

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 МОм-61

напряму підготовки (спеціальності)

133 «Галузеве машинобудування»

8.05030313 Обладнання переробних і

харчових виробництв

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н. проф. Стадник Ігор

Яославович.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Тернопіль - 2024року

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет машинобудування та харчових технологій
(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Вітенько Т.М

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Олексяку Віталію Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження конструктивних параметрів кута заточування ножів
різання машини для мінімізації сил тертя

Керівник роботи Стадник Ігор Ярославович

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

Затверджені наказом ректора від « » 2024 року №

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Технічний паспорт та інструкції з експлуатації
та технічного обслуговування і ремонту машини марки А9-KPM

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз нарізання буряка ріжучою кромкою ножа. Характеристика кенінгсфельдських ножів. Функції й класифікація машин різання. Техніко – економічне обґрунтування, мета та задачі роботи. Вибір об'єкта дослідження та створення математичної моделі. Теорія та особливості різання формою ріжучого леза. Оцінювальний спосіб придатності ножів. Математичне моделювання та розробка технічного рішення. Розрахункова частина. Технологічний розрахунок машини Енергетичний розрахунок машини Визначення зусилля притискання Розрахунок потужності, що витрачається на подолання тертя. Визначення зусилля притискання. . Розрахунок потужності, що витрачається на подолання тертя. Опис фізичного процесу тертя між шарами буряка. Кінематичний розрахунок. Розрахунок конічної передачі. Вибір і перевірка муфти. Моделювання динаміки різання коренеплодів. . Встановлення зусиль на різання. Взаємодія ножа з плодом. Проведення імітаційного моделювання об'єкту досліджень. Оптимізація форми профілю ножа. Принцип роботи й устрій модернізованого об'єкту різання. Залежність кута різання від швидкості зносу. Охорона праці у надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Загальний вигляд машини. Вузол різання. Ножова рама. Ніж.

Залежності сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів

Залежність питомого зусилля різання від тиску

Геометрична 3D модель барабана бурякорізки і запас міцності

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент</i>		
<i>Охорони праці</i>	<i>Кравець О.І. – к.т.н., доц,</i>		
<i>Цивільна безпека</i>	<i>Стручок В.С. – ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз нарізання буряка ріжучою кромкою ножа.		
	Характеристика кенінгсфельдських ножів		
	Функції й класифікація машин різання		
	Техніко – економічне обґрунтування, мета та задачі роботи		
	Вибір об'єкта дослідження та створення математичної моделі.		
	Теорія та особливості різання формою ріжучого леза		
	Оцінювальний спосіб придатності ножів.		
	Математичне моделювання та розробка технічного рішення		
	Розрахункова частина		
	Технологічний розрахунок машини		
	Енергетичний розрахунок машини		
	Визначення зусилля притискання		
	. Розрахунок потужності, що витрачається на подолання тертя		
	Опис фізичного процесу тертя між шарами буряка		
	Кінематичний розрахунок		
	Розрахунок конічної передачі		
	Вибір і перевірка муфти		
	Моделювання динаміки різання коренеплодів		
	. Встановлення зусиль на різання		
	Взаємодія ножа з плодом		
	Проведення імітаційного моделювання об'єкту досліджень		
	Оптимізація форми профілю ножа		
	Принцип роботи й устрій модернізованого об'єкту різання		
	Залежність кута різання від швидкості зносу		
	охорона праці		
	надзвичайні ситуації		
	висновки		
	посилання		

Студент

_____ (підпис)

Олексяк Віталій Дмитрович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Стадник Ігор Ярославович

_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Розділ 1. Сучасного стану об'єкта дослідження та вибір основного напрямку

1.1. Аналіз нарізання буряка ріжучою кромкою ножа

1.1.1 Характеристика кенінгсфельдських ножів

1.2. Аналіз сучасного обладнання для різання буряка

1.3. Функції й класифікація машин різання

1.3.1. Будова машини марки А9-КРМ

1.4. Техніко – економічне обґрунтування модернізації ножів

1.5. Мета та задачі роботи.

Розділ 2

Вибір об'єкта дослідження та створення математичної моделі

2.1. Теорія та особливості різання формою ріжучого леза

2.2. Основний зміст модернізації машини різання овочів А9-КРМ

2.3. Оцінювальний спосіб придатності ножів

2.4. Математичне моделювання та розробка технічного рішення

2.5. Методика досліджень та їх результати

3 розділ. Розрахункова частина

3.1. Оцінка роботи ножів

3.2. Аналіз структури машини А9-КРМ

3.3. Технологічний розрахунок машини

3.4. Енергетичний розрахунок машини

3.4.1. Визначення зусилля притискання

3.4.2. Розрахунок потужності, що витрачається на подолання тертя

3.4.3. Опис фізичного процесу тертя між шарами буряка

3.5. Кінематичний розрахунок

3.5.1. Розрахунок конічної передачі

3.5.2. Розрахунок валів по еквівалентним моментам

3.5.3. Вибір і перевірка муфти

Розділ 4. Моделювання динаміки різання коренеплодів

4.1. Встановлення зусиль на різання

4.1.1. Взаємодія ножа з плодом

4.2. Проведення імітаційного моделювання об'єкту досліджень

4.3. Оптимізація форми профілю ножа

4.4 Принцип роботи й устрій модернізованого об'єкту різання

5. Охорона праці та безпека к надзвичайних ситуаціях

специфікації

список використаних джерел

Анотація

Кваліфікаційна робота Олексія Віталія Дмитровича на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 133 «*Галузеве машинобудування*», «Обладнання переробних і харчових виробництв» на тему «Дослідження конструктивних параметрів кута заточування ножів різання машини для мінімізації сил тертя».

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

Кваліфікаційна робота спрямована на дослідження конструктивних параметрів кута заточування ножів різання коренеплодів та шляхи мінімізації сил тертя машини А9-КРМ. Проведено огляд існуючих машин, процесів різання. Розглянуто будову вузла різання та окремі складові –ножі різання. Проведено технологічний, кінематичний та енергетичний розрахунки процесу різання та сил тертя. Запропоновано модель кута різання при проведенні загальних досліджень робочих процесів. Розглянуто математичні моделі процесу різання і алгоритм побудови математичних моделей та подано фізичне представлення вузла різання коренеплодів в машині. Розглянуто техніку безпеки і надзвичайні ситуації на підприємстві та загальні висновки з літературою.

Ключові слова: процес різання, вузол, параметри, кут заточування, тертя.

Вступ.

Переробні заводи активно використовують центрифужні бурякорізки, що дозволяють застосовувати різні типи ножів для отримання стружки різної форми. Це дає змогу оптимізувати процес екстракції соку з буряків різної якості. Аналізуючи ефективність роботи різних типів бурякорізальних ножів,

було виявлено низку недоліків, що спонукало до розробки нової конструкції ножів і удосконалення методів їх кріплення в ножових рамах. Основною метою цього дипломного проекту є створення системи різання, яка забезпечить зниження витрат металу, подовження терміну служби ножів, покращення якості бурякової стружки та підвищення продуктивності бурякорізки. У новій конструкції ножів були відмовлені від перехідних і кріпильних частин, а також змінено метод кріплення ножів в рамі з обох торців. Це дозволило значно знизити металоємність ножів, зменшивши її майже удвічі порівняно з типовими моделями. Оскільки ножі виготовляються з інструментальної сталі, вартість яких досить висока, це також призведе до зниження вартості самих ножів.

Ножі для бурякорізки мають зубчасту робочу частину, де обидві ріжучі кромки заточуються. У разі затуплення однієї з ріжучих кромки, достатньо повернути ніж на 180° , щоб використовувати іншу кромку. Під час ремонту заточуються обидві ріжучі кромки. Оскільки ширина ножа зменшена вдвічі, це дозволяє встановити два ножі в одну типову ножову раму, розміщуючи їх послідовно. Для цього змінено спосіб кріплення ножів у рамі: на торцях робочої частини зубчастих ножів розміщені плоскі пластини, через які ножі фіксуються в рамі за допомогою прижимних планок.

Розташування ножів один за одним у рамі забезпечує їх точне взаємне налаштування та збереження стійкої кругової траєкторії руху буряка від першого ножа до другого. Це дозволяє отримати бурякову стружку високої якості з бажаним профілем. Завдяки зміні кріплення ножів в стандартній ножовій рамі, можна розмістити два ряди ножів, що призводить до подвоєння їх кількості в бурякорізці. Таким чином, ефективність роботи бурякорізки збільшується вдвічі.

Розділ 1

Сучасного стану об'єкта дослідження та вибір основного напрямку

1.1. Аналіз нарізання буряка ріжучою кромкою ножа

Бурякова утворена стружка, що одержується бурякорізками, може мати пластинчасту або форму жолоба. Товщина стружки зазвичай має 0,7—1,5 мм.

Вона відповідно повинна бути рівна і гладка. Якість отриманої стружки визначають за загальною довжиною (у метрах) усіх окремих елементів стружки, що містяться в контрольній порції вагою 100 грамів (навішуванні). Крім того, важливим критерієм є частка браку в порції, що складається з невідповідних за формою або розмірами фрагментів. До таких дефектів належать надто товсті шматочки неправильної форми, нерозрізані гребінці, частинки довжиною менше 5 мм або стружки товщиною менше 0,5 мм. Відсоток браку при зважуванні повинен бути в межах 2—3%, що є допустимою нормою.

Загальна довжина стружок в стограмовій порції є показником, який відображає ступінь подрібнення: чим більша сумарна довжина стружки, тим тоншими є окремі її елементи, а отже, збільшується їхня сумарна поверхня. Велика поверхня стружки сприяє кращому проникненню рідини, що є важливим фактором для подальшої обробки продукту. Таким чином, досягнення необхідної тонкості стружки є пріоритетним завданням для забезпечення високої якості кінцевого продукту

На переробних заводах використовують різні види обладнання для нарізання буряків, серед яких особливу роль відіграють дискові, відцентрові та барабанні бурякорізки. Робота цих пристроїв ґрунтується на забезпеченні відносного руху між коренеплодами буряка та ріжучими елементами ножів, що дозволяє отримувати необхідну форму та розмір стружки.

У дискових бурякорізках основний рух здійснюють ножі, закріплені на обертовому диску, тоді як самі коренеплоди буряка залишаються нерухомими. Цей тип нарізки забезпечує рівномірний контакт ножів з поверхнею буряка, що сприяє отриманню стружки високої якості.

Відцентрові бурякорізки працюють за іншим принципом: ножові пластини надійно закріплені на внутрішній стороні вертикально встановленого циліндричного корпусу. При цьому коренеплоди буряка знаходяться в русі, ковзаючи по стінках корпусу, де їх притискає до ріжучих елементів сила, яка виникає під дією відцентрового прискорення, що створюється спеціальною

пристроєм. Це забезпечує щільний контакт з ножами, що дозволяє ефективно нарізати буряк на стружку потрібних розмірів.

У барабанних бурякорізках ножі закріплюються до стінок горизонтально розташованого барабана, що обертається навколо своєї осі. Коренеплоди розміщуються всередині барабана, де їх утримують спеціальні пристосування, які запобігають обертанню коренеплодів разом із барабаном. Це дозволяє уникнути нерівномірної нарізки та отримати стружку стабільної товщини.

Кожен з типів бурякорізок має свої особливості та застосовується в залежності від виробничих потреб, що дозволяє досягти оптимальної якості нарізання буряків для подальшої переробки.

До переваг бурякорізок відцентрового типу належать можливість заміни ножів під час роботи, а також регулювання продуктивності шляхом зміни швидкості обертання ротора та кількості задіяних ріжучих елементів. Це робить їх досить гнучкими в експлуатації, але водночас ускладнена конструкція таких машин призводить до підвищених витрат електроенергії, що є недоліком.

Бурякорізки барабанного типу мають значно простішу конструкцію, що сприяє легкому обслуговуванню та знижує витрати на ремонт. Проте вони споживають доволі великі обсяги електроенергії, а заміну ножів у них можна здійснювати лише після повної зупинки машини, що знижує ефективність роботи.

Дискові різальні машини вирізняються низьким споживанням енергії в порівнянні з відцентровими та барабанними моделями. Вони забезпечують високу якість стружки буряка завдяки точному ріжучому процесу, однак для заміни ножів потрібна зупинка обладнання, що може впливати на безперервність виробничого процесу.

Таким чином, кожен з типів бурякорізальних машин має свої переваги та обмеження, і їх вибір залежить від конкретних виробничих умов та вимог до якості нарізки буряків.

В Україні найчастіше використовують відцентрові бурякорізальні машини, які випускаються в двох типорозмірах, що відрізняються за продуктивністю. Однією з актуальних моделей є бурякорізка типу А9-КРМ, яка

оснащена можливістю регулювання приводу, що дозволяє змінювати швидкість роботи та налаштовувати продуктивність відповідно до виробничих потреб. Така конструкція сприяє підвищенню ефективності процесу нарізки буряка, дозволяючи оптимально використовувати обладнання на цукрових заводах різної потужності.

1.1.1 Характеристика кенінгсфельдських ножів

Для забезпечення якісного процесу нарізання буряка ріжуча кромка ножа повинна виступати над контрольною планкою на певну висоту, яку називають *підйомом ножа*. Величина підйому є ключовим параметром, оскільки вона впливає на товщину отриманої стружки. Регулювання підйому ножа здійснюється шляхом зміщення контрольної планки за допомогою клин. Завдяки цьому методу можна точно налаштувати висоту виступу ножа та досягти бажаної товщини стружки, що є важливим для подальшої обробки буряка на цукрових заводах.

Кенінгсфельдські ножі — це ріжучі елементи, що широко використовуються на бурякоцукрових заводах завдяки своїм високим експлуатаційним характеристикам. Основними перевагами Кенінгсфельдських ножів є:

1. **Висока зносостійкість:** Ножі виготовляються зі спеціальної сталі з підвищеною твердістю, що забезпечує довговічність та стійкість до зносу навіть при тривалому використанні.
2. **Гострота ріжучої кромки:** Кенінгсфельдські ножі мають ретельно заточену ріжучу кромку, що дозволяє точно та рівномірно нарізати буряк на стружку потрібної товщини, зменшуючи кількість відходів.
3. **Стійкість до корозії:** Завдяки спеціальним обробкам або сплавам ножі стійкі до корозії, що продовжує їхній термін служби в умовах підвищеної вологості на виробництві.
4. **Оптимальна форма:** Кенінгсфельдські ножі розроблені з урахуванням оптимального кута різання, що підвищує ефективність процесу та зменшує енергоспоживання обладнання.

5. *Можливість регулювання підйому*: Їх конструкція передбачає можливість регулювання висоти виступання над контрольною планкою, що дозволяє змінювати товщину стружки відповідно до вимог виробництва.

Ці характеристики роблять Кенінгсфельдські ножі незамінними у виробничих процесах бурякоцукрової промисловості, де важливою є висока якість та продуктивність обладнання. Кенінгсфельдські ножі виготовляються зі спеціальної інструментальної сталі з підвищеною твердістю, що забезпечує їхню високу зносостійкість та довговічність навіть за інтенсивного використання. Цей тип сталі також стійкий до механічних пошкоджень, завдяки чому ножі довше зберігають гостроту ріжучої кромки і не потребують частого заточування. Спеціальні технології термічної обробки дозволяють досягти оптимального поєднання твердості та еластичності, що робить ножі не тільки витривалими, але й менш схильними до ламкості.

Кенінгсфельдські ножі мають характерну форму, яка забезпечує ефективне та якісне нарізання буряка. Їхня ріжуча кромка зазвичай має *хвилястий або зубчастий профіль*, що покращує контакт з буряком і сприяє рівномірному нарізанню стружки. Така форма також знижує опір під час нарізання, що зменшує навантаження на обладнання та дозволяє скоротити витрати енергії.

Крім того, ножі можуть мати *легкий вигин*, який оптимізує кут різання, забезпечуючи високу точність нарізки. Оптимальний кут та форма ножів запобігають деформації стружки, зберігаючи її бажану товщину і форму.

Кенінгсфельдські ножі зазвичай мають хвилястий або зубчастий профіль ріжучої кромки, що забезпечує декілька важливих переваг у процесі нарізання буряка:

1. Хвилястий профіль:

- *Ефективний контакт з буряком*: Хвиляста форма ріжучої кромки дозволяє ножам краще зачіпатися за поверхню буряка. Це зменшує ковзання коренеплодів і забезпечує більш точне захоплення матеріалу під час різання.
- *Рівномірний тиск*: Завдяки хвилястій формі ріжуча кромка контактує з буряком на різних рівнях, що рівномірно розподіляє

тиск по всій поверхні нарізання. Це дозволяє зменшити зусилля, необхідне для різання, і уникнути надмірного навантаження на окремі частини ножа.

- *Зменшення залипання:* Хвилі створюють мікропріли між буряком і ножом, що запобігає залипання нарізаного матеріалу до кромки. Це дозволяє ножам працювати більш продуктивно, знижуючи потребу в зупинках для очищення.

2. Зубчастий профіль:

- *Покращений розріз:* Зубчастий профіль забезпечує багато точок контакту з поверхнею буряка, що полегшує процес нарізання. Зубці допомагають «врізатися» у тверду поверхню буряка, полегшуючи початкове прорізання та зменшуючи необхідне зусилля.
- *Менше механічного опору:* Зубчасті ножі мають невеликі проміжки між зубцями, завдяки яким менше матеріалу одночасно піддається нарізання. Це знижує механічний опір, що полегшує роботу обладнання і зменшує споживання електроенергії.
- *Мінімізація утворення відходів:* Зубчаста форма допомагає уникнути утворення дрібних відходів і зберігати форму стружки під час нарізання, що важливо для контролю якості готового продукту.

Обидва профілі — хвилястий та зубчастий — створені з урахуванням специфіки обробки цукрових буряків. Вони сприяють кращій продуктивності нарізання, підвищують точність різу та забезпечують високу якість стружки.



Рис. 1.1. Типи ріжучих: хвилястим краєм та зубчастим краєм

Ось візуальне представлення двох типів промислових ріжучих ножів із чіткими профілями країв: один із хвилястим краєм, а інший із зазубреним або зубчастим краєм, призначених для ефективного нарізання буряка.

Ніж системи Кенінгсфельдських ножів складається з ріжучих кромок, які мають гострі грані з кутом в 30° , що дозволяє забезпечити точний і чистий зріз. Вертикальні ребра, позначені як 2, підвищують жорсткість і стабільність конструкції ножа, допомагаючи уникнути деформацій під час роботи. Така конструкція ножа забезпечує високу ефективність при обробці матеріалів, гарантуючи довговічність та надійність під час експлуатації. Для виготовлення Кенінгсфельдських ножів, зокрема ножів з ріжучими кромками з гострими гранями та вертикальними ребрами, зазвичай використовують високоякісні сталі з підвищеною міцністю та зносостійкістю. Це можуть бути сталі з високим вмістом вуглецю або леговані сталі, такі як:

1. **Сталь 1.2842** (характеризується високим вмістом вуглецю, що надає їй гарну твердість після термічної обробки).
2. **Сталь D2** (хромово сталь, яка має високу зносостійкість і твердість, і добре витримує великі навантаження).
3. **Сталь 9XC** (вуглецева сталь, яка використовується для виготовлення ножів завдяки хорошим механічним властивостям).

Ці сталі дозволяють ножам залишатися гострими довший час, витримувати великі навантаження та мати високу зносостійкість при різанні. Крок ножів у системі Кенінгсфельдських ножів визначає відстань між ріжучими елементами (зубами чи ріжучими кромками) на робочій поверхні ножа. Цей параметр впливає на ефективність роботи ножа, точність різання та обробку матеріалу.

Зазвичай, для ножів цієї системи крок визначається залежно від типу оброблюваного матеріалу і бажаної якості різання. Якщо це ножі для обробки овочів або коренеплодів, таких як буряк, то крок ножів може варіюватися від кількох міліметрів до десятків міліметрів. Наприклад, для ножів, які використовуються для нарізки на тонкі шари, крок може бути меншим, щоб забезпечити рівномірність зрізу.

Зазвичай крок ножів у такій системі становить від 5 до 10 мм, залежно від конструктивних особливостей і необхідної точності нарізки.

1.2. Аналіз сучасного обладнання для різання буряка

Для обробки овочів у харчовій промисловості застосовують різні типи обладнання, які відрізняються конструкцією та принципом дії. Щоб оптимально підібрати машину для виробництва консервованої продукції, необхідно оцінити їхні переваги та недоліки. Розглянемо обладнання, яке використовується для нарізання коренеплодів і бульб на кубики, стружку або скибки, а також проаналізуємо його характеристики. Машина для нарізання овочів моделі RU-3 призначена для отримання пластин, прямокутних стовпчиків або кубиків. Її конструкція базується на барабані з лопатями (або кулачками), які обертаються всередині. По дотичній до траєкторії руху лопатей закріплений нерухомий плоский ніж. Крім того, над плоским ножем на обертовому валу розміщені дискові ножі, які забезпечують необхідну форму нарізки.

Нарізка овочів кубиками (рис. 1.2) передбачає очищені та вимиті овочі завантажувати у приймальний бункер 8. Звідти потрапляють у внутрішню частину барабана 2, де їх захоплюють обертові кулачки 8. Ці кулачки переміщують овочі у верхню частину барабана, де розташований нерухомий плоский ніж 4, що забезпечує первинну нарізку. Нерухомий ніж плоский відокремлює пластини від овочів заданої товщини, яку можна регулювати шляхом налаштування положення планки знімача 24. Зрізані пластини потрапляють до дискових ножів 5, які нарізають їх на смужки квадратного перетину. Ці смужки далі подаються під блок поперечних ножів 6, що забезпечують їх розрізання на кубики.

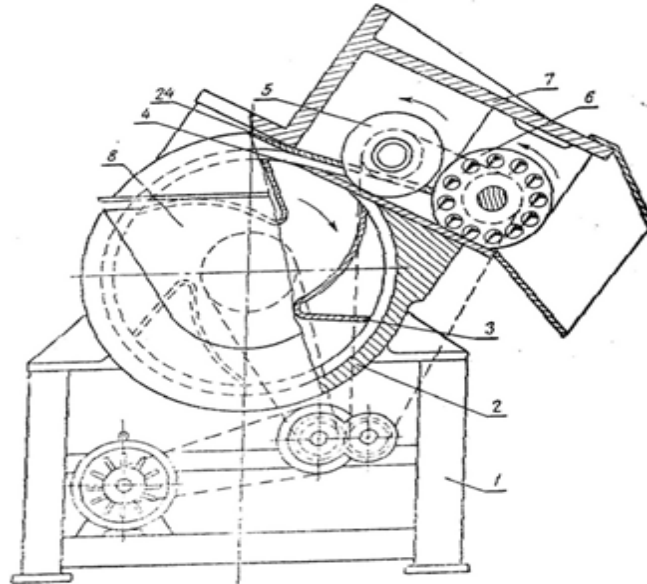


Рис. 1.1 - Машина різання марки RU-3

Для нарізання овочів на смужки (локшину) з машини демонтують блок поперечних ножів 6. У цьому випадку овочі спочатку нарізаються нерухомим плоским ножом 4 на пластини, а потім дисковими ножами 5 — на смужки. Якщо ж потрібне лише нарізання овочів на пластини, з машини знімають як блок поперечних ножів 6, так і набір дискових ножів 5.

Конструкція машини для нарізання овочів марки RU-3 вирізняється універсальністю, що дозволяє виконувати нарізку на пластини, прямокутні стовпчики або кубики. Особливістю цієї машини є наявність у кінематичній схемі (рис. 1.3) блоку поперечних ножів, встановленого після дискових ножів. Як дискові, так і поперечні ножі є знімними, що підвищує зручність і функціональність обладнання.

Для нарізання овочів на кубики блок поперечних ножів складається з центрального валика, на кінцях якого закріплені диски, та ексцентрично встановлених дискових втулок, сполучених з дисками за допомогою коротких колінчастих валиків. Між виступаючими кінцями цих валиків закріплені пластинчасті ножі. Завдяки такій конструкції кожна пара колінчастих валів із ножом, дисками та втулками утворює паралелограм. Це забезпечує поступальний рух пластинчастих ножів по колу під час обертання центрального валика, при цьому ножі залишаються паралельними між собою, що гарантує точність і якість нарізання.

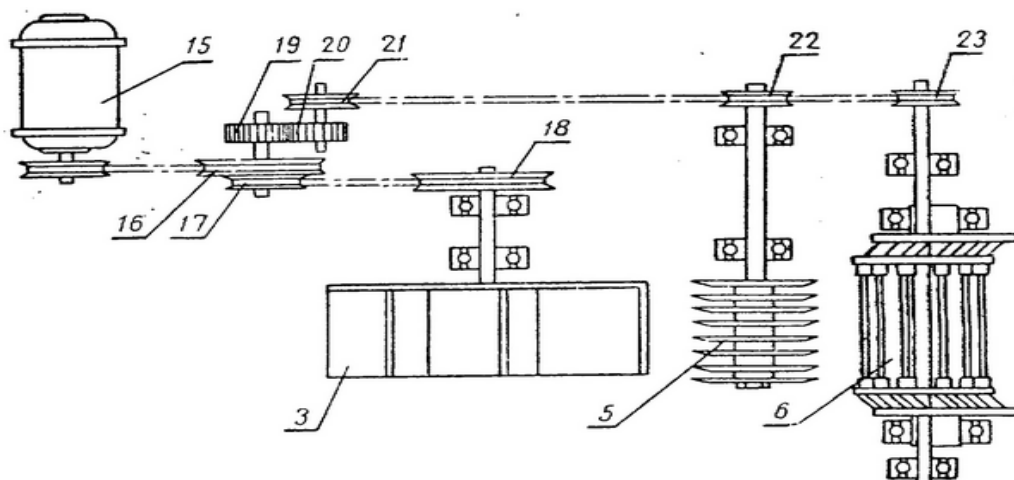


Рис. 1.4 - Кінематика машини RU-3

Машина нарізки овочів і коренеплодів марки КУІ (рис. 1.4) використовується у консервній промисловості. Вона належить до обладнання, яке спеціалізується на нарізанні харчових продуктів, таких як овочі та коренеплоди, на частини заданих розмірів. Зокрема, ця машина забезпечує ефективне нарізання продуктів на кубики, відповідно до технологічних вимог.1.3.

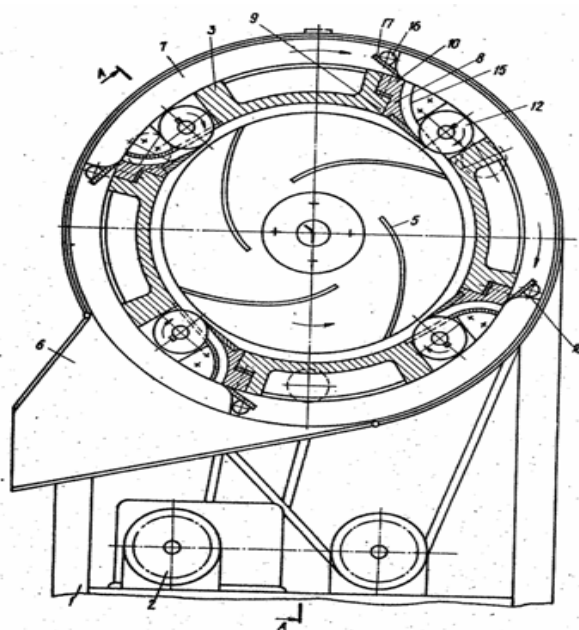


Рис. 1.4 - Машина марки КУІ.

Недоліками машини для нарізання овочів і коренеплодів марки КУІ є зминання оброблюваних продуктів, утворення шматочків неправильної форми, а також невисока продуктивність. Для усунення цих недоліків і досягнення

точного нарізання овочів на кубики правильної форми, підвищення якості різання та продуктивності, конструкцію машини було вдосконалено. Вона оснащена додатковими ножами для нарізання пластин, які розташовані по колу корпусу, а також блоками дискових ножів, закріпленими в аналогічному положенні.

Пристрій для різання брусків на кубики виконано у вигляді барабана, встановленого коаксіально до циліндричного корпусу. По колу барабана розміщено поворотні стрижні з плоскими ножами, положення яких можна регулювати відносно корпусу. Корпус оснащений прорізами, призначеними для розміщення ножів для нарізання пластин і блоків дискових ножів.

Корпус з'єднаний із барабаном через випускні криволінійні канали, розташовані за блоками дискових ножів. Стінки цих каналів мають подовжню насічку, що сприяє ефективному переміщенню продуктів і знижує ймовірність зминання.

Машина для нарізання коренеплодів, овочів і фруктів марки МР-500 (рис. 1.5) належить до обладнання харчової промисловості. Вона спеціалізується на нарізанні коренеплодів, овочів, фруктів і ягід на кубики, стружку або скибочки, а також використовується для обробки картоплі. Конструкція машини забезпечує універсальність застосування та дозволяє адаптувати її до різних технологічних потреб.

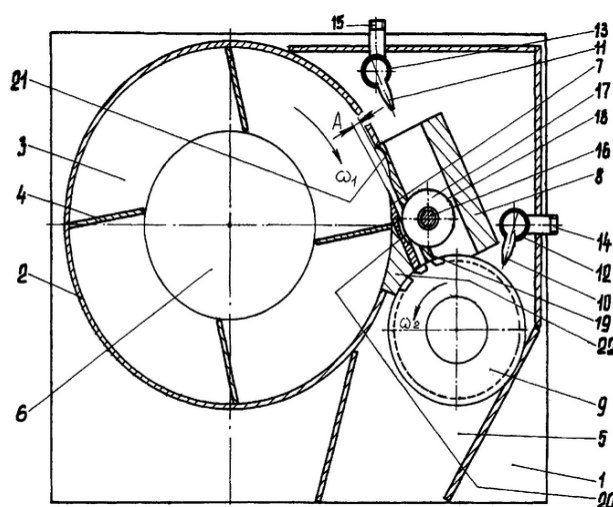


Рис.1.5 –Машина різання МР-500.

Зміни геометричного розміру стружки, стовпчиків і кубиків з продуктів встановлюють відповідний силовий каркас 22 на підставу 1. На каркасі

розміщуються пластовий ніж 7, блок різання 8 і ножовий барабан 9, які забезпечують необхідну форму і розміри нарізки.

Після завершення обробки харчових продуктів для очищення машини гнучкі рукави з ніпелями 14 і 15 з'єднують із водопровідним краном. Під час роботи приводів ротора 3 і ножового барабана 9 вода подається через сопла 10 і 11, змиваючи залишки соку та нарізаних продуктів із блоку різання 8, ножового барабана 9 і випускного патрубку 5. Така система забезпечує ефективне очищення обладнання.

До недоліків універсальної машини для нарізання коренеплодів, овочів і фруктів марки МР-500 для обробки харчових продуктів відносяться наступні:

1. **Надмірне ускладнення конструкції** – Впровадження додаткових механізмів і елементів, таких як силовий каркас, блоки різання, ножові барабани, призводить до збільшення складності конструкції машини. Це може ускладнити її обслуговування та ремонт, а також підвищити вартість виробництва та експлуатації.
2. **Недостатня якість різання** – Машина може мати труднощі з досягненням рівномірної та точної форми нарізаних кубиків, стовпчиків і скибочок. Це може спричиняти нерівномірний розмір нарізаних продуктів, що погіршує їхню якість, особливо для використання в консервній промисловості або приготуванні готових страв.

1.3. Функції й класифікація машин різання

Овочерізки — це спеціалізовані машини, які призначені для обробки коренеплодів, клубнеплодів, овочів, фруктів та ягід. Вони використовуються для нарізання цих продуктів на різні форми, такі як кубики, стружку, скибочки, а також для нарізки картоплі, зокрема при виробництві смаженої картоплі. 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. Класифікація овочерізок

1. За призначенням:

- **Універсальні овочерізки** — для обробки різних типів продуктів (овочі, фрукти, коренеплоди, ягоди) на різні форми (кубики, скибочки, стружку).
- **Спеціалізовані овочерізки** — для нарізки конкретних видів продуктів, таких як картопля для чіпсів або смаженої картоплі.

2. За типом нарізки:

- **Машини для нарізки кубиків** — використовуються для точного нарізання продуктів на кубики заданого розміру.
- **Машини для нарізки скибочок** — застосовуються для отримання рівномірних скибочок продуктів.
- **Машини для нарізки стружки** — призначені для нарізання продуктів на довгі тонкі смужки або стружку.

3. За конструкцією:

- **Барабанні овочерізки** — мають барабан з обертовими ножами, що забезпечують різання продуктів при їх подачі в камеру різання.
- **Дискові овочерізки** — використовують круглі диски з різними типами ножів для нарізки.
- **Центрифужні овочерізки** — забезпечують нарізку продуктів за допомогою обертання на високих швидкостях, що дає ефект розпилювання чи порізки.

4. За способом очищення:

- **Автоматичні овочерізки** — з автоматичними системами очищення, що полегшують обслуговування та знижують витрати часу на очистку після використання.
- **Ручні овочерізки** — де очищення проводиться вручну після кожного використання.

Овочерізки мають важливе значення в харчовій промисловості, де забезпечують швидке і ефективне нарізання продуктів для подальшої обробки, зберігання або приготування.

У дискових овочерізках рами з ножами встановлюються в спеціальні вирізи диска, який обертається навколо вертикальної осі. У цьому випадку

буряк залишається нерухомим і притискається до ножів під дією сили тяжіння, а також спеціальними притискними пристроями, які забезпечують надійне розміщення овочів для різання.

У барабанних овочерізках ножі з рамами закріплені в вирізах стінки барабана, який обертається навколо вертикальної осі. Буряк знаходиться всередині барабана і утримується від обертання разом з барабаном, притискаючись до ножів за допомогою спеціальних притискних пристроїв. Це забезпечує рівномірне та ефективне різання, оскільки продукт залишається стабільно притиснутим до ножів під час обертання барабана.

У відцентрових овочерізках при нормальних умовах експлуатації досягається найкраща якість нарізки. Ці машини використовують найменшу кількість ножів на 100 тонн буряка порівняно з іншими типами овочерізок. Однією з переваг є можливість заміни ножів під час роботи, що значно знижує час простою і покращує ефективність виробництва.

Продуктивність відцентрових овочерізок можна регулювати зміною частоти обертання ротора або кількості встановлених ножів, що дозволяє адаптувати машину до різних умов роботи і типів продукції. Ці овочерізки відрізняються низьким енергоспоживанням у порівнянні з барабанними та іншими конструкціями, що робить їх більш енергоефективними.

У дискових овочерізках споживана енергія також менша, ніж у відцентрових і барабанних овочерізках, і вони дозволяють отримувати продукцію такої ж якості, порівняно з іншими конструкціями. Проте для заміни ножів на дискових овочерізках необхідно зупинити роботу машини, що створює певні зручності в обслуговуванні, але може зменшувати безперервність процесу.

Принцип дії **бурякорізок** полягає в забезпеченні відносного руху буряка та ножів для досягнення ефективного різання. Цей рух може бути реалізований різними способами, залежно від конструкції машини.

1. У **дискових бурякорізках** ножі закріплені на обертовому диску, що рухається навколо вертикальної осі. Буряк залишається нерухомим і притискається до ножів під дією сили тяжіння або спеціальних

притискних пристроїв. Завдяки обертанню диска ножі виконують різання овочів, які потрапляють під їх леза.

2. **У відцентрових бурякорізках** ножі закріплені нерухомо на стінках вертикального циліндра. Буряк рухається по внутрішній поверхні циліндра і притискається до ножів завдяки відцентровій силі, яка виникає під час обертання. Цей тип машини зазвичай дозволяє досягати високої продуктивності та забезпечує рівномірне різання овочів.

1.3.1. Будова машини марки А9-КРМ

Для різання корене-клубнеплодів марки **А9-КРМ** призначена для обробки різних видів коренеплодів (буряка, картоплі, моркви білого кореня тощо) на різні форми:

- **стружка** товщиною 5, 7, 10 мм,
- **стовпчики** з розмірами перетину 5×5, 7×7, 10×10 мм,
- **кубики** з розмірами ребра 7, 10 мм.

Ця машина є частиною комплексу для виробництва овочевих консервів, але також може працювати самостійно. Вона виготовляється в кліматичному виконанні **УХЛ** (для експлуатації при середньому кліматі) відповідно до **категорії розміщення 4 за ГОСТ 15150-69**. Машина для різання корене-клубнеплодів марки **А9-КРМ** складається з таких основних частин (рис. 1.5):

1. **Станина (1)** — призначена для кріплення робочих органів, прикріплюється до пластини фланцем.
2. **Електродвигун (12)** — забезпечує рух машини.
3. **Редуктор (2)** — з двома валами, з'єднаними парою зубчастих коліс, що передають рух від електродвигуна до робочих органів. Електродвигун і корпус редуктора розміщені всередині станини.
4. **Контрпривід** — укріплений на стійці станини, складається з веденої та ведучої зірочок (8), що забезпечують рух.
5. **Обойма (4)** — до редуктора кріпиться обойма, на якій закріплені ріжучі органи.

6. **Барабан** — складається з двох сталевих дисків, з'єднаних між собою 4-ма лопатями, розташований в обоймі та кріпиться до фланця вихідного вала редуктора.

Ця конструкція забезпечує ефективну роботу машини при різанні корене-клубнеплодів.

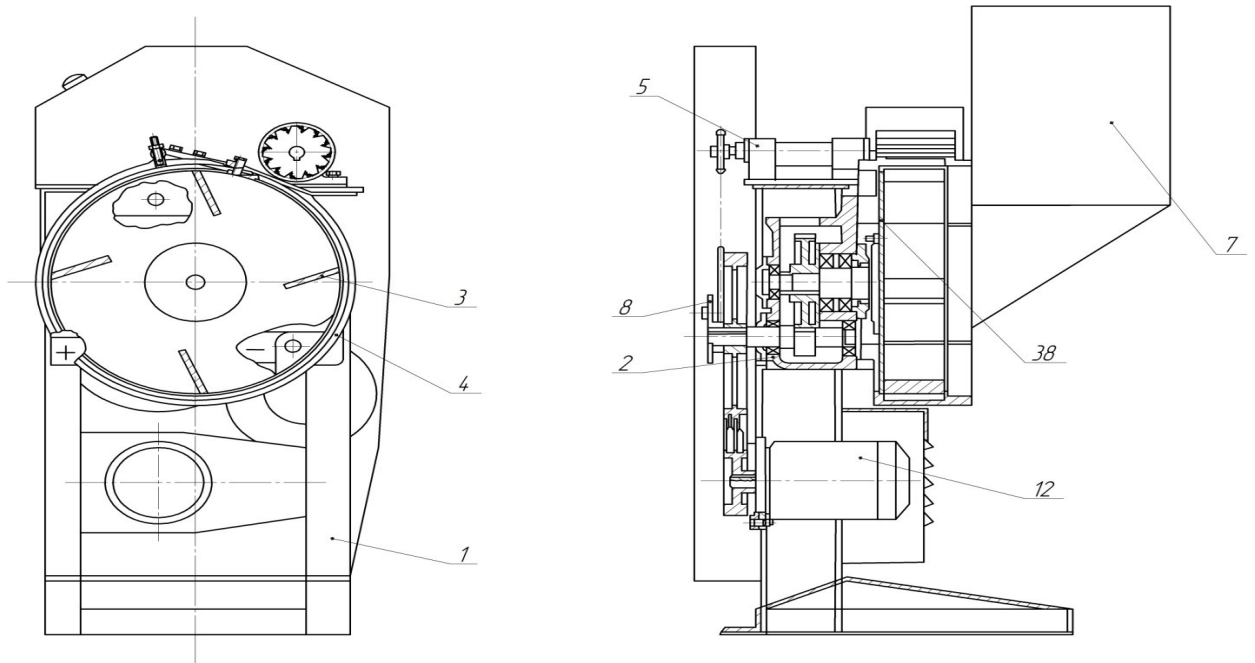


Рис. 1.5 - Машина марки А9-КРМ

У конструкції машини **А9-КРМ** передбачений **розвантажувальний кожух**, який за необхідності встановлюється на кінець розвантажувального лотка. Кожух кріпиться до станини через **косинець**, що забезпечує його стабільне закріплення.

Процес різання здійснюється за допомогою таких робочих органів:

1. **Пластовий ніж** — використовується для нарізання корене-клубнеплодів на пластини.
2. **Гребінка з ножем** — застосовується для додаткового різання і досягнення необхідної форми.
3. **Барабан з ножами** — основний ріжучий елемент, який забезпечує розрізання овочів на стружку, стовпчики або кубики.

Ці елементи разом забезпечують високоефективне та точне різання різних видів корене-клубнеплодів, що використовуються в консервній промисловості та для інших харчових виробництв.

Для різання на стовпчики 5x5 і 7x7 мм використовується дека 04.000, яка призначена для обробки в'ялених або волокнистих продуктів. Для отримання такої нарізки встановлюються гребінки відповідного номеру, які забезпечують рівномірну нарізку на потрібні розміри.

Щоб отримати кубики, на місце криличатки (що, ймовірно, є частиною системи для нарізки смужок або пластин) встановлюється відрізний барабан 07.000, який забезпечує подальшу обробку продукту для нарізки кубиками. Крім того, замість підставок висотою 40 мм встановлюються планки 8 мм, що дозволяє коригувати товщину нарізаних кубиків і досягати потрібного результату.

Ці налаштування дозволяють адаптувати машину під різні типи продуктів і різні види нарізки в залежності від їх консистенції та вимог до розміру.

Для регулювання зазору між ріжучою кромкою ножа і планкою в конструкції передбачена можливість переміщення ножів, що забезпечується наявністю отворів для круглих кріплення на ножах. Це дозволяє точно налаштувати позицію ножів для досягнення необхідної точності різання.

Припливи рами обладнані отворами довгастими 2, у які встановлюються болти для ножів кріплення, що дозволяє зручно і надійно фіксувати ножі на своєму місці після їх регулювання.

Корпус рами оснащений двома виступ 3 і 6, внутрішня поверхня яких обробляється по радіусах, щоб забезпечити точну посадку і відповідність розміру рами з кільцевим простором корпусу дискової бурякорізки. Таким чином, ширина западини рами точно відповідає ширині кільцевого простору, що важливо для правильного функціонування машини та забезпечення ефективного і рівномірного різання буряків.

При в раму наборі ножів важливо забезпечити, щоб **вершини ножів** знаходились **над планкою на одній і тій самій висоті**, оскільки це дозволяє забезпечити рівномірність різання. **Відстань між ріжучою кромкою планкою і ножа** повинна бути **по всій однаковою довжині ножа**, щоб уникнути нерівномірного різання і забезпечити стабільну якість обробки буряка.

Величини **підйому і зазору ножів** залежать від кількох факторів:

1. **Якість перероблюваної буряків** — м'якші або більш вологі буряки можуть вимагати більших зазорів для запобігання зминанню продукту.
2. **Форма одержуваної стружки** — для отримання стружки певної форми необхідно налаштувати точний зазор для забезпечення потрібних розмірів.
3. **Розмір кроку ножів** — зміна кроку ножів впливає на кількість відрізаних часток за один оберт, що також впливає на розмір стружки та її якість.

Регулювання цих параметрів дозволяє досягнути оптимальної якості різання в залежності від типу і стану перероблюваної сировини.

1.3. Техніко – економічне обґрунтування модернізації.

Моделювання впливу встановлення двох рядів ножів в стандартну раму на продуктивність та якість стружки. Порівняння цього підходу з традиційними конструкціями дозволить оцінити вигоди від збільшення кількості ножів і зміни їх кріплення.

Розробка моделі, яка враховує нову конструкцію кріплення ножів через плоскі пластини і прижимні планки. Це дозволить визначити оптимальні параметри для забезпечення стійкої кругової траєкторії руху буряка і мінімізації зносу ножів.

Дослідження зношування ножів та ефективності їх роботи після ротації на 180° при затупленні однієї з ріжучих кромek. Моделювання допоможе прогнозувати термін служби ножів і визначити оптимальні умови для їх регулярного обслуговування.

Використання моделювання для вивчення руху буряка в бурякорізці від першого ножа до другого, оцінка впливу цього на якість нарізаної стружки та забезпечення стабільної роботи машини.

Ці напрямки дозволять не лише удосконалити конструкцію бурякорізки, але й створити модель, яка допоможе оптимізувати процеси різання та обслуговування ножових систем. Завданнями дипломної роботи є:

- технологічний та конструктивний розрахунок бурякорізки;
- розрахунок витрат потужності розробка на ЕОМ 3d моделі з дослідженнями;

аналіз отриманих результаті;

розроблення з охорони праці та заходів безпеки в надзвичайних ситуаціях.

1.4. Мета та задачі роботи.

Основними завданнями магістерської роботи є:

1. Провести літературний і патентний огляд сучасного обладнання для різання овочевих культур.
2. Проаналізувати структуру машини марки А9-КРМ.
3. Розробити методику для удосконалення конструкції ножа та його кріплення для досягнення більш ефективного різання буряка.
4. Оцінити вплив змін в конструкції на продуктивність та якість стружки.
5. Провести експериментальні дослідження для підтвердження доцільності запропонованих удосконалень.

Задачі нашої магістерської роботи спрямовані на вдосконалення процесу різання буряка. Для досягнення цієї мети необхідно:

1. Провести огляд літератури та патентів на сучасне обладнання для різання овочів та проаналізувати структуру машини марки А9-КРМ.
2. Дослідити особливості процесу різання, порівняти переваги та недоліки різних конструкцій і вплив кута різання на матеріальні та енергетичні потоки при утворенні стружки.
3. Розробити теоретичні узагальнення щодо впливу різних параметрів на утворення стружки.
4. Визначити вплив геометричних параметрів ріжучих ножів та їх кріплення на динаміку процесу, включаючи:
 - Кінематичний і технологічний розрахунок різання буряка;
 - Розрахунок деталей вузлів;
 - Теоретичний аналіз існуючих математичних моделей процесу різання.
5. Провести математичну формалізацію перехідних процесів при різанні буряка, зокрема вплив температури, динамічних параметрів роботи та зміни режимів роботи машини на процес утворення стружки.

Цей підхід дозволить детально дослідити процеси та поліпшити ефективність різання буряка.

Метою роботи є проаналізувати запропоновані рішення щодо удосконалення ножів бурякорізки типу А9-КРМ, що дозволить покращити нарізання стружки із буряката та надійність їх роботи.

Об'єкт дослідження є деформаційні чинники, що присутні при різанні ножами під час утворення стружку.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є бурякорізка типу А9-КРМ .

Напрями дослідження:

Використання математичних моделей для аналізу взаємодії ножів з буряками в процесі різання. Це включає вивчення силових і кінематичних характеристик, що визначають якість стружки, зокрема через зміну числа ножів і їх взаємне розташування в рамі.

Розділ 2

Вибір об'єкта дослідження та створення математичної моделі

. Теорія та особливості різання формою ріжучого леза

Подрібнення буряка здійснюється за допомогою спеціальних машин, що мають різні конструкційні особливості. Основним принципом роботи бурякорізок є відносний рух між ріжучими елементами та матеріалом. В залежності від типу машини, цей рух може бути реалізований різними способами. Наприклад, у дискових бурякорізках ножі, що закріплені на обертових дисках, здійснюють рух, в той час як буряк залишається нерухомим. У відцентрових бурякорізках ножі фіксовані на внутрішніх стінках вертикального циліндра, а буряк рухається по циліндру, притискаючись до ріжучих елементів відцентровою силою.

Всі типи бурякорізок повинні відповідати певним вимогам, зокрема забезпечувати високу продуктивність, надійність і економічність, зручність у використанні та ремонті, а також можливість регулювання продуктивності. Відцентрові бурякорізки мають перевагу в тому, що дозволяють змінювати ножі, регулювати продуктивність без зупинки машини, змінювати кількість працюючих ножів, контролювати якість стружки, видаляти сторонні предмети

та очищати ножі, а також змінювати профіль стружки. Однак їх конструкція є досить складною, що призводить до високого енергоспоживання, підвищеного вмісту браку в стружці та складнощів з ремонтом.

Барабанні бурякорізки, на відміну від відцентрових, мають простішу конструкцію та меншу питому витрату електроенергії. Вони здатні забезпечити хорошу якість стружки, але для зміни чи очищення ножів необхідно зупинити роботу машини. Дискові бурякорізки мають ще меншу питому витрату енергії та дають хорошу стружку, однак також потребують зупинки для налаштування та очищення ножів.

На більшості вітчизняних бурякоцукрових заводів використовуються бурякорізки відцентрового типу, які мають схожу конструкцію, відрізняючись лише кількістю ножових рам і окремими конструктивними елементами, що впливає на їх продуктивність і вид приводу.

В залежності від співвідношення нормальної сили P_n та дотичної сили P_d , різання матеріалу можна класифікувати за трьома основними типами, які описуються наступними умовами:

- **Рубаюче різання:** У цьому випадку матеріал подрібнюється лише за рахунок нормальної сили P_n , без врахування дотичної сили P_d та без повздовжнього переміщення леза St .
- Це означає, що різання відбувається без ковзання або переміщення матеріалу вздовж леза, і основною силою, яка спричиняє розділення матеріалу, є нормальний тиск леза на матеріал.
- **Нахилене різання:** Тут враховуються як нормальна сила P_n , так і дотична сила P_d . Однак в цьому випадку відсутнє ковзання матеріалу по кромці леза.
- Кут між нормаллю до леза і напрямком його переміщення t_k не перевищує кута тертя леза по матеріалу φ_{kd} , що дозволяє здійснювати переміщення леза без ковзання матеріалу.
- **Ковзаюче різання:** У цьому випадку також враховуються як нормальна сила P_n , так і дотична сила P_d , але матеріал починає ковзати по кромці леза.

- Кут t_k між нормаллю до леза і напрямком переміщення леза перевищує кут тертя леза по матеріалу ϕ_{kd} , що призводить до ковзання матеріалу по лезу при його різанні.

Кожен з цих типів різання має різний механізм взаємодії між інструментом та матеріалом, що впливає на ефективність процесу та якість подрібнення.

Для кількісного визначення проковзування леза в процесі різання введено коефіцієнт ковзання леза ϵ , який характеризує співвідношення між тангенційною та нормальною складовими швидкості леза або переміщення. Це можна виразити через наступні відношення:

$$\epsilon = V_t / V_n = S_t / S_n$$

де:

- V_t — тангенційна складова швидкості леза,
- V_n — нормальна складова швидкості леза,
- S_t — тангенційна складова переміщення леза,
- S_n — нормальна складова переміщення леза.

Коефіцієнт ковзання ϵ дає змогу оцінити, наскільки великий процес ковзання матеріалу по лезу під час різання. Якщо ϵ велике, це свідчить про високий рівень ковзання, що може призвести до підвищеного зносу леза і менш ефективного різання. Якщо ж ϵ мале, то процес різання здебільшого відбувається за рахунок нормального контакту, що забезпечує більш стабільну і економічну роботу інструменту.

Між ковзаючим та нахилом різання полягає в характері прикладених сил і способі переміщення ножа в матеріалі: **ковзаюче різання**: При ковзаючому різанні до ножа прикладаються дві взаємно перпендикулярні сили: **Нормальна сила R_n** , яка діє перпендикулярно до площини різання, спричиняючи деформацію матеріалу.

Дотична сила R_d , яка діє паралельно до площини різання і спричиняє ковзання матеріалу по лезу ножа. Різання відбувається внаслідок взаємодії цих сил, причому основним фактором є ковзання матеріалу по ріжучій кромці ножа, що призводить до високих зусиль тертя і зносу леза.

Нахилене різання: В цьому випадку різання здійснюється за допомогою примусового переміщення ножа через матеріал по заданому напрямку. Тобто, ножа рухається по матеріалу під певним кутом. Різання відбувається без значного ковзання, а матеріал переміщується по напрямку руху ножа завдяки прикладанню нормальній сили, яка забезпечує ефективне розчеплення матеріалу. Відсутність значного ковзання знижує тертя між лезом і матеріалом, що зменшує знос інструменту та покращує якість різання.

Таким чином, головною відмінністю між цими двома типами різання є те, що при ковзаючому різанні взаємодіють дві сили, що сприяють ковзанню матеріалу по ножу, тоді як при нахиленому різанні матеріал розрізається за рахунок переміщення ножа по ньому під заданим кутом, що знижує вплив тертя.

При різанні цукрових буряків, зокрема, використовуючи бурякорізальні ножі різних типів, відбувається значна трансформація кута заточення ножа та кромки леза. Це залежить від того, чи є процес різання **нахиленим, ковзаючим, або рубуючим**.

У разі використання **бурякорізальних ножів плоского типу або кінгсфелдського типу** з прямим торцюванням (рис. 2.2а, 2.2б) і сталою довжиною робочої частини ножа ($h_1=h_2$), процес різання є **рубуючим**.

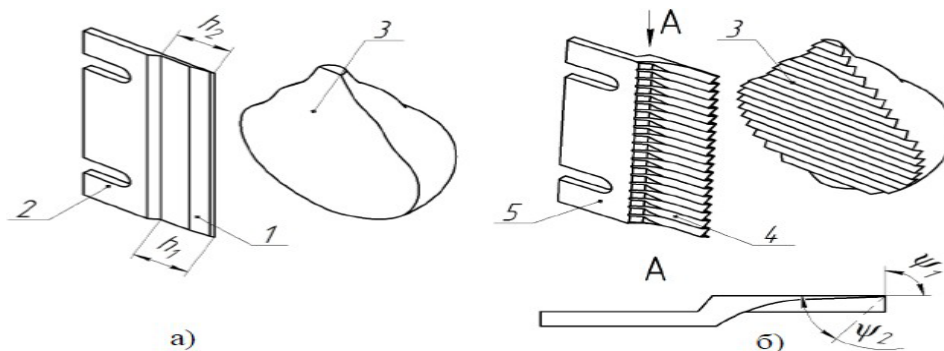


Рис. 2.2. Бурякорізальні ножі плоского типу

Таким чином, при рубуючому різанні кромка ножа взаємодіє з буряком під прямим кутом, що дозволяє досягти ефективного розрізання, тоді як при нахиленому чи ковзаючому різанні важливіше враховувати трансформацію кута заточення ножа, що залежить від взаємодії нормальній та тангенційній складових.

2.2. Основний зміст модернізації машини різання овочів А9-КРМ

Машина для різання овочів марки А9-КРМ використовуються для подрібнення овочів на кубики, стовпчики та скибочки, що використовуються в процесах виготовлення овочевих консервів. Проте, існують певні недоліки в її роботі, особливо при нарізанні буряка, що негативно впливає на якість кінцевого продукту. Одним з основних недоліків є те, що в процесі різання інколи відбувається не тільки подрібнення, а й дроблення продукту, що погіршує його текстуру та зовнішній вигляд.

Пропозиції щодо модернізації: Збільшення кута загострення ножів: Одним із ефективних шляхів підвищення якості різання є збільшення кута загострення ножів. Збільшення цього кута дозволить зменшити зусилля, необхідні для розрізання матеріалу. Це дозволить знизити ймовірність дроблення овочів та досягти більш чистого і точного різання.

При цьому, важливо вибрати оптимальний кут загострення, щоб зберегти баланс між зменшенням зусиль і забезпеченням достатньої міцності ножів для ефективного подрібнення навіть твердих овочів.

Збільшення частоти обертання ріжучого барабана: збільшення частоти обертання ріжучого барабана дозволить підвищити продуктивність машини, оскільки ножі будуть швидше проходити через матеріал, зменшуючи час, необхідний для обробки кожного окремого овоча.

Водночас, з більшою частотою обертання ріжучого барабана може зменшитись ймовірність затримок у процесі різання та покращиться ефективність завантаження продукту, що підвищить загальну продуктивність машини.

Оцінка ефективності модернізації: Підвищення кута загострення ножів призведе до зменшення зусиль різання, що знижує ймовірність дроблення та покращує якість нарізки, а також збільшує термін служби ножів завдяки зменшенню їх зношування.

Збільшення частоти обертання ріжучого барабана дозволить підвищити ефективність виробничого процесу, що особливо важливо для забезпечення високої продуктивності при великих обсягах обробки овочів.

Таким чином, запропоновані зміни дозволять значно покращити якість різання та збільшити продуктивність машини А9-КРМ, що сприятиме підвищенню ефективності виробництва овочевих консервів.

2.3. Оцінювальний спосіб придатності ножів

Різання супроводжує розділ однієї частини буряка від іншої при руйнуванні граничного шару. Руйнуванню в зоні ріжучого ножа з буряком є пружні та пластичні деформації. Їх величина залежить від властивостей фізико-механічних та швидкості деформування. Дія зовнішніх сили ножа створює в буряку деформацію в часі.

Оцінка ступеня придатності бурякорізальних ножів передбачає комплексну перевірку, яка враховує кілька ключових факторів, зокрема міцність матеріалу, конструкцію ножа, швидкість та силу різання, а також механізм деформацій. Основні етапи оцінювання можна подати наступним чином:

1. Фізико-механічні властивості матеріалу ножа:

- Визначення міцності та жорсткості матеріалу ножа. Це включає характеристики матеріалу ножа (наприклад, сталь 45 або інші матеріали), які повинні бути достатньо високими для витримки великих зусиль різання і уникнення деформацій під час експлуатації.
- Вивчення коефіцієнта тертя між ножем і матеріалом (буряком). Зазвичай для сталевих ножів він дорівнює 0,25, що визначає силу, необхідну для переміщення ножа через матеріал.

2. Деформації в процесі різання:

- **Пружні та пластичні деформації.** Під час різання буряка інструмент здійснює пружну деформацію матеріалу, що потім переходить у пластичну деформацію, коли матеріал починає деформуватися необоротно.
- Пружна деформація характеризується тим, що матеріал після припинення дії сили повертається до початкового стану, а пластична — призводить до постійної зміни форми матеріалу.

3. Напруга та руйнування матеріалу:

- Важливо врахувати напруги, які виникають в процесі деформації. При досягненні максимальної напруги, яка відповідає межі міцності матеріалу буряка, відбувається його руйнування по лінії найбільших напруг.
- Тиск, що створюється ножем на матеріал буряка, має бути достатньо великим, щоб розірвати матеріал, але водночас не настільки сильним, щоб викликати надмірні деформації або пошкодження самого ножа.

4. Вибір оптимального кута загострення ножа:

- Кут загострення ножа має суттєвий вплив на ефективність різання. Оптимальний кут для бурякорізальних ножів зазвичай становить 33° , оскільки він забезпечує найкраще співвідношення між силою різання і тривалістю служби ножа.
- Занадто великий кут може призвести до зниження міцності ножа, а занадто малий — до погіршення якості різання і збільшення зусилля.

5. Моделювання та тестування:

- Виконання моделювання процесу різання з різними швидкостями та кутами загострення ножа для визначення найбільш ефективних параметрів роботи.
- Тестування ножів у реальних умовах дозволяє оцінити їх знос і витривалість при тривалому використанні.

6. Аналіз та оптимізація:

- Збір і аналіз даних про знос ножів під час різання буряка, що дозволяє оптимізувати конструкцію та матеріали ножів, а також обрати найкращі умови експлуатації.
- Оцінка зносостійкості і витривалості ножів, що допомагає зменшити частоту заміни і забезпечити стабільну роботу машини протягом тривалого часу.

Цей комплексний підхід дозволяє вибрати найбільш ефективні та довговічні ножі для бурякорізальних машин, які здатні забезпечити високу якість нарізки і ефективність роботи на протязі всього періоду експлуатації.

Різання, дійсно, є складним процесом, який супроводжується фізичними та механічними явищами, що безпосередньо залежать від реологічних властивостей матеріалу. Зокрема, при різанні важливими є параметри, що характеризують пружність, пластичність, в'язкість і міцність продукції, а також взаємодію між ними.

Пружність, пластичність і в'язкість матеріалу:

- **Пружність** характеризує здатність матеріалу відновлювати свою форму після деформації, коли сила, що викликає деформацію, знімається.
- **Пластичність** визначає здатність матеріалу зазнавати постійних змін форми під дією зовнішніх сил без руйнування. При різанні цей параметр є критичним, оскільки матеріал повинен змінювати форму, але не розриватися.
- **В'язкість** є мірою опору матеріалу до зміщення, тобто сили, які потрібно прикласти, щоб перемістити прошарки матеріалу один відносно іншого. Це також важлива характеристика, оскільки в'язкість впливає на розподіл навантажень на інструмент при різанні.

2. Напряга зсуву та її вплив на процес різання:

- **Напряга зсуву** — це відношення сили, що діє на матеріал, до площі зсуву. При різанні це явище важливе, оскільки через нього здійснюється поділ матеріалу. Під дією сили частини матеріалу зміщуються одна відносно іншої, що спричиняє розрив або зсув.
- **Мінімальна сила для переміщення прошарків** — це величина сили, яка необхідна для того, щоб прошарки матеріалу почали рухатися один відносно іншого. Цей параметр допомагає оцінити зусилля, необхідне для початку різання або розшарування матеріалу.

3. Процес деформації:

- При прикладанні сили до матеріалу відбувається **деформація**. Спочатку при малих напругах спостерігається часткове відновлення структури матеріалу, що означає, що він може повернутися до свого початкового стану після зняття навантаження.

- **Лавинне руйнування** структури виникає при великих напругах, коли відновлення стає майже неможливим і матеріал починає активно руйнуватися. Це може призвести до різких змін в опірності матеріалу до подальшого деформування, що значно змінює механіку процесу різання.

4. Вплив на різання: На основі цього процесу можна стверджувати, що реологічні властивості матеріалу безпосередньо впливають на точність і ефективність різання. Наприклад, при різанні твердіших матеріалів напруга зсуву буде вищою, що вимагатиме збільшення зусилля для розрізання.

- Зміни в'язкості, напруги зсуву та інших реологічних властивостей матеріалу в процесі різання можуть бути враховані при розробці математичних моделей для оптимізації параметрів різання, таких як швидкість різання, геометрія інструменту та сила різання.

Для практичного оцінювання та моделювання процесу різання важливо враховувати ці фізичні та реологічні процеси. Розуміння того, як матеріал деформується під дією сили, допомагає оптимізувати конструкцію різальних інструментів, зменшити знос ножів, а також покращити якість обробки матеріалу.

- Також важливо враховувати, як в'язкість і міцність матеріалу змінюються в процесі роботи, оскільки це може мати великий вплив на енергоефективність та швидкість роботи машини.

Таким чином, для оптимізації процесу різання необхідно розглядати ці фактори в комплексі та моделювати їх вплив на кінцевий результат.

Так, з підвищенням температури матеріалу дійсно відбуваються зміни в його фізичних властивостях, що впливають на процес різання. **Зменшення сил взаємодії між дисперсними частинками:** Коли температура підвищується, молекули матеріалу отримують більше енергії, що призводить до ослаблення зв'язків між частинками. Це знижує внутрішнє тертя і робить матеріал більш пластичним, полегшуючи його розрізання.

В'язкість матеріалу зазвичай зменшується з підвищенням температури, що означає, що матеріал стає більш піддатливим до деформації. Це може

полегшити процес розрізання, оскільки менше енергії необхідно для переміщення часток матеріалу.

Зусилля, необхідне для різання матеріалу, можна розділити на кілька складових:

- **Опір різанню ($P_{різ}$):** Це основна частина зусилля, що витрачається на поділ матеріалу. Воно включає в себе енергію, що витрачається на утворення нових поверхонь при розділенні матеріалу.
- **Опір пружним деформаціям ($P_{пр}$):** Коли інструмент занурюється в матеріал, він викликає пружні деформації. Ці сили виникають через спробу матеріалу відновити свою форму після деформації. Підвищення температури може зменшити ці сили, оскільки зменшується жорсткість матеріалу.
- **Сила тертя (P_t):** Це сила, що виникає через контакт між інструментом і матеріалом під час руху. Сила тертя залежить від поверхневих властивостей матеріалу і інструменту. З підвищенням температури сила тертя може зменшуватися, оскільки матеріал стає більш пластичним, і меншої сили потрібна для переміщення інструменту через матеріал.

3. Загальний вплив на процес різання:

- При підвищенні температури, коли зменшуються сили тертя та опір пружним деформаціям, процес різання стає більш ефективним, тому що менше енергії витрачається на подолання опору матеріалу.
- Зменшення напруги зсуву дозволяє інструменту легше поділяти матеріал, що може призвести до зменшення зносостійкості інструменту та збільшення швидкості різання.
- Підвищення температури також може зменшити деякі фізичні та механічні властивості матеріалу, що впливають на точність і якість різання, але в цілому це призводить до більшої енергоефективності процесу.

4. Математичне моделювання:

- Для більш точного прогнозування впливу температури на процес різання можна використовувати математичні моделі, що враховують зміни в

механічних властивостях матеріалу (в'язкість, напруга зсуву, тертя) з підвищенням температури.

- Моделювання цих процесів дозволяє оптимізувати режими різання, швидкість інструменту, температуру та інші параметри для досягнення найкращих результатів.

Отже, підвищення температури матеріалу значно впливає на зменшення зусиль, необхідних для різання, та підвищення ефективності процесу, однак це також потребує врахування зміни властивостей матеріалу в процесі роботи.

2.4. Математичне моделювання та розробка технічного рішення

При розробці технічних нових рішень важливо чітко задачі визначити, які вирішуватиме об'єкт дослідження, а також окреслити необхідні технічні параметри для забезпечення його ефективної роботи. Після цього проводимо розробку технічного рішення. Включає не лише конструктивні особливості, але й опис принципу його роботи та взаємодії основних частин, що забезпечує досягнення поставлених цілей.

Методологія дослідження є системою принципів і правил, що регулюють процес використання методів, прийомів і способів для проведення досліджень. Вона служить орієнтиром для дослідника на всіх етапах роботи, починаючи від постановки завдання і завершуючи аналізом результатів. Однією з найважливіших умов для здобуття нових знань є використання методів, заснованих на наукових принципах. Такий підхід гарантує більшу точність і достовірність отриманих даних, а також дозволяє досліднику більш ефективно використовувати свої ресурси.

Дослідник, який добре володіє методами та знає їхні межі й можливості, працює набагато ефективніше, ніж той, хто покладається виключно на інтуїцію або застосовує принцип "проб і помилок". Використання науково обґрунтованих методів не тільки мінімізує ймовірність помилок, але й скорочує час, необхідний для досягнення результату. Крім того, точні методи дозволяють отримувати більш надійні й відтворювані результати, що є критично важливим для подальшого застосування дослідження.

Разом з тим, точні та правильні методи — не єдині елементи, що визначають успіх наукового дослідження. Важливу роль відіграє також творчий підхід, який сприяє розвитку нових ідей і підходів до вирішення завдань, що виникають у процесі дослідження.

У науково-проектній діяльності процес побудови моделі відіграє ключову роль. *Модель* — це об'єкт будь-якого типу, який із заданою точністю замінює досліджуваний об'єкт і дозволяє відобразити його властивості або поведінку. Етап моделювання є науковою основою процесу проектування та дослідження, оскільки він надає можливість передбачити результати взаємодії різних елементів системи без необхідності створення реального об'єкта.

В основі процесу моделювання лежить метод аналогії, який ґрунтується на виявленні подібностей між різними об'єктами або явищами. Це дозволяє досліднику абстрагуватися від фізичної сутності об'єкта і зосередитися на його функціональних характеристиках, що значно полегшує аналіз складних систем і процесів.

Моделювання є методом наукового пізнання, який передбачає заміну досліджуваного об'єкта спеціально створеним аналогом, що дозволяє досліднику зосередитися на аспектах об'єкта, які є найважливішими для вирішення конкретних наукових або технічних завдань. Завдяки цьому методу стає можливим спрощення експериментів, що дозволяє не лише заощадити ресурси, але й забезпечити глибше розуміння поведінки системи.

Класифікація моделей здійснюється за різними критеріями, такими як:

1. За природою об'єкта моделювання:

- Фізичні моделі — відтворюють реальні об'єкта характеристики, наприклад, його форму або конструкцію.
- Математичні моделі — відображають об'єкт за допомогою математичних рівнянь і формул.
- Імітаційні моделі — створюються для відтворення процесів і подій шляхом імітації поведінки системи у віртуальному середовищі.

2. За ступенем деталізації:

- Макромоделі — дають загальне уявлення про об'єкт або процес.

- Мікромоделі — детально описують окремі елементи об'єкта або системи.

3. За способом побудови:

- Аналітичні моделі — базуються на чітко визначених математичних залежностях.
- Емпіричні моделі — створені на основі експериментальних даних, без чіткої математичної структури.

Вибір типу моделі залежить від специфіки завдання і об'єкта дослідження.

Використання моделей дозволяє оптимізувати процес проектування, забезпечуючи можливість перевірки гіпотез та уточнення технічних параметрів перед втіленням рішення на практиці.

Фізичне моделювання базується на методі аналогії, тобто виявленні подібностей між реальними явищами та їх моделями. Основною метою фізичного моделювання є отримання даних про процеси чи об'єкти через більш спрощені та економічні моделі. Це особливо корисно в випадках, коли дослідження реального об'єкта є занадто дорогим, небезпечним або технічно складним.

Вербальні описові моделі активно застосовуються у сферах, де важлива якісна оцінка процесів і стратегій, зокрема в маркетингу, логістиці та кібернетиці. Вони дозволяють дослідникам надавати опис і пояснення складних систем у зрозумілій формі, сприяючи прийняттю рішень та плануванню стратегій.

Графічне моделювання є засобом візуального представлення об'єктів дослідження у вигляді схем, діаграм або графіків. Це дозволяє спростити розуміння процесів і взаємозв'язків у системі. Розрахункові діаграми можуть використовуватися для опису етапів виробництва, структури організації або потоків матеріалів, що значно полегшує аналіз і прийняття рішень.

Математичне моделювання технологічного процесу — це підхід, при якому процес описується через систему математичних рівнянь. Рівняння в цьому випадку виступають математичним описом процесів, що відбуваються в системі, та дають змогу прогнозувати результати при зміні різних параметрів.

Система рівнянь дозволяє моделювати складні технологічні процеси, обчислювати оптимальні параметри та отримувати точні дані про поведінку системи в різних умовах.

Таким чином, фізичне, вербальне, графічне і математичне моделювання є взаємодоповнюючими методами, кожен із яких має свої переваги і може застосовуватися залежно від поставлених цілей і специфіки завдання.

Конструкції машин і апаратів, які використовуються в харчовій, мікробіологічній та фармацевтичній промисловості, часто зазнають значних навантажень, що обумовлено взаємодією з різними середовищами під високими тисками та температурами. Ці середовища можуть бути в'язкими, рідкими або газоподібними, що ускладнює робочі умови апаратів і потребує ретельного врахування під час проєктування. Сучасні вимоги до моделювання таких систем передбачають точний аналіз процесів взаємодії тіл у різних фазових станах з урахуванням специфіки технологічного процесу та реальних умов експлуатації.

Для вирішення цієї задачі необхідно враховувати загальні закономірності механіки суцільного середовища, зокрема її підрозділ — механіку деформації твердого тіла. Ці підходи базуються на фундаментальних законах механіки та термодинаміки, а також на ефективних чисельних методах, що дозволяють вирішувати складні диференціальні рівняння.

Метод скінченних елементів (МСЕ) є одним із найпоширеніших та найефективніших методів чисельного аналізу в інженерії. Він дозволяє розбити складну конструкцію на менші частини — скінченні елементи, що спрощує розв'язання задач, пов'язаних із розподілом напружень, деформацій та теплових потоків. Цей підхід дає можливість розглядати складні конструкції як сукупність простих елементів, що взаємодіють між собою.

МСЕ широко використовується в аналізі напружено-деформованого стану конструкцій, де важливо враховувати як механічні, так і термічні фактори. Цей метод надає змогу інженерам здійснювати точний аналіз і прогнозувати поведінку матеріалів та конструкцій за різних умов навантаження. Завдяки

цьому методу значно підвищується надійність і безпека машин та апаратів, оскільки він дозволяє моделювати умови, максимально наближені до реальних.

Розбиття об'єкта на кінцеві елементи зазвичай проводиться або інтуїтивно, або на основі аналогії з подібними конструкціями. У зонах, де очікується концентрація напружень, наприклад біля країв або в місцях з'єднань, кінцево-елементна сітка ущільнюється. Це необхідно для досягнення більшої точності результатів моделювання, оскільки в таких областях навіть невеликі зміни можуть суттєво вплинути на загальну напружено-деформовану картину. Для побудови кінцево-елементної сітки існує чимало спеціалізованих комп'ютерних програм, які дозволяють автоматизувати процес підбору типу та щільності елементів відповідно до заданих вимог точності. Програми здатні адаптивно змінювати розмір елементів у залежності від особливостей досліджуваної області, що значно зменшує обчислювальні витрати, зберігаючи при цьому точність результатів у критичних зонах.

Приклад кінцево-елементної сітки показано на рисунку 2.3, де можна побачити варіативність розміру елементів: у місцях високих навантажень сітка має високу щільність, тоді як у менш напружених областях елементи більші. Такий підхід дозволяє максимально точно моделювати розподіл напружень та деформацій у складних конструкціях.

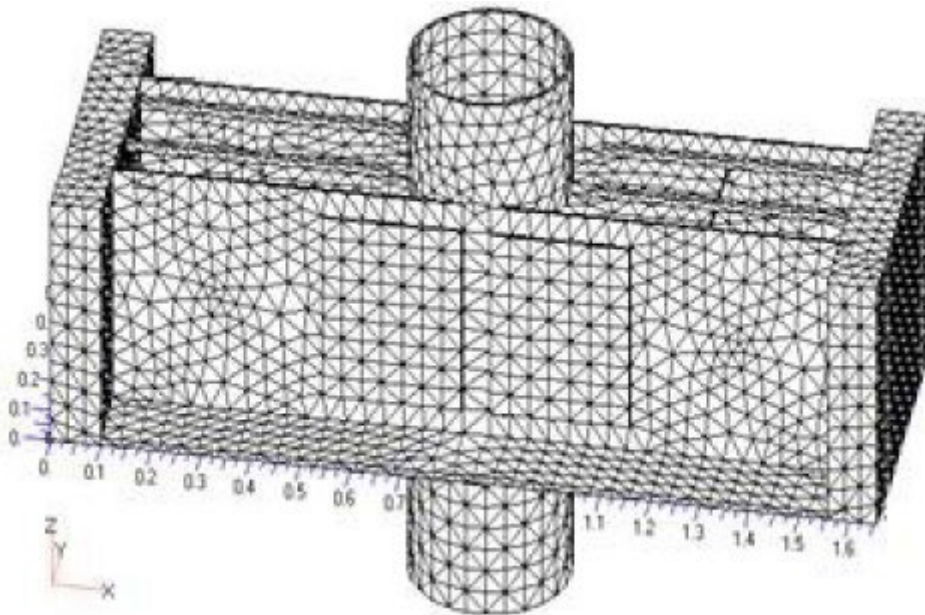


Рис. 2.3. Сітка кінцевих елементів

2.5. Методика досліджень та їх результати

Для забезпечення високої точності та надійності отриманих результатів вимірювання було застосовано методи математичної статистики, які дозволяють детально проаналізувати отримані дані та оцінити рівень достовірності результатів. У процесі проведення експериментальних досліджень були враховані основні фактори, що впливають на характеристики об'єкта, зокрема зміни геометричних параметрів різальної крайки у результаті її зношування.

Аналіз показав, що з плином часу внаслідок механічного навантаження та тертя відбувається поступове збільшення радіуса заокруглення біля вершини кута α різальної крайки. Це, у свою чергу, спричиняє зміну кута загострення різального інструменту, що негативно впливає на якість різання та енергетичні витрати процесу. Використання статистичних методів дозволило не лише встановити залежності між цими параметрами, але й побудувати математичну модель, яка описує закономірності зношування різального інструменту. Результати досліджень демонструють, що збільшення радіуса заокруглення біля вершини різальної крайки прямо корелює зі зростанням кута загострення. Це підтверджує необхідність врахування змін геометричних параметрів у процесі роботи різального інструменту для забезпечення його оптимальної ефективності та довговічності.

Під час проведення експериментальних досліджень нові бурякорізальні ножі встановлювалися у ножові рами відповідно до заданих технологічних вимог. Для визначення ступеня зношування різальної частини ножів оцінка їхнього стану проводилася через 2, 4 та 12 годин роботи. Такий підхід дозволив виявити закономірності змін геометричних параметрів ножів у процесі експлуатації.

Для підвищення точності отриманих даних було використано цифрову фотокамеру, за допомогою якої виконувалося фотографування відповідних зон різальної частини ножа. Отримані зображення надалі оброблялися на комп'ютері із застосуванням спеціалізованих графічних пакетів прикладних програм, що дозволяло детально аналізувати форму та стан поверхонь.

Обробка цифрових зображень здійснювалася за спеціально розробленою методикою, яка включала в себе етапи масштабування, фільтрації, вимірювання основних геометричних параметрів та їх порівняння з еталонними значеннями. Використання сучасних технологій цифрової обробки даних дозволило зменшити похибки вимірювань, отримати високоточні результати та виявити критичні зони зношування, які потребують додаткового аналізу та оптимізації конструкції ножів.

Таким чином, у результаті проведених досліджень було отримано чотири окремі масиви даних для аналізу стану різальної частини ножів:

- 1-й масив – дані, отримані для нового ножа до початку експлуатації, що служать еталонними показниками.
- 2-й масив – результати вимірювань ножа після двогодинної роботи, які відображають перші ознаки зношування різальної частини.
- 3-й масив – дані, зафіксовані після чотирьохгодинної роботи, які демонструють подальше збільшення радіуса заокруглення вершини різальної крайки та зміни кута загострення.
- 4-й масив – показники стану ножа після дванадцятигодинної експлуатації, що ілюструють максимальний ступінь зношування за умов проведеного експерименту.

Аналіз цих масивів дозволяє простежити динаміку змін геометричних параметрів ножа залежно від тривалості його роботи, встановити характерні закономірності зношування та зробити висновки щодо впливу експлуатаційних умов на ефективність інструменту.

У процесі розробки та експлуатації бурякорізок важливим етапом є виконання проектно-перевірочних розрахунків, які дозволяють оцінити ефективність роботи обладнання, енергоємність процесу та визначити оптимальні режими функціонування для досягнення високої якості бурякової стружки.

Ефективність роботи бурякорізки оцінюється кількістю коренеплодів буряка, які переробляються за одиницю часу, з дотриманням встановлених параметрів якості стружки. Ця якість залежить від таких факторів:

1. Сумарна довжина ріжучих лез ножів, які беруть участь у процесі різання. Вона визначає ефективність зрізання матеріалу.
2. Швидкість різання, що впливає на продуктивність і точність формування стружки.
3. Товщина стружки, яка має бути однорідною для подальшого використання в технологічних процесах (наприклад, у виробництві цукру).
4. Об'ємна маса буряків, які перебувають у корпусі бурякорізки, що визначає рівномірність подачі і переробки.
5. Конструктивно-експлуатаційні параметри, такі як форма ножів, матеріал їх виготовлення, кути заточування, а також наявність регулювальних механізмів для адаптації до різних умов роботи.

Рациональні режими роботи бурякорізки підбираються з урахуванням:

- Мінімізації енерговитрат на різання.
- Забезпечення стійкості роботи ножів без їх надмірного зношування.
- Підтримання стабільності параметрів стружки (форма, розмір і товщина).
- Максимальної продуктивності при збереженні якості.

Рекомендації щодо оптимізації роботи бурякорізки:

- Використовувати ножі з високоякісної сталі з оптимальним кутом заточування для зменшення сил різання.
- Забезпечити рівномірну подачу буряків у зону різання за допомогою регулювання швидкості подаючих механізмів.
- Здійснювати регулярне обслуговування та заміну зношених елементів для збереження ефективності.
- Контролювати товщину стружки шляхом налаштувань

За принципом дії машина для різання коренеплодів належить до обладнання з механічним приводом. Її конструкція передбачає використання електродвигуна, який через систему передач забезпечує роботу основних

механізмів. Робочий орган, яким у даній машині є барабан, встановлюється на валу і здійснює обертовий рух. Цей рух передається від електродвигуна за допомогою двох видів передач:

- Ланцюгової передачі, яка з'єднує електродвигун із проміжним валом, забезпечуючи передачу крутного моменту на значній відстані та з високою ефективністю.
- Пасової передачі, яка використовується для подальшого передавання руху на робочий вал, забезпечуючи плавність роботи механізму та знижуючи вібрації.

Така комбінація передач дозволяє досягти необхідної швидкості обертання барабана, що забезпечує оптимальну якість різання сировини. Обертання барабана створює центробіжну силу, яка сприяє рівномірному поданню коренеплодів до різальної зони, де відбувається їх подрібнення ножовими елементами на задані форми. Ця схема дії забезпечує високу продуктивність машини, надійність роботи та можливість регулювання параметрів різання відповідно до вимог технологічного процесу.

3.2. Аналіз структури машини А9-КРМ

Машина для різання овочів марки А9-КРМ призначена для виконання основної механічної операції – подрібнення буряка на скибочки, стовпчики та кубики. Ця операція є ключовою в технологічному процесі, оскільки якість подрібнення безпосередньо впливає на подальшу обробку сировини.

На першому етапі конструювання нової машини або дослідження існуючого обладнання розробляється структурна схема, яка слугує основою для розуміння роботи машини. Така схема дозволяє виділити основні частини обладнання, визначити їх функціональне призначення та описати взаємозв'язки між компонентами.

Структурна схема машини А9-КРМ включає такі основні елементи:

- Завантажувальний пристрій, який забезпечує подачу буряка до зони різання.

- Різальний блок, що складається з ножових рам із різальними елементами, які виконують подрібнення сировини на задані геометричні форми.
- Приводний механізм, який забезпечує обертання ножів та рух сировини у зоні різання.
- Система вивантаження подрібненого продукту, що транспортує готові шматочки з робочої зони.

На рисунку 3.1 зображено структурну схему машини, яка відображає взаємозв'язок між зазначеними елементами та їхні функції у процесі роботи. Вона допомагає деталізувати конструкцію, оптимізувати технологічні процеси та визначити можливі напрямки вдосконалення обладнання.

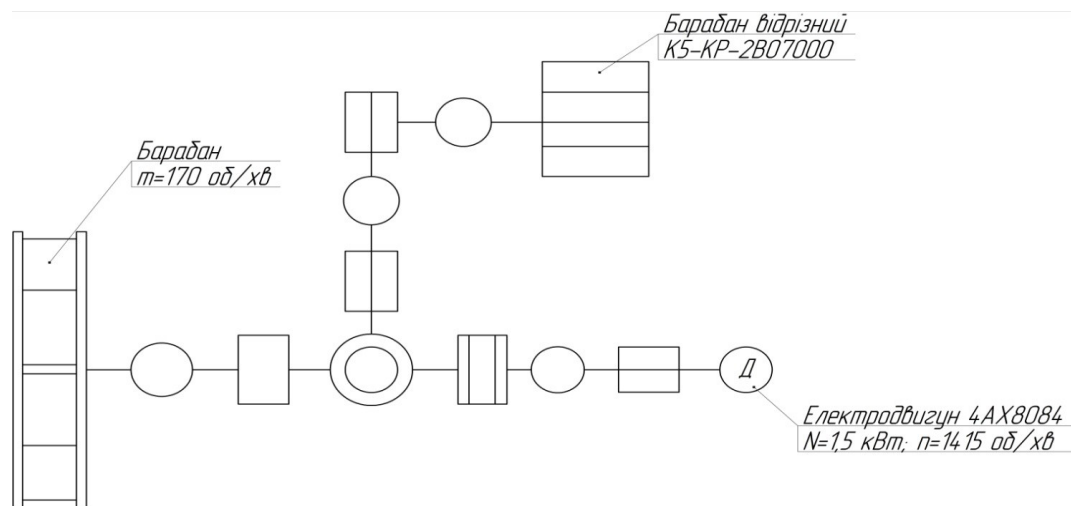


Рисунок 3.1. Структурна схема машини А9-КРМ

Структурна схема машини для різання овочів на рисунку 2.5 демонструє основні елементи конструкції та їх функції:

1. **Електродвигун** — джерело механічної енергії, який передає обертальний рух на ріжучі механізми машини через ланцюгову і пасову передачу.
2. **Ланцюгова та пасова передача** — система, що забезпечує передачу обертального руху від електродвигуна до барабана та інших рухомих елементів машини. Вони дозволяють регулювати швидкість та точність обертання робочих органів.
3. **Ріжучий барабан** — основний робочий орган машини, який здійснює подрібнення овочів. Барабан кріпиться на валу і обертається, що дозволяє здійснювати нарізання овочів за заданими параметрами.

4. **Ріжучі елементи** — ножі, що розташовані на барабані, виконують безпосередню роботу по подрібненню овочів на потрібні форми (скибочки, кубики, стовпчики).

5. **Регулювання швидкості обертання барабана** — для досягнення бажаних параметрів нарізання та продуктивності можливо здійснювати регулювання швидкості обертання барабана. Це дозволяє оптимізувати процес різання залежно від характеристик оброблюваного матеріалу.

Машина для різання овочів марки А9-КРМ належить до обладнання з механічним приводом. Робочий орган, а саме ріжучий барабан, закріплений на валу і здійснює обертальний рух, який передається через ланцюгову і пасову передачу від електродвигуна. Це забезпечує постійну та надійну роботу машини з можливістю регулювання параметрів роботи.

Переваги такої конструкції:

- **Ефективне використання енергії** — електродвигун з ланцюговою та пасовою передачею дозволяє зменшити енергоспоживання.
- **Простота в обслуговуванні та ремонті** — механічна система передачі руху є відносно простою в обслуговуванні, що знижує витрати на експлуатацію.
- **Можливість варіативного регулювання продуктивності** — з можливістю зміни швидкості обертання барабана можна адаптувати машину під різні умови роботи.

Таким чином, структура машини для різання овочів марки А9-КРМ є збалансованою, що дозволяє забезпечити ефективне та продуктивне виконання операцій різання, з можливістю налаштування під різні види оброблюваних овочів. Такий аналіз є основою для подальшого дослідження характеристик різального блоку, зокрема впливу геометрії ножів та режимів роботи на ефективність подрібнення.

3.3. Технологічний розрахунок машини

Продуктивність машини для різання визначається як кількість буряків, які вона може подрібнити за певний проміжок часу, при цьому дотримуючись

заданої якості обробки, такої як скибочки, стовпчики або кубики. Цей процес залежить від ряду факторів, зокрема:

- Загальна довжина ріжучих лез ножів, що беруть участь у обробці.
- Швидкість різання.
- Товщина продукту.
- Об'ємна маса буряків у умовах їх знаходження в корпусі машини.
- Специфічні характеристики для даного типу машин для різання коренеклубнеплодів.
- Експлуатаційні коефіцієнти.

Продуктивність машини можна розрахувати за формулою:

$$Q=A \cdot v \cdot \rho \cdot \eta / \lambda$$

де:

- Q — продуктивність машини (кг/год),
- A — загальна довжина ріжучих лез (м),
- v — швидкість різання (м/с),
- ρ — об'ємна маса буряка (кг/м³),
- η — коефіцієнт ефективності використання ріжучих лез,
- λ — коефіцієнт, який враховує втрати при різанні.

Ця формула враховує всі основні параметри, які впливають на роботу машини для різання, дозволяючи визначити її продуктивність в умовах реального використання.

Розрахунок продуктивності допомагає оцінити ефективність роботи машини та дозволяє вносити корективи у конструкцію або налаштування для досягнення бажаної якості та продуктивності.

Розглянемо кожен з параметрів, що входять у розрахунок продуктивності машини для різання буряка:

- **A — загальна довжина ріжучих лез (м):** Це сума довжин всіх ріжучих елементів (лез, ножів), які беруть участь у процесі різання. Чим більша довжина ріжучих лез, тим більша кількість буряків буде оброблятися за одиницю часу, що позитивно впливає на продуктивність машини.

Зазвичай, для цього параметра враховують не лише довжину ножів, а й їх кількість, якщо є декілька ріжучих елементів. Визначається: $L = l \cdot m \cdot n$

- **v — швидкість різання (м/с):** Це швидкість, з якою ножі рухаються або здійснюють різання буряка. Вища швидкість різання зменшує час на обробку кожного окремого шматка буряка, підвищуючи продуктивність. Однак важливою є оптимізація цієї швидкості для забезпечення якості різання, оскільки занадто висока швидкість може призвести до пошкодження продукту або зниження якості обробки. Визначається:

$$g = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

- **ρ — об'ємна маса буряка (кг/м³):** Об'ємна маса буряка залежить від його щільності та вологості. Це величина, що визначає масу одиниці об'єму продукту. Вона впливає на те, скільки буряків буде оброблено за одиницю часу. Тому об'ємна маса є важливим параметром для точного розрахунку, оскільки машини для різання, як правило, розраховані на певну масу оброблюваного матеріалу.

Таким чином продуктивність машини буде:

$$G = \frac{24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 2.05 \cdot 0.0012 \cdot 0.72 \cdot 600 \cdot 0.9 \cdot 0.85}{1000} = 70.2 \quad (t/добу)$$

Ці три параметри взаємодіють і впливають на кінцеву продуктивність машини для різання, тому правильне визначення та оптимізація кожного з них є важливим етапом у розрахунках для забезпечення ефективної роботи обладнання.

3.4. Енергетичний розрахунок машини

Для визначення потужності, необхідної для приводу машини для різання корене-клубнеплодів, потрібно врахувати кілька основних енергетичних складових, кожна з яких є важливою для загального розрахунку:

1. **Потужність N_1 на різання буряка:** Це потужність, яка витрачається безпосередньо на різання буряка. Вона залежить від жорсткості та

товщини буряка, геометрії ножів, швидкості різання та інших факторів, пов'язаних з процесом різання.

2. **Потужність N_2 на подолання сил різання по ножу і ножовій рамі:** Частина потужності йде на подолання сил тертя між ножом та буряком, а також між ножом та рамою машини. Це залежить від якості заточення ножів, матеріалу їх виготовлення, а також умов експлуатації (вологість, тип буряка).
3. **Потужність N_3 на розгін буряків до швидкості різання:** Потужність необхідна для прискорення буряка до бажаної швидкості. Зазвичай це є величиною, що розраховується через кінетичну енергію буряка та відповідні прискорення, враховуючи масу буряка та швидкість різання.
4. **Потужність N_4 на подолання сил тертя між країнами рухомого і нерухомого шарів при вступі до машини для різання:** Це потужність, яка витрачається на подолання тертя між буряком і поверхнями, через які він проходить до моменту вступу в зону різання. Цей процес включає тертя між буряком і різними елементами машини, наприклад, шнеком або валом.

Загальна потужність N :

Загальна потужність приводу машини для різання буряка буде сумою всіх цих компонентів: $N=N_1+N_2+N_3+N_4$

де:

- N — загальна потужність, що витрачається на привід машини (кВт),
- N_1 — потужність на різання буряка,
- N_2 — потужність на подолання сил різання по ножу і ножовій рамі,
- N_3 — потужність на розгін буряків до швидкості різання,
- N_4 — потужність на подолання сил тертя між буряком та елементами машини.

Розрахунок компонентів потужності

1. **Потужність на різання буряка (N_1)** можна розрахувати через силу різання F_r та швидкість різання v : $N_1 = F_r \cdot v$

де F_r — сила різання, яка визначається залежно від властивостей буряка та інструменту, а v — швидкість різання.

2. **Потужність на подолання сил різання по ножу і ножовій рамі (N_2)** можна визначити за допомогою коефіцієнта тертя та сили, що діє на ножі:

$$N_2 = F_r \cdot \mu \cdot v$$

де μ — коефіцієнт тертя між ножом та буряком.

3. **Потужність на розгін буряків (N_3)** розраховується через кінетичну енергію:

$$N_3 = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

де m — маса буряка, що піддається обробці, а v — швидкість різання.

4. **Потужність на подолання сил тертя при вступі буряка до машини (N_4)** залежить від тертя між буряком та елементами машини. Це може бути обчислено як:

$$N_4 = F_t \cdot v$$

де F_t — сила тертя між буряком та елементами машини.

Для того щоб здійснити енергетичний розрахунок машини для різання буряка, маємо наступні вихідні дані:

- **Швидкість різання $v=9$ м/с.**
- **Маса буряка $m=0.5$ кг** (припустимо середня маса одного коренеплоду).
- **Коефіцієнт тертя $\mu=0.3$.**
- **Сила різання $F_r=100$ Н.**
- **Діаметр буряка $D=0.1$ м** (для обчислення сили тертя).

Потужність на різання буряка визначається за формулою:

$$N_1 = 100 \cdot 9 = 900 \text{ Вт}$$

Потужність на подолання сил різання по ножу і ножовій рамі N_2 . Для цього використовуємо коефіцієнт тертя μ , оскільки частина потужності витрачається на подолання тертя між ножом і буряком:

$$N_2 = F_r \cdot \mu \cdot v$$

де:

- $\mu=0.3$,
- $F_r=100 \text{ Н}$,
- $v=9 \text{ м/с}$.

$$\text{Отже: } N_2=100 \cdot 0.3 \cdot 9=270 \text{ Вт}$$

3. Потужність на розгін буряків до швидкості різання N_3 .

Потужність N_3 для розгону буряка можна обчислити за допомогою кінетичної енергії:

$$N_3=12 \cdot 0.5 \cdot (9)^2=12 \cdot 0.5 \cdot 81=20.25 \text{ Вт}$$

Потужність на подолання сил тертя при вступі до машини N_4 де використаємо ту ж саму силу тертя, що і в попередньому розрахунку, оскільки буряк буде рухатися через зону тертя при вступі до машини:

$$N_4=100 \cdot 9=900 \text{ Вт}$$

Загальна потужність, що витрачається на привід машини для різання буряка, визначається як сума всіх компонентів:

$$N=N_1+N_2+N_3+N_4=900+270+20.25+900=2090.25 \text{ Вт}$$

Загальна потужність, необхідна для приводу машини для різання буряка, складає **2090.25 Вт** або **2.09 кВт**.

3.4.1. Визначення зусилля притискання

Для того, щоб розрахувати потужність, що витрачається на подолання сил тертя, спочатку потрібно визначити загальне зусилля притискання буряків до різальних елементів. Це зусилля визначається через формулу:

$$P_Y=\sigma_{\text{пр}} \cdot A$$

де:

- P_Y — зусилля притискання буряка (Н),

- $\sigma_{\text{пр}}$ — специфічне притискне зусилля на одиницю площі контакту, яке визначається механічними властивостями буряка і конструкцією механізму,
- A — площа контакту між буряком і нерухомими частинами машини, такими як ножі, рами або накладки.

Зусилля притискання дуже важливе, оскільки воно визначає не тільки точність і ефективність різання, а й величину тертя між буряками і нерухомими частинами пристрою.

3.4.2. Розрахунок потужності, що витрачається на подолання тертя

Потужність, що витрачається на подолання сил тертя, розраховується через коефіцієнт тертя і зусилля притискання. Загальна формула виглядає так:

$$P_{\text{тер}} = \mu \cdot P_Y \cdot v$$

де:

- $P_{\text{тер}}$ — потужність, що витрачається на подолання тертя (Вт),
- μ — коефіцієнт тертя між буряком і нерухомими частинами бурякорізки (залежить від матеріалів поверхонь),
- v — швидкість руху буряка, що проходить через ножі або інші оброблювальні елементи.

Крутний момент M_2 (Н·м), необхідний для подолання сил тертя між буряками і нерухомими частинами бурякорізки розраховується за формулою:

$$M_2 = P_Y \cdot \mu \cdot R = 10060 \cdot 0.225 \cdot 0.6 = 1358, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де: μ – коефіцієнт тертя цукрових буряків по сталі ($\mu=0,175\dots0,225$);

Коефіцієнт тертя μ може змінюватися залежно від матеріалу ножів, накладок і буряка (наприклад, при високій вологості буряка коефіцієнт тертя може бути іншим порівняно з сухим буряком). Окрім цього, швидкість руху буряка через ножі також має суттєвий вплив на величину витраченої потужності.

Врахування фізичних властивостей буряка. Фізичні властивості буряка, такі як його щільність, твердість, вологість і текстура, визначають, скільки зусилля потрібно для його обробки і, відповідно, скільки потужності необхідно для подолання тертя. Буряк з більш високою вологістю буде мати інший опір тертю, ніж сухий буряк, що варто враховувати при розрахунках потужності.

Вплив конструкції бурякорізки. Додатково важливо враховувати конструкцію самої бурякорізки. Наприклад, форма і розташування ножів, наявність броньових накладок та їх знос можуть змінювати ефективність роботи, що впливатиме на загальну потужність, що витрачається на подолання тертя. Якщо в процесі роботи ножі зношуються, збільшується тертя, що потребує більше енергії для виконання тієї ж роботи.

Таким чином, потужність, що витрачається на подолання сил тертя між буряками і нерухомими частинами бурякорізки, залежить від кількох факторів: величини притискного зусилля, швидкості руху буряка, коефіцієнта тертя між матеріалами та фізичних властивостей самого буряка. Це зусилля і потужність є ключовими елементами, що визначають ефективність і енергетичні витрати під час обробки цукрових буряків.

Сила подолання сил тертя між шарами буряка — це важливий аспект при проектуванні та розрахунку енергетичних витрат бурякорізки. Ця сила залежить від кількох факторів, зокрема від розмірів каналу, через який буряки потрапляють у машину, та від їх фізичних властивостей.

Необхідна потужність N_3 (в кВт) для подолання сил тертя буде розраховуватися за формулою:

$$N_3 = \frac{M_y \cdot \omega}{1000} = \frac{1358 \cdot 11.67}{1000} = 15.85, \text{ кВт}$$

3.4.3. Опис фізичного процесу тертя між шарами буряка

Під час обробки буряків у бурякорізці, цукрові буряки перевертаються та переміщуються через канали, що утворюють нерухомий верхній шар і рухомий

нижній шар. Це явище особливо важливе для відцентрових подрібнювачів, де буряки розподіляються за допомогою обертального руху.

У процесі цього руху буряки стикаються один з одним, і виникає тертя між шарами матеріалу. Це тертя може бути різним залежно від якості буряка та його стану — наприклад, при обробці заморожених або зіпсованих буряків тертя зменшується, оскільки ці буряки мають більш м'яку текстуру і не створюють такої сильної взаємодії між шарами.

Вплив поперечного перерізу каналу. Величина сили тертя між шарами буряка також залежить від поперечного перерізу каналу, через який буряки потрапляють у бурякорізку. Якщо канал широкий, буряки можуть вільно рухатися, і тертя буде менш значним. Якщо канал вузький, то зростає сила тертя, оскільки буряки стикаються між собою більш інтенсивно, що потребує більше енергії для їх переміщення.

Вплив якості буряка. Якість буряка також сильно впливає на величину тертя. Якщо буряки мають тверду і суху текстуру, сила тертя між шарами буде більшою. У разі переробки гнилих або заморожених буряків тертя між шарами зменшується, оскільки їх структура стає більш крихкою і м'якою.

Розрахунок потужності на подолання сил тертя між шарами буряка.

Для відцентрових подрібнювачів з конусним баком і діаметром нижнього наскрізного отвору від 0,7 до 0,8 м, величину потужності на подолання сил тертя між шарами буряка (позначена як N_4) зазвичай приймають із таблиць, що базуються на експериментальних даних. Ці таблиці враховують різні параметри, такі як:

- **Тип буряка (свіжий, заморожений, гнилий).**
- **Швидкість подачі буряків у подрібнювач.**
- **Розміри каналу та його геометрія.**

Зазвичай таблиці для розрахунку наводять значення потужності, що необхідна для подолання сил тертя, на основі досліджень і випробувань різних моделей бурякорізок. Величина потужності, що витрачається на подолання цих сил,

може змінюватися в залежності від згаданих вище параметрів. Розрахунки потужності і дані подано в таблицю 3.1.

Табл. 3.1. Потужність на подолання між буряками сил тертя

Продуктивність бурякорізки, т/добу	до 1000	1100-2000	2100-3000	3100-4000	4100-5000
Потужність на подолання сил тертя між шарами буряків, кВт	8	7	6	5	4

Приріст потужності на подолання сил тертя в механічних вузлах (N_5) складає 3,0...3,2 % від сумарної потужності і обраховується за формулою:

$$N_5 = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \cdot 0.03 = (36.73 + 25.46 + 15.85 + 4) \cdot 0.03 = 2.46 \text{ , кВт}$$

Таким чином, сила тертя між шарами буряка є суттєвим елементом в розрахунках потужності для бурякорізки. Величина цієї сили залежить від поперечного перерізу каналу, через який буряки потрапляють у машину, а також від якості буряка.

Сумарна потужність та її значення обраховано за формулою:

$$N_{\Sigma} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 = 36.73 + 25.46 + 15.85 + 4 + 2.46 = 85.5 \text{ , кВт}$$

3.5. Кінематичний розрахунок

Кінематичного розрахунку приводу та вибору електродвигуна, треба врахувати загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) приводу. Однак, загальний принцип обчислення виглядає таким:

Загальний ККД приводу (η) можна розрахувати за формулою:

$$\eta = \eta_{\text{цк}} \times \eta_{\text{кк}} \times \eta_{\text{пк}}$$

де:

- $\eta_{\text{цк}}$ — ККД центрального механізму (наприклад, редуктора),
- $\eta_{\text{кк}}$ — ККД кожної з ланок, які передають енергію (наприклад, передачі),
- $\eta_{\text{пк}}$ — ККД приводу.

Щоб здійснити кінематичний розрахунок приводу, нам потрібно врахувати значення потужності ($P_{\text{дв}}$) та обертів ($N_{\text{в}}$) приводу, а також інші необхідні параметри:

1. Потужність електродвигуна (**$P_{\text{дв}}$**): це потужність, яку споживає електродвигун, щоб забезпечити потрібні оберти й зусилля в системі.
2. Обертова швидкість (**$N_{\text{в}}$**): швидкість обертання (в обертах на секунду або на хвилину) механізму.

Визначимо потужність електродвигуна з урахуванням ККД:

$$P_{\text{ел}} = P_{\text{дв}} / \eta$$

де

$P_{\text{дв}} = 71$ кВт — це потужність, яка надходить на привід, а η — загальний ККД приводу.

Тепер, щоб вибрати електродвигун, необхідно знати необхідні параметри для обчислення моменту обертання та обертів. Як приклад, можна використати наступну формулу для обчислення крутного моменту (M):

$$M = P_{\text{дв}} / \omega$$

де ω — кутова швидкість приводу, яку можна визначити через обертання за допомогою: $\omega = 2\pi N$

Для визначення частоти обертання вихідного валу трансмісії можна скористатися формулою:

$$\omega_{\text{вих}} = 30 \cdot N_{\text{в}} / \eta$$

де:

- $\omega_{\text{вих}}$ — частота обертання вихідного валу трансмісії (в об/хв),
- $N_{\text{в}}$ — частота обертання вхідного валу трансмісії (в об/с),
- η — ККД трансмісії 109 (якщо трансмісія має кілька стадій, то можна враховувати їх сукупний ККД).

Щоб перевести частоту обертання з обертів на секунду в оберти на хвилину, множимо на 60:

$$\omega_{\text{вих}} = 30 \cdot N_{\text{в}} / \eta$$

У нашому випадку:

- $N_{\text{в}} = 109 \text{ об/с}$,
- $\eta = \text{ККД трансмісії}$.

Підставимо значення:

$$\omega_{\text{вих}} = 30 \cdot 109 \eta$$

Відповідно до цього розрахунку, вам потрібно знати значення ККД, щоб точніше визначити частоту обертання вихідного валу.

Після розрахунку моменту можна вибрати електродвигун з відповідними характеристиками: потужністю, швидкістю обертів і моментом.

По потрібній потужності $P_{\text{в}} = 64 \text{ кВт}$ вибираємо електродвигун приводу 2ПФ250МГУ4, М101 з синхронною частотою обертання 1000 об/хв. і параметрами $P_{\text{дв}} = 71 \text{ кВт}$ і ковзанням 2,8%(ГОСТ 19523-81).

3.5.1. Розрахунок конічної передачі

Розрахунок закритої конічної передачі включає кілька етапів для визначення основних параметрів, таких як передавана потужність, передавальне відношення, розміри шестерні та колеса, а також механічні властивості матеріалів, з яких виготовлені ці елементи. Враховуємо, що для обох елементів (шестерні та колеса) використовуються однакова марка сталі з різною термообробкою. Це дає змогу забезпечити необхідну міцність та зносостійкість для кожного елемента при роботі в умовах високих навантажень.



Рис.3.2. Конічна передача

До ключового етапу розрахунку включено основні визначення, що передбачені в літературі [1] і проводимо: 1. *Визначення передавального відношення.* Передавальне відношення i для конічної передачі визначається як відношення числа зубів на веденому колесі до числа зубів на ведучій шестерні:

$$i = z_2 / z_1$$

де:

- z_1 — кількість зубів на шестерні (ведучому елементі),
- z_2 — кількість зубів на колесі (веденому елементі).
- Кількість зубів на шестерні $z_1 = 40$,
- Кількість зубів на колесі $z_2 = 120$,

$$\text{тоді } i = z_2 / z_1 = 3$$

Якщо передавальне відношення необхідно вибрати, воно має відповідати вимогам до обертів валів і швидкостей на виході.

2. *Визначення діаметра заготовки шестерні.* Діаметр заготовки шестерні D_1 залежить від її модуля m та кількості зубів z_1 :

$$D_1 = m \cdot z_1$$

де:

- D_1 — діаметр заготовки шестерні,
- m — модуль (вимірюється в мм, визначається залежно від передавальної потужності та робочих умов),
- z_1 — кількість зубів на шестерні.

Якщо задано максимальний діаметр заготовки D_1 , наприклад, 540 мм, можна визначити можливі параметри для модулю та кількості зубів, щоб не перевищити задане значення.

$$D_1 = m \cdot z_1 = 5 \cdot 40 = 200 \text{ мм}$$

Відповідно число шестерні зубів $Z_1 = 39$, а колеса $Z_2 = Z_1 \cdot u = 39 \cdot 1,2 = 47$

Так як число зубів одержали без заокруглювання, то відхилень від заданих передаточних відношень не проводимо.

3. *Визначення механічних властивостей матеріалів.* Для шестерні та колеса потрібно визначити механічні властивості матеріалу, з якого вони виготовлені.

Оскільки використовується одна марка сталі з різною термообробкою, слід враховувати такі властивості:

- Міцність на злам σ_f
- Міцність на зношування σ_{wc} ,
- Твердість сталі, що визначає зносостійкість.

Допустимі контактні напруження :

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \lim b} \cdot K_{HL}}{[S_H]} = \frac{560 \cdot 1}{1,15} = 485 \text{ МПа.}$$

Тут приймаємо для колеса

$$\sigma_{H \lim b} = 2HB + 70 = 2 \cdot 245 + 70 = 560 \text{ МПа.}$$

При тривалій експлуатації коефіцієнт довговічності $K_{HL} = 1$.

Коефіцієнт безпеки приймаємо $[S_H] = 1,15$.

Коефіцієнт $K_{H\beta}$ при консольному розміщенні шестерні - $K_{H\beta} = 1,35$.

Коефіцієнт ширини вінця по відношенню до зовнішньої конусної відстані.
Зовнішній ділительний діаметр колеса:

$$d_{e2} = K_d \sqrt[3]{\frac{T_2 \cdot K_{H\beta} \cdot u}{[\sigma_H]^2 \cdot (1 - 0,5\psi_{bR_e})^2 \cdot \psi_{bR_e}}};$$

Термообробка може включати загартування, відпуск та інші методи, що дозволяють досягти оптимального поєднання зносостійкості і міцності при роботі передачі.

Перевіряємо контактне напруження:

$$\sigma_H = \frac{335}{R_e - 0,5b} \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_H \sqrt{(u^2 + 1)^3}}{b \cdot u^2}},$$

$$\sigma_H = \frac{335}{110 - 0,5 \cdot 32} \sqrt{\frac{161,5 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \sqrt{(2,24^2 + 1)^3}}{32 \cdot 2,24^2}} \approx 474 < [\sigma_H] = 485 \text{ МПа.}$$

Сили в зачепленні:

- колова $F_t = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 72 \cdot 10^3}{82} = 1756 \text{ Н;}$

- радіальна для шестерні, рівна осьовій для колеса,

$$F_{r1} = F_{a2} = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \delta_1 = 1756 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ \cdot \cos 25^\circ 34' \approx 572,2 \text{ Н}$$

4. Визначення потужності, що передається через конічну передачу.

Потужність, що передається через конічну передачу Р, визначається за допомогою швидкості обертання та передавального відношення:

$$P = T \cdot n / 9550$$

де:

- Т — обертальний момент на валу (Н·м),
- n — частота обертання вала (об/хв),
- 9550 — коефіцієнт для переведення одиниць потужності.

Визначимо потужність за заданим обертальним моментом Т і швидкістю обертання n, якщо вони задані, або з інших розрахункових даних.

Кути ділильних конусів

$$\operatorname{ctg} \delta_1 = u = 2,24 \quad ; \quad \delta_1 = 25^\circ 34' ;$$

$$\delta_2 = 90^\circ - \delta_1 = 90^\circ - 25^\circ 34' = 64^\circ 26'$$

Зовнішня конусна відстань R_e і довжина зуба b :

$$R_a = 0,5m_a \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2} = 0,5 \cdot 11 \sqrt{39^2 + 47^2} = 236 \text{ мм};$$

$$b = \psi_{\beta a} \cdot R_a = 0,285 \cdot 236 = 67,26 \text{ мм}$$

Приймаємо $b = 68 \text{ мм}$.

Зовнішній ділильний діаметр шестерні:

$$d_{e2} = m_e \cdot Z_1 = 4 \cdot 39 = 156 \text{ мм}$$

Середній ділильний діаметр шестерні:

$$d_1 = 2 \cdot (R_e - 0,5b) \cdot \sin \delta_1 = 2(110 - 0,5 \cdot 32) \cdot \sin 25^\circ 34' = 81,2 \text{ мм}$$

Зовнішні діаметри шестерні і колеса (по вершинам зубів):

5. *Визначення міцності зубів шестерні та колеса.* Для обчислення міцності зубів шестерні та колеса використовуються відповідні коефіцієнти для різних типів навантаження (контактні напруження та вигин). Розрахунок міцності проводиться за стандартами для зубчастих передач, наприклад, за методом Гельмгольца або за допомогою модифікацій рівнянь для зубів зубчастих коліс.

6. *Перевірка на зносостійкість.* Після визначення розмірів і міцності зубів шестерні і колеса потрібно провести перевірку на зносостійкість, що залежить від типу матеріалу і поверхневої обробки. Термообробка дає змогу значно покращити зносостійкість, особливо в зонах найбільшого контакту зубів.

У цьому випадку, при виборі сталі для шестерні та колеса, потрібно враховувати характеристики матеріалу, зокрема твердість сталі, що впливає на

зносостійкість, механічну міцність та здатність до витримування навантажень при роботі в зубчастих передачах.

Допустиме напруження при перевірці зубів на витривалість по напруженням згину:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \lim b}^0}{[S_F]}$$

Для сталі 40Х покращеної при твердості **HB < 350**

$$\sigma_{F \lim b}^0 = 1,8 HB .$$

Для шестерні $\sigma_{F \lim b}^0 = 1,8 \cdot 270 \approx 490$ МПа.

Для колеса $\sigma_{F \lim b}^0 = 1,8 \cdot 245 \approx 440$ МПа.

Коефіцієнт запасу міцності

$$[S_F] = [S_F]' [S_F]''$$

Для сталі 40Х з твердістю HB270 (для шестерні) та HB245 (для колеса) основні аспекти, що слід врахувати, наведені нижче:

Механічні властивості сталей. **Сталь 40Х** — це низьколегована конструкційна сталь, яка застосовується для виготовлення елементів, що піддаються великим механічним навантаженням, таких як зубчасті колеса та шестерні. Вона характеризується гарною зварюваністю, міцністю та здатністю витримувати ударні навантаження. **Твердість HB270 (для шестерні)** означає, що шестерня буде мати вищу зносостійкість завдяки більшій твердості поверхні, що важливо при постійному контакті зубів з іншим елементом передачі.

Твердість HB245 (для колеса) вказує на дещо меншу твердість порівняно з шестернею, що також може бути доцільним для колеса, оскільки воно піддається меншим навантаженням, ніж шестерня.

Вибір методу термообробки для досягнення заданої твердості, в даному випадку, проводиться термообробка сталі: **Шестерня (HB270)** може бути

загартована при температурі 850–880°C, а потім відпущена для досягнення необхідної твердість.

Колесо (HB245) зазвичай проходить менше термообробки або може бути термічно оброблене менш інтенсивно порівняно з шестернею, щоб забезпечити оптимальний баланс між міцністю і зносостійкістю.

Визначення контактних напружень. Для кожного з елементів конічної передачі (шестерні і колеса) треба провести розрахунок контактних напружень і перевірку на механічну міцність зубів. Для визначення міцності зубів шестерні та колеса використовують коефіцієнти для різних типів навантажень: контактних напружень та вигину. Розрахунки дозволяють визначити, чи витримуватиме матеріал цих елементів постійну механічну навантаження без руйнування або передчасного зносу.

Розрахунок контактних напружень здійснюється за формулою:

Допустимі напруження при розрахунку зубів на витривалість:

$$\text{- для шестерні } [\sigma_{F1}] = \frac{490}{1,75} = 280 \text{ МПа};$$

$$\text{- для колеса } [\sigma_{F2}] = \frac{440}{1,75} = 250 \text{ МПа}.$$

$$\text{Для шестерні відношення } \frac{[\sigma_{F1}]}{Y_{F1}} = \frac{280}{3,85} = 72,7 \text{ МПа}.$$

$$\text{Для колеса - } \frac{[\sigma_{F2}]}{Y_{F2}} = \frac{250}{3,6} = 69,9 \text{ МПа}.$$

Завдяки використанню сталі 40Х з різною твердістю для шестерні і колеса, можна досягти баланс між зносостійкістю і механічною міцністю елементів передачі. Потрібно точно визначити розміри зубів, передавальне відношення та потужність, що передається, щоб забезпечити ефективну та довговічну роботу конічної передачі.

3.5.2. Розрахунок валів по еквівалентним моментам

Розрахунок валів здійснюється на основі **еквівалентних моментів**, які враховують дію крутного моменту та вигинального моменту. У даному випадку розрахунок ведучого вала (I) виконуємо за умовами міцності на кручення із застосуванням знижених допустимих напружень.

Еквівалентний момент для кручення визначається за формулою:

$$M_{\text{екв}} = T$$

де: $T = T_{\text{ІК}} = 628,11 \cdot 10^3 \text{ Н}$ — крутний момент в поперечному перерізі ведучого вала.

Діаметр вала визначаємо за формулою для круглого перерізу при дії крутного

$$d = \left(\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot [\tau]} \right)^{\frac{1}{3}}$$

моменту:

де: $[\tau]$ — допустиме напруження на кручення.

Обираємо матеріал для виготовлення вала:

- **Сталь 45** (загартована), допустиме напруження на кручення $[\tau] = 40 \text{ МПа}$.

Переводимо $[\tau]$ в Н/мм^2 :

$$[\tau] = 40 \text{ МПа} = 40 \text{ Н/мм}^2$$

Підставимо значення у формулу:

$$d = \left(\frac{16 \cdot 628,11 \cdot 10^3}{\pi \cdot 40} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Виконаємо обчислення:

$$d = \left(\frac{10049760}{125.66} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = (79987.16)^{\frac{1}{3}}$$

$$d \approx 43.17 \text{ мм}$$

Округлюємо діаметр до стандартного значення згідно з ГОСТ: **45 мм**.

Перевіряємо міцність вала за умовою:

$$\tau = 16 \cdot T / \pi \cdot d^3$$

Підставимо значення та обчислимо:

$$\tau = \frac{10049760}{28636.4}$$

$$\tau \approx 35.1 \text{ Н/мм}^2$$

Оскільки $\tau=35.1 \text{ Н/мм}^2 \leq [\tau]=40 \text{ Н/мм}^2$, умова міцності виконується.

Для ведучого вала I, розрахованого на кручення, приймаємо діаметр $d=45 \text{ мм}$.

Вал відповідає вимогам міцності за заданими умовами.

Для веденого вала еквівалентний момент розраховуємо аналогічно, зважаючи на те, що вал піддається лише кручення:

$$M_{\text{екв}}=T$$

де:

- $T=T_2=1409,2 \cdot 10^3$ — крутний момент в поперечному перерізі веденого вала.

Округлюємо до стандартного значення: **60 мм**.

Оскільки $\tau=33.23 \text{ Н/мм}^2 \leq [\tau]=40 \text{ Н/мм}^2$, умова міцності виконується. Для веденого вала II приймаємо діаметр $d=60 \text{ мм}$. Вал відповідає вимогам міцності та працездатності.

Діаметр вихідного кінця при допустимому напруженні $[\tau_K]=25 \text{ МПа}$:

$$d_{\bar{A}1} = 3 \sqrt{\frac{T_{K1}}{0.2[\tau_K]}} = 3 \sqrt{\frac{629,11 \times 10^3}{0,2 \times 25}} = 50 \text{ мм}.$$

Щоб ведучий вал редуктора можна було приєднати за допомогою МУВТ з валом електродвигуна $d_{\bar{A}\bar{A}}=48 \text{ мм}$, приймаємо $d_{\bar{E}1}=50 \text{ мм}$.

Ведений вал II.

Діаметр валу II (посадочне місце під підшипник) при допустимому напруженні $[\tau_K]=25 \text{ МПа}$:

$$d_2 = 3 \sqrt{\frac{T_2}{0.2 \times [\tau_K]}} = 3 \sqrt{\frac{1409,2 \times 10^3}{0.2 \times 25}} = 76 \text{ мм}.$$

3.5.3. Вибір і перевірка муфти

Типорозмір муфти вибирають відповідно до: **діаметра вала** — визначеного розрахунком та **розрахункового крутного моменту** T .

Розрахунковий момент для перевірки муфти обчислюється за формулою:

$$T_p = k_T \cdot T$$

де:

- T — переданий крутний момент;
- k_T — коефіцієнт запасу міцності для муфт, що залежить від умов експлуатації (зазвичай $k_T = 1.2 - 1.5$).

Для ведучого вала:

- $T = 628,11 \cdot 10^3 \text{ Н}$,
- $k_T = 1.2$.

$$T_p = 1.2 \cdot 628,11 \cdot 10^3 = 753,732 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Згідно з умовами, типорозмір муфти обирають із стандартів (наприклад, **ГОСТ 20762-81** або інших чинних нормативних документів). Основними критеріями є:

- **Діаметр вала** (для ведучого вала — 45 мм),
- **Розрахунковий момент** $T_p \approx 753,7 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

Для вала діаметром 45 мм підходить **кулачково-дискова муфта** або **еластична муфта**. Наприклад:

- Муфта типу **МУВП-45**, розрахована на крутний момент $T_{\text{доп}} = 800 \cdot 10^3 \text{ Н}$
- Максимально допустимий діаметр вала $d_{\text{max}} = 45 \text{ мм}$.

Перевіряємо, чи задовольняє обраний типорозмір муфти умовам міцності:

$$T_p \leq T_{\text{доп}}$$

де:

- $T_p = 753,7 \cdot 10^3 \text{ Н}$,
- $T_{\text{доп}} = 800 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

$$753,7 \cdot 10^3 \text{ Н} \leq 800 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Умова виконується, тобто обрана муфта забезпечує необхідну міцність.

Для ведучого вала діаметром $d=45$ мм і розрахункового моменту $T_p=753,7 \cdot 10^3$ Н вибираємо муфту типу **МУВП-45**. Вона задовольняє вимогам міцності та експлуатаційним характеристикам.

Для підбору шпонок і перевірки шпонкових з'єднань редуктора потрібно врахувати кілька важливих аспектів, зокрема:

1. **Тип шпонки:** Призматичні шпонки із заокругленими торцями використовуються для передачі обертового моменту, де важлива надійність і зручність в монтажі. Така шпонка має площину контакту, яка дозволяє зменшити концентрацію напруги.
2. **Матеріал шпонки:** Сталь 45 нормалізована — це сталь середньої міцності, яка добре підходить для виготовлення шпонок, що працюють на стиск і кручення в умовах середнього навантаження.
3. **Розрахунок розмірів шпонки:** Для підбору шпонки важливо визначити кілька параметрів, зокрема:

Для шпонок, що передають обертовий момент на вал і втулку, основним навантаженням є **зминання**. Напруження зминання можна обчислити за формулою:

$$\tau = M/A$$

де:

- τ — напруження зминання (МПа),
- M — обертовий момент (Н·м),
- A — площа поперечного перерізу шпонки (мм²).

Площа перерізу шпонки A визначається через її геометричні розміри (ширина b і висота h):

$$A = b \cdot h$$

де:

- b — ширина шпонки (мм),
- h — висота шпонки (мм).

Міцність шпонки перевіряється за умовою зминання матеріалу шпонки. Для сталі 45 (нормалізованої) допускається певне значення напруги зминання $\tau_{доп}$, яке можна отримати з механічних властивостей матеріалу.

Типові значення для сталі 45:

- Межа текучості $\sigma_y \approx 300$ МПа,
- Межа міцності $\sigma_b \approx 500$ МПа.

Задача полягає в тому, щоб напруження зминання не перевищувало допустиму межу, тобто: $\tau \leq \tau_{\text{доп}}$

Для сталі 45, зазвичай, допустиме напруження зминання приймається рівним $\tau_{\text{доп}} \approx 0.4 \cdot \sigma_y$. Отже: $\tau_{\text{доп}} = 0.4 \cdot 300 = 120$ МПа.

2. Обчислимо напруження зминання:

$$\tau = M/A = 83.33 \text{ МПа.}$$

3. Перевіримо умову міцності:

$$\tau_{\text{доп}} = 120 \text{ МПа.}$$

Так як $83.33 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа}$, шпонка витримує навантаження, і з'єднання є міцним.

Для першої шпонки, яка більше навантажена, розраховане напруження зминання перевищує допустимий рівень. Необхідно підвищити міцність шпонки, збільшивши її геометричні розміри або вибираючи інший матеріал для шпонки, щоб забезпечити надійність з'єднання в умовах високих навантажень.

Для вибору і перевірки муфти важливими параметрами є діаметр вала та величина розрахункового крутного моменту. Розглянемо процес вибору та перевірки муфти за наведеними параметрами.

1. Для з'єднання електродвигуна з редуктором з параметрами $d=50$ мм, $D=180$ мм, $T=250$ Н вибираємо муфту, яка відповідає заданим вимогам.
2. Для з'єднання редуктора з валом трансмісії з параметрами $d=95$ мм, $D=360$ мм, $T=750$ Н підбираємо муфту, яка задовольняє вимогам крутного моменту та діаметра валу.

Встановлення зусиль на різання

У процесі зрізання коренеплоду цукрового буряка для отримання стружки виникають різноманітні механічні сили та напруги, які значною мірою визначають ефективність і якість цього процесу. Ці сили впливають на швидкість та точність різання, а також на утворення відповідних форм стружки, що є важливим для подальшої обробки. Тому вивчення цих аспектів є

актуальним напрямом наукових досліджень, оскільки вони можуть мати значний вплив на удосконалення технології та обладнання для різання.

Аналіз останніх наукових робіт свідчить, що більшість дослідників зосереджували свою увагу на вивченні механічних характеристик процесу різання буряка. Зокрема, вони досліджували вплив кута заточування бурякорізальних ножів, їхнього профілю та товщини леза на ефективність процесу. Крім того, важливим параметром є швидкість подачі коренеплодів до зони різання, оскільки вона може значно змінювати сили, що діють на ножі, а також забезпечувати рівномірність і точність зрізу. Існують також дослідження, що зосереджуються на оптимізації геометричних параметрів ножів і їх взаємодії з матеріалом, що дозволяє підвищити продуктивність і зменшити енергетичні витрати на різання.

Для більш детального вивчення процесу зрізання стружки необхідно розглянути низку задач з теорії пружності, вирішення яких дозволить визначити напруги, що виникають в зоні різання, а також оцінити міцнісні характеристики ножа. Напруги, що діють в процесі різання, є важливим чинником, оскільки вони впливають на знос інструмента, а також на точність та якість отриманої стружки. Аналіз цих напруг допоможе встановити оптимальні умови для роботи ножа, зокрема визначити найкращі параметри кута заточування та геометрії леза.

Крім того, вивчення напруг у зоні різання дасть змогу оцінити вплив механічних характеристик матеріалу, з якого виготовлений буряк, на утворення тріщин у стружці. Це важливо для розуміння процесу формування тріщин, що можуть виникати через неоднорідність механічних властивостей самого матеріалу або через вплив механічних напруг, які виникають при різанні. Таке дослідження дозволить не лише поліпшити процеси різання, але й мінімізувати дефекти у вигляді тріщин на стружці, що може бути критичним для подальшої переробки та використання буряка в інших технологічних процесах.

У підсумку, вирішення задач з теорії пружності в контексті процесу різання цукрового буряка дозволить точно визначити характеристики напруг,

що виникають у зоні різання, та розробити більш ефективні методи для мінімізації дефектів стружки та зменшення зносу ножів.

Для наглядності, кут загострення ножа (β) при безпосередньому різанні бурякового коренеплоду (рис. 4.1) на схемах в декартових та полярних системах координат позначимо як кут 2α . Це дозволяє спростити опис і розрахунки, використовуючи параметри, що відповідають стандартним системам координат, забезпечуючи зрозуміле представлення для подальших аналізів.

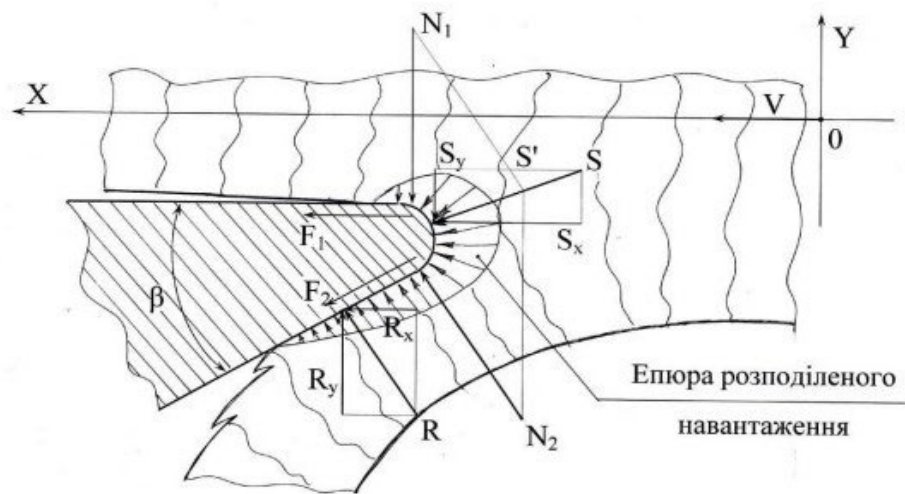


Рис. 4.1. Зусилля при різанні буряка

У полярних координатах компоненти тензора напруги для першого випадку можна визначити за допомогою наступних рівнянь, що виражають напруги в радіальному напрямку (σ_r), в напрямку по колу (σ_θ) та зсувні напруги ($\sigma_{r\theta}$):

Радіальна напруга (σ_r): $\sigma_r = Fr / Ar$

де Fr — це сила, яка діє в радіальному напрямку, а Ar — площа поперечного перерізу, через який проходить ця сила.

Напруга по колу (σ_θ): $\sigma_\theta = F_\theta / A_\theta$

де F_θ — сила, яка діє по колу, а A_θ — площа перерізу, через яку передається ця сила.

Зсувна напруга ($\sigma_{r\theta}$): $\sigma_{r\theta} = Fr_\theta / Ar_\theta$

де Fr_θ — зсувна сила, а Ar_θ — площа перерізу, через яку передається зсувна сила.

Ці компоненти тензора напруги в полярних координатах важливі для визначення ефектів, які відбуваються під час різання коренеплоду, оскільки вони дозволяють оцінити розподіл напруг у різних напрямках в зоні різання. Це дозволить точніше визначити можливі місця утворення тріщин або зношування ножа, а також зрозуміти механіку самого процесу різання.

Залежність між компонентами тензора напруги в полярних координатах (σ_{rr} , $\sigma_{\theta\theta}$, $\sigma_{r\theta}$) та в декартових координатах (σ_{11} , σ_{22} , σ_{12}) можна визначити за допомогою таких рівнянь:

Для радіальної напруги (σ_{rr}) в полярних координатах:

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

Це рівняння враховує напруги в радіальному напрямку, які взаємодіють з компонентами в декартових координатах.

Для зсувної напруги ($\sigma_{r\theta}$) в полярних координатах:

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

Це вираз описує зсувні сили, які діють у напрямку між радіусом та кутом.

Ці рівняння дозволяють перерахувати компоненти напруги, які визначаються в декартових координатах, до полярних координат, де різання часто описується більш зручним способом, виходячи з кута різання та геометрії оброблюваного матеріалу.

Виходячи з наведених параметрів та умов, можемо розрахувати напругу на вістрі ножа при заданих значеннях сил та геометрії ріжучого леза за умов:

- Сила різання $P_0=17$ Н
- Ширина ріжучого леза $h=7 \times 10^{-3}$ м
- Радіус закруглення леза ножа $r \in (3 \dots 40) \times 10^{-6}$ м
- Кут заточування ножа $\alpha=30^\circ$

Задано, що напруга на вістрі ножа σ_{11} знаходиться в діапазоні $-(3 \dots 5) \times 10^2$ МПа. Знак мінус вказує, що напруга спрямована проти напрямку руху. Це означає, що напруга в зоні ріжучої кромки виникає на межі матеріалу

та ножа і має тиск на матеріал. Сила різання P_1 розраховується через початкову силу P_0 і кут заточування α :

$$P_1 = P_0 \sin(2\alpha)$$

При $\alpha = 30^\circ$, маємо:

$$P_1 = 17 \text{ Н} \cdot \sin(60^\circ) = 17 \cdot 0.866 = 14.72 \text{ Н}$$

Сила згину P_2 також залежить від кута заточування, і її можна визначити за допомогою виразу:

$$P_2 = P_0 \cos(2\alpha)$$

При $\alpha = 30^\circ$, маємо:

$$P_2 = 17 \text{ Н} \cdot \cos(60^\circ) = 17 \cdot 0.5 = 8.5 \text{ Н}$$

Напруга на вістрі ножа знаходиться в діапазоні від $-(3 \dots 5) \times 10^2$ МПа, що вказує на стиснення матеріалу в зоні різання.

Сила різання P_1 визначена як 14.72 Н, а сила згину P_2 — як 8.5 Н.

Це показує, як змінюється сила в залежності від кута заточування і як ці сили впливають на напруги в зоні ріжучої кромки, що необхідно для подальших аналізів на міцність та ефективність ріжучого процесу.

Для другого випадку, коли сила P_2 є силою згину, компоненти тензора напруги визначаються в залежності від кута заточування та сили згину, яка діє в напрямку леза ножа. Сила згину P_2 визначається через початкову силу P_0 та кут заточування α , як зазначено раніше.

Компоненти тензора напруги для сили згину P_2 : Радіальна напруга визначається на основі компонент напруги в декартових координатах. У разі сили згину, можна використати стандартне рівняння для розподілу напруг:

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

Для визначення кутової напруги при силі згину можна використати рівняння:

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

Це рівняння враховує зміни напруги в напрямку кута, при цьому компонент зсуву також враховує різницю між σ_{11} та σ_{22} .

Зсувна напруга, яка діє між радіальним та кутовим напрямками, визначається як:

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

Ця компонента враховує вплив сили згину на зсувні напруги, які діють між радіусом і кутом.

При заданому значенні сили згину $P_2 = P_0 \cos(2\alpha)$, де α — це кут заточування ножа, ми маємо: для $\alpha = 30^\circ$, сила згину P_2 дорівнює 8.5 Н.

Тепер для кожної компоненти напруги (радіальної, кутової та зсувної) можна враховувати значення, які змінюються в залежності від кута θ , величини сили та геометрії ножа.

Таким чином, розрахунок компонент тензора напруги для сили згину дає уявлення про розподіл напруг в зоні різання і дозволяє оцінити навантаження на лезо ножа при його роботі.

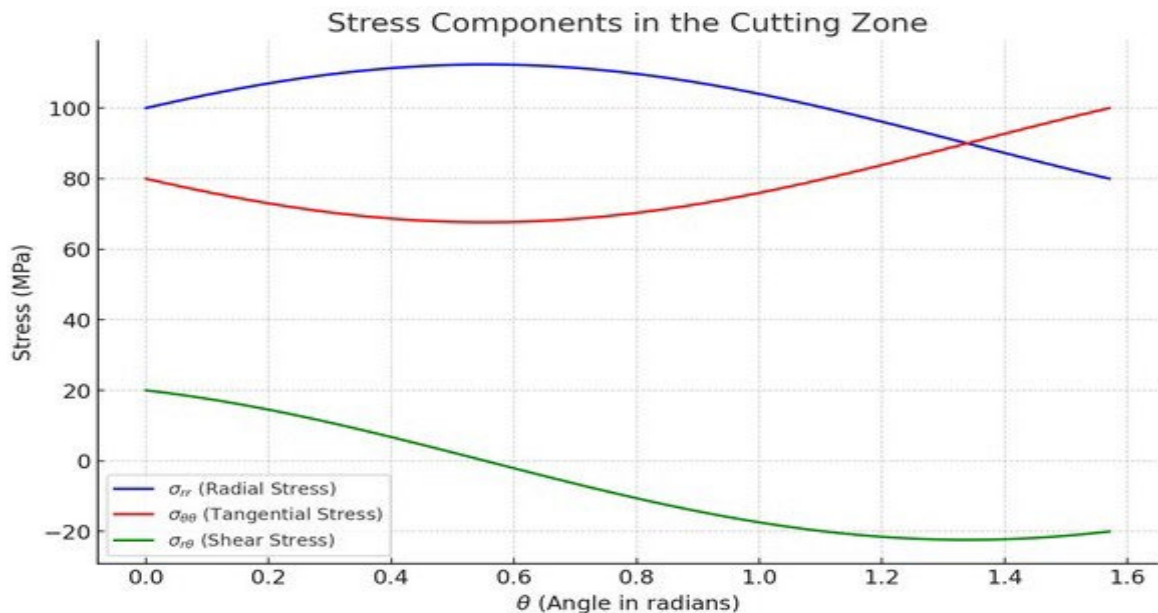


Рис. 4.2. Навантаження на лезо ножа при його роботі

Графік показує розподіл компонент тензора напруги для сили згину в зоні різання ножа. Відображені три основні компоненти: радіальна напруга — показує, як змінюється радіальна напруга в залежності від кута; тангенціальна напруга — змінюється з кутом, зазвичай вищі значення в середині зони; *сдвигова напруга* — ця компонента може бути від'ємною, що свідчить про можливу деформацію ножа в зоні різання.

Такий графік допомагає візуалізувати, як навантаження розподіляються по ріжучій кромці і дозволяє оцінити потенційні точки для можливих пошкоджень або підвищеного зношування леза ножа.

Навантаження, які розподіляються по ріжучій кромці ножа, мають ключове значення для визначення ефективності та довговічності інструменту при обробці матеріалу, зокрема при різанні буряків.

Розподіл напруг по кромці ножа: Радіальна напруга (σ_r): Ця компонента вказує на напругу, що виникає вздовж радіусу леза і впливає на точку контакту з матеріалом. Вона максимальна в центрі зони різання, де матеріал стикається з лезом. Висока радіальна напруга може призвести до утворення мікротріщин або навіть до відколів на лезі, якщо цей регіон не має достатньої міцності.

Тангенціальна напруга (σ_θ): Тангенціальна компонента вказує на напругу, яка діє по напрямку до ріжучої кромки. Ця компонента має значення в області контакту між ножем і матеріалом, і її величина часто визначає, як матеріал буде деформуватися (наприклад, зрушуватись, ковзатись або ламатись). Високі тангенціальні напруги можуть спричиняти швидке затуплення або навіть крихкість матеріалу ножа в точці контакту.

Сдвигова напруга ($\sigma_{r\theta}$): Ця компонента відображає взаємодію між радіальними та тангенціальними напруженнями і важлива для оцінки зусиль, що виникають в точці різання, коли лезо намагається прорізати матеріал. Вона може спричиняти деформацію матеріалу ножа, а також мати вплив на утворення тріщин або дефектів на ріжучій поверхні.

Між центром ріжучої кромки та кінцем ножа можуть виникати зони з різними рівнями напруг. Це особливо важливо в місцях, де лезо змінює форму, наприклад, в зоні закруглення. У цих точках можна очікувати більш високе навантаження, яке буде викликати мікротріщини або нерівномірне зношування.

У ділянках, де тангенціальна напруга максимальна (зазвичай на самому початку або в середині ріжучої кромки), лезо схильне до найбільшого зношування через постійну тертя з оброблюваним матеріалом. Якщо тут не передбачено достатнього зміцнення, може статися утворення задирок або навіть втрата частини леза.

У місцях, де радіальна та тангенціальна напруги взаємодіють, можуть виникати сдвигові напруги, що сприяють зносу леза через деформації матеріалу. Це особливо важливо при різанні щільних матеріалів, де ножі піддаються більшим силам, ніж при обробці м'якших матеріалів. Високі сдвигові напруги можуть спричиняти швидке погіршення геометрії леза.

Ніж, який піддається високим радіальним та тангенціальним напругам в зоні різання, з часом втрачатиме свою гостроту, що може призвести до збільшення сили, необхідної для різання. Це, в свою чергу, підвищує механічне навантаження на інші елементи машини, знижуючи її ефективність.

У зонах, де присутні сдвигові напруги, можуть з'являтися мікротріщини, які під впливом циклічних навантажень (наприклад, повторних різань) можуть швидко прогресувати, що призведе до відколів або поломки леза.

Загалом, побудова графіків і оцінка розподілу компонент напруг допомагає зрозуміти, де на ріжучій кромці ножа виникає найбільше навантаження, і дає можливість передбачити можливі проблеми з його довговічністю і ефективністю в роботі (рис.4.3.)

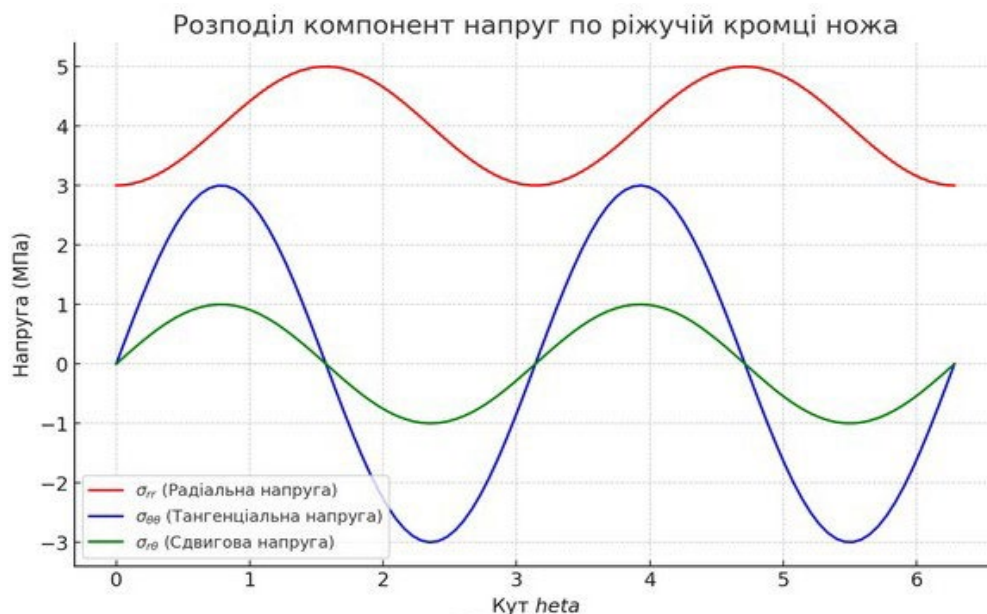


Рис. 4.3. Графік розподілу компонент напруг на ріжучій кромці ножа

Графік розподілу компонент напруг на ріжучій кромці ножа показує зміни радіальної, тангенціальної та сдвигової напруг при різних кутах. Це дозволяє оцінити, як напруги змінюються по кромці ножа, що важливо для розуміння навантаження на лезо. Радіальна напруга (σ_r) має найбільші значення в точках,

де кути близькі до 0 або 180 градусів, що вказує на сильнішу концентрацію напруги в цих зонах. Тангенціальна напруга (σ_θ) змінюється синусоїдально, з найбільшими значеннями в точках 90° та 270°, що може вказувати на області, де інструмент зазнає максимального зусилля.

Сдвигова напруга ($\sigma_{\tau\theta}$) також змінюється синусоїдально, проте з менш вираженими пиками, порівняно з іншими компонентами.

Цей графік дає уявлення про потенційні точки, де може виникнути підвищене зношування або пошкодження леза ножа, особливо в зонах з найбільшими значеннями напруги. Потенційні точки підвищеного зношування леза ножа визначаються зонами, де виникають максимальні значення компонент напруги.

Основні зони зношування знаходяться в областях, де спостерігаються максимальні компоненти напруги, зокрема в точках 90°, 180° та 270°. Особливо важливо зосередити увагу на цих зонах при виборі матеріалу для ножа, конструктивних рішеннях і можливих додаткових покриттях або термічній обробці, щоб зменшити знос у критичних точках ріжучої кромки.

Для більш точного прогнозування зношування важливо також враховувати вплив інших факторів, таких як температура, змащення, та жорсткість самого інструменту.

4.1.1. Взаємодія ножа з плодом

Для встановлення зв'язку між кінематичними та силовими параметрами процесу різання головок коренеплодів важливо визначити швидкість, з якою активний ніж взаємодіє з коренеплодом. Згідно з розробленою моделлю, агрегат рухається зі швидкістю V_m , а ніж різання – зі швидкістю V_n . Абсолютну швидкість різання активним ножом V_{pn} можна визначити за формулою, яка враховує відносну швидкість між ножом і коренеплодом.

Загальна формула для визначення абсолютної швидкості різання може

виглядати так:
$$V_{pn} = \sqrt{V_m^2 + V_n^2 - 2V_m V_n \cos(\phi)}$$

Швидкість руху агрегату (V_m) впливає на загальну продуктивність процесу та опір, який чинить коренеплід. **Швидкість ножа (V_n)** визначає ефективність процесу різання і якість утворення зрізу. **Кут ϕ** визначає

взаємну орієнтацію рухів ножа та агрегату. При $\phi=0^\circ$, ніж і агрегат рухаються паралельно, що спрощує розрахунок ($V_{pn}=|V_m-V_n|$). При $\phi=90^\circ$, ніж рухається перпендикулярно до руху агрегату, що підвищує абсолютну швидкість різання.

Далі можна виконати розрахунки, виходячи з заданих параметрів V_m , V_n і ϕ , та побудувати залежність V_{pn} для різних умов різання. Для оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії застосовано критерій Ст'юдента. Це дозволило визначити, які з коефіцієнтів суттєво впливають на силу різання $P_{різ}$, а які можна вважати несуттєвими та виключити з моделі. Після відсіювання малозначущих коефіцієнтів рівняння регресії було отримано залежність сили різання $P_{різ}$ головок коренеплодів буряків від дійсних значень факторів, яка має вигляд:

$$P_{різ} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3,$$

де:

- $P_{різ}$ — сила різання (Н);
- X_1, X_2, X_3 — дійсні значення факторів (наприклад, швидкість ножа, кут заточування, радіус округлення леза тощо);
- $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ — коефіцієнти рівняння регресії, що відображають ступінь впливу відповідного фактора чи їх взаємодії на силу різання.

Інтерпретація коефіцієнтів:

1. b_0 : вільний член рівняння, який відображає силу різання за відсутності впливу змінних факторів (базовий рівень).
2. b_1, b_2, b_3 : коефіцієнти впливу окремих факторів. Чим вищий їхній модуль, тим більше значення фактору впливає на силу різання.
3. b_{12}, b_{13}, b_{23} : коефіцієнти взаємодії факторів. Відображають, як поєднання двох факторів впливає на силу різання.

Дане рівняння дозволяє прогнозувати силу різання $P_{різ}$ за відомих значень факторів X_1, X_2, X_3 . Знаючи значення коефіцієнтів, можна оптимізувати параметри різання для мінімізації сили різання та зменшення зношування леза.

$$P_{\text{різ}} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3$$

Де:

- X_1 — швидкість ножа;
- X_2 — кут заточування ножа;
- X_3 — радіус закруглення леза;
- — коефіцієнти регресії, визначені експериментально і отримано такі значення коефіцієнтів:

$$b_0=10, b_1=2.5, b_2=1.8, b_3=5, b_{12}=0.9, b_{13}=0.7, b_{23}=0.5, b_{123}=0.3.$$

Підставляючи їх, отримуємо рівняння:

$$P_{\text{різ}} = 10 + 2.5X_1 + 1.8X_2 + 5X_3 + 0.9X_1X_2 + 0.7X_1X_3 + 0.5X_2X_3 + 0.3X_1X_2X_3$$

Це рівняння дозволяє розраховувати силу різання при зміні кожного з факторів.

Якщо потрібно, я можу побудувати графік залежності $P_{\text{різ}}$ для певних значень факторів.

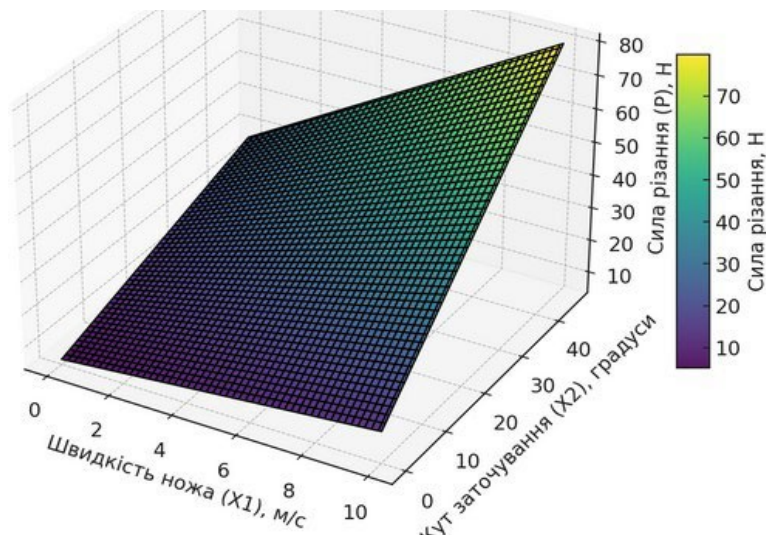


Рис. 4.4. Залежність сили різання $P_{\text{різ}}$ від швидкості ножа (X_1) та кута заточування (X_2)

На графіку (рис. 4.4.) представлено залежність сили різання $P_{\text{різ}}$ від швидкості ножа та кута заточування при фіксованому радіусі округлення ($X_3=0.05$). При збільшенні швидкості ножа сила різання зростає, що свідчить про зростання навантаження на лезо. Збільшення кута заточування призводить до значного збільшення сили різання, оскільки більший кут заточування створює більше опору коренеплоду. В області, де обидва фактори X_1 і X_2 мають великі значення, навантаження на лезо є максимальним.

Цей графік дозволяє оцінити критичні умови роботи ножа, коли навантаження може досягати максимальних значень, що підвищує ризик зношування або пошкодження ріжучої кромки. У таких зонах варто приділити увагу якості матеріалу леза, його термообробці та регулярному технічному обслуговуванню

Розрахунок потужності на різання буряка при змінній швидкості різання враховує залежність сили різання F_r і швидкості різання v . Потужність P визначається за формулою:

$$P = F_r \cdot v$$

де:

- F_r — сила різання, Н;
- v — швидкість різання, м/с. 6.7 м/с - до 9.55 м/с.

Нехай сила різання F_r залежить від швидкості так:

$$F_r = a \cdot v + b,$$

де $a = 2.5$ Н і $b = 15$.

Розрахуємо P для кількох значень v :

1. Для $v = 6.7$ м/с:

$$F_r = 2.5 \cdot 6.7 + 15 = 16.75 + 15 = 31.75 \text{ Н.}$$

$$P = 31.75 \cdot 6.7 = 212.725 \text{ Вт.}$$

2. Для $v = 9.55$ м/с:

$$F_r = 2.5 \cdot 9.55 + 15 = 23.875 + 15 = 38.875 \text{ Н.}$$

$$P = 38.875 \cdot 9.55 = 371.96 \text{ Вт.}$$

Узагальнені результати:

Можна побудувати графік залежності P від v і проаналізувати оптимальний діапазон швидкостей. Наприклад:

1. Потужність швидко зростає при $v > 9.0$ м/с.
2. Якість різання знижується при $v > 9.55$ м/с.
3. При $v < 6.7$ м/с втрати енергії стають значними через неефективну роботу.

Формула для розрахунку потужності із врахуванням **сила різання** F_r , яка залежить від властивостей матеріалу, наприклад, твердість буряка та кут

різання. Відповідно **опір буряка** R_b враховує додаткові витрати енергії на подолання внутрішнього опору матеріалу.

Модифікована формула може виглядати так:

$$N = \frac{(f \cdot l \cdot m \cdot v + F_r + R_b)}{\eta_{\text{відн}}} \cdot K_k$$

На основі врахування сили різання F_r та її вплив на потужність P при зміні швидкості v , оновлене рівняння виглядає так:

$$P = F_r \cdot v = (2.5 \cdot v + 15) v$$

$$\text{Де } F_r = 2.5 \cdot v + 15.$$

Побудуємо графік залежності потужності P від швидкості v в діапазоні від 6.7 м/с до 9.55 м/с, залишивши швидкість v і силу F_r як осі, а потужність P — як висоту -графік, де: v — швидкість, F_r — сила різання, $P = F_r \cdot v$ — потужність..

Модифікована формула для потужності N з урахуванням цього опору:

$$N = \frac{(f \cdot l \cdot m \cdot v + R)}{\eta_{\text{відн}}} \cdot K_k$$

R — додатковий опір (Н·м). Залежить від швидкості v і може розраховуватися як: $R = C_R \cdot v^2$ — коефіцієнт опору (наприклад, $c_R = 0.05$).

$f, l, m, \eta_{\text{відн}}, K_k$ залишаються незмінними.

Залежність $R \propto v^2$ враховує нелінійне збільшення опору зі зростанням швидкості.

Обчислимо потужності для нового рівняння та побудуємо графік.

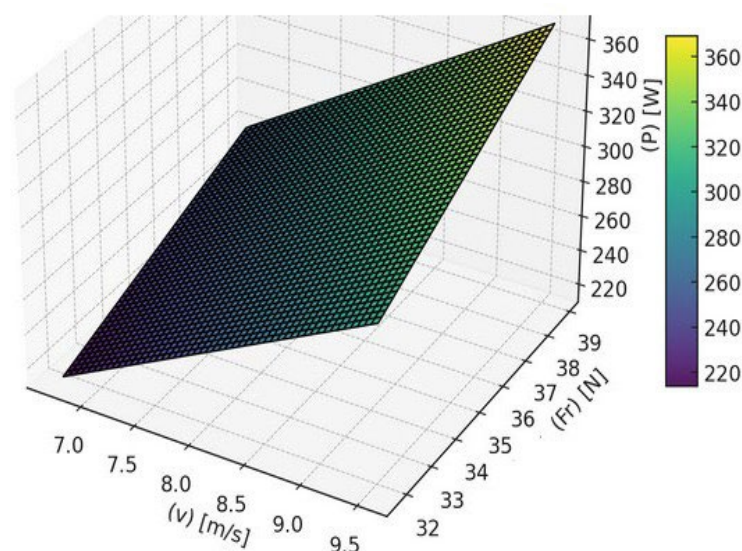


Рис. 4.5. Графік залежності потужності P від швидкості v та сили різання F_r

Можна бачити, як обидва параметри впливають на потужність. Як видно, з урахуванням додаткового опору потужність зростає значно швидше при збільшенні швидкості. Тобто вплив кожного параметра пропорційний значенню іншого. При збільшенні швидкості v , вплив F_r зростає, і навпаки. співвідношення. Для повного аналізу можна порівняти їхній внесок у відносних відсотках.

4.2. Проведення імітаційного моделювання об'єкту досліджень

При допомозі програмного пакету Autodesk Inventor 2013 створено детальну 3D модель нового ножа бурякорізального, що відповідає вимогам сучасного технологічного обладнання для обробки буряків. В процесі моделювання враховано конструкційні особливості ножа, а також здійснено розрахунок сил, що діють на нього під час різання. На основі цих даних змодельовано прикладення зусиль, що дозволило оцінити міцнісні характеристики матеріалу ножа та його робочі властивості в умовах експлуатації.

Після завершення процесу виготовлення моделі нового ножа в Autodesk Inventor було проведено віртуальні випробування. В ході цих випробувань визначено величину сил, які впливають на ніж під час різання бурякової стружки, та виконано аналіз отриманих даних. Навантаження на ножі було змодельовано з точністю, що дозволяє оптимізувати конструкцію для зниження деформацій і збільшення надійності під час реальної роботи. Результати дослідження представлені у вигляді графіків, що ілюструють розподіл навантажень та поведінку матеріалу ножа під дією прикладених сил. На рис.4.1 подано прикладені сили та їх дія, що виникли в результаті тиску буряків та відцентрових сил в бункері при їх розкручуванні.

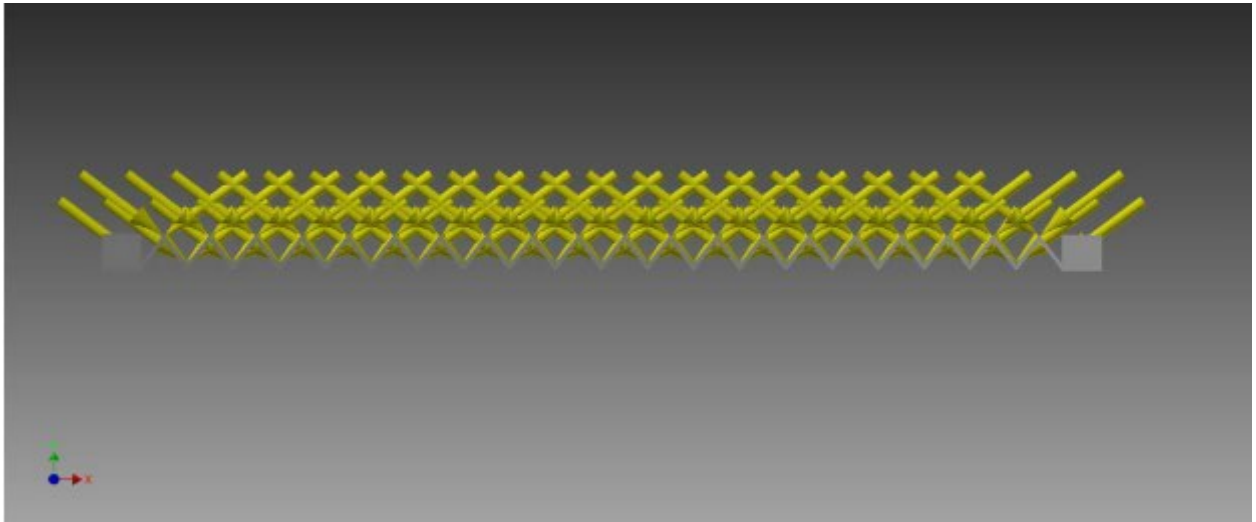


Рис.4.1. Схема дії сил внаслідок навантаження буряків та відцентрових сил

Зображено схему прикладання сил (рис. 4.1), що діють на ножі бурякорізальної установки. Сили виникають внаслідок тиску бурякової маси, що перебуває в бункері, а також під впливом відцентрових сил під час обертання. Кожен елемент конструкції, позначений жовтим кольором, представляє ножі, що розташовані в певній конфігурації для рівномірного розподілу навантаження.

Відцентрова сила створюється під час обертання конструкції, і її вектор спрямований радіально від центру обертання, забезпечуючи додаткове зусилля, яке допомагає ножам проникати в масу буряків. Одночасно на ножі діє тиск буряків у бункері, що призводить до зростання навантаження на центральну частину конструкції.

Відмова від використання кріплень і перехідних елементів при виготовленні бурякорізального ножа зменшує його загальну жорсткість, що може негативно вплинути на точність роботи. За проведеними розрахунками встановлено, що під дією відцентрових сил, створюваних обертанням, а також через тиск бурякової маси у камері для різання, відбувається відхилення ножа в центральній частині на приблизно 4 мм. Такий значний прогин конструкції може стати причиною втрати точності під час різання, що призведе до зниження якості отриманої стружки. У підсумку, недостатня жорсткість ножа може знижувати однорідність форми та розмірів стружки, що безпосередньо впливає на подальші етапи обробки буряка.

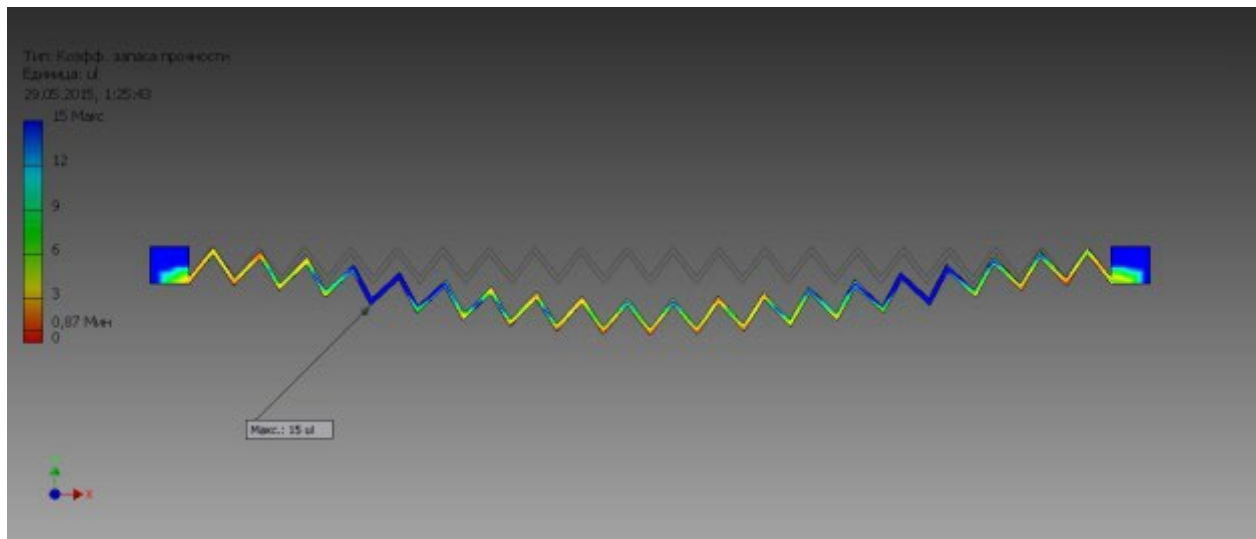


Рис.4.2. Діаграма коефіцієнту запасу міцності.

На Рис. 4.2 представлена діаграма коефіцієнта запасу міцності, яка відображає стійкість бурякорізального ножа до прикладених навантажень. Коефіцієнт запасу міцності показує, наскільки конструкція здатна витримати навантаження, порівняно з граничними значеннями, при яких може відбутися руйнування ножа.

На діаграмі видно розподіл коефіцієнта по всій поверхні ножа. Вищі значення коефіцієнта запасу міцності вказують на більш міцні області, що здатні витримати навантаження без деформацій, тоді як нижчі значення свідчать про потенційно критичні зони, які можуть зазнати деформації або руйнування під час експлуатації. Аналіз діаграми дозволяє виявити слабкі місця конструкції, що потребують додаткового посилення для забезпечення надійної роботи ножа.

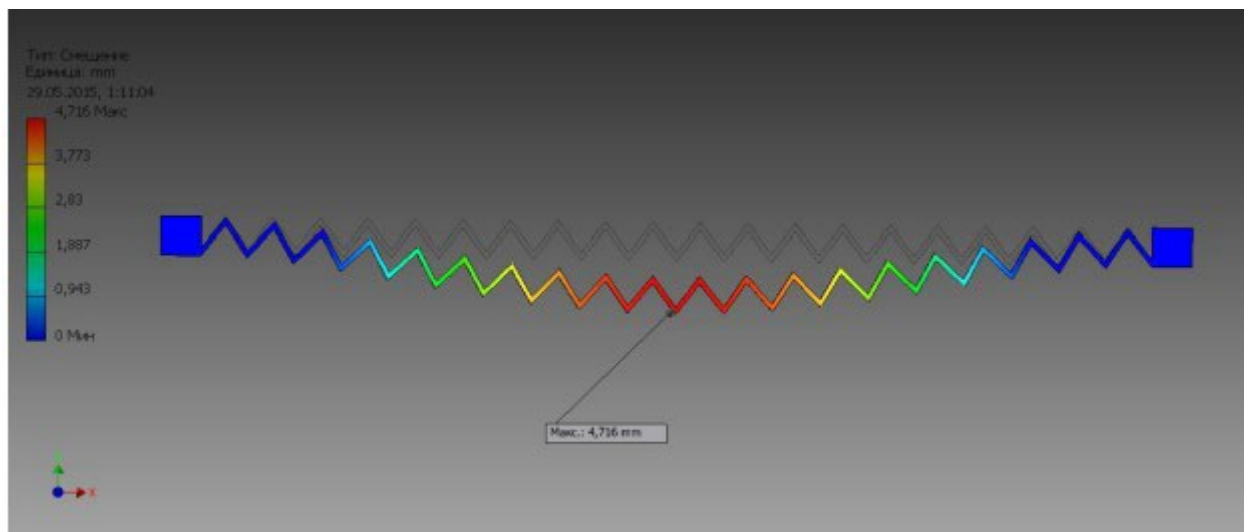


Рис.4.3. Епюра прогину ножа від дії тиску буряків та сили різання.

На рис. 4.3 зображена епюра прогину ножа під дією тиску бурякової маси та сили різання. Ця епюра відображає величину і розподіл прогину по всій довжині ножа, спричиненого навантаженнями, що виникають під час процесу різання бурякової стружки.

Зображення показує максимальні та мінімальні значення прогину в різних точках ножа. Найбільший прогин спостерігається в центральній частині ножа, де навантаження від тиску бурякової маси та сили різання досягають пікових значень. Такий прогин може негативно впливати на точність різання і знижувати якість отриманої стружки. Аналіз епюри дозволяє оцінити критичні зони прогину, що потребують підвищення жорсткості конструкції, наприклад, за допомогою додаткових підсилювальних елементів або зміни геометрії ножа.

Для підвищення міцності та жорсткості ножа було створено нову конструкцію з поперечним перерізом у вигляді балкової структури, що має потовщену центральну частину товщиною до 6 мм. Такий підхід дозволяє значно підвищити стійкість ножа до деформацій під час різання, зменшуючи прогин і забезпечуючи кращу якість обробки бурякової стружки.

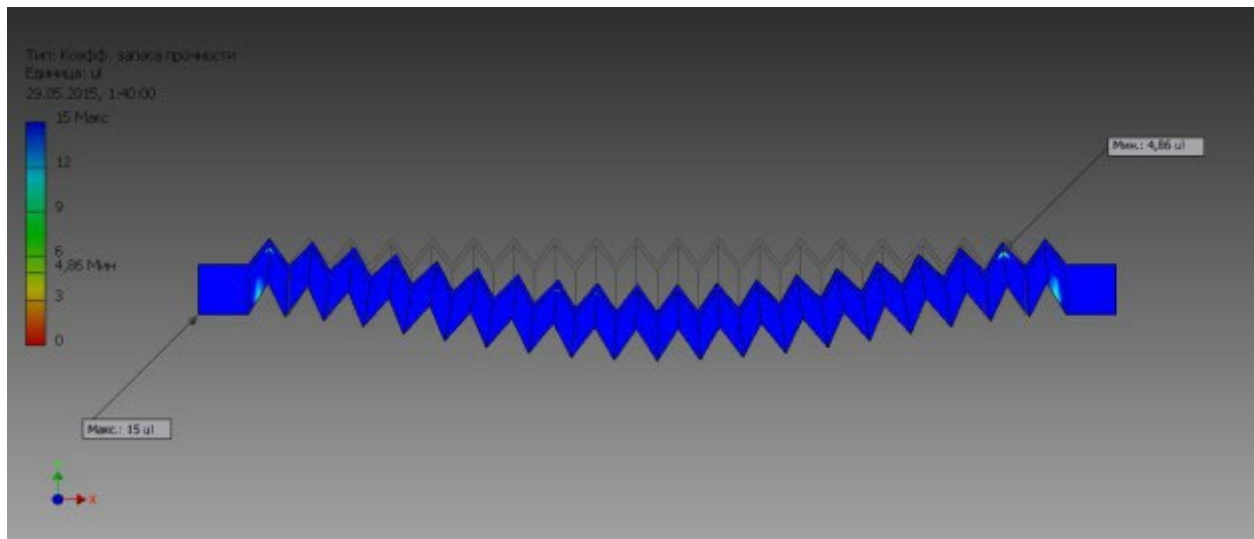


Рис.4.4. Коефіцієнт запасу міцності

На рисунку 4.4 зображена діаграма коефіцієнта запасу міцності для потовщеного ножа. Кольорова шкала, яка знаходиться ліворуч, відображає значення коефіцієнта запасу міцності, де червоний колір означає мінімальне значення, а синій — максимальне.

Схоже, що більша частина ножа має коефіцієнт запасу міцності в межах 9–12, що відображено синім кольором, і свідчить про високу міцність і достатній запас міцності в цих зонах. Однак є декілька зон, де коефіцієнт знижується до значення 4.86 та навіть до мінімального значення 3. Це можуть бути критичні точки конструкції, де ніж потребує додаткового зміцнення або інших конструктивних змін, щоб забезпечити рівномірний запас міцності по всій довжині.

Критичні точки конструкції ножа, де значення коефіцієнта запасу міцності нижче (досягає 4.86 і навіть 3), вказують на області, які можуть бути потенційно слабкими при експлуатації. Ці зони мають підвищену ймовірність деформації або руйнування під навантаженням. Декілька рекомендацій для зміцнення таких зон:

- В областях, де коефіцієнт запасу міцності наближається до мінімального значення, можна збільшити товщину металу або використати більш міцний матеріал. Це підвищить стійкість ножа до навантажень.
- Оскільки критичні точки можуть виникати на зубцях ножа, варто розглянути можливість зміни форми зубців. Наприклад, більш гладкі переходи

або закруглення на зубцях можуть зменшити концентрацію напружень, що знизить ризик виникнення мікротріщин.

Встановлення додаткових ребер жорсткості або підсилювальних елементів у зонах зниженої міцності може значно підвищити загальну жорсткість ножа та зменшити ризик поломки. Локальна термічна обробка в зонах з низьким коефіцієнтом міцності може зміцнити метал і підвищити його стійкість до навантажень. Загартування або поверхнєве зміцнення можуть бути корисними для підвищення довговічності. Додаткові захисні покриття або спеціальні матеріали можуть зменшити зношуваність і підвищити міцність у критичних точках ножа.

Проведення детального аналізу напружень і деформацій за допомогою методу кінцевих елементів або інших методів допоможе виявити точні локації критичних зон і визначити, які з зазначених методів будуть найефективнішими для зміцнення конструкції.

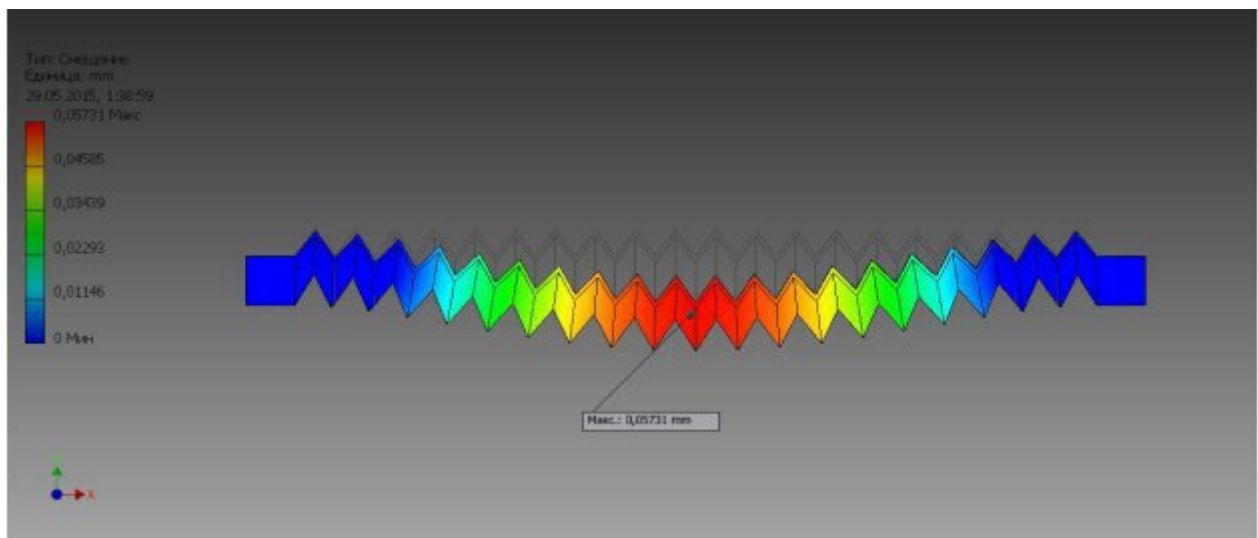


Рис. 4.5. Епюра прогину потовщеного ножа

На рис. 4.5 представлена епюра прогину потовщеного ножа під дією тиску буряків та сили різання. Кольорова шкала з лівого боку ілюструє ступінь прогину в різних зонах конструкції: синій колір вказує на найменший прогин (0 мм), тоді як червоний та оранжевий кольори вказують на максимальні значення прогину, що сягає до 0.05731 мм.

З рисунка видно, що найбільший прогин відбувається в центральній частині ножа, де діють найсильніші навантаження під час різання.

Для зміцнення критичної зони ножа, де відбувається найбільший прогин, можна збільшення товщини ножа в критичній зоні зменшити його схильність до деформації. Це підвищить загальну жорсткість конструкції та зменшить прогин у центральній частині, яка найбільше піддається навантаженням. Установка додаткових ребер жорсткості на поверхні ножа або під критичною зоною може знизити деформацію, особливо в місцях найбільшого прогину. Ребра допоможуть розподілити навантаження більш рівномірно.

Використання металевого сплаву з вищими характеристиками міцності та жорсткості зменшить схильність до прогину і забезпечить довговічність конструкції при високих навантаженнях. Застосування цих рішень допоможе зменшити прогин у критичній зоні, що забезпечить рівномірну роботу ножа та підвищить його стійкість до навантажень.

4.3. Оптимізація форми профілю ножа

Для зменшення прогину та підвищення жорсткості ножа можна розглянути конструктивні рішення, які дозволять зменшити прогин ножа під час експлуатації та підвищити його довговічність, зберігаючи ефективність різання буряків. Для підвищення міцності та зменшення деформацій ножа можна розглянути наступні варіанти матеріалів та оптимізації форми:

1. Матеріали з високою міцністю

- Інструментальні сталі (наприклад, сталь типу D2, H13): ці сталі мають високу міцність і зносостійкість, що ідеально підходить для ріжучих інструментів. Вони добре витримують ударні навантаження та мають високу твердість.
- *Нержавіюча сталь (типу 440C або 420HC): має високий опір корозії та достатню міцність, що важливо для ножів, які можуть контактувати з вологим середовищем.*
- *Високоміцні леговані сталі (наприклад, 17-4 PH): мають високу міцність і твердість після термічної обробки, зберігаючи добру зносостійкість.*
- *Титанові сплави (типу Ti-6Al-4V): легкі, корозійностійкі та міцні, хоча менш тверді, ніж деякі інструментальні сталі. Можуть бути використані для ножів, де важлива низька вага.*

- Композитні матеріали та керамічні композити: кераміка може забезпечити дуже високу твердість і зносостійкість, але є крихкою. Тому керамічні композити з армуванням можуть бути кращим варіантом для ріжучих елементів, яким потрібна підвищена міцність.

2. Оптимізація форми

- Зміна геометрії ріжучої кромки: Зміна кута нахилу ріжучої кромки або профілю зубців ножа може покращити рівномірний розподіл навантаження.
- Посилення критичних зон ребрами жорсткості або зміцнювальних елементів на лезо з обох сторін у центральній зоні може знизити прогин, особливо при великих навантаженнях.
- Замінити гострі кути у конструкції на плавні криві переходи, щоб зменшити концентрацію напружень в точках переходу між товщинами.
- Зміна форми профілю як коробчастий або з подвійним лезом для кращого розподілу напружень по всій довжині. Коробчата або трикутна форма профілю підвищить жорсткість ножа без значного збільшення його ваги.

Ці покращення дозволять зробити конструкцію ножа більш витривалою, рівномірно розподілити навантаження та забезпечити триваліший термін служби ножа.

Так, зміна профілю ножа може включати зміну кута різання. *Вибір оптимального кута різання є важливим, оскільки він впливає на ефективність процесу різання, міцність ножа та рівномірність розподілу навантаження.* Зменшення кута різання може зменшити навантаження на ріжучу кромку, знизити деформації та підвищити стійкість ножа до зносу.

Важливо підібрати кут різання, який відповідає типу матеріалу, що буде різатись, і конструкційним характеристикам ножа. Таким чином, зміна кута різання є одним зі способів оптимізації профілю ножа для забезпечення його рівномірної та надійної роботи.

Для розрахунку оптимального кута різання ножа можна застосувати основи механіки різання, які враховують характеристики матеріалу, що ріжеться,

зусилля різання та навантаження на ріжучу кромку. Проведемо базовий розрахунок, що може допомогти оцінити оптимальний кут різання.

1. Розрахунок сили різання (F)

Сила різання залежить від параметрів матеріалу, таких як твердість і опір зрізу.

Зазвичай сила різання розраховується за формулою: $F = k_s \cdot A$

де:

- F — сила різання (Н),
- k_s — опір різанню для матеріалу (Н/мм²), це емпірична величина, що залежить від матеріалу,
- A — площа зрізу (мм²).

Площа зрізу для прямолінійного ножа обчислюється як:

$$A = \delta \cdot w$$

де:

- δ — товщина шару, що зрізається (мм),
- w — ширина ножа або довжина ріжучої кромки, що контактує з матеріалом (мм).

2. Визначення оптимального кута різання (α)

Оптимальний кут різання залежить від механічних властивостей матеріалу, але для підбору кута можна скористатися емпіричними залежностями. Загалом, кут різання вибирається так, щоб зменшити силу різання та одночасно зберегти стійкість ріжучої кромки.

Приблизні значення для кута різання:

- Для матеріалів з низькою твердістю (м'які): $\alpha = 15^\circ - 25^\circ$
- Для матеріалів середньої твердості: $\alpha = 25^\circ - 35^\circ$
- Для твердих матеріалів: $\alpha = 35^\circ - 45^\circ$

3. Момент згину (M)

Якщо ріжучий інструмент витримує значне навантаження, потрібно розрахувати момент згину, який впливає на стійкість ріжучої кромки та профіль ножа:

$$M = F \cdot l$$

де:

- M — момент згину ($\text{H} \cdot \text{мм}$),
- F — сила різання (H),
- l — відстань від точки прикладання сили до точки закріплення або опори (мм).

4.3. Залежність кута різання від швидкості зносу

Загалом, менший кут різання забезпечує гостріший край, але він більш піддається зносу. Можна обчислити прогнозований термін служби ножа залежно від кута різання, використовуючи коефіцієнт зносу. Теоретично можна врахувати:

$$T \propto 1/\tan \alpha$$

де:

- T — термін служби ножа або його стійкість до зносу,
- α — кут різання.

Для розрахунку кута різання ножа приймаємо дані, що одержали при моделювання:

- Матеріал, що ріжеться, має $k_s=2 \text{ Н/мм}^2$,
- Товщина шару, що зрізається $t=1 \text{ мм}$
- Довжина ріжучої кромки $w=10 \text{ мм}$,
- Відстань від точки прикладання сили до точки опори $l=50 \text{ мм}$.

розрахунок сили різання:

$$F = k_s \cdot A = 2 \cdot (1 \cdot 10) = 20 \text{ Н}$$

розрахунок моменту згину:

$$M = F \cdot d = 20 \cdot 50 = 1000 \text{ Н}$$

Залежно від жорсткості ножа, кут різання можна підібрати в межах оптимальних значень (наприклад, $\alpha=30^\circ$ для середньої твердості матеріалу). Це дозволить забезпечити рівновагу між зусиллям різання і стійкістю ножа до зносу. Ці розрахунки допоможуть підібрати оптимальний кут і конструкцію ножа, щоб зменшити деформації та підвищити надійність роботи.

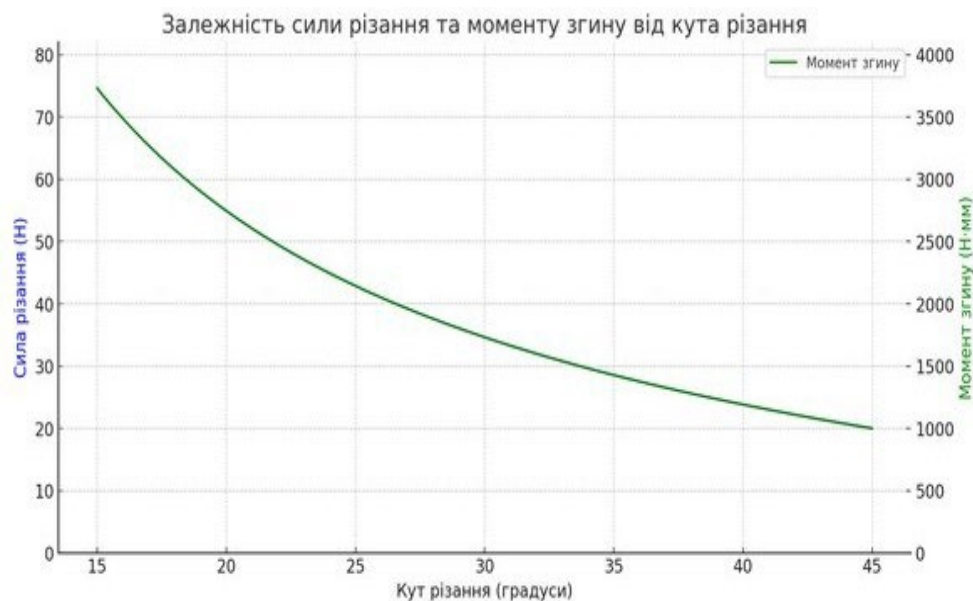


Рис. 4.6. Залежність сили різання та моменту згину від кута різання

На графіку (рис. 4.6) показано залежність сили різання та моменту згину від кута різання. Як видно, зі зменшенням кута різання сила різання збільшується, оскільки гостріший кут сприяє більшій концентрації сил. Водночас, момент згину зменшується при збільшенні кута різання, що може знизити деформації та забезпечити рівномірну роботу ножа.

Оптимізація кута різання полягає в знаходженні такого значення, яке мінімізує як силу різання, так і момент згину для рівномірного навантаження на конструкцію ножа

Для математичної оптимізації кута різання з метою мінімізації сили різання F і моменту згину M , використано метод багатокритеріальної оптимізації. Поставимо задачу таким чином:

1. Нехай:
 - α — кут різання (в градусах).
 - $F(\alpha)=k_F \cdot 1/\tan(\alpha)$ — коефіцієнт, що враховує силу різання в залежності від кута.
 - $M(\alpha)=k_M \cdot 1/\tan(\alpha)$ — коефіцієнт для моменту згину.
2. Цільова функція для оптимізації може бути записана у вигляді зваженої суми двох критеріїв, яку потрібно мінімізувати:

$$\text{Minimize } Z(\alpha)=w_F \cdot F(\alpha)+w_M \cdot M(\alpha)$$

де W_F та W_M — вагові коефіцієнти, що визначають важливість кожного параметра (сили різання і моменту згину).

Кроки оптимізації

1. **Знайдемо похідну** цільової функції $Z(\alpha)$ за кутом різання α та прирівняємо її до нуля для знаходження критичної точки:

$$\frac{dZ(\alpha)}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} \left(w_F \cdot k_F \cdot \frac{1}{\tan(\alpha)} + w_M \cdot k_M \cdot \frac{1}{\tan(\alpha)} \right) = 0$$

Щоб знайти похідну $dZ(\alpha)/d\alpha$ і прирівняти її до нуля, виконаємо такі кроки:

1. **Знайдемо похідну кожного доданка:** Оскільки обидва доданки мають вигляд $C/\tan(\alpha)$,

де C — константа, похідна від такого виразу буде:

$$\frac{d}{d\alpha} \left(\frac{C}{\tan(\alpha)} \right) = C \cdot \frac{-1}{\sin^2(\alpha)}$$

2. **Обчислимо похідну для кожного доданка:**

$$\frac{dZ(\alpha)}{d\alpha} = w_F \cdot k_F \cdot \frac{-1}{\sin^2(\alpha)} + w_M \cdot k_M \cdot \frac{-1}{\sin^2(\alpha)}$$

$$dZ(\alpha)/d\alpha = w_F \cdot k_F \cdot -1/\sin^2(\alpha) + w_M \cdot k_M \cdot -1/\sin^2(\alpha)$$

Спростуємо вираз: Зведемо до спільного множника:

$$\frac{dZ(\alpha)}{d\alpha} = - \frac{w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M}{\sin^2(\alpha)}$$

$$\text{Прирівняємо похідну до нуля:} \quad - \frac{w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M}{\sin^2(\alpha)} = 0 \quad (1)$$

Ми отримали, що похідна функції $Z(\alpha)$ за кутом α дорівнює нулю, якщо виконується рівняння (1). Це рівняння виконується за умови, що чисельник дорівнює нулю, тобто:

$$w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M = 0$$

Обчислимо другу похідну функції $Z(\alpha)$ за кутом α :

$$Z(\alpha) = w_F \cdot k_F \cdot \frac{1}{\tan(\alpha)} + w_M \cdot k_M \cdot \frac{1}{\tan(\alpha)}$$

Вихідна функція:

Друга похідна. Тепер знайдемо другу похідну $d^2Z(\alpha)/d\alpha^2$, щоб визначити характер критичної точки. Другу похідну обчислимо за правилом похідної частки для виразу:

$$\frac{d^2Z(\alpha)}{d\alpha^2} = \frac{d}{d\alpha} \left(-\frac{w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M}{\sin^2(\alpha)} \right)$$

Оскільки $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$ — константа, застосуємо похідну для функції $1/\sin^2(\alpha)$:

$$\frac{d}{d\alpha} \left(\frac{1}{\sin^2(\alpha)} \right) = -\frac{2 \cos(\alpha)}{\sin^3(\alpha)}$$

Отже,

$$\frac{d^2Z(\alpha)}{d\alpha^2} = (w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M) \cdot \frac{2 \cos(\alpha)}{\sin^3(\alpha)}$$

$$Z(\alpha) = w_F \cdot k_F \cdot \frac{1}{\tan(45^\circ)} + w_M \cdot k_M \cdot \frac{1}{\tan(45^\circ)}$$

Щоб підтвердити, чи є це значення максимумом або мінімумом, можна підставити $\alpha=45^\circ$ у другу похідну:

$$\frac{d^2Z(\alpha)}{d\alpha^2} = (w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M) \cdot \frac{2 \cos(45^\circ)}{\sin^3(45^\circ)}$$

Оскільки $\cos(45^\circ) = \sin(45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2}$, підставимо ці значення:

$$\frac{d^2Z(\alpha)}{d\alpha^2} = (w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M) \cdot \frac{2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^3} = (w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M) \cdot \frac{2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{4}} = 4(w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M)$$

- Якщо $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M > 0$, то друга похідна додатна, і критична точка при $\alpha = 45^\circ$ є мінімумом.
 - Якщо $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M < 0$, то друга похідна від'ємна, і критична точка є максимумом.
- w : ймовірно, вага (або коефіцієнт впливу) певної сили чи компонента,

що позначено індексом F. Наприклад, це може бути пов'язано з силою тертя (friction) або будь-яким іншим параметром, що діє під час різання.

- k_F : константа або параметр, що характеризує силу чи властивості компонента, позначеного індексом F. Це може бути коефіцієнт тертя або інший параметр, що описує взаємодію ножа з матеріалом.

- w_M : аналогічно, вага або коефіцієнт впливу іншого параметра, позначеного індексом MMM. Це може бути пов'язано з масою матеріалу, що ріжеться, або іншими властивостями матеріалу.

- k_M : константа або характеристика компонента M, наприклад, коефіцієнт, що відображає матеріальні властивості, такі як міцність або твердість матеріалу.

Оскільки цей вираз не залежить від α безпосередньо, але є функцією від виразу $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$, графік буде залежати тільки від цього множника.

Для побудови візуалізації, ми можемо вибрати діапазон значень для $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$ і побудувати площину на основі цих значень.

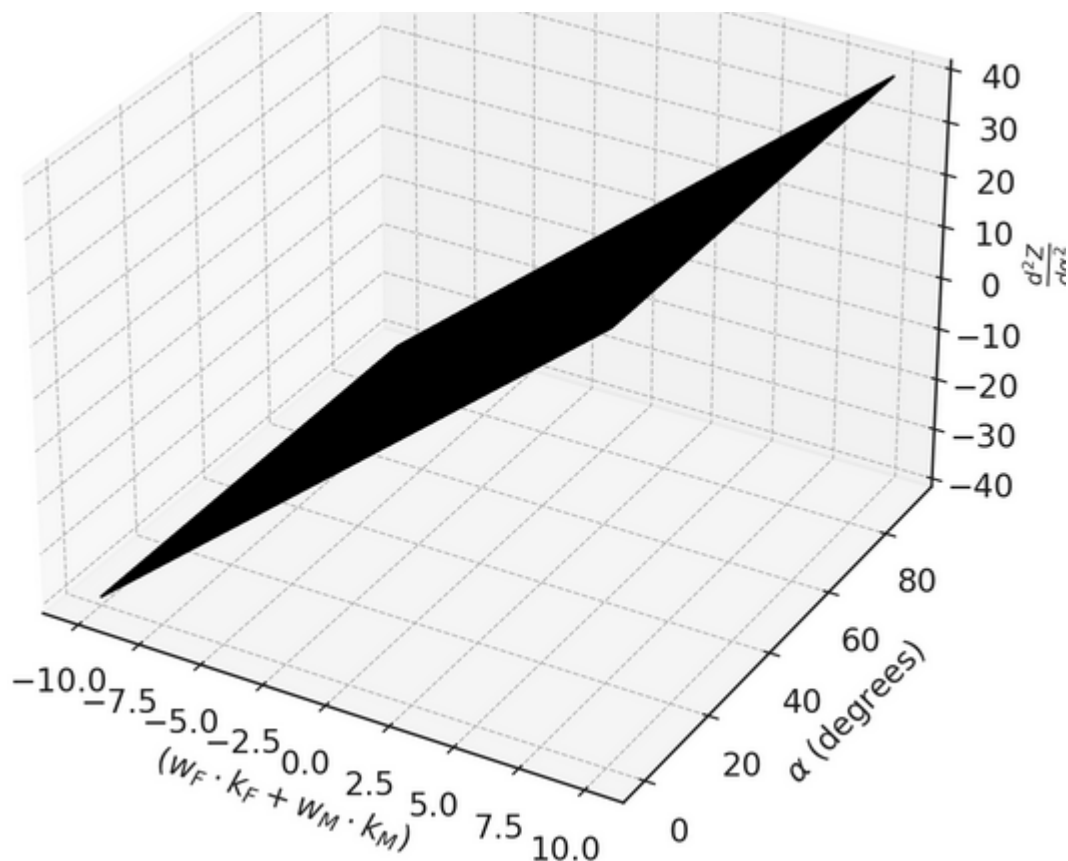


Рис. 4.7. Значення другої похідної $d^2Z(\alpha)/d\alpha^2$ як функції від параметра $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$ та кута α

На графіку показано значення другої похідної $d^2Z(\alpha)/d\alpha^2$ як функції від параметра $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$ (по осі x) та кута α (по осі y). Оскільки вираз для другої похідної не залежить від кута α , графік утворює площину, що відображає лише залежність від $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$. Ця залежність лінійна, що означає значення другої похідної змінюється лише при зміні $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$, і не змінюється при зміні кута α .

Якщо значення другої похідної є позитивним, то критична точка при цьому значенні α буде мінімумом, а якщо негативним — максимумом.

Кут різання α дійсно може досягати рівноваги, залежно від виразу $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$, який характеризує сумарний вплив сил різання та сил тиску від буряка на ніж.

Цей вираз $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$ можна інтерпретувати як загальну силу чи вагу впливу двох різних факторів:

- $w_F \cdot k_F$: сила чи коефіцієнт, що характеризує вплив сили різання.
- $w_M \cdot k_M$: сила чи коефіцієнт, що характеризує вплив тиску від матеріалу (буряка) на ніж.

Критична точка кута різання α буде досягнута, коли баланс цих сил створить умови, за яких друга похідна $d^2Z/d\alpha^2$ дорівнює нулю або має екстремум (максимум чи мінімум). Тобто, оптимальний кут різання буде таким, що компенсує сукупний вплив сил різання та тиску буряка.

Цей баланс важливий для забезпечення ефективного різання буряка, адже правильний кут мінімізує деформацію ножа і зменшує зусилля, потрібне для різання.

Кут різання ножа під час обробки буряка залежить від взаємодії сил різання та тиску матеріалу на ніж. Для досягнення оптимального кута різання, важливо враховувати баланс між цими силами, що можна виразити формулою $w_F \cdot k_F + w_M \cdot k_M$. Цей вираз представляє сумарний вплив двох основних компонентів: сили різання $w_F \cdot k_F$, яка характеризує взаємодію ножа з матеріалом, і тиску буряка $w_M \cdot k_M$ який залежить від його властивостей.

Коли досягається рівновага між силами різання та тиском матеріалу на ніж, можна визначити оптимальний кут різання, який забезпечує найбільш

ефективний процес обробки. При цьому значенні кута різання друга похідна цільової функції $Z(\alpha)$ набуває критичного значення, яке вказує на наявність мінімуму або максимуму. Якщо значення другої похідної є позитивним, то критична точка буде мінімумом, що означає стабільність системи при даному куті. У випадку негативної другої похідної критична точка відповідає максимуму, що може свідчити про нестабільний режим роботи.

Оптимальний кут різання дозволяє мінімізувати деформацію ножа і зменшити витрати енергії, необхідні для розрізання буряка. Це особливо важливо при великих обсягах виробництва, де невелике покращення кута різання може значно зменшити знос обладнання та підвищити загальну ефективність процесу. Установлення оптимального кута різання допомагає не тільки знизити навантаження на ножі, але й поліпшити якість нарізки буряка, що впливає на подальші етапи переробки, такі як екстракція соку або підготовка продукту до термічної обробки.

Таким чином, при проектуванні та налаштуванні обладнання для обробки буряка необхідно враховувати силу різання та тиск матеріалу на ніж. Це дозволяє досягти оптимального кута різання, який сприяє рівномірному, якісному і економічно ефективному процесу.

4.4 Принцип роботи й устрій модернізованого об'єкту різання

При розрахунку міцності попереднього надрізу важливим є врахування радіального інерційного навантаження, яке виникає внаслідок обертання елементів бурякорізки та продукту. Для того щоб знайти тиск на стінку, який змушує кільце продукту та ротор обертатися зі швидкістю ω , розглянемо елементарний шар продукту.

Нехай цей шар має товщину dr і знаходиться на відстані r від осі обертання. Оскільки елемент обертається з кутовою швидкістю ω , на нього діє відцентрова сила, яка створює інерційне навантаження. Ця сила буде прямо пропорційною масі елемента та квадратичному значенню відстані від осі обертання. Для елементарної маси dm на відстані r можна записати вираз:

$$dm = \rho \cdot A \cdot dr$$

де:

- ρ — густина продукту (масова щільність),
- A — площа поперечного перерізу шару продукту.

Відцентрова сила, яка діє на елемент, розраховується за формулою:

$$dF = dm \cdot \omega^2 \cdot r$$

Тепер, замінивши dm виразом через ρ , A , та dr , отримаємо:

$$dF = \rho \cdot A \cdot dr \cdot \omega^2 \cdot r$$

Тиск на стінку, який спричиняє обертання цього шару, можна знайти, поділивши цю силу на площу поверхні стінки, що контактує з шаром продукту.

Площа поверхні стінки на відстані r буде дорівнювати:

$$dS = 2\pi r \cdot dr$$

Тому тиск на стінку, можна записати як:

$$p = \frac{dF}{dS} = \frac{\rho \cdot A \cdot \omega^2 \cdot r}{2\pi r} = \frac{\rho \cdot A \cdot \omega^2}{2\pi}$$

Цей тиск є величиною, що залежить від параметрів швидкості обертання ω , площі поперечного перерізу шару продукту A та щільності продукту ρ .

Щоб знайти загальний тиск на стінку, потрібно інтегрувати рівняння тиску по відповідних межах.

Ліва частина (інтегруємо від 0 до r): $p = \rho \cdot A \cdot \omega^2 / 2\pi$

У лівій частині ми маємо тиск, який змінюється в залежності від відстані r від осі обертання. Таким чином, інтегруємо тиск по радіусу від 0 до r :

$$P_{\text{ліво}} = \int_0^r \frac{\rho \cdot A \cdot \omega^2}{2\pi} dr$$

Інтегруючи, отримаємо:

$$P_{\text{ліво}} = \frac{\rho \cdot A \cdot \omega^2}{2\pi} \cdot r$$

Права частина (інтегруємо від r_1 до r): тиск змінюється від відстані r_1 до r . Тиск на відстані r ми можемо записати, враховуючи, що тиск змінюється по тому ж виразу для p , але для цього діапазону інтегруємо по межах r_1 та r :

$$P_{\text{право}} = \int_{r_1}^r \frac{\rho \cdot A \cdot \omega^2}{2\pi} dr$$

Інтегруючи:

$$P_{\text{право}} = \frac{\rho \cdot A \cdot \omega^2}{2\pi} \cdot (r - r_1)$$

Отже, загальний тиск на стінку, який викликає обертання продукту, можна записати як:

$$P_{\text{ліво}} = \frac{\rho \cdot A \cdot \omega^2}{2\pi} \cdot r$$

$$P_{\text{право}} = \frac{\rho \cdot A \cdot \omega^2}{2\pi} \cdot (r - r_1)$$

Ці рівняння дозволяють знайти тиск у двох діапазонах відстаней від осі обертання для заданих параметрів. Побудуємо графіки тиску на стінку бурякорізки для двох частин:

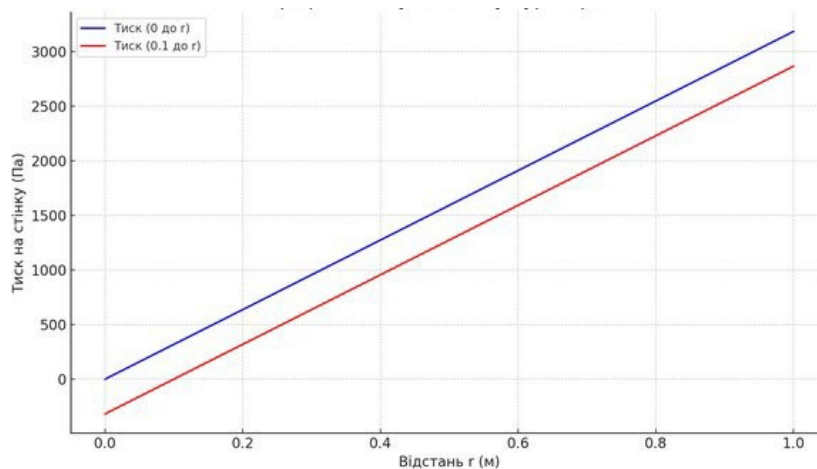


Рис. 4.8. Графіки тиску на стінку бурякорізки для двох частин:

Тиск від 0 до r (ліва частина) — графік показує, як тиск збільшується пропорційно відстані від осі обертання. **Тиск від r1 до r** (права частина) — тиск також зростає, але відносно відстані після початкової межі r1.

Для визначення нормальної напруги на стінці барабана, почнемо з напруги в обичайці (тобто зовнішньої оболонки) від внутрішнього матеріалу за допомогою рівняння Лапласа. У випадку циліндричної конструкції, як у вашому барабані, рівняння Лапласа виглядає так:

$$\sigma = p \cdot r / t$$

де:

- σ — напруга в обичайці (циліндричній стінці) барабана,
- p — тиск на стінку барабана від матеріалу всередині (наприклад, тиск від шару буряків),
- r — внутрішній радіус обичайки,
- t — товщина стінки обичайки.

напругу σ у стінці барабана бурякорізки, яка обчислюється як: $\sigma_{\text{кільцева}} = \delta \cdot \rho \cdot v^2 \cdot r$

де:

- $\sigma_{\text{кіль}}$ — кільцева (або окружна) напруга,
- δ — коефіцієнт, що враховує матеріал і конструкцію,
- ρ — густина матеріалу (наприклад, буряків),
- v — лінійна швидкість обертання,
- r — радіус барабана.

Це рівняння враховує вплив відцентрових сил, які виникають при обертанні буряків у барабані, і може бути використане для оцінки напруги на стінці барабана, особливо в місцях максимального радіусу. На стінці барабана, яка виникає через масу шару буряка в бункері бурякорізки, можна використовувати формулу, засновану на гідростатичному тиску. Вона враховує вагу бурякового шару, що створює тиск на стінку барабана. Формула виглядає наступним чином:

$$\sigma = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{\text{б}}^2}{4r_{\text{б}}}$$

де:

- σ — напруга на стінку барабана від маси шару буряків,
- ρ — густина буряка,
- g — прискорення вільного падіння (приблизно 9.81 м/с^2),
- $H_{\text{б}}$ — висота шару буряка в бункері,
- $r_{\text{б}}$ — радіус барабана бурякорізки.

Ця формула дає можливість обчислити додаткову напругу, яка діє на стінку барабана через вагу буряків, що накопичуються в бункері. Щоб обчислити загальну напругу σ на стінку бурякорізки, враховуючи як масу матеріалу, що

обертається в роторі, так і напругу шару буряка в бункері, можна використати наступне рівняння:

$$\sigma = \delta \cdot \rho \cdot v^2 \cdot f + \frac{\rho \cdot g \cdot H_6^2}{4r_6}$$

де:

- σ — загальна напруга на стінку бурякорізки,
- δ — коефіцієнт, що враховує матеріал та конструкцію,
- ρ — густина буряків,
- v — лінійна швидкість обертання матеріалу в роторі,
- f — коефіцієнт, що враховує дію відцентрової сили,
- r — радіус барабана,
- H_6 — висота шару буряків у бункері,
- g — прискорення вільного падіння (приблизно 9.81 м/с²).

Ця формула складається з двох частин: перша частина $\delta \cdot \rho \cdot v^2 \cdot f$ описує кільцеву напругу, викликану відцентровою силою обертання матеріалу в роторі. Друга частина $\frac{\rho \cdot g \cdot H_6^2}{4r_6}$ враховує напругу, спричинену гідростатичним тиском шару буряків у бункері.

Об'єднавши ці два фактори, можна розрахувати загальну напругу, що діє на стінку барабана бурякорізки. Щоб визначити необхідну товщину ножа (t), яка забезпечить його міцність під дією напруг, можна виразити її з попереднього рівняння для загальної напруги σ . Припустимо, що матеріал ножа має допустиму напругу σ , яку він може витримати без деформацій. Тоді, щоб

товщина ножа витримувала дію напруги, має виконуватись рівняння: $t = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{доп}}}$

Підставивши загальне вираження для σ з попередньої формули, отримаємо:

$$t = \frac{\delta \cdot \rho \cdot v^2 \cdot f + \frac{\rho \cdot g \cdot H_6^2}{4r_6}}{\sigma_{\text{доп}}}$$

де:

- t — необхідна товщина ножа,
- $\sigma_{\text{доп}}$ — допустима напруга матеріалу ножа,

Коефіцієнт запасу міцності:

$$n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_t} \times (1 - \kappa)$$

σ_T - межа текучості матеріалу,

σ_t – найбільша напруга (тангенціальна) в стінці ротора.

З урахуванням рекомендованого коефіцієнта безпеки $n_T=6$, щоб визначити міцність стінки бурякорізного барабана, треба розрахувати максимальну дотичну напругу $\tau_{\max}$ у стінці барабана. Для цього використовуємо умову:

$$\tau_{\max} = n_T \cdot \tau_{\text{буряк}}$$

де:

- $\tau_{\max}$ — максимальна дотична напруга, яку стінка барабана повинна витримувати,
- n_T — коефіцієнт безпеки (в даному випадку 6),
- τ — дотична напруга, що виникає від шару буряків на стінці барабана.

Таким чином, стінка барабана витримуватиме навантаження, якщо максимальна дотична напруга перевищує ту, що виникає від буряків. Це забезпечить потрібний запас міцності для безпечної експлуатації барабана навіть з отворами в його стінці.

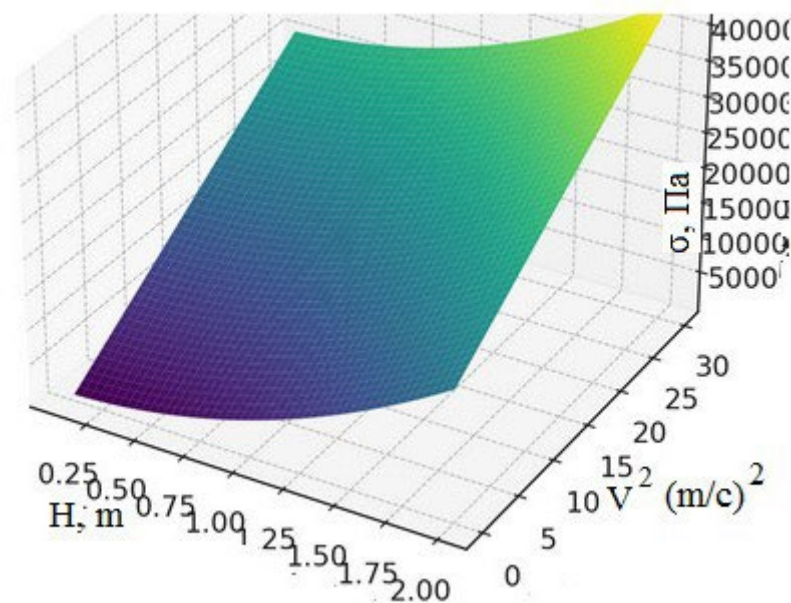


Рис. 4.9. Залежність загальної напруги від висоти шару буряків і квадрата швидкості v^2

Графік показує залежність загальної напруги σ на стінці бурякорізки від висоти шару буряків у бункері (H) та квадрата лінійної швидкості (v^2). Як видно, із збільшенням висоти шару буряків та швидкості обертання, загальна напруга зростає. Це підкреслює важливість оптимізації цих параметрів для забезпечення міцності конструкції барабана.

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5.1. Охорона праці

5.1.1. Аналіз виробничого травматизму.

В Україні 14 жовтня 1992 року був прийнятий Верховною Радою Закон „Про Охорону праці”. Цей закон, а також „Кодекс законів про працю України” є основною законодавчою базою охорони праці.

Закон „Про Охорону праці” визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Кодекс законів про працю України визначає правові засади і гарантії здійснення громадянами України права розпоряджатися своїми здібностями до продуктивної і творчої праці.

Розслідування травматизму, аварій і професійних захворювань на підприємствах, в установах і організаціях України проводиться згідно з «Положенням про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємстві в установах і організаціях» (ДНАОП 0-00-4.03 — 98).

Основними напрямками по ліквідації виробничого травматизму є:

- підготовка спеціалістів по охороні праці і пожежонебезпеці, а також підвищення рівня знань по охороні праці у всіх інженерно-технічних працівників всіх посад та забезпечення робітників підприємства всіма діючими

нормативними документами в галузі охорони праці і пожежній безпеці і забезпечення проведення трьохступеневого контролю за станом;

- утриманням обладнання, машин і установок, будівель, споруд у відповідності з діючими положеннями і виключенням випадків допуску до експлуатації несправного обладнання, машин, установок, будівель і споруд;

- підвищення якості навчання і інструктажу по техніці безпеки працівників, а також виключення випадків по техніці безпеки до роботи не проінструктованих працівників.

5.1.2. Заходи щодо техніки безпеки і промислової санітарії.

Планування приміщень, компонування технологічного обладнання, внутрішньоцеховий транспорт і обладнання прийняті відповідно до вимог категорій вибухонебезпечних процесів і класу приміщень.

Для створення безпечних і сприятливих умов праці передбачені наступні заходи: автоматичний контроль, автоматичне регулювання технологічних процесів.

Управління роботою лінії подачі борошна на виробництво здійснюється оператором з пульта управління.

Передбачене автоматичне включення звукової запобігливості сигналізації про роботу борошняних ліній.

Проектом передбачено система автоматизованого управління процесами прийому борошна в складські силосу, видачі її з силосів і транспортування у виробничі збірники.

Виробничі збірники забезпечені сигналізаторами рівня з виведенням сигналу на пульт.

Запроектоване блокування механізмів лінії подачі борошна передбачає їх послідовне включення в порядку, зворотному надходженню муки. Це запобігає перевантаженню обладнання і зводить обслуговування тільки до спостереження за роботою механізмів і машин.

Подача стислого повітря до живильників аерозоль транспорту передуює включенню живильників, що запобігає утворенню завалів борошна в борошняній лінії.

Пуск насосів, що подають рідкі інгредієнти, передбачений ручний, за допомогою кнопки управління, а відключення по досягненню верхнього рівня. Для зважування борошна передбачені автоматичні зважуючі пристрої. Передбачена електроблокіровка обладнання комплексно-механізованих ліній, у якій у разі зупинки однієї з машин попередні зупиняються, а подальші продовжують працювати.

Передбачене блокування кришок і щитків, що прикривають частини машин, що обертаються, пристроєм для автоматичного виключення машини.

У проекті додержані передбачені нормами відстані між обладнанням, висоти робочих ліній, необхідні проходи в складі сировини і готовій продукції.

Установка обладнання і електродвигунів забезпечує легкий доступ до них для прибирання, очищення і миття.

Всі машини закріплені на підмурках або основах щоб уникнути зміщення. Безпека роботи персоналу забезпечується наявністю огорож всіх рухомих, електропровідних частин машин, що обертаються. Сходи і майданчик для обслуговування обладнання мають обгороджування.

Передбачається теплова ізоляція всіх апаратів і комунікацій, випромінюючих тепло. Температура поверхні ізоляції не перевищує 45° С.

Всі електропровідні установки, а також обладнання аерозольтранспортування борошна, трубопроводи борошна і стислого повітря заземлюються для відведення статистичної електрики. Для зручності роботи і правильної експлуатації внутрішніх інженерних мереж проектом передбачається забарвлення в різні попереджувальні кольори паропроводів, виробничих трубопроводів, трубопроводів аерозоль-транспортування борошна, водопроводу і інших комунікацій.

Пуск насосів, що подають рідкі інгредієнти, передбачений ручний, за допомогою кнопки управління, а відключення по досягненню верхнього рівня. Для зважування борошна передбачені автоматичні зважуючі пристрої. Передбачена електроблокіровка обладнання комплексно-механізованих ліній, у якій у разі зупинки однієї з машин попередні зупиняються, а подальші продовжують працювати.

Передбачене блокування кришок і щитків, що прикривають частини машин, що обертаються, пристроєм для автоматичного виключення машини.

У проекті додержані передбачені нормами відстані між обладнанням, висоти робочих ліній, необхідні проходи в складі сировини і готовій продукції. Установка обладнання і електродвигунів забезпечує легкий доступ до них для прибирання, очищення і миття.

Всі машини закріплені на підмурках або основах щоб уникнути зміщення. Безпека роботи персоналу забезпечується наявністю огорож всіх рухомих, електропровідних частин машин, що обертаються. Сходи і майданчик для обслуговування обладнання мають обгороджування.

Передбачається теплова ізоляція всіх апаратів і комунікацій, випромінюючих тепло. Температура поверхні ізоляції не перевищує 45° С.

Всі електропровідні установки, а також обладнання аерозольтранспортування борошна, трубопроводи борошна і стислого повітря заземлюються для відведення статистичної електрики. Для зручності роботи і правильної експлуатації внутрішніх інженерних мереж проектом передбачається забарвлення в різні попереджувальні кольори паропроводів, виробничих трубопроводів, трубопроводів аерозоль-транспортування борошна, водопроводу і інших комунікацій.

Трубопроводи пари забарвлюються в яскраво-червоний колір, трубопроводи - в зелений, продуктові технологічні трубопроводи – коричневий, борошнопроводи - в білий колір.

Передбачена аспірація автоматичних терезів для поліпшення санітарного стану приміщень і ліквідації пилу.

Очищення транспортуючого повітря від пилу передбачене фільтрами, що струшуються в складі БХМ і мішковими фільтрами у відділенні виробничих бункерів.

Для антикорозійного захисту труб в проекті передбачено їх фарбування масляною фарбою за два рази, застосування безшовних труб, зварювання труб встик. Антикорозійний захист технологічного обладнання передбачений машинобудівними заводами при його виготовленні.

5.2. Розроблення заходів захисту роботи від повеней.

Гідрологічні небезпечні явища включають; високі рівні води (повені), дощові паводки, затори і зажери, дію нагонного вітру тощо. Повінь - тимчасове затоплення значної частини суші водою в результаті піднімання рівня води у річці, озері або морі.

Залежно від причин повені природного характеру поділяють на:

- Повені, зумовлені випаданням сильних опадів або інтенсивним таненням снігу (льодовиків) у її басейні річки.

- Повені, що виникають внаслідок поєднання паводкових вод з льодоходом. Льодохід часто супроводжується заторами (нагромадження льоду в руслі ріки) або зажерами (скупчення внутрішньо водного льоду, який утворює льодяну пробку), що зумовлюють додатковий підйом води і затоплення нових територій. У разі прориву водою перешкоди може утворитися навальна хвиля, що створює небезпеку затоплення території, розташованої нижче за течією. Затори найчастіше утворюються на ріках, що течуть із півдня на північ, оскільки південні ділянки ріки звільняються від льоду раніше, ніж північні, і льодохід, що розпочався, зустрічає на своєму шляху перешкоду у вигляді льодоставу. Зажери утворюються у передльодоставний період і, за наявності незамерзаючих ділянок ріки, протягом зими.

- Повені, що виникають під дією нагонного вітру. Вони спостерігаються на морських узбережжях і на гирлових ділянках рік, що впадають у море. Нагонне повітря затримує воду в гирлі, внаслідок чого підвищується її рівень у річці. Повені такого типу спостерігались у дельті Неви, в Голландії, Англії, Німеччині та в інших регіонах земної кулі. Класичним прикладом такого типу повеней є повені в Санкт-Петербурзі (за час існування міста їх було понад 300). Найбільші повені на Неві були зафіксовані у 1824 і 1924 рр. За своїми наслідками вони наближалися до найбільших паводкових повеней і цунамі.

- Підтоплення. Причинами підтоплення є підвищення рівня ґрунтових вод унаслідок сильних опадів і несправності дренажних систем. Однією з причин підтоплення земель є гідротехнічне будівництво, що може призвести до перерозподілу річкового стоку та перекриття природних шляхів дренажу ґрунтових вод.

- Гідрологічне стихійне лихо викликане цунамі теж розглядається як різновид повеней, хоч і має причини тектонічного характеру.

Спеціалісти вважають, що людям загрожує небезпека, коли шар води досягає 1 м, а швидкість потоку перевищує 1 м/с. Підйом води на 3 м призводить до руйнування будівель та споруд.

В Україні повені є найпоширенішим стихійним лихом.

Дії під час повені на підприємстві. Коли є загроза повені, на підприємстві при необхідності зупиняється робота деяких підрозділів, цехів, відділів, а в окремих випадках і всього підприємства. У підрозділах, які тимчасово припинили роботу, виключають електроенергію, припиняють подачу пари, газу, води.

На об'єктах організовують цілодобове чергування відповідальних посадових осіб, спеціалістів аварійно-технічної служби.

Для захисту від затоплення населених пунктів, господарських будівель, виробничих приміщень споруджують найпростіші

захисні гідротехнічні споруди: земляні насипи, загати, греблі. Крім цього, потрібно організувати спостереження за такими спорудами. Поблизу них, на випадок просочування води, розміщують аварійні матеріали для закривання проривів і для нарощування дамб.

Розміри людських та матеріальних втрат під час повені залежить від характеру і масштабів повені, щільності населення на території, що затоплюється, відстані населених пунктів від джерела повені, характеру забудови, вартості матеріальних

цінностей, розміщених на території затоплення, наявність захисних споруд, екологічно небезпечних об'єктів, пори року і доби тощо.

Важливими умовами ефективного проведення рятувальних робіт під час повені є прогнозування можливого часу виникнення і масштабів повеней, своєчасність оповіщення населення і його евакуації, організація пошуку людей на затопленій території, чіткість проведення аварійно-рятувальних робіт, кількість рятувальних загонів їх забезпеченість спеціальними засобами та технікою і підготовленість особового складу цих формувань, своєчасність і якість надання медичної допомоги потерпілим, організація чіткої взаємодії між органами охорони здоров'я, рятувальними та іншими формуваннями, що беруть участь у ліквідації наслідків повені та наданні першої медичної допомоги потерпілим.

В умовах великого міста у разі катастрофічної повені питома вага потерпілого населення, яке потребує екстреної медичної допомоги (у % від чисельності населення), буде коливатися у теплий період року вдень від 0,02% до 2,7%, уночі - від 0,06% до 4,5%; у холодний період року - від 0,04% до 4,3% удень і до 0,08%-5,7% уночі.

При безпосередній загрозі затоплення рішенням начальника ЦО району (об'єкта) приводиться в готовність пункт управління, на якому організують чергування відповідальних посадових осіб, уточнюють завдання штабу, служб і формувань цивільної оборони.

Із виникненням загрози затоплення організовують термінову евакуацію населення та матеріальних цінностей. Населенню повідомляють місця розгортання збірних евакуаційних пунктів, строки прибуття на пункти, маршрути евакуації.

Пошук людей на затопленій території та евакуацію здійснюють формування цивільної оборони, населення і, при можливості, військові підрозділи. Для цього залучаються всі плавзасоби (боти,

баржі, катери, човни) тощо, можна використати підручні засоби (колоди, дошки, бочки) і спорудити плоти, переправляти людей дозволяється і у позначеному броді глибиною не більше 1 м.

Після того, як вода спала приступають до ліквідації наслідків затоплення, повені. Ці роботи передбачають: відведення води із затоплених місць та їх осушення; завалювання і прибирання напівзруйнованих споруд, які не підлягають відновленню; відкачування води із підвальних та інших приміщень; ремонт пошкоджених водою будівель, комунально-енергетичної мережі, доріг, мостів та інших споруд; очищення затоплених ділянок, сільськогосподарських земель, угідь, території тваринницьких ферм, сільських вулиць, дворів та ін.

Висновки

В даному розділі розглянута класифікація гідрологічних небезпечних явищ. Також складений порядок дій під час повеней на підприємстві.

Висновок

Зменшення кута ножа для різання буряків подовжує ріжучу кромку, зменшуючи її питоме навантаження. Використання кута торцювання $63 \pm 2^\circ$ разом із оптимальними параметрами заточування дозволяє досягти кута загострення $9 \pm 1^\circ$, що забезпечує ефект самозаточування ножа.

Розширення фаски до 1,9–2,2 мм та подовження потоншеної частини пера до 20–22 мм створюють плавний перехід між ріжучою кромкою, фаскою та жолобом для сходу стружки. Це сприяє мінімальному пошкодженню бурякової стружки, забезпечує її високу якість, гладкість поверхонь та знижує енерговитрати на тертя.

Застосування рекомендованих параметрів заточування ножа забезпечує отримання високоякісної бурякової стружки та майже вдвічі подовжує термін експлуатації ножа до необхідності його повторного заточування, що підтверджується практичним досвідом на виробництві.

Дослідження показали, що значна частина ножів виходить з ладу через недостатню ефективність системи очищення буряків. Підвищення довговічності ножів за рахунок збільшення твердості їхньої робочої частини методом об'ємного гартування може призводити до підвищеної крихкості та пошкоджень при ударних навантаженнях. Натомість надмірне зниження твердості спричиняє деформацію ножа та ріжучої кромки.

Для підвищення зносостійкості бурякового ножа та продовження його експлуатаційного терміну необхідно вжити заходів, спрямованих на зміцнення найбільш вразливих ділянок – різальної вершини та прилеглої частини крайки. Це можна реалізувати шляхом нанесення зносостійкого композиційного покриття на зону, що піддається найбільшому зносу, або локального гартування за допомогою концентрованих джерел енергії, таких як лазер або плазма. Крім того, позитивний ефект можна отримати завдяки зміні технології формоутворення профілю ножа, переходячи від обробки різанням до обробки тиском.

Список використаної літератури

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» галузі знань 0505 «Машинобудування та металообробка» напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка»

для студентів спеціальностей «Обладнання переробних і харчових виробництв», «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» ден. Форми навч. / Уклад.: В.М. Таран, В.Г. Мирончук, С.І.Блаженко, О.М.Прохоров, В.В.Пономаренко, О.А.терещенко-К.:НУХТ,2010.-46 с.

2. Технологічне обладнання для виробництва виробів з борошна: Навчальний посібник. Ч.1. Хлібопекарське виробництво; Сухенко Ю.Г., Стадник І.Я., 72 Василів В.П., Сухенко В.Ю. За ред.проф. Ю.Г.Сухенка. — К.: ЦП "КОМПРИНТ", 2015. — Ч.1. — 388 с.

3. Стадник И.Я., Паньків Ю.Ю. Метод интенсивного образования фазового контакта компонентов при смешивании. Volumul include materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și

transport auto” dedicat aniversării a 85 ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. Chișinău : UASM, 2018. Vol. 51. P. 78–82.

4. І.Я. Стадник, В.А. Піддубний, О.В. Хареба, В.М. Федорів, В.В. Підгорний «Сучасні технології та енергетичні потоки при формуванні борошняних напівфабрикатів» монографія – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 392 с
5. Закалов О.В. Технологічне обладнання харчових виробництв / Закалов О.В., Закалов І.О.-Тернопіль:Видавництво ТДТУ, 2000.-406 с.
6. Стадник І.Я., Зварич Н.М. Оцінка хімічної обстановки при хімічно небезпечних об'єктах викидом небезпечних хімічних речовин та застосуванні хімічної зброї. Методичні вказівки, м. Тернопіль, ТНТУ, 32с.
7. Гаврилко П., Піддубний В., Стадник І., Гуштан Т., Краєвська С., Каганець-Гаврилко Л Визначення розрахункових навантажень виробничих механізмів і машин та технологічні розрахунки виробництва борошняних виробів /навч.методичний посібник:.. Ужгород: РІК-У, 2023. 468 с.
8. Стадник, В.А. Піддубний Вдосконалення технологічного процесу та обладнання для формування виробів- 1 частина: Монографія. / Стадник І.Я, Піддубний В.А. –Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019.-290с.
9. Piddubnyi, V., Stadnyk, I., Kravets, O., Chahaida, A., Hushtan, T., Kahanets-Havrylko, L., Karpovych, I., Tupitska, O., Kostiuk, T., & Rozbytska, T. (2023). Characteristics of mucous-forming polysaccharides extracted from flax seeds. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2023. Vol. 17, P. 677–693.
10. Igor Yaroslavovych Stadnyk, Juilia Pankiv, Petro Havrylko, Halina Karpyk RESEARCHING OF THE CONCENTRATION DISTRIBUTION OF SOLUBLE LAYERS WHEN MIXED IN THE WEIGHT CONDITION // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* vol. 13, 2019, no. 1, p. 581-592
(скопус) <https://doi.org/10.5219/1129>