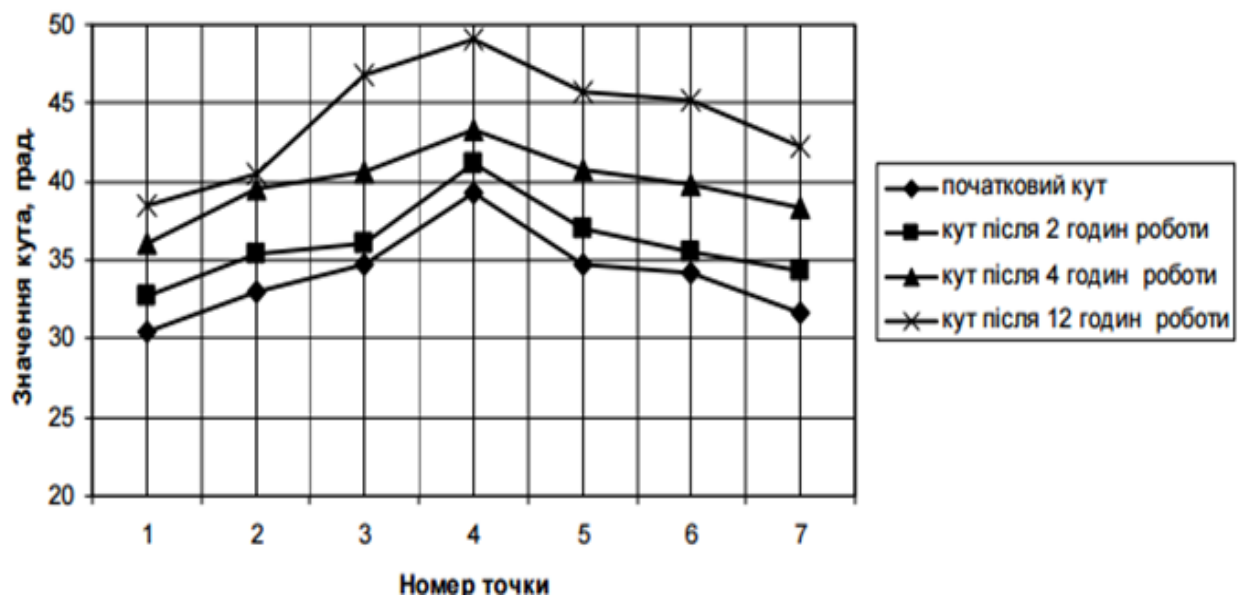


Рис.4.9. Вплив тривалості експлуатації на зміні кута загострення бурякорізального ножа

Отже, як висновок, можна сказати, що велика кількість ножів втрачає свою працездатність через неефективну роботу системи очистки буряків. Тому збільшення довговічності ножів шляхом підвищення загальної твердості його робочої частини об'ємним гартуванням веде до збільшення його крихкості та виходу з ладу під час удару. Значне ж зменшення твердості ножів призводить до згинання ножа та різальної крайки.

Для підвищення зносостійкості бурякового ножа та збільшення його довговічності необхідно виконати комплекс заходів із зміцнення найбільш вразливих ділянок ножа – різальної вершини та частини крайки в її околі.

Це можна здійснити шляхом нанесення зносостійкого композиційного покриття вздовж ребра, що зношується, або локального гартування концентрованими джерелами енергії (лазером, плазмою тощо). Позитивний ефект можна очікувати за рахунок зміни технології формоутворення профілю ножів з методів обробки різанням на обробку тиском [3].

Також з рис. 4.9 видно, що найбільш нерівномірний знос відбувається біля вершини пера, де змінюється товщина різальної крайки. На ділянках з однаковою товщиною стінки знос відбувається рівномірно і кут загострення поверхні різання практично не змінюється. Таким чином логічно запропонувати змінену форму бурякорізальних ножів, яка має меншу неоднорідність товщини ріжучої частини ножа. Формування такого рамного профілю пластичною деформацією на пристроях дозволяє зміцнити різальну поверхню ножа без гартування і підвищити її твердість в зоні пластичної деформації. В результаті використання таких ножів на виробництві, замість ромбовидної бурякової стружки отримують серповидну, яка, за умови однакової площі перерізу, має більшу поверхню, тобто зростає ефективність.

4.3. Вплив складових на потужність машини для різання плодів

Визначення потужності на різання буряка. Потужність на різання буряка визначаємо за формулою:

$$N_1 = 1,96 f l m \eta_{отн} v K_k \text{ (кВт)}$$

Розраховуємо потужність на різання буряка при змінному питомому зусиллі різання свіжого, примерзлого і прив'ялого буряка. Питоме зусилля різання змінюється відповідно від довжини стружки. Данні для визначення потужності різання зведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні данні для визначення потужності на різання буряка

Довжина ножа	l, мм	0,128
--------------	-------	-------

Кількість рам	m, шт	8
Конструктивний коефіцієнт корене-клубнерізки	K_k	0,9
Об'ємна маса буряку корене-клубнерізці	ρ , кг/м ³	200
Величина враховуюча проміжки	$\eta_{отн}$	0,2
Швидкість різання	v, м/с ²	6
Питоме зусилля різання	f, Н	11,7

Залежність потужності від питомого зусилля різання узагальнено лінійною залежністю у вигляді:

- Для свіжого буряка:

$$y = 4.3351x + 0.0011$$

- Для примерзлого буряка:

$$y = 4.3277x + 0.0872$$

- Для прив'ялого буряка:

$$y = 4.3352x - 0.0002$$

де $y=N$ – потужність на різання буряка; $x=f$ – питоме зусилля різання.

Методом найменших квадратів було розраховано :
 $N_1 = 1,96flm\eta_{отн}vK_k$, залежність потужності від питомого зусилля різання отримали з лінійної залежності $N = Kf$.

За розрахунковими даними таблиці 4.1. будуємо графік залежності потужності від питомого зусилля різання. Цей графік подано на рисунку 4.10.

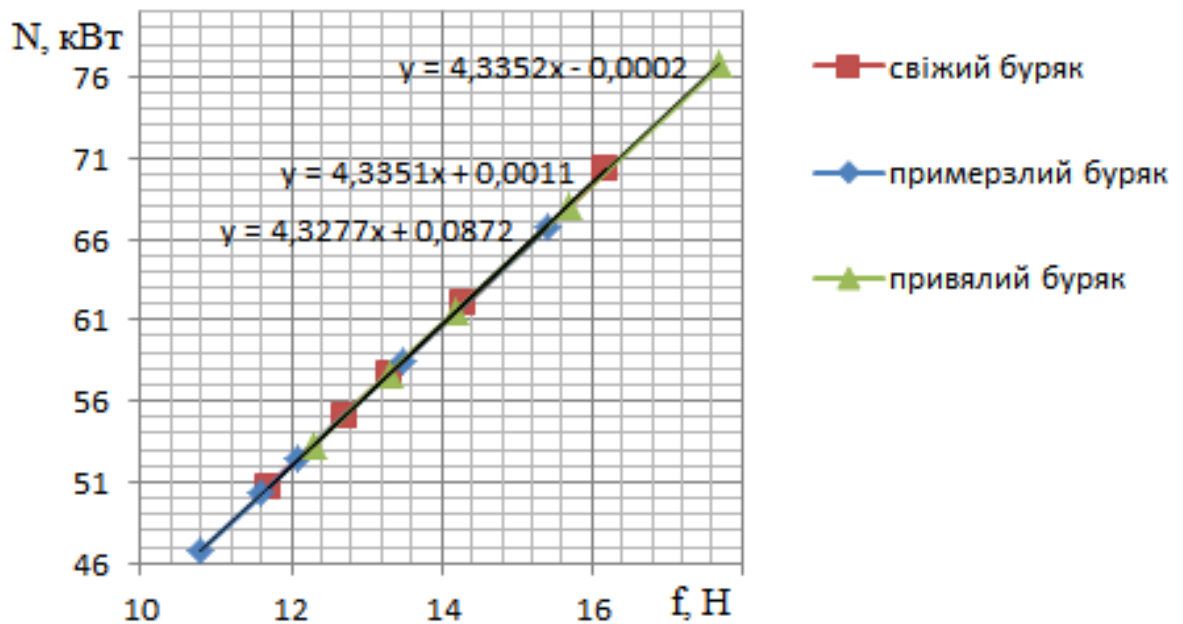


Рисунок 4.10 – Залежності потужності від питомого зусилля різання.

Розраховуємо потужність на різання буряка при змінній швидкості різання буряка. Швидкість різання буряка коливається від 6,7м/с до 9,55м/с. Це зумовлено тим що при більшій швидкості різання погіршується якість буряка, а при меншій швидкості різання великі втрати в потужності машини для різання корене-клубнеплодів.

Залежність потужності від швидкості різання узагальнено лінійною залежністю у вигляді:

$$y = 4,2267x + 0,0013$$

де $y=N$ – потужність на різання буряка;

$x=v$ – швидкість різання.

Розраховуємо потужність на різання буряка при змінній кількості ножових рам в машині для різання корене-клубнеплодів. Максимальна кількість ножових рам в машині для різання плодів є 8. Кількість ножових рам може зменшуватись через заміну зношених ножів в них, регулювання продуктивності.

Розрахункові данні залежності потужності від кількості ножових рам зведено в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахункові данні залежності потужності від кількості ножових рам.

Потужність на різання буряка, N, кВт	Кількість ножових рам, m, шт
12,68	4
15,851	5
19,021	6
22,191	7
	8

Залежність потужності від кількості ножових рам узагальнено лінійною залежністю у вигляді: $y = 3.1702x - 0.0004$

де $y=N$ – потужність різання буряка; $x=m$ – кількість ножових рам.

Методом найменших квадратів було розраховано :
 $N_1 = 1,96flm\eta_{отн}vK_k$, потужності від кількості ножових рам отримали з лінійної залежності $N = Km$

За розрахунковими даними таблиці 4.2 будемо графік залежності потужності від кількості ножових рам. Цей графік подано на рисунку 4.11.

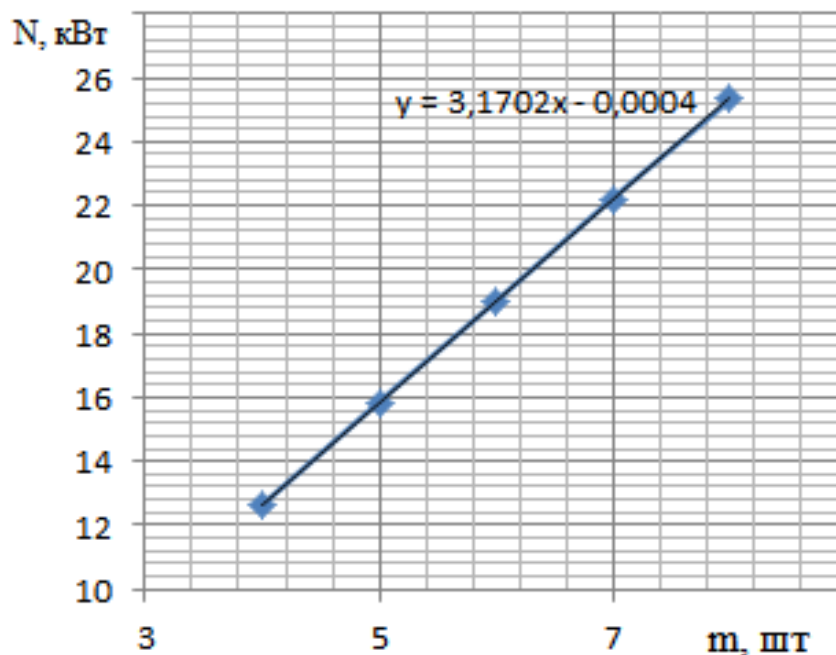


Рисунок 4.11. Залежності потужності від кількості ножових рам.

Визначення потужності на подолання сил тертя. Потужність на подолання сил тертя визначаємо за формулою : $N_2 = 9.4 \cdot 10^{-4} \rho \omega^3 R^4 l K_k$ (нм)

Данні для визначення потужності різання зведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вихідні данні для визначення потужності на подолання сил тертя.

Довжина ножа	l, мм	0,128
Об'ємна маса буряку в бурякорізці	ρ , кг/м ³	200
Конструктивний коефіцієнт	K_k	0,9
Внутрішній радіус бурякорізки	R, мм	0,25
Швидкість різання	v, м/с ²	6
Кутова швидкість	ω , рад/с	13,333

Залежність потужності від кутової швидкості різання узагальнено степенною залежністю у вигляді:

$$y = 0.0054x^3$$

де $y=N$ – потужність різання буряка; $x=\omega$ – кутова швидкість різання.

Методом найменших квадратів було розраховано $N_2 = 9.4 \cdot 10^{-4} \rho \omega^3 R^4 l K_k$, залежність потужності від кутової швидкості різання отримали з залежності $N = K\omega$

За розрахунковими даними таблиці 4.3 будуюмо графік залежності потужності від кутової швидкості різання. Цей графік подано на рисунку 4.12.

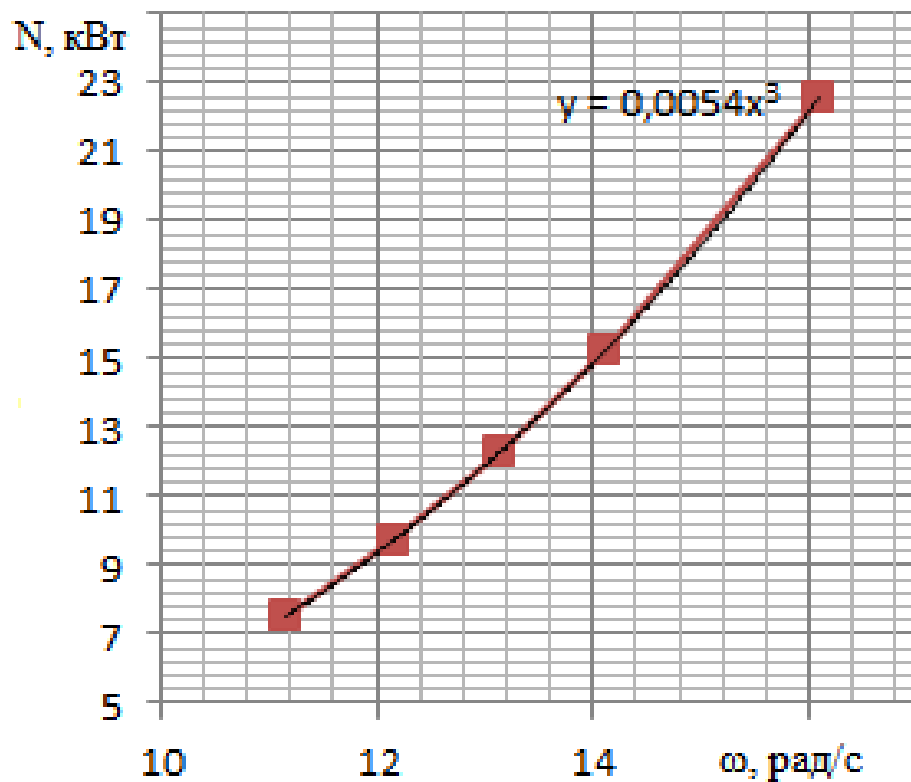


Рисунок 4.12.– Залежності потужності від кутової швидкості різання.

Визначення потужності на подолання сил тертя. Потужність на подолання сил тертя визначаємо за формулою: $N_3 = \frac{G\omega^2 R^2}{2000} (кВт)$.

На основі дослідних даних будуюмо графік залежності питомого зусилля різання від тиску (рис. 4.13).

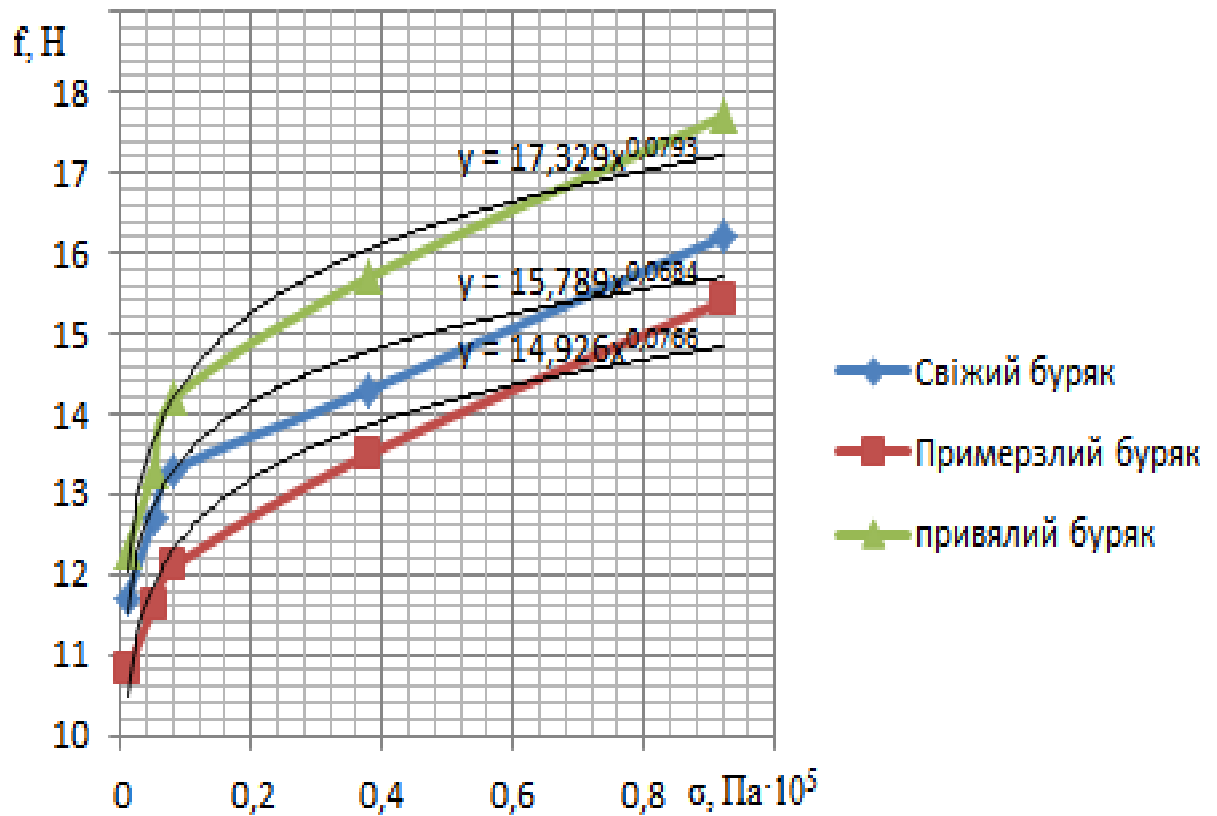


Рисунок 4.13. Залежність питомого зусилля різання від тиску.

4.4. Регресійний аналіз математичного процесу різання коренеплодів марки А9-КРМ

Рівняння регресії для різання має вигляд:

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$$

Згідно правила система нормальних рівнянь отримує вигляд:

$$\begin{cases} b_0 \sum X_0^2 + b_1 \sum X_1X_0 + b_2 \sum X_2X_0 + b_3 \sum X_3X_0 + b_4 \sum X_4X_0 = \sum X_0Y \\ b_0 \sum X_0X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_2X_1 + b_3 \sum X_3X_1 + b_4 \sum X_4X_1 = \sum X_1Y \\ b_0 \sum X_0X_2 + b_1 \sum X_1X_2 + b_2 \sum X_2^2 + b_3 \sum X_3X_2 + b_4 \sum X_4X_2 = \sum X_2Y \\ b_0 \sum X_0X_3 + b_1 \sum X_1X_3 + b_2 \sum X_2X_3 + b_3 \sum X_3^2 + b_4 \sum X_4X_3 = \sum X_3Y \\ b_0 \sum X_0X_4 + b_1 \sum X_1X_4 + b_2 \sum X_2X_4 + b_3 \sum X_3X_4 + b_4 \sum X_4^2 = \sum X_4Y \end{cases}$$

де:

Y — зусилля різання;

X_1 — кут різання;

X_2 — товщина скибочки;

X_3 — ширина скибочки;

X_4 — швидкість різання;

$X_0 = 1$.

Величини для розв'язку рівняння лінійної регресії подані у таблиці

4.4.

Таблиця 4.4. – Величини для розв'язку.

Питома сила різання	Кут різання	Товщина скибочки	Ширина скибочки	Швидкість різання
f, Н	α	h, мм	b, мм	v, м/с
Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
11,7	15	5	10	6,7
10,7	14	5	10	7,29
9,2	12	5	10	7,88
8,4	10	5	10	8,47
7,4	8	5	10	9,65

Таблиця 4.5.– Сумарні значення для розв'язку системи нормальних рівнянь.

Σx_0y	Σx_1x_0	Σx_2x_0	Σx_3x_0	Σx_4x_0
47,4	59	25	50	39,87
Σyx_1	Σx_1x_1	Σx_2x_1	Σx_3x_1	Σx_4x_1
578,9	461,34	295	590	458,02
Σyx_2	Σx_1x_2	Σx_2x_2	Σx_3x_2	Σx_4x_2
237	295	125	250	199,35
Σyx_3	Σx_1x_3	Σx_2x_3	Σx_3x_3	Σx_4x_3
474	590	250	500	398,7
Σyx_4	Σx_1x_4	Σx_2x_4	Σx_3x_4	Σx_4x_4
370,539	458,02	199,35	398,7	322,7335

За розрахованими X_1, X_2, X_3, X_4 і Y складаємо систему з числовими значеннями.

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 + b_1 59 + b_2 25 + b_3 50 + b_4 39,87 = 47,4 \\ b_0 59 + b_1 461,34 + b_2 295 + b_3 590 + b_4 458,02 = 578,9 \\ b_0 25 + b_1 295 + b_2 125 + b_3 250 + b_4 199,35 = 237 \\ b_0 50 + b_1 590 + b_2 250 + b_3 500 + b_4 398,7 = 474 \\ b_0 39,87 + b_1 458,02 + b_2 199,35 + b_3 398,7 + b_4 322,7335 = 370,539 \end{array} \right.$$

Цифрові значення зводимо до одного порядку

За допомогою Matchad розв'яжемо і знаходимо b_0, b_1, b_2, b_3, b_4

$$b_0 := 0 \quad b_1 := 1 \quad b_2 := 1 \quad b_3 := 1 \quad b_4 := 1$$

Given

$$b_0 \cdot 1 + b_1 \cdot 59 + b_2 \cdot 25 + b_3 \cdot 50 + b_4 \cdot 39.87 = 47.4$$

$$b_0 \cdot 59 + b_1 \cdot 461,34 + b_2 \cdot 295 + b_3 \cdot 590 + b_4 \cdot 458.02 = 578.9$$

$$b_0 \cdot 25 + b_1 \cdot 295 + b_2 \cdot 125 + b_3 \cdot 250 + b_4 \cdot 199.35 = 237$$

$$b_0 \cdot 39.87 + b_1 \cdot 458.02 + b_2 \cdot 199.35 + b_3 \cdot 398.7 + b_4 \cdot 322.7335 = 370.539$$

$$\text{Find}(b_0, b_1, b_2, b_3, b_4) = \begin{pmatrix} -1.683 \times 10^{-8} \\ 0.321 \\ 1 \\ 0.637 \\ -0.713 \end{pmatrix}$$

$$b_0 \cdot 50 + b_1 \cdot 590 + b_2 \cdot 250 + b_3 \cdot 500 + b_4 \cdot 398.7 = 474$$

Отже з програми Matchad отримаємо такі значення коефіцієнтів:

$$b_0 = -1.683 \cdot 10^{-8},$$

$$b_1 = 0.321,$$

$$b_2 = 1,$$

$$b_3 = 0.637,$$

$$b_4 = -0.713.$$

Рівняння регресії набуде наступного вигляду:

$$Y = 0.321 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 0.637 \cdot x_3 + (-0.713 \cdot x_4)$$

Записуємо рівняння і розраховуємо Y_p

$$-1.683 \cdot 10^{-8} + 0.321 \cdot 15 + 1 \cdot 5 + 0.637 \cdot 10 + (-0.713 \cdot 6.7) = 11.408$$

$$-1.683 \cdot 10^{-8} + 0.321 \cdot 14 + 1 \cdot 5 + 0.637 \cdot 10 + (-0.713 \cdot 7.29) = 10.666$$

$$-1.683 \cdot 10^{-8} + 0.321 \cdot 12 + 1 \cdot 5 + 0.637 \cdot 10 + (-0.713 \cdot 7.88) = 9.604$$

$$-1.683 \cdot 10^{-8} + 0.321 \cdot 10 + 1 \cdot 5 + 0.637 \cdot 10 + (-0.713 \cdot 8.45) = 8.555$$

$$-1.683 \cdot 10^{-8} + 0.321 \cdot 8 + 1 \cdot 5 + 0.637 \cdot 10 + (-0.713 \cdot 9.55) = 7.129$$

Розрахункові дані Y_p і дослідні дані Y , а також відхилення і похибку зводимо у таблицю 4.6.

Таблиця 4.6.– Розрахункові дані Y_p і дослідні дані Y

Y_p	Y	$\Delta = Y_p - Y $	$\frac{ Y_p - Y }{Y} \cdot 100\%$
11,408	11,7	0.292	2.5
10,666	10,7	0.034	0.3
9,604	9,2	0.404	4.4
8,555	8,4	0.155	1.8
7,129	7,4	0.271	3.7

За розрахунковими і дослідними даними будуюмо графічні залежності швидкості різання від питомої сили різання і кута різання від питомої сили різання. На цих графіках лінією показано зміну розрахункової питомої сили. А точками зміну дослідної питомої сили. Ці графічні залежності показані на рисунках 4.14 і 4.15.

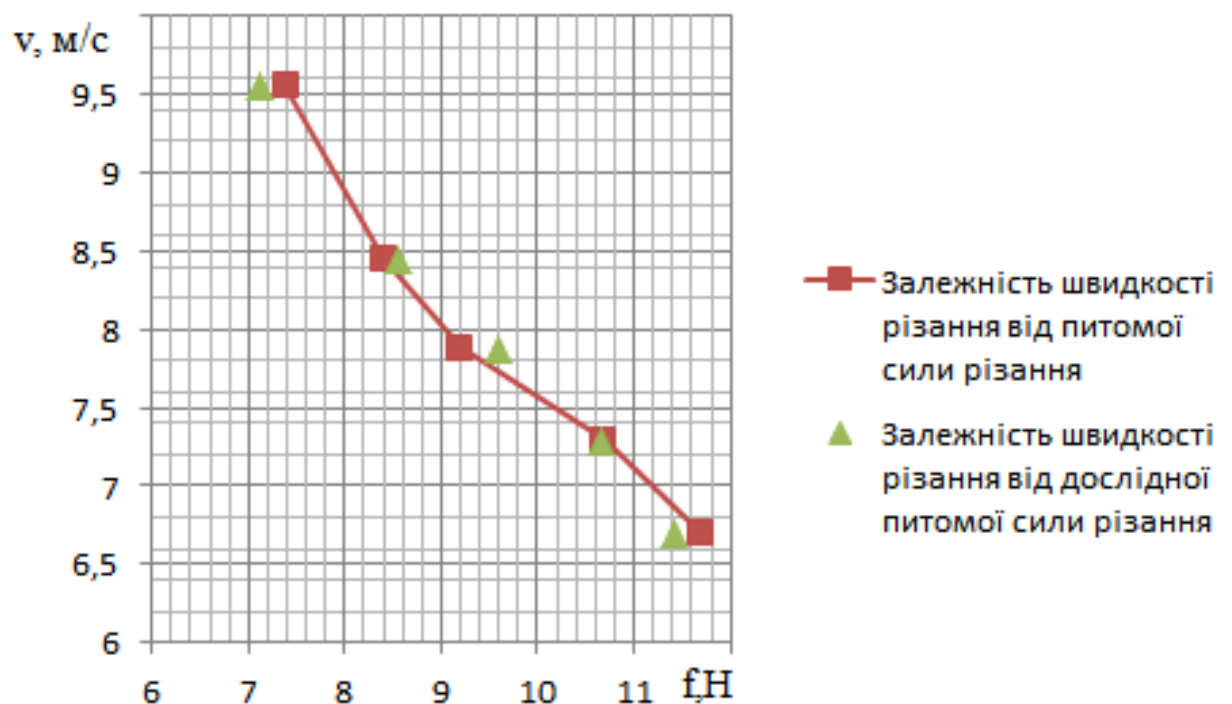


Рисунок 4.14. – Графічна залежність швидкості різання від питомої сили різання.

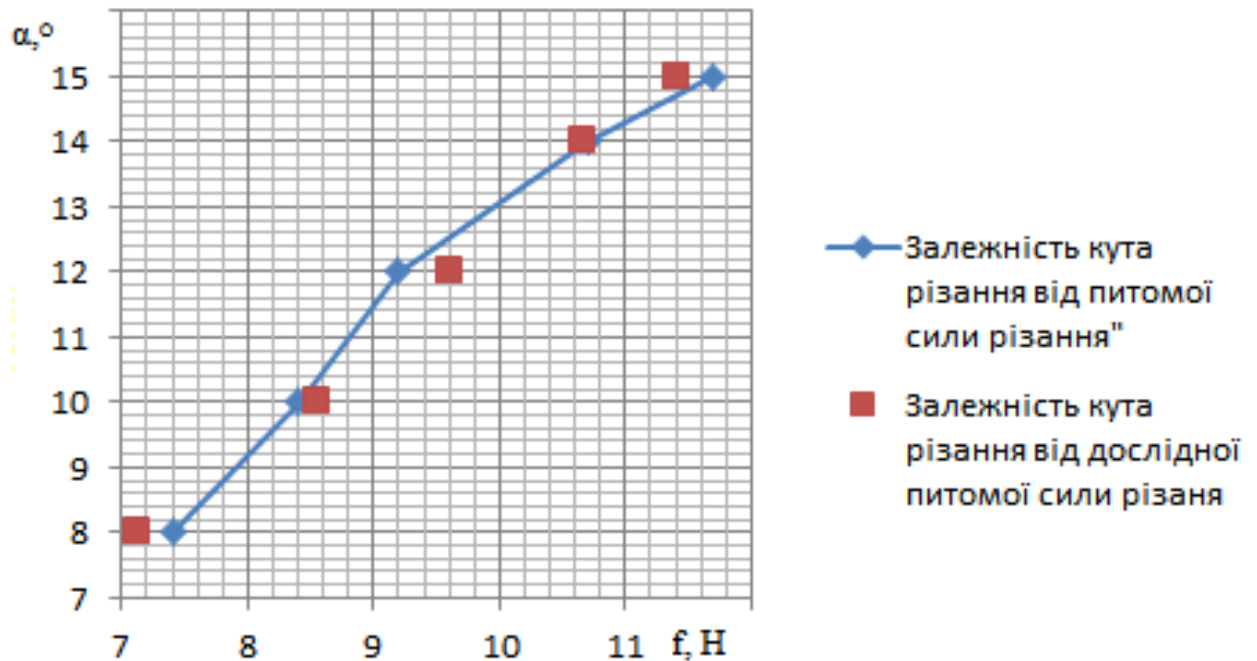


Рисунок 4.15 – Графічна залежність кута різання від питомої сили різання.

Проаналізувавши графіки можна сказати наступне: зі збільшенням швидкості різання буряка потрібно прикласти менше зусилля, а зі збільшенням кута різання, збільшити зусилля різання.

4.5. Визначення основних геометричних характеристик поперечних перерізів стружки.

Найбільш розповсюджені форми поперечного перерізу стружки за такими критеріями:

- величина радіусу вписаного в поперечний переріз стружки кола;
- величина периметру;
- момент опору згину профілів;
- продуктивність бурякорізальних машин.

Для порівняння обрано 2 трикутні, прямокутний ромбовидний та жолобчастий поперечні перерізи стружки площею 12 мм² кожен.

Для рівностороннього трикутника площею довжина сторона a визначалася формулою:

$$a = \sqrt{\frac{S\sqrt{3}}{4}}$$

При $S=12\text{мм}^2$ $a= 5.26\text{м}$.

Для рівнобедреного трикутника площа S визначається:

$$S = \frac{1}{2}ab \sin \alpha$$

де a -бокова сторона трикутника; α -кут між боковою стороною і основою; b -основа трикутника, $b=2a\cos\alpha$.

Тоді
$$a = \sqrt{\frac{S}{\cos \alpha \sin \alpha}},$$

При $S=12\text{мм}^2$ $a=4.98\text{мм}$ і $b= 6.06\text{мм}$.

Для знаходження сторін прямокутного профілю стружки у формі паралелограма використаємо формулу розрахунку площі поперечного перерізу виразивши у неї товщину стружки:

$$\delta = \frac{S}{k} 2 \sin \frac{\beta}{2}$$






Товщина розрахованої стружки буде рівною висоті профілю у формі паралелограма ($\delta=h$)

Площа паралелограма розраховується за формулою:

$$S = ah$$

Основні геометричні характеристики поперечного перерізу стружки наведені в таблиці.

Таблиця 4. Геометричні характеристики поперечного перерізу стружки

Форма перерізу					
Периметр (P), мм	15,8	16,0	17,2	14,1	17,1
Радіус вписаного кола (R), мм	1,5	1,5	0,9	1,7	1,1
Момент опору згину відносно осі x, W_x , мм ³	4,6	4	12,9	5,6	4,5
Момент опору згину відносно осі y, W_y , мм ³	5,3	6,1	3,5	4,3	6,8
Площа поп. перерізу стружин, що зрізається 1 ножем, (ΣS), мм ²	264	240	240	240	240
Момент інерції відносно осі x, J_x , мм ⁴	13,8	10,4	42,8	15,6	12,1
Момент інерції відносно осі y, J_y , мм ⁴	13,8	18,3	6,4	9,1	17,8
Відстань x	2,6	3,0	1,8	2,1	2,6

Для оцінювання ступеню придатності бурякорізальних ножів у відцентрових машинах необхідно звернути увагу на поведінку стружки, що виходить з ножової рами. Струмінь стружки може мати різну форму в залежності від якості підготовки та ступеня зношення ножів, озміру коренів та технічного стану машини. Більше спостерігається направлений віялоподібний струмінь стружки. Якість стружки у віялоподібному струмені набагато нижча ніж в направленому. Вона сильно подрібнена, має неоднорідну товщину і містить значну кількість браку. В проміжному струмені частина стружки рухається по типу напрямленого струменя (зона №1 рис.), а частина по типу віялоподібного струменя (зона №2 рис.)

Стружка в направленому струмені має довжину спів розміну з розмірами коренеплодів буряка, однорідну товщину і містить незначну кількість браку.

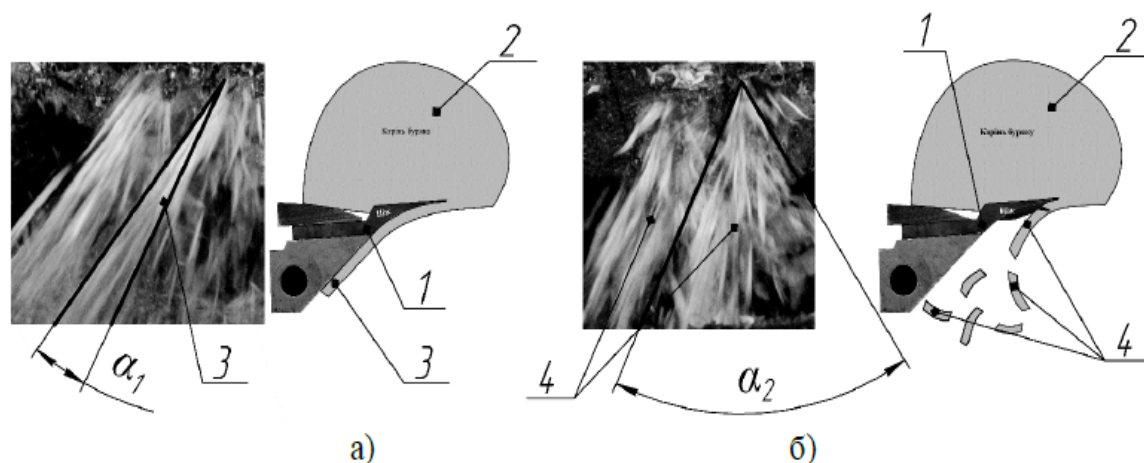


Рис. . . . Схема формоутворення направленого (а) та віялоподібного (б) струменів стружки: 1 – бурякорізальний ніж ; 2 – цукровий буряк; 3 – направлений струмінь; 4 – віялоподібний струмінь; α_1 – кут, на який розпилюється стружка в направленому струмені ($\alpha_1 \leq 20^\circ$); α_2 – кут, на який розпилюється стружка в віялоподібному струмені ($\alpha_2 \geq 50^\circ$).

Висновок

Зменшення кута торцювання бурякорізального ножа призводить до подовження ріжучої кромки, тобто зменшує питоме навантаження на неї. Застосування кута торцювання $63 \pm 2^\circ$ та оптимальних параметрів загострення ножа дозволяє досягти значення кута загострення $9 \pm 1^\circ$ що, в свою чергу, дає стійкий ефект самозаточування ножа.

Поширення фаски до 1,9...2,2 мм та збільшення довжини потоншення перової частини до 20...22 мм забезпечує плавний перехід від ріжучої кромки, фаски до жолобу сходу стружки. Все це мінімально травмує бурякову стружку, забезпечує її високу якість, гладкість поверхонь і зменшує витрати на тертя.

Впровадження запропонованих параметрів загострення ножа дає можливість отримати бурякову стружку високої якості, майже вдвічі

збільшити тривалість роботи ножа до переточування, що повністю підтверджується заводською практикою.

Проведене обґрунтування геометричних параметрів заточування бурякорізальних ножів сприяє підвищенню їх зносостійкості і підвищенню рентабельності цукрового виробництва.

Встановлено, що велика кількість ножів втрачає свою працездатність через неефективну роботу системи очистки буряків. Тому збільшення довговічності ножів шляхом підвищення загальної твердості його робочої частини об'ємним гартуванням веде до збільшення його крихкості та виходу з ладу під час удару. Значне ж зменшення твердості ножів призводить до згинання ножа та різальної крайки.

Для підвищення зносостійкості бурякового ножа та збільшення його довговічності необхідно виконати комплекс заходів із зміцнення найбільш вразливих ділянок ножа – різальної вершини та частини крайки в її околі. Це можна здійснити шляхом нанесення зносостійкого композиційного покриття вздовж ребра, що зношується, або локального гартування концентрованими джерелами енергії (лазером, плазмою тощо). Позитивний ефект можна очікувати за рахунок зміни технології формоутворення профілю ножів з методів обробки різанням на обробку тиском.

Перлік посилань

1. Патент №175455 Росийская федераця В02В3/02 Устройство для деления теста ./Автор(ы): Ведмедь В.Ф, Юрков А.С, Скрипник Д.Е. Патентообладатель(и): Государственный комитет по делам изобретений и открытий СССР. Заявка: №905312\28-13 Дата заявки: 08. 06. 1964 Опубликовано: 09.10.01965.

2. Патент №125774 Росийская федераця В02В3/02 тїстодїлитель. «Кузбаз» ./Автор(ы): Кауфман Р.Б. Патентообладатель(и): Кемеровский трест хлебопекарной промышленности. Заявка: №630930,28 Дата заявки: 15.03.1959 г. Опубликовано: 03.06.1960.

3. Патент №111776 Росийская федераця В02В3/02 Устройство для деления теста ./Автор(ы): Чухарев Г.С. Патентообладатель(и): Комитет по делам изобретений и открытий. Заявка: № 570049 Дата заявки: 30.08.1957 г. Опубликовано: 03.06.1958.

4. Патент №2390131 Росийская федераця В02В3/02. Тестодилитель ./Автор(ы): Герасимов Наталя Федоровна, Герасимов Михаил дмитревич Патентообладатель(и): Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (БГТУ им. В.Г. Шухова) (RU). Заявка: № 2008144734\13. Дата заявки: 12.11.2008. Опубликовано: 27.05.2010

5. Патент №2421996 Росийская федераця В02В3/02. Тестодилитель всасивающий ./Автор(ы): Табакаев Сергей Борисович (RU), Салтыков Евгений Петрович (RU). Патентообладатель(и): Табакаев Сергей Борисович (RU), Салтыков Евгений Петрович (RU). Заявка: № 2008105124/13, Дата заявки: 11.02.2008. Опубликовано: 27.06.2011 г.

6. Патент №2287277 Російська федерація В02В3/02.

Тестодилительная машина /Автор(ы): Виноградов В.М, Шинаков В.Г, Лялин А.В. Патентообладатель(и): ОАО «Владимировский хлебо комбинат» Заявка: №2005107856\13. Дата заявки: 21.03.2005. Опубликовано: 20.11.2006.

7. Лісовенко О.Т. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв. [текст]/ Лісовенко О.Т. Київ. Наукова думка ,2000-279с.

8. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин: [текст]/ Павлице В.Т. Підручник. – К. :Вища школа, 1993.-556 с.

9. Комаров М.С. Определение расчетных нагрузок производственных механизмов и машин [текст]/ Комаров М.С. Киев 1958 - 141с.

10 . Мачихина С. А. Машиностроение. Машины и оборудование пищевой и перерабатывающей промышленности [текст]/. Мачихина С. А. – М.: Машиностроение, 2003. – 736с.

11 . Шевчук Я.М., Галушак М.П. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 7.090221 “Обладнання харчових та переробних виробництв” Тернопіль, 2001 – 28с.

12. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя том 2. [Текст]/Анурьев В.И. - М.: Машиностроение, 1980. - 359с.

13 . Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя том 3. [Текст] / Анурьев В.И.- М.: Машиностроение, 1980. - 557с.

14. Закалов О.В.,Закалов І.О. Проектування підприємств харчової промисловості: навчальний посібник. [Текст] /Закалов О.В.,Закалов І.О. – Тернопіль: видавництво ТДТУ ім.І.Пулюя, 2007.

15. Закалов О. В. Курсове проектування з технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] / Закалов О. В., Ворощук В. Я. – Тернопіль.: ТНТУ, 2011.-124с.

16. Райко М.В. Розрахунок деталей і вузлів машин . [Текст] / Райко М.В. -К.: Техніка, 1966.-491с.
17. Чернавский С.А. Курсовое проектирование деталей машин. [Текст]/ Чернавский С.А., Боков Н.К., Чернин И.М. -М.: Машиностроение,1987.-416с.
18. Закалов О.В. Дипломне проектування технологічного обладнання переробних і харчових виробництв: навчальний посібник [Текст]/ Закалов О.В., Ворощук В.Я. – Видавництво ТНТУ ім.І.Пулюя, 2011. – 344 с.
19. Закалов О.В. Технологічне обладнання харчових виробництв [Текст]/ О.В. Закалов, І.О. Закалов . - Т. : Б.В., 2000. - 406 с
20. Закалов О.В. Визначення критеріїв надійності механізмів машин [Текст]/ О.В. Закалов, А.І. Бортник. – Тернопіль: SAMStudio, 2004. – 60 с.
21. А. Ф. Горбачевич. Курсовое и дипломное проектирование по технологии машиностроения. [Текст]/ А. Ф. Горбачевич. -М.: Машиностроение, 1975. – 340с.
22. В. А. Гайченко. Безпека життєдіяльності людини. [Текст]/ В. А. Гайченко, Г. М. Коваль. –К., 2002. - 228с.
23. Хромеевков В.М. Технологическое оборудованию хлебозаводов и макаронных фабрик. – СПб.: ГИОРД, 2004.-496 с.
24. Поперечный А. М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв. Підручник. [Текст]/ А. М. Поперечний,В. О. Потапов, В. Г. Корнійчук – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 312 с.