

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Ефективність технологічного процесу

подрібнення кормових коренеплодів

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-3-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Черненко Костянтин Костянтинович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____

Дніпро 2021

5. Перелік демонстраційного матеріалу

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

:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Івлєв В.В., доцент		
2	Івлєв В.В., доцент		
3	Івлєв В.В., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Гаврильченко О.С., доцент		

7. Дата видачі завдання: 10.10.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2021 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2021 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2021 р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2021 р.	
5	Економічний	до 26.11.2021 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2021 р.	

Студент

(підпис)

Черненко К.К.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Івлєв В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Черненко К.К. Ефективність технологічного процесу подрібнення кормових коренеплодів /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

В першому розділі роботи наведено огляд і аналіз подрібнювачів коренеплодів та їх робочих органів, а також стан досліджень процесу подрібнення соковитих кормів. У другому розділі розроблено конструктивно-технологічна схема нового подрібнювача коренеплодів, проведено теоретичні дослідження процесу подрібнення новим подрібнювачем. Третій розділ присвячено розробці програми та методики експериментальних досліджень, їх проведенню та аналізу результатів. В четвертому розділі проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. В п'ятому розділі проведено техніко-економічну оцінку розробленого подрібнювача.

Ключові слова: коренеплоди, подрібнення, різання, ніж, валець, питома енергоємність.

Дослідження міцнісних властивостей коренеплодів /Черненко К.К. // Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр. наук.-практ. студ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 69-71 с.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Машини для подрібнення соковитих кормів	9
1.1 Різання силосу	9
1.2 Подрібнювачі коренеплодів	12
1.3 Стан досліджень процесу подрібнення коренеплодів	16
1.4 Висновки	27
2 Теоретичні дослідження процесу різання коренеплодів	29
2.1 Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми подрібнювача	29
2.2 Обґрунтування технологічних параметрів подрібнюючого пристрою	31
2.3 Обґрунтування параметрів другого ступеня подрібнення	34
2.4 Визначення витрат потужності другим ступенем	46
2.5 Ефективність процесу подрібнення	54
2.6 Висновки	54
3 Лабораторні дослідження подрібнення коренеплодів	56
3.1 Програма, методика лабораторних досліджень	56
3.1.1. Методика досліджень розмірно-масових характеристик	56
3.1.2 Методика дослідження міцності коренеплодів	57
3.2 Результати лабораторних досліджень	60
3.2.1 Розмірно-масові характеристики	60
3.2.2 Результати дослідження властивостей міцності коренепло- дів	60

3.3	Висновки	67
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	69
4.1	Загальні визначення та поняття	69
4.2	Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	70
4.3	Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів	70
4.4	Правила безпечного виконання робіт при подрібненні зерна	72
4.5	Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	75
4.6	Висновки	77
5	Техніко-економічна оцінка подрібнювача коренеплодів	78
5.1	Вихідні дані	78
5.2	Розрахунок питомих експлуатаційних витрат	78
5.3	Висновки	83
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	84
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	86
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Задоволення потреби населення країни у молоці та м'ясі здійснюється як за рахунок власного виробництва, так і за рахунок імпорту. Частка імпорту у забезпеченні м'ясної продуктивності становить понад 40 %, у забезпеченні молоком та молочними продуктами – близько 20 %. Це пояснюється тим, що економічні показники виробництва тваринницької продукції в усіх типах господарств країни в 3...8 і більше разів нижче, ніж у зарубіжних країнах. На отримання одиниці продукції тваринництва в Україні в порівнянні західними країнами прямі витрати ручної праці більше 15...22, енергії – 2,5...3, кормів - у 2,5 ... 3,5, а по використанню потенціалу тварин в 2 ... 2,5 рази.

Виробництво молока і м'яса є основними життєзабезпечуючими секторами вітчизняного аграрного виробництва, що надає вирішальний вплив на рівень продовольчого забезпечення країни і визначальними здоров'я нації. Продуктивність корів на 60 ... 65% визначається їх годівлею. На неї припадає близько 40% всіх трудовитрат на фермі, а витрати на корми становлять близько 50...60% собівартості продукції. У собівартості продукції великої рогатої худоби найбільшу частину займають корми, утримання основних засобів і заробітна платня з нарахуваннями [122,134].

Низька якість кормів не дозволяє реалізувати потенціал, не забезпечується необхідний рівень годівлі худоби, науково-обґрунтована структура раціону, оптимальний склад поживних речовин. Питання кормовиробництва в кожному господарстві вирішуються з урахуванням конкретних умов - наявності худоби за видами, потреби в кормах, наявності земельних угідь, трудових і матеріальних ресурсів. Найбільший ефект дає приготування повнораціонних кормосумішей з попередньо підготовленими компонентами та добавками.

Застосування коренеплодів дозволяє вирішити введення в раціони тварин необхідної кількості цукру і крохмалю, знизити кислотність в рубці і як наслідок збільшити продуктивність і якість одержуваної продукції ВРХ.

Залежно від того, яким тваринам призначені коренеплоди зоотехнічними вимогами передбачені наступні вимоги: товщина різання коренеплодів для згодовування ВРХ (у суміші) становить - 10 ... 15 мм, телятам і свиням - від 5 до 10 мм, птиці - 3 ... 4 мм при ширині 10 ... 30 мм і довжині, що дорівнює довжині продукту; забрудненість трохи більше 2...3%. Однак через велику різноманітність фізико-механічних властивостей кормів, широкого спектра конструкцій подрібнювачів процес подрібнення досліджений недостатньо. Аналіз характеристик і конструкцій подрібнювачів коренеплодів показує, що машини, які випускаються промисловістю, мають низькі показники якості подрібнення, високу енергоємність виконуваного процесу, не завжди відповідають сучасним зоотехнічним вимогам.

В зв'язку з цим мета роботи - зниження питомої витрати енергії на процес різання коренеплодів в подрібнювальному пристрої з вальцевим підпором і плоскими ножами.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес різання коренеплодів у подрібнювальному пристрої з вальцевим підпором через ножову решітку.

Предмет досліджень. Закономірності взаємодії коренеплодів з ножовою решіткою під дією вальцевого підпору.

Відповідно до мети поставлено такі завдання наукових досліджень:

- провести аналіз способів та засобів подрібнення коренеплодів;
- теоретично обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри нового подрібнювача коренеплодів;
- експериментально дослідити вплив конструктивних характеристик нової машини на показники процесу подрібнення;
- визначити основні заходи з охорони праці для нової машини;
- провести техніко-економічну оцінку нової конструкції.

1 Машини для подрібнення соковитих кормів

До соковитих кормів, які використовують для годівлі с.-г. тварин, відносять зелену листостеблову масу, силос, коренебульбоплоди. При цьому в основу їх подрібнення закладено принцип різання лезом. Що стосується зеленої маси, то її піддають подрібненню кормозбиральною технікою в процесі збирання.

1.1 Різання силосу

Силос, зберігається на фермі в траншеях чи буртах і в процесі приготування набирає властивостей монолітної маси. Відбір силосу треба проводити з можливим найменшим порушенням маси вглиб моноліту задля забезпечення від втрати придатності до споживання.

На сьогодні машини для відділення та завантаження силосної маси є періодичної дії та безперервної. Розглянемо існуючі технічні рішення на прикладі деяких найпоширеніших конструкцій таких машин.

Найпростіший спеціалізований навантажувач силосу, виконано у вигляді фронтального ковша, який встановлюють на навантажувач (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Завантажувач силосу періодичної

дії з пасивними ножами S30

Відрізання порції силосу проводиться секторним робочим органом, оснащеним пасивними ножами, який приводиться в дію гідроциліндром. Як видно з рис. 1, якість різання доволі висока, але в процесі роботи утворюються обвали маси, які потребують підбирання.

Наступна конструкція (рис. 1.2) більш досконала з точки зору якості виконання відбору силосу, проте має і більш складну конструкцію робочого органу, яку оснащено активними ножами.



Рисунок 1.2 – Завантажувач силосу періодичної дії з активними ножами VvL V-LOAD Cutter

Приведені вище машини забезпечують якісне відрізання силосної маси від моноліту та подальше його завантаження до наступної в лінії машини, проте не забезпечують подрібнення моноліту. Наступна машина (рис. 1.3) оснащена роторним подрібнювачем, який відрізає масу від моноліту з одночасним її подрібненням.

Такий спосіб відбору кращий, від попередніх, адже силосний моноліт зрізується тонким рівномірним шаром. Проте в процесі роботи є просипання, як і у випадку з завантажувачем S30 (рис. 1.1). Найбільш досконалий наванта-

жувач, з розглянути в цій практичній роботі, Gonella Taurus 5-190, має роторний фрез-барaban, як і попередня машина.

Проте завантаження відрізаного силосу здійснюється в потоці, машина самохідна, має власний окремий електропривод робочих органів (немає потреби в додатковому енергозасобі). В якості завантажувального механізму в даній конструкції використано ланцюгово-планчатий транспортер.



Рисунок 1.3 – Завантажувач силосу періодичної дії з роторним подрібнювачем Tenias



Рисунок 1.4 – Завантажувач силосу поточної дії з роторним подрібнювачем Gonella Taurus 5-190

1.2 Подрібнювачі коренеплодів

На великих фермах для годівлі тварин на сьогодні коренеплоди практично не використовують, і причина не в їх низькій якості. Навпаки кормовий буряк дуже корисний для ВРХ, підвищує продуктивність корів, має гарну поїдаємість. Проблема в заготівлі – через велику неоднорідність розмірів у врожаї потребує ручного збирання, процес практично не можливо механізувати.

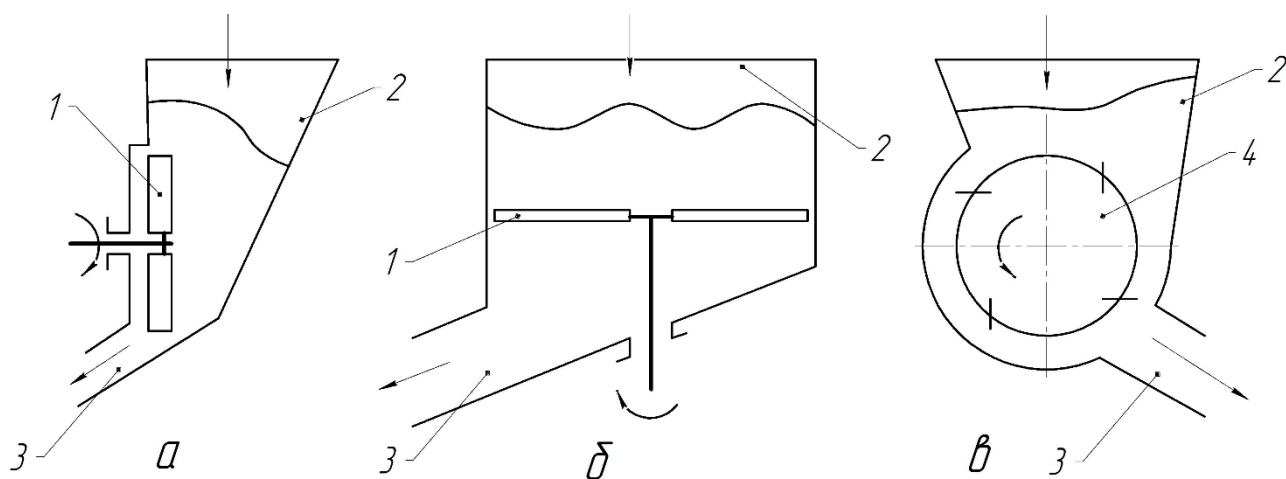


Рисунок 1.5 – Конструкційні схеми подрібнювачів коренеплодів: а, б – дискові коренерізки; в – барабанна коренерізка: 1 – диск з ножами; 2 – завантажувальний бункер; 3 – вивантажувальна горловина; 4 – ножевий барабан

Проте, зважаючи на високу якість буряка як корму, його високу врожайність та порівняно невеликі об'єми заготівлі, його активно використовують на малих, приватних фермах для годівлі всіх видів тварин та птиці. Тому на сьогодні машини для подрібнення коренеплодів це, в основному, малогабаритні подрібнювачі, які будують на основі схем, приведених на рис

У малих коренерізках застосовують три типи ножів [1]: плоский із прямолінійним суцільним лезом; плоский із гребінчастим лезом (диференційний) і совочкоподібний (рис. 1.6).

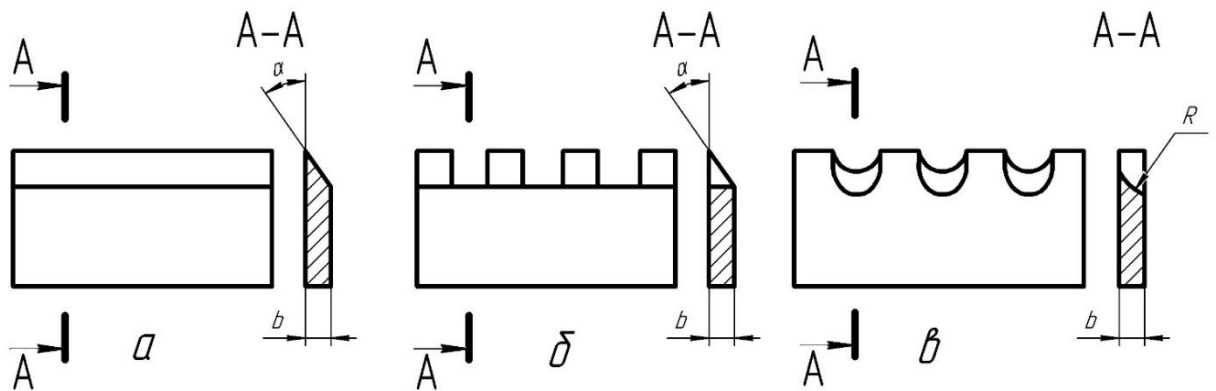
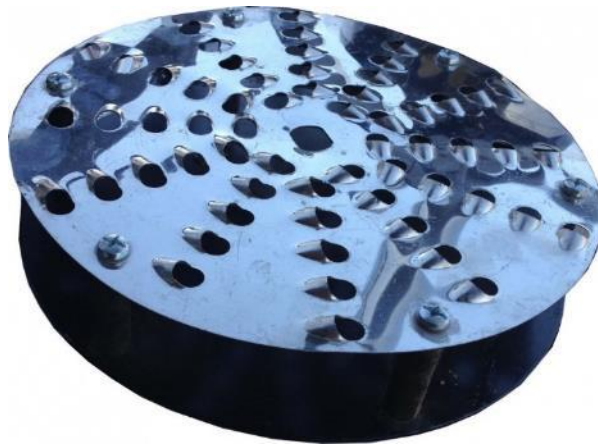


Рисунок 1.6 – Види ножів подрібнювачів коренеплодів: а – плоский ніж; б – гребінчастий (дифузійний); в – совочкоподібний ніж; α – кут заточування; b – товщина леза; R – радіус заточування

Плоский ніж із суцільним лезом робить стружку у вигляді скиб, товщина яких залежить від висоти установки леза над площиною розташування коренеплодів. Довжина й ширина скиби залежить від розміру коренеплоду. Скиби роблять для згодовування ВРХ.

Гребінчастий ніж ріже стружку у вигляді вузьких смуг (локшини) шириною, рівній ширині гребеня. Такі ножі роблять рвану стружку і вимагають більшого зусилля різання, ніж плоский ніж. Такі скиби використовують для молодняка ВРХ і сушіння.



а



б

Рисунок 1.7 – Терка диск (а) та барабан (б)

Совочкоподібні ножі зрізують стружку півовального перетину. Висота й ширина стружки залежать від розмірів совочків. Такі ножі працюють краще, ніж гребінчасті. До недоліків слід віднести складність заточення леза.

Тому на сьогодні в малогабаритних коренерізках частіше застосовують ножі, близькі по формі до совочкоподібних. Їх виготовляють штампуванням на плоскій поверхні (терка) і розміщують на диску або на барабані (рис. 1.7).

Конструкції малогабаритних коренерізок та коренетерок дуже прості, привід може бути від електродвигуна або ручний, в залежності від типу ножів отримують скиби або стружку.



а



б

Рисунок 1.8 – Вертикально-дискова малогабаритна коренерізка (б) та горизонтально-барабанна коренетерка (а)

Для визначення напрямку пошуку раціональної конструктивно-технологічної схеми подрібнювального апарату, що забезпечує низькі питомі витрати енергії на процес різання відповідно до отриманих подрібнених коренеплодів сучасним зоотехнічним вимогам на основі відомих класифікацій була розроблена уточнена класифікація подрібнювачів коренеплодів.

За видом отриманого продукту		
За способом подрібнення		сколювання
За конструкцією робочих органів		штифти
За формою ножа		кільцеві
За видом підпору		гвинтовий
За формою робочої частини		гвинтова
За положенням робочого органу		

Згідно класифікації, представленої на рис. 1.9 подрібнювачів способу подрібнення, за конструкцією подрібнюючих органів, за формою ножа, формою робочої частини, за положенням подрібнюючого органу, виду підпору, числу ступенів подрібнення, виду подрібненого продукту

1.3 Стан досліджень процесу подрібнення коренеплодів

Потреба розробки найефективніших видів обробки різних матеріалів шляхом дії на них робочого органу машини відносять до механічної технології, аналізованої В.А. Желіговським як самостійну наукову дисципліну, що є складовою науки про механізацію сільськогосподарського виробництва.

Основоположником науки про механізацію сільськогосподарського виробництва, названою землеробською механікою, є В.П. Горячкин. При приготуванні кормів у механізованій технології найважливішим і енергоємним процесом є подрібнення.

Подрібнення - процес поділу твердого тіла на частини шляхом прикладення зовнішніх сил, що перевершують сили молекулярного зчеплення частинок тіла, а також деякі фізико-механічні властивості матеріалів. При цьому властивості подрібнюваних матеріалів необхідно вивчати стосовно конкретних технологічних умов і початкових етапів досліджень. Знаходження умов і режимів роботи машин з найменшими витратами енергії є основною метою досліджень при відповідності якості одержуваної продукції зоотехнічним вимогам.

Процеси взаємодії робочих органів машин для подрібнення кормів складні, тому опис їх точними математичними рівняннями пов'язаний з великими труднощами, а в деяких випадках неможливий. При виборі способу подрібнення та конструювання робочих органів необхідно враховувати, що різання є більш вигідним, так як руйнівне напруження сколювання менше нормальних напружень, тобто $\tau_p < \sigma_p$.

Теорія різання лезом, створена академіком В.П. Горячкиним, дозволяє вирішувати питання інженерного розрахунку машин, робочим органом яких є дисковий чи барабанний ріжучий апарат. Вона отримала розвиток у працях академіка В.А. Желіговського, професора Н.Є. Резника і інших учених.

Теорія подрібнення вивчає закономірності розподілу частинок за розмірами та залежності між витратами енергії на процес подрібнення матеріалів і ступенем подрібнення λ . Це дає можливість встановити ефективність робочого процесу в залежності від прийнятої технології приготування кормів, застосовуваних машин і режимів їх роботи.

Ступінь подрібнення оцінюється відношенням питомих площ поверхні:

$$\lambda = \frac{S_k}{S_n}, \quad (1.1)$$

де λ - ступінь подрібнення;

S_k, S_n - питома площа поверхні частинок кінцевого і початкового продукту відповідно.

Об'ємна питома площа поверхні знаходиться за виразом,

$$S_{n.ob} = \frac{6}{d}, \quad (1.2)$$

Масова питома площа поверхні знаходиться за виразом,

$$S_{n.m} = \frac{6}{\rho \cdot d}, \quad (1.3)$$

де ρ - щільність, кг/м^3 .

Ступінь подрібнення – відношення характерного розміру частинок вихідного матеріалу до відповідного розміру частинок подрібненого продукту.

Для матеріалів:

сферичної форми;

$$\lambda = \frac{D}{d};, \quad (1.4)$$

кубічної або витягнутої форми,

$$\lambda = \frac{L}{l};, \quad (1.5)$$

де D, d - середній розмір частинок до і після подрібнення відповідно, м;

L, l - середня довжина ребра частинок вихідного та кінцевого продукту відповідно, м.

При багатостадійному процесі кінцевий ступінь подрібнення дорівнюватиме твору окремих ступенів процесу:

$$\lambda_k = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n, \quad (1.6)$$

де λ_k - кінцевий ступінь подрібнення;

$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n$ - окремі ступені подрібнення.

Ефективність подрібнення визначається питомою витратою енергії по виразу:

$$N_{\text{пит}} = \frac{N}{Q}, \quad (1.7)$$

де $N_{\text{пит}}$ - питома витрата енергії, Вт·с/кг;

Q - продуктивність подрібнювача, кг/с;

N - встановлена потужність, Вт.

Енергоємність процесу подрібнення:

$$E = \frac{N_k}{Q\lambda}, \quad (1.8)$$

де E - витрати енергії на 1 кг корму, Вт·с/кг;

N_k - корисна потужність, Вт.

Професор С.В. Мельников, виходячи з закону подрібнення академіка П.А. Ребіндера запропонував універсальну емпіричну робочу формулу для визначення витрат енергії на подрібнення:

$$A_n = C_{np} \cdot A_m = C_{np} [C_v \cdot \lg \lambda^3 + C_s (\lambda - 1)], \quad (1.9)$$

де A_n - розрахункові витрати енергії на подрібнення, з урахуванням впливу способу та конструкції, Дж/кг;

A_t - теоретичні витрати енергії на процес подрібнення, Дж/кг;

C_{np} – коефіцієнт пропорційності;

C_v - коефіцієнт, що враховує роботу пружних деформацій, Дж/кг;

C_s – коефіцієнт, враховує роботу, що витрачається на утворення нових поверхонь, Дж/кг.

Процес різання кормів - це окремий вид подрібнення, що має свої особливості.

Якісні показники подрібнених соковитих кормів характеризується ступенем подрібнення λ та відносним соковиділенням. Кількість соку, що виділилася, залежить від способу подрібнення. Найбільше соковиділення буде у подрібнювача з вищими питомими витратами на подрібнення.

Залежно від кута ковзання леза ножа, утвореного між векторами нормальної сили і переміщенням ножа в будь-якій точці леза розрізняють три випадки різання лезом (рисунок 1.10): нормальне різання чи «рубка» (рисунок 1.10, а), кут ковзання $\tau=0$; похиле (рисунок 1.10, б), кут ковзання менше кута тертя $0 < \tau < \varphi$; ковзне різання (рисунок 1.10, в), кут ковзання більше кута тертя $\tau \geq \varphi$.

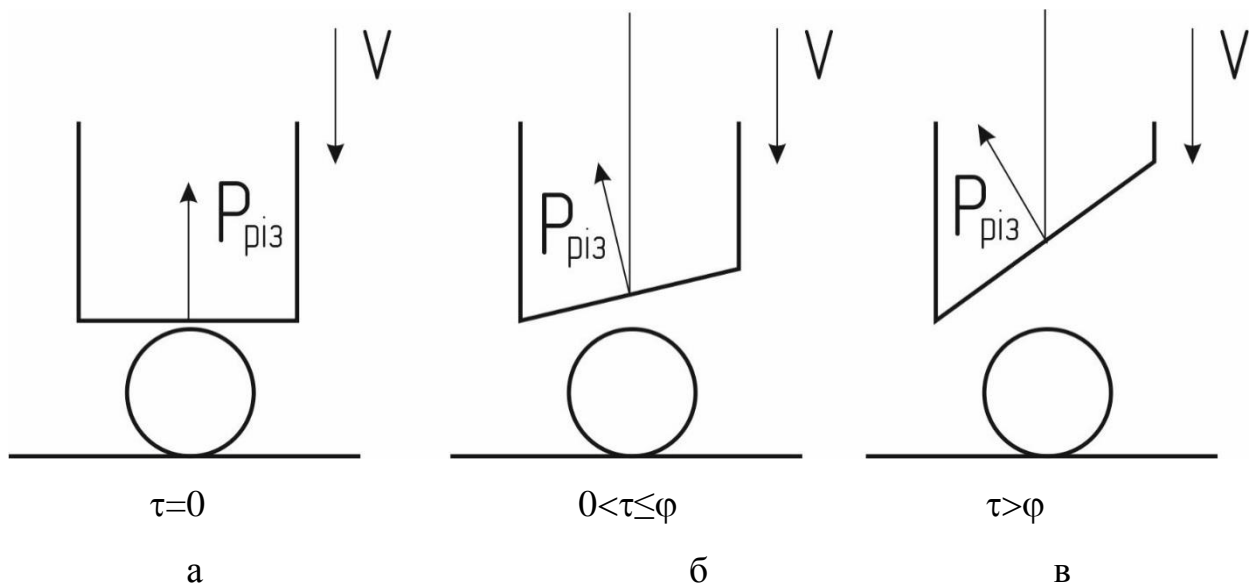


Рисунок 1.10 - Три випадки різання лезом: а - нормальне (рубання); б – похиле; в – ковзне.

У першому випадку різання відбувається тільки нормальною силою N (H) без бокового переміщення ножа. У другому випадку має місце і бічна сила T (H). У цьому випадку відбувається зменшення нормального навантаження внаслідок зменшення фактичного кута заточування при переміщенні косо-поставленого леза, величина якого визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}}, \quad (1.10)$$

де γ' - величина трансформованого кута заточування, град ;

γ - величина кута заточування леза ножа, град;

ε - коефіцієнт ковзання;

$$\varepsilon = \operatorname{tg} \tau, \quad (1.11)$$

τ - кут ковзання, град.

Результати дослідження кута ковзання показують, що при збільшенні кута ковзання питома робота різання збільшується. Роботи інших дослідників показали, що мінімальне значення питомої роботи різання має при кутах ковзання від 35 до 45 градусів.

Важливим параметром режиму різання є питома лінійна сила ножа:

$$q = \frac{N}{\Delta S}, \quad (1.12)$$

де q - питома лінійна сила ножа, Н/м;

N - нормальна складова сила різання, Н;

ΔS - довжина навантаженої ділянки леза ножа, м.

На питома зусилля різання ножа істотно впливає кут ковзання, швидкість різання, кут заточування, гострота леза, кут різання, кут установки ножа, а також зазор в ріжучій парі.

Питома поверхнева робота різання визначається:

$$A_{\text{пит}} = q(1 + f' \operatorname{tg} \tau), \quad (1.13)$$

де $A_{\text{пит}}$ - питома поверхнева робота різання, Дж/м;

f' - коефіцієнт ковзного різання від кута ковзання

$$f' = k \cdot \operatorname{tg} \tau q, \quad (1.14)$$

При здійсненні процесу різання за принципом ножиць матеріал защемляється (рисунок 1.11) за умови:

$$\alpha \leq 2\varphi, \quad (1.15)$$

де φ - кут тертя матеріалу об лезо.

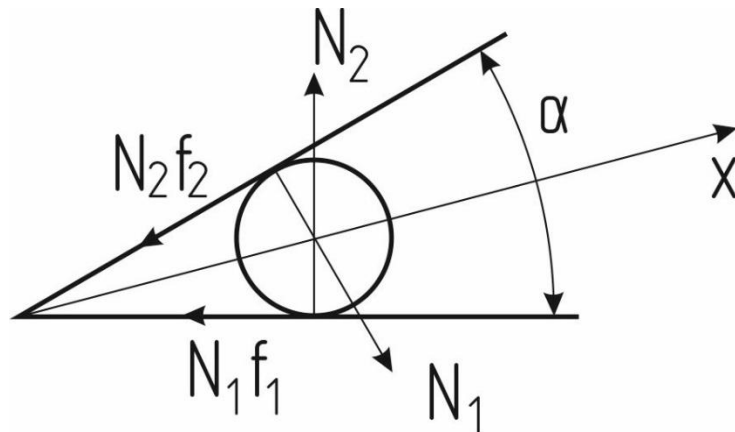


Рисунок 1.11 - Схема умовного затискання в ріжучій парі

Защемлення матеріалу в несиметричній ріжучій парі настає за умови

$$\alpha \leq 2\varphi \min, \quad (1.16)$$

де $\varphi \min$ - мінімальний кут тертя матеріалу об лезо, град.

Встановлено, що для подрібнювача коренеплодів, що складається з ланцюгово-планчастого транспортера, похилих рухомих і нерухомих ножів, оптимальні кути нахилу до площини транспортера становлять $40,55^\circ$ $30,42^\circ$ відповідно. Це створює умови для надійного защемлення корму, що подрібнюється.

Транспортно-ножовий подрібнювач коренеплодів з вібруючими непаралельними між собою ножами, які нахилені під кутом відносно один до одного від 25 до 41° до площини транспортера дозволяє знизити енергоємність процесу подрібнення.

Розробляючи теорію клину, академік В.П. Горячкін запропонував раціональну формулу для визначення загального опору різанню.

$$P = P_3 + P_\delta + P_v, \quad (1.17)$$

P_3 - опір, що залежить від міцності матеріалу, ширини стружки і товщини леза, Н;

P_δ - опір, що дорівнює зусиллю деформації стружки, Н;

P_v - опір, рівний зусилля по відділенню стружки і надання їй кінетичної енергії, Н.

Складові раціональної формули визначають з виразів:

$$P_3 = k_M b t^c \delta, \quad (1.18)$$

$$P_\delta = k_\delta h b; \quad (1.19)$$

$$P_\delta = \varepsilon h b \mathcal{G}^2; \quad (1.20)$$

Де k_M - коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості матеріалу, Н/м;

b - ширина стружки або довжини ножа, м;

c - показник ступеня, що враховує вид коренеплідів;

δ - відношення шляху стиснення a до довжини l елемента стружки;

$k_\delta = 1,5 \dots 2,0$ коефіцієнт деформації стружки, Н/м²;

h - товщина стружки, м;

ε - коефіцієнт пропорційності;

\mathcal{G} - швидкість різання, м/с.

K критична сила різання $P_{кр}$ при статичних умовах, прикладена до ножа визначається за виразом:

$$P_{кр} = \delta_n \sigma_p + \frac{Eh_{сж}^2}{2h} (tg\beta + f \sin^2 \beta + \mu(f + \cos^2 \beta)), \quad (1.21)$$

де δ_n - гострота леза, м² ;

$h_{сж}$ - величина заглиблення ножа в корм, м;

β - кут нахилу фаски ножа, град;

μ - коефіцієнт Пуасона.

За динамічних умов необхідно враховувати знос леза, наявність абразивних включень у подрібнюваному матеріалі, кінематичні параметри різання та ряд інших, які можна отримати емпіричним шляхом.

На величину опору різання коренеплодів також впливає сорт, тривалість і спосіб зберігання. Більш високих зусиль на різання вимагають старі, ті, що довго зберігалися коренеплоди. Подрібнення великих коренеплодів вимагає менших витрат енергії, ніж дрібних.

При різанні коренеплодів відношення δ шляху стиснення a до довжини елемента стружки l визначається за виразом:

$$\delta = \frac{a}{l} = \frac{\cos \varphi \cos\left(\frac{\varphi - \alpha}{2}\right)}{2\left(0,34 + 0,026\alpha + \frac{h}{2}\right) \cos^3\left(\frac{\varphi - \alpha}{2}\right)}, \quad (1.22)$$

де a - шлях ущільнення, м;

l - довжина елемента стружки, м;

φ - кут тертя корму по граням клина, град;

α - кут різання, град.

Шлях ущільнення можна визначити за виразом:

$$a = \frac{h \cos \varphi \cos\left(\frac{\varphi - \alpha}{2}\right)}{2 \cos^3\left(\frac{\varphi + \alpha}{2}\right)}. \quad (1.23)$$

З виразу (1.23) видно, що опір P_3 залежить від кутів різання і тертя, а також товщини стружки.

У виразі (1.21) опір прямо пропорційний квадрату швидкості. Тому для зменшення зусиль різання необхідно зменшувати швидкість різання. У роботі В.С. Горюшинського визначено вирази для коефіцієнтів k_d деформації стружки у формулі (1.20) і ε у формулі (1.21).

$$k_d = \frac{Eb^2\alpha}{2c^2}(\sin \alpha + f \cos \alpha), \quad (1.24)$$

$$\varepsilon = f\rho ab \mathcal{G}^2 \alpha \cos \alpha, \quad (1.25)$$

де E - модуль пружності матеріалу стружки, Па;

c - довжина передньої грані ножа, м;

f - коефіцієнт тертя матеріалу об передню грань ножа.

З виразу (1.25) видно, що коефіцієнт зменшується зі збільшенням довжини передньої грані ножа і зменшення кута різання. Встановлено, що модуль пружності E коренеплоду зменшується при збільшенні напруження, а залежність відносної деформації при навантаженні вздовж або поперек волокон змінюється незначно.

Графічна залежність величини напруження від деформації зразка при безперервному навантаженні являє собою сильно витягнуту S-подібну криву. Так як ступінь відхилення цієї залежності від лінійної незначна, то можна експериментальні залежності апроксимувати як лінійні.

Тертя матеріалів об робочі органи подрібнювальних апаратів та обмежувальні поверхні надає суттєвого впливу на енергоємність процесу різання. Дослідження змін коефіцієнтів тертя кормів за різними поверхнями залежно від тиску та швидкості взаємного переміщення показують, що при збільшенні тиску до 0,15 МПа коефіцієнт тертя різко знижується до величини 0,1. Збільшення тиску понад 0,25 МПа величина коефіцієнта тертя залишається постійною лише на рівні 0,07. Це зумовлено виділенням кліткового соку, що є масилом. Можливість виділення соку залежить від виду коренеплоду та його вологості, тому потрібні додаткові дослідження для уточнення результатів.

Встановлено, що в діапазоні швидкостей різання від 3 до 10 м/с мінімальне значення енергоємності подрібнення спостерігається при кутах ковзання 30...35°.

Зменшення кута ковзання призводить до збільшення зусиль різання. При кутах ковзання більше 35° зростає сила тертя між фасками ножа і подрібнюваним матеріалом.

Важливим показником, що визначає суттєвий вплив на якість одержуваної продукції та енергоємність процесу є швидкість робочих органів. Дослідження багатьох авторів показують, що швидкість робочих органів при різанні перебувають у межах від 1,2 до 25 м/с. Резник Н.І. встановив, що в діапазоні швидкостей від 12 до 30 м/с при різанні сільськогосподарських культур питомий опір різання зменшується, хоча в деяких роботах представлено, що зі збільшенням швидкості різання питома витрата енергії при подрібненні коренеплодів збільшується.

Зі збільшенням швидкісних характеристик робочих органів зростає кількість частинок розміром 5...10 мм менше 5%, що призводить до переподрібнення готового продукту, збільшення втрат, пов'язаних соковиділенням. Вказане протиріччя вимагає додаткових досліджень визначення оптимальних швидкісних режимів робочих органів.

У серійних подрібнювачах коренеплодів, що випускаються промисловістю, велика частка енергії використовується не ефективно. Наведений аналіз досліджень показав, що енергоємність і якість подрібнених коренеплодів значною мірою залежить від швидкісних характеристик робочих органів. Тому в якості гіпотези приймаємо, що зниження швидкісних характеристик робочих органів дозволить зменшити питомі витрати енергії при подрібненні коренеплодів. Необхідні подальші дослідження процесу подрібнення коренеплодів з метою обґрунтування раціональних режимів та параметрів роботи пристрою для подрібнення, а також уточнення загальних закономірностей процесу різання.

1.4 Висновки

На основі огляду існуючих конструкцій машин для подрібнення коренеплодів і аналізу стану досліджень процесу подрібнення можна зробити наступні висновки:

- однією з найважливіших операцій при підготовці коренеплодів до згодовування є їх подрібнення, що дозволяє підвищити продуктивність тварин, ефективність використання кормів і знизити собівартість продукції;

- подрібнення коренеплодів різанням дозволяє отримувати скибочки заданої товщини;

- найбільш перспективними є двоступінчасті подрібнювачі коренеплодів з вертикальним розташуванням подрібнюючого органу, вальцьовим підпором і плоскими ножами, встановленими по колу;

- з аналізу досліджень слід зробити висновок, що відсутні методики, що описують залежності продуктивності, споживаної потужності з фізико-механічними властивостями коренеплодів, конструктивними та режимними параметрами двоступінчастого подрібнювача коренеплодів з вальцевим підпором і плоскими ножами, встановлені по колу.

Таким чином, висновки показують, що за основу технологічного процесу подрібнення коренеплодів можна застосувати подрібнювач, що включає двоступінчастий подрібнюючий апарат з першим ступенем дискового типу і другим ступенем – з плоскими ножами, радіально встановленими на заданій відстані по кільцю, і вальцьовим підпором, що дає можливість отримувати подрібнені коренеплоди з низькою питомою витратою енергії, що відповідають за якісними показниками зоотехнічним вимогам.

2 Теоретичні дослідження процесу різання коренеплодів

Метою проведення теоретичних досліджень є виявлення загальних закономірностей технологічного процесу різання коренеплодів двоступінчастим подрібнювачем з вальцевим підпором і встановленими по кільцю плоскими різальними елементами, обґрунтування основних конструктивно-технологічних і режимних параметрів пропонованого подрібнювального при-

строю -механічних властивостей коренеплодів з конструктивними та режимними параметрами подрібнювача.

Робочий процес подрібнювача полягає в наступному:

перший етап - попереднє різання кормів у першому ступені дискового типу;

другий етап - підведення попередньо порізаних коренеплодів до вальцово-ножового пристрою для подрібнення;

третьої етап - продавлювання вальцями подрібнюваного матеріалу через ножову решітку;

четвертий етап - вивантаження подрібнених коренеплодів крильчаткою.

2.1 Обґрунтування конструкційно-технологічної схеми подрібнювача

Виходячи з поставленої мети роботи на основі проведеного аналізу існуючих конструкцій подрібнювачів коренеплодів нами розроблений двоступеневий подрібнюючий апарат з першим ступенем дискового типу і другим ступенем – з плоскими ножами, встановленими по кільцю і вальцевим підпором.

Перший ступінь подрібнення складається з двох горизонтальних плоских ножів 8, встановлених на вертикальному валу 11 під кутом до площини обертання протирізів 7 і упорів 9, закріплених на внутрішній поверхні накопичувача циліндричної камери 10 (рис. 2.1).

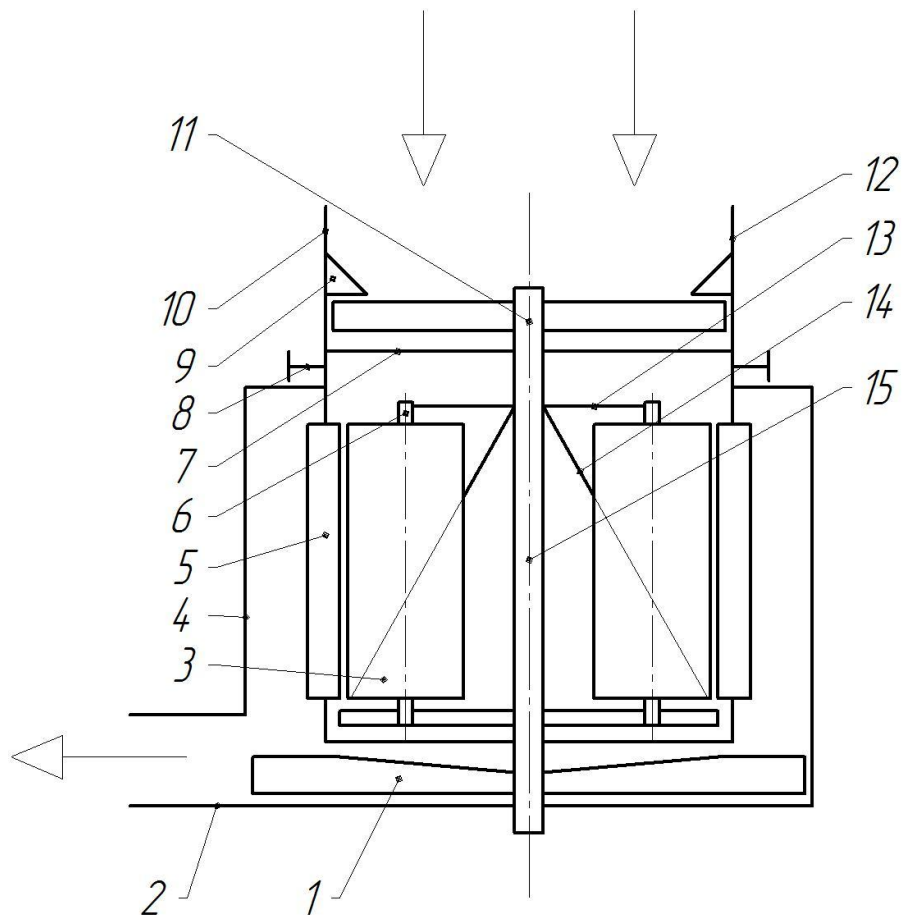


Рисунок 2.1 – Конструкційно-технологічна
схема подрібнювача коренеплодів

Другий ступінь подрібнення складається з циліндричної камери 4, по периметру якої встановлений блок пластинчастих вертикальних ножів 5. Через центр камери проходить вал 15, на якому закріплені крильчатка 1, конус 14 і водило 13. На водилі 13 встановлені вальці 3, що вільно обертаються на осях 6. Привід 16 пристрою для подрібнення включає мотор-редуктор і ланцюгову передачу.

Подрібнюючий апарат працює наступним чином. Попередньо очищені в мийці великі коренеплоди через завантажувальну горловину 12 надходять у накопичувач 10, де під дією ножів 8 попередньо подрібнюються, далі потрапляють на похилий конус пристрою для подрібнення, де під дією сил тяжіння і відцентрових сил, створюваних за рахунок обертання конуса 14 притискаються до блоку ножів 5, захоплюються вальцями 3 і продавлюються через ножову

решітку. Готовий продукт під дією крильчатки 1 через горловину 2 вивантажується з подрібнювального апарату.

2.2 Обґрунтування технологічних параметрів подрібнюючого пристрою

При роботі подрібнювача у складі технологічної лінії приготування на підставі даних про раціон і поголів'я тварин розраховують масу коренеплодів, що підлягають обробці:

$$q_{\text{корн}} = \sum_{j=1}^n a_j m_j, \quad (2.1)$$

де $q_{\text{корн}}$ - маса коренеплодів, що підлягають обробці, кг;

m_j - число тварин j -ої групи, гол.;

n - число груп тварин, шт.

При виборі часу на підготовку корму для одної годівлі повинні витримуватися наступні співвідношення:

- при приготуванні кормосуміші в потоці (кормоцех з безперервним робочим процесом):

$$T_{\text{раз}} \leq T_{\text{зоот}} \eta_{\text{см}} k_{\text{пом}}, \quad (2.2)$$

- при порційному приготуванні кормосуміші (кормоцех з періодичним робочим процесом) або при заготівлі комбінованого силосу:

$$T_{\text{раз}} = \eta T_{\text{см}}, \quad (2.3)$$

де $T_{\text{раз}}$ - час, що відводиться на підготовку корму для разової годівлі, с.;

$T_{\text{зоот}}$ - час, що витрачається на роздачу корму в одному приміщенні згідно зоотехнічних вимог с.;

$\eta_{зм}$ - коефіцієнт використання змінного часу;

$k_{пом}$ - кількість заблокованих приміщень, шт.;

$T_{см}$ - тривалість зміни, с.

Продуктивність технологічної лінії визначається за виразом:

$$Q_{корн} = \frac{q_{корн}}{T_{раз}}, \quad (2.4)$$

де $Q_{корн}$ - необхідна продуктивність технологічної лінії, кг/с.

Для надійної роботи технологічної лінії необхідно дотримуватися умови, за якої пропускна здатність наступної технологічної операції повинна бути більшою або рівній попередній, тобто

$$Q_{k2} \geq Q_{n2} \geq Q_{n1} \geq Q_{оч} \geq Q_{корн}, \quad (2.5)$$

де Q_{k2} - подача крильчатки, кг/с;

Q_{n2} - продуктивність другого ступеня подрібнювального апарату, кг/с;

Q_{n1} - продуктивність першого ступеня подрібнюючого апарату, кг/с;

$Q_{оч}$ - продуктивність корнеклубнейки, кг/с.

Продуктивність дискового подрібнюючого апарату визначається за формулою:

$$Q_{n1} = V_1 \rho_{к1} n_1 z_1, \quad (2.6)$$

де V_1 – об'єм продукту, відрізаного ножом за один оберт, м³;

$\rho_{к1}$ - насипна щільність коренеплодів до подрібнення, кг/м³;

z_1 - кількість ножів на першому ступені подрібнення, шт.

Згідно з рекомендаціями для зручності балансування кількості ножів рекомендується брати парним ($z_1 = 2, 4, 6, 8$ шт.).

Об'єм продукту, відрізаний ножом за оберт (рис. 2.2)

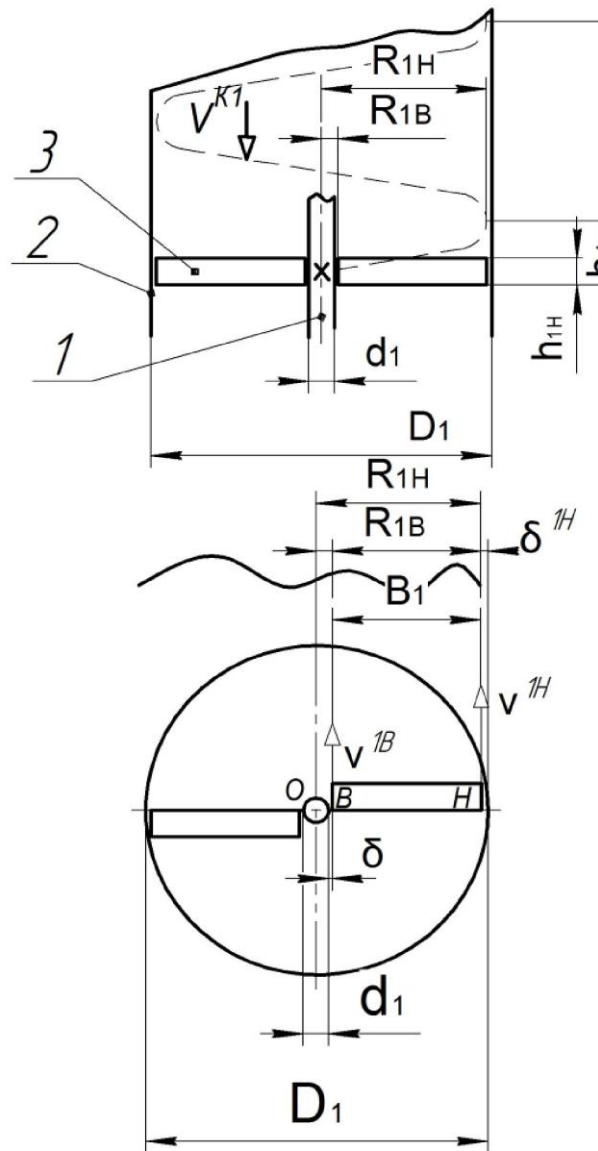


Рисунок 2.2 - Схема першого ступеня подрібнення:

1 - вал; 2 – корпус накопичувача; 3 – ніж горизонтальний

$$V_1 = (R_{1H}^2 - R_{1B}^2) \pi h_1 k_1 k_2, \quad (2.7)$$

де h_1 - товщина різання, м;

k_1 - коефіцієнт використання довжини леза ножа. Відповідно до рекомендацій $k_1 = 0,85 \dots 0,75$;

k_2 коефіцієнт, що враховує порожнини між частинками продукту, $k_2 = 0,6 \dots 0,7$;

$R_{1н}$ - радіус, що описується зовнішньою кромкою леза ножа, м;

$R_{1в}$ - радіус, що описується внутрішньою кромкою леза ножа, м.

Підставимо формулу (2.7) у формулу (2.6), і отримаємо:

$$Q_{п1} = \pi(R_{1н}^2 - R_{1в}^2)h_1k_1k_2\rho_{k1}n_1z_1. \quad (2.8)$$

Внутрішній діаметр корпусу першого ступеня подрібнення необхідно вибирати з умови вільного руху коренеплодів, тобто без зводуутворення. Для кускових легкосипучих матеріалів рекомендується приймати діаметр з наступної умови:

$$D_1 \geq (4 \dots 6)a', \quad (2.9)$$

де a' - типовий розмір коренеплодів, м.

Діаметр валу приводу першого ступеня подрібнення вибирається з умови розрахунку на міцність залежно від частоти обертання, потужності, що передається, умовам навантаження і допустимих напружень [16].

2.3 Обґрунтування параметрів другого ступеня подрібнення

Коренеплоди, що надійшли в другий ступінь подрібнення, зрештою продавлюються вальцями 3 (рисунок 2.3) через встановлені по кільцю плоскі ножі 1. Продуктивність другого ступеня визначається продуктивністю подрібнюючого апарату з вальцями і встановленими по кільцю плоскими ножами (ріжучими елементами) [30, 39] і розраховується за формулою:

$$Q_{п2} = \pi D_2 L_2 H_2 n_2 \rho_{2к} k_1 k_2 z_B, \quad (2.10)$$

де D_2 - діаметр камери другого ступеня подрібнення, м;
 L_2 - довжина ножів у другому ступені подрібнення, м;
 H_2 - товщина шару, захоплювана одним вальцем, м;
 n_2 - частота обертання робочого органу другого ступеня подрібнення, s^{-1} ;
 ρ - насипна щільність корму на вході в другий ступінь подрібнення, $кг/м^3$;
 z_B - кількість вальців, шт.

Для виключення сводоутворення в зоні завантаження в другий ступінь подрібнення необхідно, щоб діаметр камери другого ступеня подрібнення був не менше діаметра корпусу першого ступеня подрібнення, тобто:

$$D_2 \geq D_1. \quad (2.11)$$

Коренеплоди після першого ступеня подрібнення надходять на конус, по утворюючій 4 з якої вони скочуються до встановлених по кільцю плоских ножів 1. Для вільного руху коренеплодів по утворюючій необхідно щоб виконувалася умова:

$$f = \operatorname{tg} \varphi \leq \operatorname{tg} \beta, \quad (2.12)$$

де f - коефіцієнт тертя ковзання коренеплодів об конус;
 φ - кут тертя ковзання коренеплодів об конус;
 β - кут нахилу утворює, град.

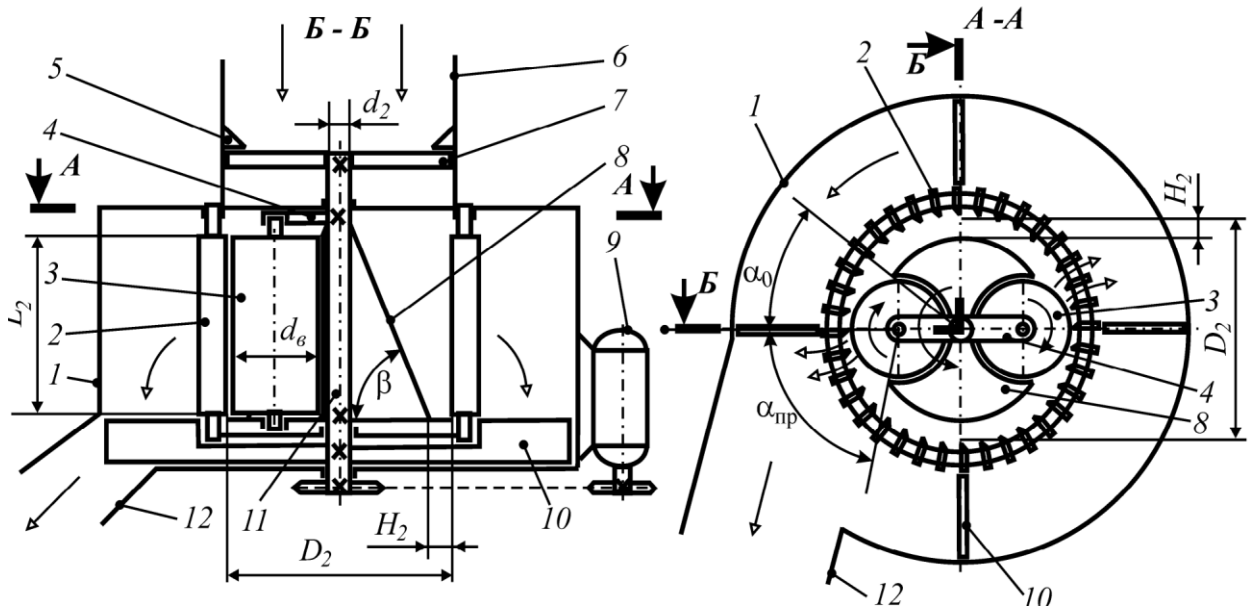


Рисунок 2.3 - Схема для визначення конструктивних параметрів другого ступеня подрібнення: 1 – кожух; 2 – ніж пластинчастий; 3 – валець; 4 – напрямні; 5 – протирізі; 6 - завантажувальна горловина; 7 – ніж горизонтальний; 8 – конус; 9 – привід; 10 - крильчатка; 11 - вал другого ступеня подрібнення; 12 – вивантажувальний лоток

Кут β визначимо з рис. 2.3:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2L_2}{D_k - d_2}, \quad (2.13)$$

де L_2 - довжина ножів другого ступеня подрібнення, м;

d_2 - діаметр валу другого ступеня подрібнення, м;

Кут β нахилу утворює визначимо з формули 2.13:

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{2L_2}{D_k - d_2}. \quad (2.14)$$

З формули (2.13) виразимо довжину ножів:

$$L_2 \geq \frac{D_k - d_2}{2 \operatorname{tg} \beta}. \quad (2.15)$$

З рис. 2.3 можна записати співвідношення:

$$D_2 = 2H_2 + D_k, \quad (2.16)$$

де H_2 - товщина шару, захоплювана одним вальцем, м.

Виразимо (D_k) із співвідношення (2.15):

$$D_k = D_2 - 2H_2, \quad (2.17)$$

Захоплення шару коренеплодів в зону продавлювання відбувається під дією сил тертя по поверхні вальця 3 і ножами 1. Ці сили визначають товщину шару, що впливає на продуктивність другого ступеня подрібнення. Товщину шару можна визначити за виразом:

$$H_2 = \frac{D_2}{2} - \sqrt{\left(\frac{d_b}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_2 - d_b}{2}\right)^2 + d_b \left(\frac{D_2 - d_b}{2}\right) \cos \alpha_{\text{пр}}}, \quad (2.18)$$

де d_b - діаметр вальця, м;

$\alpha_{\text{пр}}$ - кут пресування, град.

Для захоплення вальцем шару коренеплодів необхідно, щоб виконувалася умова:

$$\alpha_{\text{пр}} \leq \frac{\varphi}{\left(1 - \frac{d_b}{D_2}\right)}. \quad (2.19)$$

Підставимо умову (2.19) у вираз (2.18):

$$H_2 = \frac{D_2}{2} - \sqrt{\left(\frac{d_B}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_2 - d_B}{2}\right)^2 + d_B \left(\frac{D_2 - d_B}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi}{1 - \frac{d_B}{D_2}}\right)}. \quad (2.20)$$

На підставі виразу (2.20) для забезпечення надійної роботи другого ступеня подрібнення необхідно в першому ступені виконати умову:

$$h_{1z} \leq H_2. \quad (2.21)$$

Товщину коренеплодів після першого ступеня подрібнення визначимо з виразу:

$$h_{1z} \leq h_l / z_1. \quad (2.22)$$

де h_{1z} - товщина шару коренеплодів, що послідовно прорізується між двома сусідніми ножами, м;

h_l - товщина шару коренеплодів, що проходить через перший ступінь подрібнення за один оберт ріжучого апарату, м.

Виразимо з формули (2.8) параметр h_l :

$$h_l = h_{1z} z_1. \quad (2.23)$$

При заданій частоті обертання кількість ножів у першому ступені подрібнення, необхідне для виконання умови (2.21) визначається із співвідношення:

$$z_1 \geq \frac{4Q_{\text{изм1}}}{\pi(D_1^2 - d_1^2)\rho_k k_2 H_2 n_1}. \quad (2.24)$$

Підставимо вираз (2.7) у співвідношення (2.24):

$$D_k = D_2 - 2 \left[\frac{D_2}{2} - \sqrt{\left(\frac{d_b}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_2 - d_b}{2}\right)^2 + d_b \left(\frac{D_2 - d_b}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi}{1 - \frac{d_b}{D_2}}\right)} \right]. \quad (2.25)$$

Підставимо співвідношення (2.24) у формулу (2.15) отримаємо формулу для визначення довжини ножів другого ступеня подрібнення:

$$L_2 \geq \frac{\left(D_2 - 2 \left(\frac{D_2}{2} - \sqrt{\left(\frac{d_b}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_2 - d_b}{2}\right)^2 + d_b \left(\frac{D_2 - d_b}{2}\right) \cos\left(\frac{\varphi D_2}{D_2 - d_b}\right)} \right) \right) - d_2}{2tg\beta}. \quad (2.26)$$

З точки зору компактного розміщення вальців і максимального використання захоплюючої здатності вальців необхідно застосовувати вальці з максимально можливим діаметром. При збільшенні діаметра вальців у виразі (2.20) величина під коренем матиме мінімальне значення і відповідно товщина шару буде максимальною. З рис. 2.3 діаметр вальця визначимо із співвідношення:

$$d_b \leq \frac{D_2 - d_2}{2}. \quad (2.27)$$

Мельников С.В. [98] рекомендує вибрати для двох вальців діаметр вальця з наступного співвідношення:

$$d_6 = (0,42 \dots 0,45) D_2. \quad (2.28)$$

На основі співвідношень (2.27) і (2.28), можна спростити вирази (2.18):

$$H_2 = \frac{D_2}{2} \cdot K_\varphi, \quad (2.29)$$

$$D_k = D_2 \cdot (1 - K_\varphi), \quad (2.30)$$

$$L_2 \geq \frac{D_2 \cdot (1 - K_\varphi) - d_2}{2 \operatorname{tg} \beta}, \quad (2.31)$$

де K_φ - конструктивний коефіцієнт, що враховує вплив кута тертя.

Коефіцієнт визначимо з виразів (2.20) та (2.27), замінивши на d_b . Після перетворення отримаємо:

$$K_\varphi = 1 - \sqrt{0,5084 + 0,4916 \cdot \cos(1,77 \cdot \varphi)}. \quad (2.32)$$

Залежність зміни коефіцієнта при зміні кута тертя в межах від 20 до 50° описується лінійним рівнянням:

$$K_\varphi = 0,0072\varphi - 0,095. \quad (2.33)$$

При зміні кута тертя від 20 до 50° похибка не перевищує 5%. Згідно зоотехнічних вимог для ВРХ розмір подрібнених коренеплодів має бути в межах 10...15 мм. Відповідно до цього крок розміщення ножів повинен бути в межах, що забезпечують зоотехнічні вимоги (рисунок 2.4).

Кількість ножів знайдемо за формулою

$$D_2 = \frac{h'_2}{\sin\left(\frac{\pi}{z'_2}\right)}. \quad (2.34)$$

Звідки

$$z'_2 = \frac{\pi}{\arcsin\left(\frac{h'_2}{D_2}\right)}, \quad (2.35)$$

Де h_2 - попередньо прийнята відстань між лезами двох сусідніх ножів, м;

z_2 - попередня кількість ножів другого ступеня, шт.

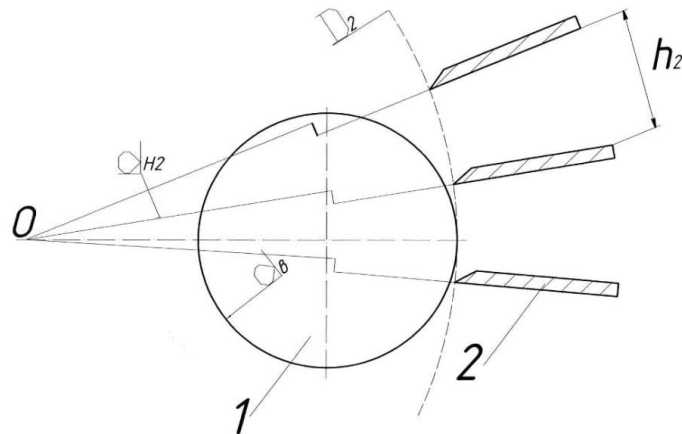


Рисунок 2.5 - Схема розміщення ножів:

1 – валець; 2 – ніж

Отримане число ножів z_2 округлюють до найближчого цілого числа. При прийнятій кількості ножів уточнюють відстань між ножами за формулою:

$$h_2 = D_2 \sin\left(\frac{\pi}{z_2}\right), \quad (2.36)$$

де h_2 - відстань між лезами ножів другого ступеня подрібнення;

z_2 - кількість ножів у другому ступені подрібнення, шт.

Центральний кут, що визначає розстановку ножів у другому ступені, знайдемо за формулою:

$$\alpha_{H2} = \frac{360^\circ}{z_2}, \quad (2.37)$$

де α_{H2} - центральний кут, що визначає розміщення ножів у другому ступені подрібнення, град.

Обґрунтування частоти обертання робочого органу другого ступеня подрібнення. З умови нерозривності потоку

$$Q_{\text{III}} = Q_{\text{II2}} = \pi \left(\frac{D_2^2 - d_2^2}{4} \right) g_{\text{к2}} \rho_{\text{к2}}, \quad (2.38)$$

де d_2 - діаметр валу приводу другого ступеня подрібнення, м;

$g_{\text{к2}}$ - швидкість руху коренеплодів при вході в другий ступінь подрібнення, м/с;

$\rho_{\text{к2}}$ - насипна щільність коренеплодів після подрібнення в першій ступені подрібнення, кг/м³.

Для гарантованого заповнення обсягу, обмеженого днищем, утворюючою кожуха, а також ножовою решіткою, необхідно, щоб коренеплоди встигали за час послідовного проходження двох сусідніх вальців переміститися на відстань L_2 (рис. 2.3). За цей час робочий орган другого ступеня подрібнення з двома вальцями повернеться на половину оберту (рис. 2.4). Цей час можна визначити із співвідношення:

$$t_{2z} = \frac{h_2 z_2}{\pi D_2 n_2}. \quad (2.39)$$

Необхідна швидкість коренеплодів визначиться з формули:

$$g_{\text{к2}} = \frac{L_2}{t_{2z}}. \quad (2.40)$$

Наближене значення гідравлічного радіусу отвору, через яке коренеплоди надходять на другий ступінь подрібнення знайдемо з виразу:

Виразимо з формули (2.43) параметр O_1B :

$$|OB|^2 = |OO_1|^2 + |O_1B|^2. \quad (2.44)$$

Відстань O_1B можна визначити з формули:

$$|O_1B| = |O_1C| + |CB|. \quad (2.45)$$

Підставимо вираз (2.45) в (2.44) і виведемо CB . Після перетворення отримаємо:

$$|CB| = \sqrt{|OB|^2 - |OO_1|^2} - |O_1C|. \quad (2.46)$$

Із рис. 2.5 можна записати:

$$|OB| = \frac{D_2}{2}, |O_1C| = \frac{d_b}{2}, |CB| = e_r, |OO_1| = \frac{d_b}{2}. \quad (2.47)$$

Підставимо значення з (2.47) і (2.42) у вираз для (2.41). Після перетворення отримаємо вираз для визначення наближеного значення гідравлічного радіусу отвору:

$$R_r = \frac{(d_b - a')(\sqrt{D_2^2 - d_b^2} - d_b - a')}{2(d_b + \sqrt{D_2^2 - d_b^2} - 4a')}. \quad (2.48)$$

Критичний гідравлічний радіус отвору визначаємо за формулою:

$$R_{кр} = \frac{\tau_0 t g^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{\rho}, \quad (2.49)$$

де τ_0 - початковий опір зсуву, Па.

Якщо $R_r \geq R_{кр}$, то середня швидкість визначається за виразом:

$$v_{2к} = \lambda \sqrt{2g \left(1,6R_r - \frac{\tau_0}{\rho} \right)}, \quad (2.50)$$

де λ - коефіцієнт витікання.

Після проходження вальця він захоплює коренеплоди завтовшки H_2 (рисунок 2.6) і продавлює їх через ножові ґрати (BB_1).

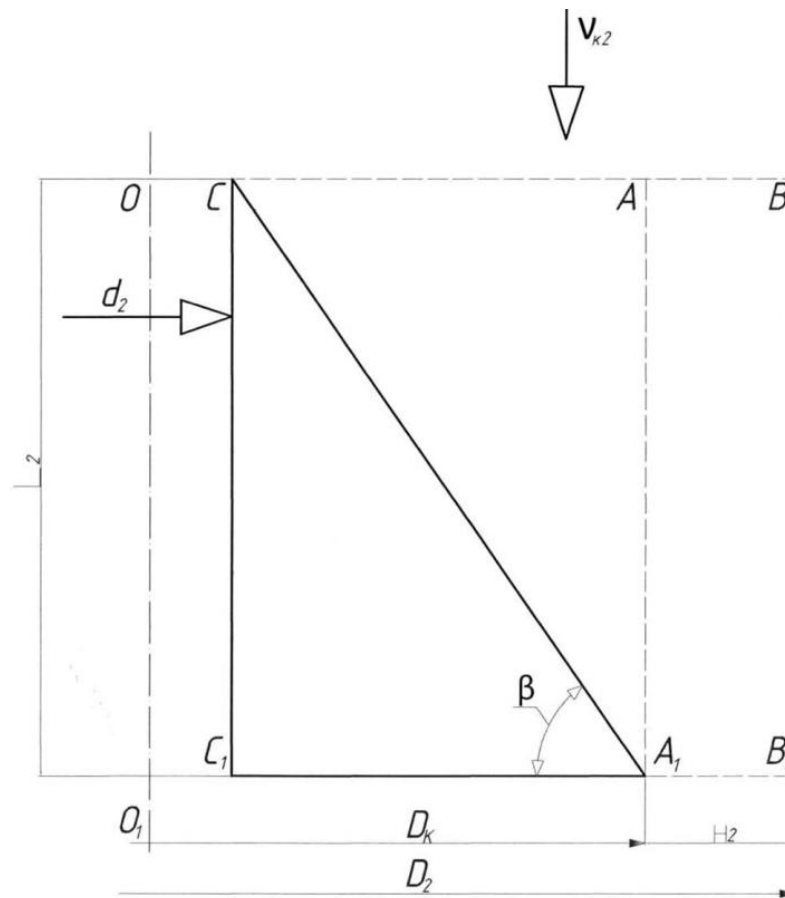


Рисунок 2.6 - Схема визначення конструктивних

параметрів другого ступеня подрібнення

Кільцевий об'єм, обмежений умовними межами ABV_1A_1 , до підходу наступного вальця, має бути повністю заповнений. Якщо перед проходженням вальця камера другого ступеня подрібнення була повністю заповнена, то для заповнення об'єму ABV_1A_1 коренеплоди рухаються через дві умовні межі AA_1 і AB . Через умовну межу AA_1 коренеплоди рухаються до межі VB_1 . Рух коренеплодів здійснюється зісковзуванням вздовж похилої твірної A_1C конуса.

2.4 Визначення витрат потужності другим ступенем

Витрати енергії в другому ступені подрібнення складаються з витрат енергії на підведення продукту в зону подрібнення, витрат енергії на процес різання, витрат енергії на проштовхування подрібненого продукту між ножами, витрат енергії на вивантаження подрібнених коренеплодів, які можна визначити з виразу:

$$N_2 = N_{\text{під}2} + N_{\text{р}2} + N_{\text{в}2} + N_{\text{хх}2}, \quad (2.51)$$

$N_{\text{під}2}$ - потужність, що витрачається на підведення продукту до ножів у другому ступені подрібнення, Вт;

$N_{\text{р}2}$ - потужність, що витрачається на різання в другому ступені подрібнення, Вт;

$N_{\text{хх}2}$ - потужність, що витрачається на холостий хід у другому ступені подрібнення, Вт.

Визначимо величину кожної зі складових потужності, що входять у вираз (2.51). Потужність, що витрачається на підведення продукту до ножів у другому ступені подрібнення складається:

$$N_{\text{под}2} = N_{\text{н}2} + N_{\text{ц}2}, \quad (2.52)$$

де $N_{п2}$ - потужність, що витрачається на підведення коренеплодів вальцями в зону защемлення, Вт;

$N_{ц2}$ - потужність, що витрачається на підведення коренеплодів в зону защемлення під дією відцентрових сил, Вт.

Коренеплоди, що перебувають над конусом 3, за рахунок відцентрових сил і під дією вальців 1 переміщуються в зону защемлення 2 до ножів 4. На етапі подачі в зону защемлення коренеплоди взаємодіють з вальцем 1 (рисунок 2.7) по дузі C_2A_2 .

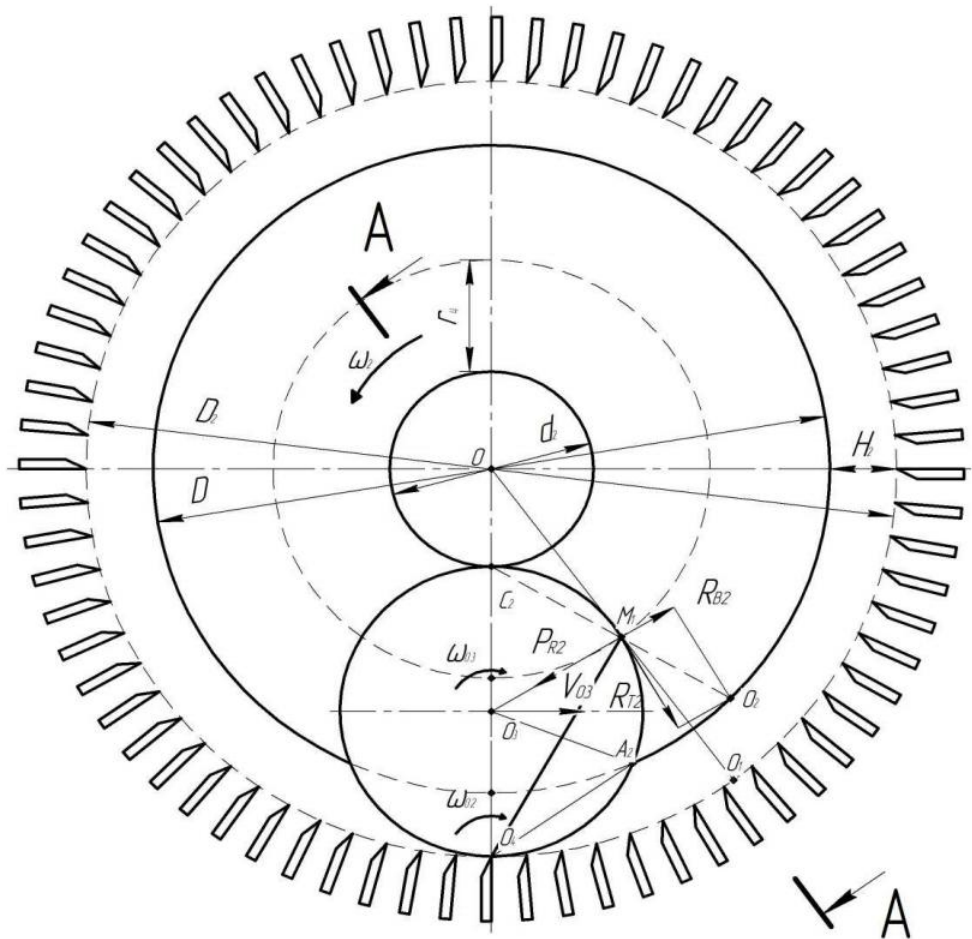


Рисунок 2.7 – Схема визначення потужності на підведення коренеплодів в зону защемлення

Зі зростанням L_2 значення при опусканні коренеплодів вздовж осі величина тиску коренеплодів на валець збільшується. Зусилля взаємодії коренеплодів з вальцем визначимо за виразом:

$$P_{в2} = \rho_{2к} k_n S_1 g L_2, \quad (2.53)$$

де S_1 - площа трикутника CAA_1 , m^2 ;
 k_n - коефіцієнт рухливості матеріалу.

Площу S_1 знайдемо за формулою:

$$S_1 = \frac{|CA|L_2}{2}, \quad (2.54)$$

де CA - довжина катета трикутника CAA_1 , m ;

Довжину катета CA трикутника CAA_1 знайдемо з рис. 2.8:

$$|CA| = \frac{D_k - d_b}{2}, \quad (2.55)$$

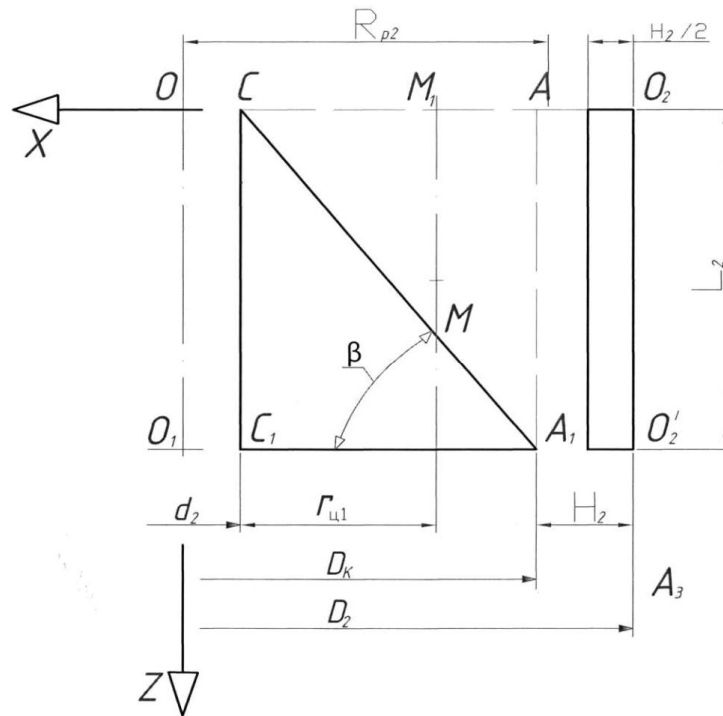


Рисунок 2.8 - Розріз А-А на рис. 2.7

Коефіцієнт рухливості матеріалу знайдемо з формули:

$$k_n = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \quad (2.56)$$

де φ - кут природного скосу при русі, град.

Потужність N_{p2} , що витрачається на подрібнення в другому ступені апарату, складається з витрат енергії на подолання опорів активного різання, тертя коренеплодів об валець і ножі.

$$N_{p2} = (N_{p2r} + N_{p2t}) \cdot z_B + N_{p2i} \quad (2.57)$$

де N_{p2r} - потужність, що витрачається на різання в другому ступені подрібнення, Вт;

N_{p2t} - потужність, що витрачається на тертя коренеплодів об валець, Вт.

Потужність, що витрачається на різання в другому ступені подрібнення знайдемо за формулою:

$$N_{piz2} = P_{p2} \mathcal{G}_{p2}, \quad (2.58)$$

де P_{p2} - сила, що діє з боку ножової решітки на коренеплоди, Н;

\mathcal{G}_{p2} - середня швидкість руху коренеплодів через ножову решітку, м/с.

Силу P_{p2} визначимо з виразу:

$$P_{p2} = (P_{piz2} + P_{d2} + P_{tp2}) z_{n2}, \quad (2.59)$$

де P_{piz2} - опір різанню лезом, Н. (рис. 2.9);

P_{d2} - зусилля на деформацію коренеплодів, Н;

P_{tp2} - зусилля на подолання тертя, Н;

z_{n2} - кількість ножів, що одночасно беруть участь у різанні під дією одного вальця шт.

Визначимо силу опору різанню лезом для одного ножа за виразом:

$$P_{pez2} = k_m L_2 t_n \delta_l, \quad (2.60)$$

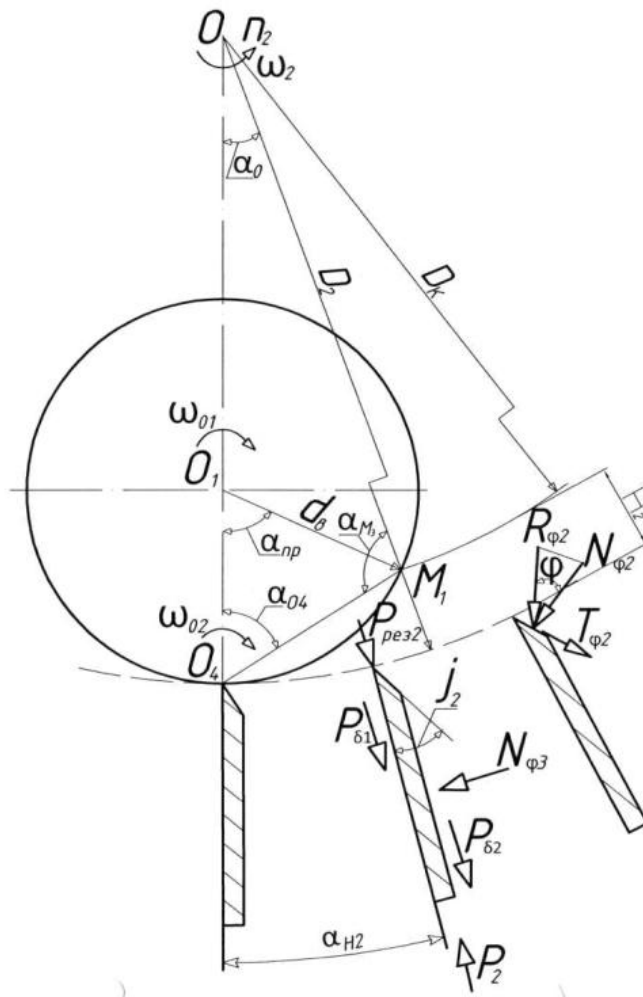


Рисунок 2.9 – Схема сил, що діють на ножі

При переміщенні коренеплідів між ножами 1 і 2 (рис. 2.9) відстань між ними зменшується до величини h_3 за лінійною залежністю. При цьому величина деформації змінюється від 0 до h_2 . Тиск, що виникає при цьому, зв'язаний з деформацією наступним виразом:

$$\sigma_{AB} = \varepsilon_1 E_3, \quad (2.61)$$

де σ_{AB} - тиск на фасці ножа, Па;

ε_1 - відносна деформація коренеплода;

E_3 - модуль пружнопластичних деформацій коренеплода, Па

Ножі в ножовій решітці розташовуються по колу. Сусідні ножі знаходяться під кутом α_{H2} один до одного. Величину цього кута можна визначити за формулою:

$$\alpha_{H2} = \frac{360^\circ}{z_{H2}}, \quad (2.62)$$

де α_{H2} - кут між двома сусідніми ножами, град.

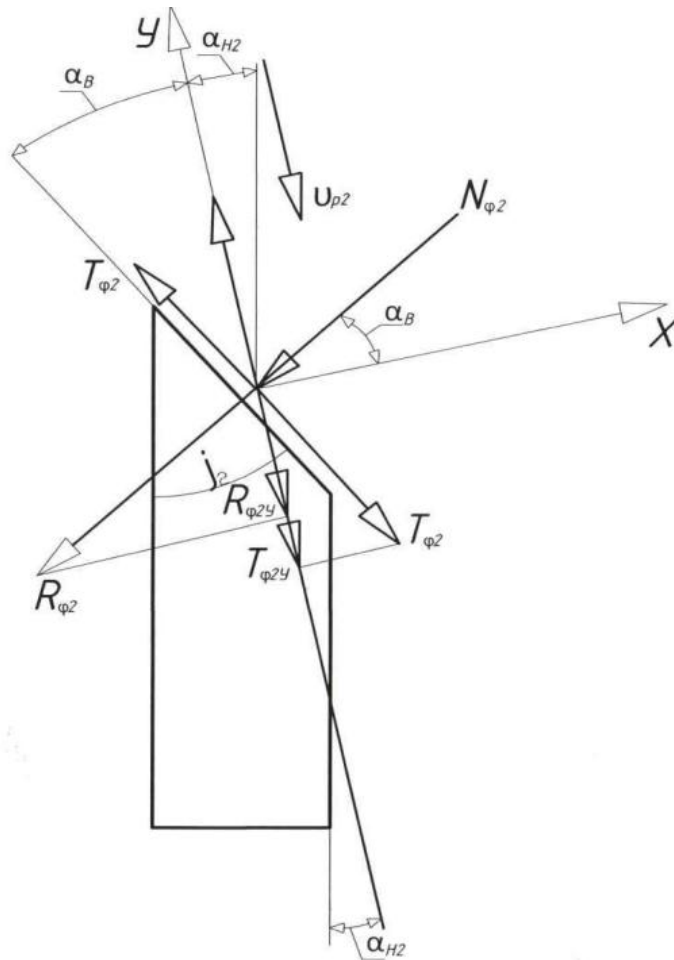


Рисунок 2.10 – Схема визначення сили $N_{\varphi 2y}$

Коренеплоди притискаються до бокової грані ножа і рухаються вздовж осі OY зі швидкістю v_{p2} . Коренеплоди діють на фаску AB ножа з силою $N_{\varphi 2}$, викликаючи рівну реакцію $R_{\varphi 2}$, але протилежного напрямком. Тоді зусилля на фасці ножа вздовж осі OY від деформації складе:

$$R_{\varphi 2Y} = R_{\varphi 2} \sin \alpha_B = N_{\varphi 2} \sin \alpha_B, \quad (2.63)$$

де $R_{\varphi 2Y}$ - проекція сили $R_{\varphi 2}$ на вісь ОУ, Н;

α_B - кут між кромкою ножа та віссю ОУ, град.

Валець по відношенню до матриці встановлюється із зазором. При $\Delta_2=0$ валець з матрицею стикається в точці O_4 і, як наслідок, відбувається обертання вальця щодо матриці в точці миттєвої O_4 .

Для зменшення зносу леза ножа встановлюють зазор $\Delta_2>0$. Величина зазору в порівнянні з товщиною шару, що захоплюється, мала і рекомендується встановлюватися в межах 0,1 ... 0,8 мм, що помітного впливу на загальну висоту захоплюваного шару не надає.

За наявності зазору $\Delta_2>0$ (дивися рис. 2.10) швидкість вальця щодо матриці в точці O_4 не дорівнює нулю, що призводить до прослизання вальця щодо матриці. У цьому випадку в зоні защемлення по дузі O_4M_1 буде також відбуватися прослизання коренеплодів щодо вальця і виникати сила тертя T_{PB2} . Визначимо силу тертя за формулою:

$$T_{PB2} = N_{PB2} f, \quad (2.64)$$

де N_{PB2} - нормальна складова сили тиску коренеплодів на валець, Н.

Сила P_{PB2} , що діє на коренеплоди, що знаходяться в зоні защемлення, дорівнює силі N_{PB2} нормальної складової, що діє з боку коренеплодів на поверхню вальця, тобто:

$$N_{PB2} = P_{PB2}. \quad (2.65)$$

де α_{P2} - кут між нормаллю до протирізальної решітки і нормаллю до утворюючої вальця, град.

2.5 Ефективність процесу подрібнення

Ефективність процесу подрібнення оцінимо показником питомої витрати енергії:

$$N_{\text{пит}2} = \frac{N_2}{Q_{\text{корн}}}, \quad (2.68)$$

де $N_{\text{пит}2}$ - питома витрата енергії, Вт·с/кг;

N_2 - витрати потужності на другому ступені подрібнення, Вт.

Енергоємність процесу подрібнення визначимо за формулою:

$$E = \frac{N_2}{Q_{\text{корн}} \cdot \lambda}, \quad (2.69)$$

де λ - ступінь подрібнення;

При двостадійному процесі ступінь подрібнення визначимо як добуток окремих ступенів за формулою:

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_2, \quad (2.70)$$

де λ_1 - ступінь подрібнення на першому ступені;

λ_2 - ступінь подрібнення на другому ступені.

2.6 Висновки

На основі теоретичних досліджень розроблена конструктивно-технологічна схема двоступінчастого подрібнювача коренеплодів, що включає в себе перший ступінь попереднього різання дискового типу і другий ступінь з вертикальним розташуванням подрібнюючого органу, що має вальцевий підпір і встановлені по кільцю плоскі ножі. Запропонована конструктивно-технологічна схема двоступінчастого подрібнюючого пристрою дозволяє отримувати подрібнені коренеплоди відповідні зоотехнічних вимог при мінімальних питомих витратах енергії за рахунок зниження швидкісних характеристик робочих органів і регламентованої розстановки плоских ножів у другій ступені.

Теоретичні дослідження дозволили отримати вирази для визначення параметрів:

а) конструктивно-технологічних і режимних:

- продуктивність першої і другої ступенів подрібнення;
- кількість і крок розміщення ножів другого ступеня подрібнення;
- визначаючу висоту робочої камери другого ступеня подрібнення мінімальну і максимальну довжину ножів;
- частота обертання робочого органу другого ступеня подрібнення.

Максимальна частота обертання робочого органу обмежується умовами повного заповнення камери подрібнення, або товщиною захоплюваного вальцем шару

б) енергетичних:

- витрати потужності в другому ступені на: процес подрібнення підведення коренеплодів в зону защемлення, різання;
- сил, що діють з боку ножової решітки на коренеплод.

3 Лабораторні дослідження процесу подрібнення коренеплодів

3.1 Програма та методика лабораторних досліджень

До програми лабораторних досліджень, які проводилися в кілька етапів, входило:

- уточнити деякі фізико-механічні властивості коренеплодів (щільність, вологість, розмірно-масові характеристики, міцнісні властивості та ряд інших);

- вивчити вплив конструктивних параметрів ножів на зусилля різання.

Відповідно до розробленої програми експериментальні дослідження проводилися на розробленому лабораторному обладнанні, створеному на основі теоретичних розробок поетапно у наступній послідовності:

- розробка окремих методик експериментальних досліджень;
- підготовка лабораторного обладнання та апаратури;
- проведення експериментів та аналіз результатів.

Експериментальні дослідження проводилися з урахуванням особливостей факторів. Обробка та аналіз результатів дослідів здійснювалися з використанням ПЕОМ. Повторність та кількість дослідів визначалися з використанням залежностей між числом повторностей дослідів, заданою надійністю та відносною помилкою. Як випробуваний матеріал використовувалися кормові буряки, морква і картопля.

3.1.1 Методика досліджень розмірно-масових характеристик

Подрібнення передбачає сукупність впливів робочих органів двоступінчастого подрібнюючого пристрою на коренеплоди з властивостями, що значно розрізняються. Тому реальні показники подрібнювального пристрою необхідно розглядати тільки у зв'язку з фізико-механічними характеристиками мате-

ріалів, що подрібнюються. Розмірно-масові характеристики необхідно врахувати щодо деяких конструктивних параметрів подрібнюючого пристрою, наприклад діаметр камери першого ступеня подрібнення, оцінки якісних показників процесу подрібнення, а також ряду інших.

Лінійні розміри визначали штангенциркулем ШЦ II 0-250 ц-0,1 з межею вимірів від 0 до 250 мм. Масу визначали на терезах ВЛКТ-500gM з точністю до 10×10^{-5} кг. У картоплі заміряли довжину, найбільші ширину і товщину, масу. У коренів буряків і моркви заміряли найбільше потовщення діаметру, як середнє арифметичне з максимального та мінімального вимірювань, довжину і масу.

Щільність коренеплодів визначаємо за формулою:

$$\rho_k = \frac{m_k}{V_k}, \quad (3.1)$$

де ρ_k - щільність коренеплодів, кг/м²;

m_k - маса коренеплоду, кг;

V_k - об'єм коренеплоду, м³.

Масу коренеплодів визначали зважуванням на вагах з точністю до 0,01 г. Об'єм визначали поміщаючи коренеплоди в наповнений водою мірний циліндр. Вологість визначали експрес методом за допомогою вологоміра.

3.1.2 Методика дослідження міцності коренеплодів

Подрібнення – складний енергоємний процес, на який великий впливу мають міцнісні властивості коренеплодів.

Для вивчення зусиль на стиснення та безпосередньо на процес різання використовували аналізатор текстури харчових та кормових продуктів, розроблений на кафедрі механізації виробничих процесів у тваринництві, загальний вигляд якого представлений на рис. 3.1.

Розміри зразка коренеплоду: діаметр $D_3 = 0,029$ м, висота $L_3 = 0,029$ м.

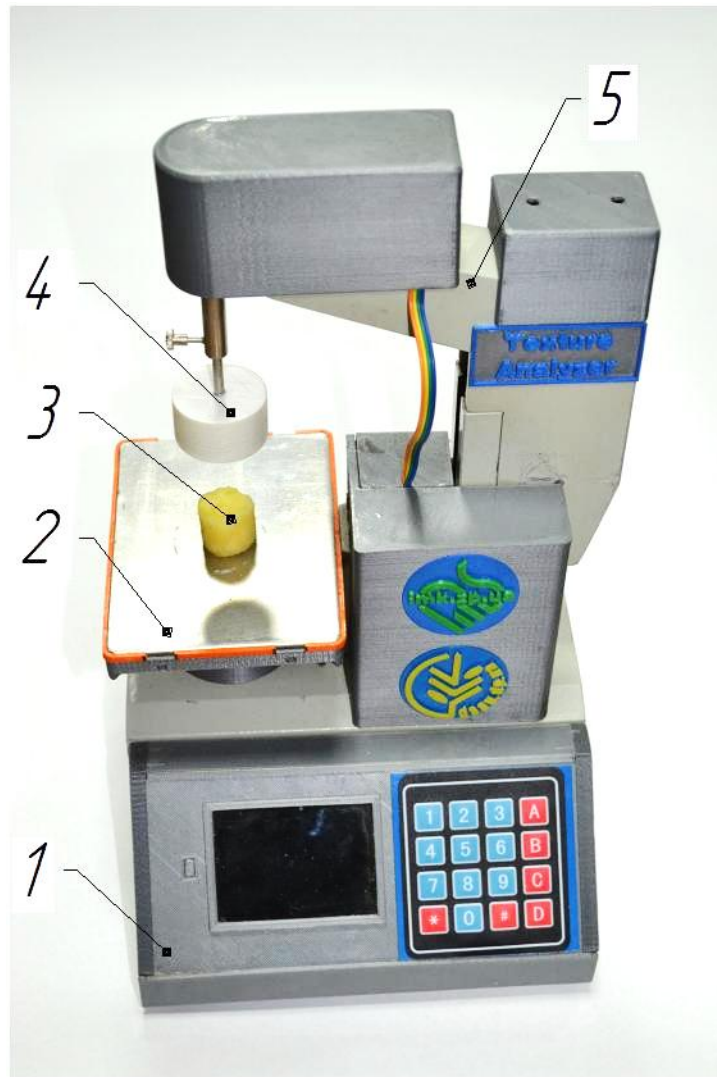


Рисунок 3.1. - Аналізатор текстури харчових та кормових продуктів: 1 – корпус; 2 – стіл; 3 – зразок коренеплоду; 4 –індентор; 5 – рухомий штатив

Щодо дослідження процесу різання, то для їх реалізації були виготовлені одинарні та подвійні ножі з кутами заточування 25, 30 та 35°. Відстань між подвійними ножами становила 6, 12 та 18 мм. Кут нахилу ножів щодо столу змінювався від 0 до 35 ° з інтервалом через 5°.

При визначенні питомої лінійної сили ножа як робочого органу встановлювали одинарний ніж, а при дослідженні опору різанню - подвійні ножі.

Питому лінійну силу ножа знайдемо за формулою (рис. 3.2):

$$q_{\text{лн}} = \frac{N_{\text{нр}}}{\Delta S_{\text{н}}}, \quad (3.2)$$

де $N_{\text{нр}}$ – нормальна сила різання, Н;

$\Delta S_{\text{н}}$ – довжина навантаженої ділянки леза ножа, м.

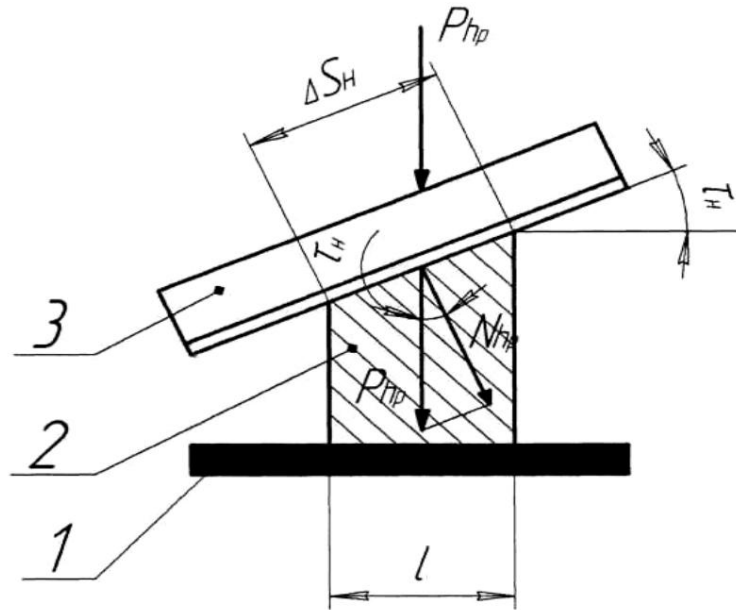


Рисунок 3.2 – Схема визначення питомої лінійної сили ножа:

1 – робочий стіл; 2 - досліджуваний коренеплід; 3 – ніж

Нормальну силу $N_{\text{нр}}$ знайдемо за виразом:

$$N_{\text{нр}} = P_{\text{нр}} \cos \tau_{\text{н}}. \quad (3.3)$$

Довжину навантаженої ділянки леза ножа знайдемо за виразом:

$$\Delta S_{\text{н}} = \frac{b_{\text{обр}}}{\cos \tau_{\text{н}}}, \quad (3.4)$$

де $b_{\text{обр}}$ - ширина зразка коренеплоду, що подрібнюється, м.

Опір різання подвійними ножами знайдемо за такою формулою:

$$P_{p2} = \frac{N_h}{2\Delta S_n}, \quad (3.5)$$

де N_h - нормальна сила різання, Н;

2 - коефіцієнт, який враховує, що різання відбувається під дією відразу двох ножів.

3.2 Результати лабораторних досліджень

3.2.1 Розмірно-масові характеристики

Отримані розмірно-масові характеристики коренеплодів представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Розмірно-масові характеристики коренеплодів

Вид кормів	Розмір, м			Маса, кг	Щільність, кг/м ³	Вологість, %
	довжина	ширина	товщина			
Картопля	0,087	0,038	0,026	0,106	1139	76,5
Буряк	0,188	0,10	-	0,565	1034	86,5
Морква	0,13	0,035	-	0,142	1033	87,0

Результати дослідження властивостей міцності коренеплодів

Результати досліджень на міцність за напруженням стиснення $\sigma_{ст}$ і модулем пружнопластичних деформацій E_3 в залежності від величини відносної деформації представлені на рисунках 3.3 та 3.4, а також залежності зміни модуля пружнопластичних деформацій E_3 від напруження стиснення $\sigma_{ст}$ (рис. 3.5)

Залежність напруження $\sigma_{ст}$ і модуля пружнопластичних деформацій E_3 від відносної деформації ϵ для коренеплодів має S-подібну форму (рис. 3.3 та 3.4). Спочатку напруження зростає повільніше, а при досягненні значення відносної деформації ϵ відбувається більш інтенсивне зростання до моменту руйнування досліджуваного зразка, після чого величина напруження різко знижується, і у зразку утворюється тріщина (або кілька тріщин), спрямованих під кутом до навантаження (рис. 3.6).

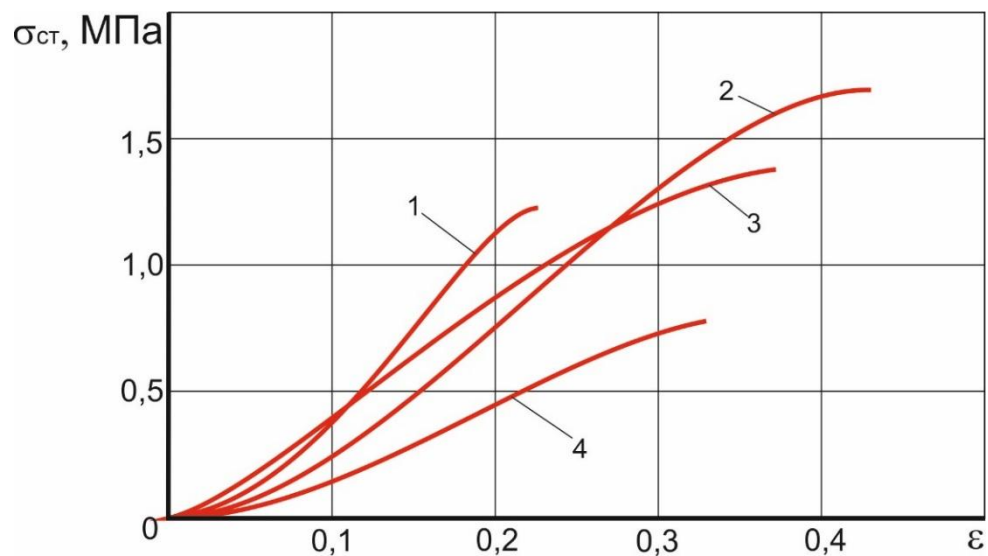


Рисунок 3.3 – Залежність напруження стиснення $\sigma_{ст}$ від величини відносної деформації ϵ : 1-буряк; 2-морква поперек волокон; 3-морква вздовж волокон; 4-картопля

Залежність модуля пружнопластичних деформацій E_3 від величини відносної деформації ϵ спочатку плавно зростає. При значенні відносної деформації більше 0,12...0,15 зростання модуля пружнопластичних деформацій для деяких коренеплодів уповільнюється (морква вздовж волокон, буряк) або навіть починає знижуватися (морква поперек волокон, картопля) до значення, у якому відбувається руйнування досліджуваного зразка.

Залежність модуля пружнопластичних деформацій E_3 від величини напруження стиснення $\sigma_{ст}$ (рис. 3.5) має нелінійний характер. При зростанні на-

пруження стиснення від 0 до 0,3...0,4 МПа відбувається інтенсивне зростання модуля пружнопластичних деформацій.

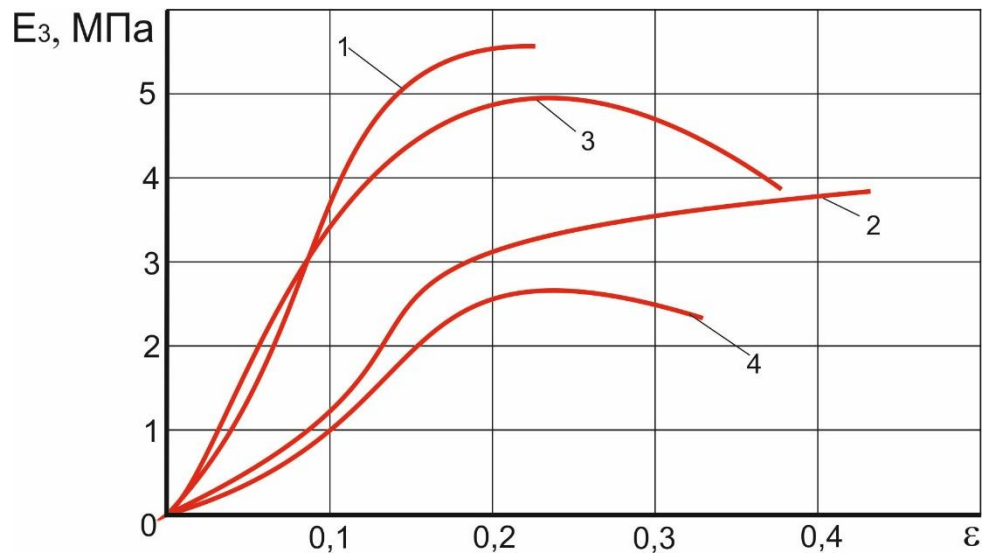


Рисунок 3.4 – Залежність модуля пружнопластичних деформацій E_3 від величини відносної деформації ϵ : 1 - буряк; 2 - морква поперек волокон; 3 - морква вздовж волокон; 4 - картопля

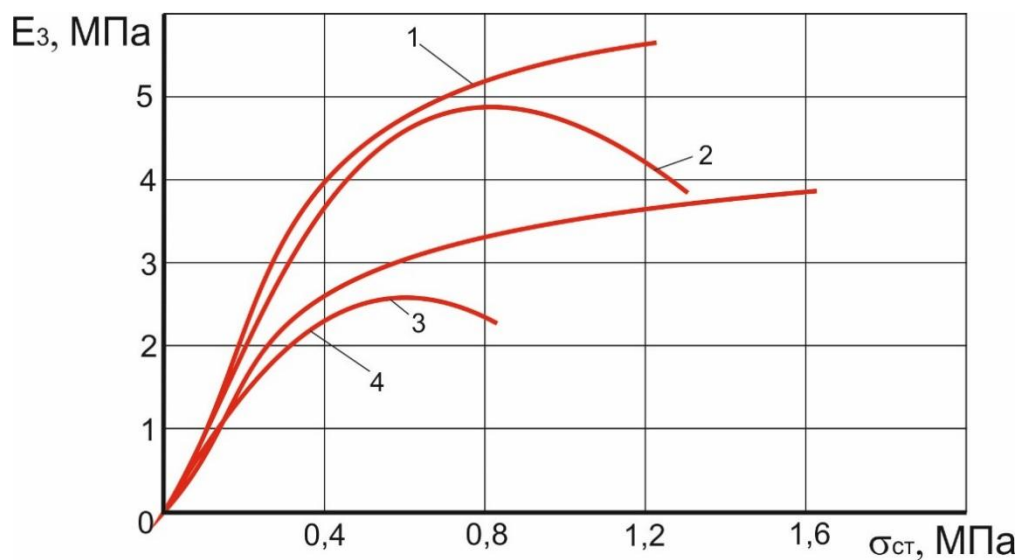
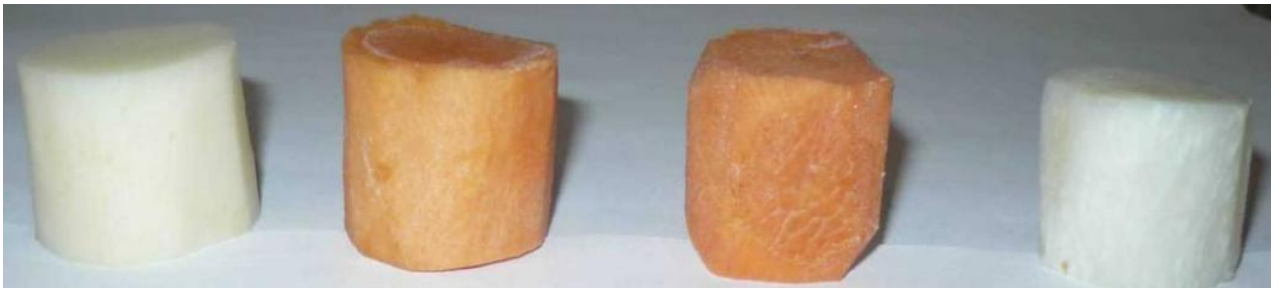


Рисунок 3.5 – Залежність модуля пружно-пластичних деформацій E_3 від величини напруження стиснення $\sigma_{ст}$: 1 - буряк; 2 - морква поперек волокон; 3 - морква вздовж волокон; 4 - картопля

При збільшенні напруження стиснення більше 0,4 МПа зростання модуля пружнопластичних деформацій уповільнюється (буряк, морква вздовж волокон) або, досягнувши деякого граничного значення, починає знижуватись (морква поперек волокон, картопля), потім також відбувається руйнування досліджуваного зразка (рис. 3.6).



а



б

Рисунок 3.6 – Зразки картоплі, моркви та буряків до руйнування (а), після руйнування (б)

Такий характер залежностей зміни міцнісних властивостей коренеплодів пов'язаний з тим, що коренеплоди є біологічними об'єктами, що мають нерівномірну внутрішню структуру (механічна структура), при якій змінюються форма, розміри, властивості та фізичні стани подрібнюваних кормів. Тому збільшення навантаження спочатку призводить до стиснення, ущільнення структури та видалення мікропор. Подальше збільшення навантаження більш рів-

номірно розподіляється всередині досліджуваного зразка та показує майже лінійну зміна властивостей міцності коренеплодів.

При досягненні граничних значень міцності спочатку відбувається розрив зв'язків між окремими волокнами та клітинами. Міцнісні властивості зразка починають знижуватися, але руйнування не відбувається. Це відбивається на зниженні (морква впоперек волокон, картопля) або уповільненні (буряк, морква вздовж волокон) зростання модуля пружнопластичних деформацій E_3 зі збільшенням навантаження $\sigma_{ст}$.

За результатами досліджень зусиль різання коренеплодів одинарним ножом виявлено залежність зусиль різання від кута заточування ножа γ_2 та кута нахилу леза τ ножа, представлені на рис. 3.7 та 3.8.

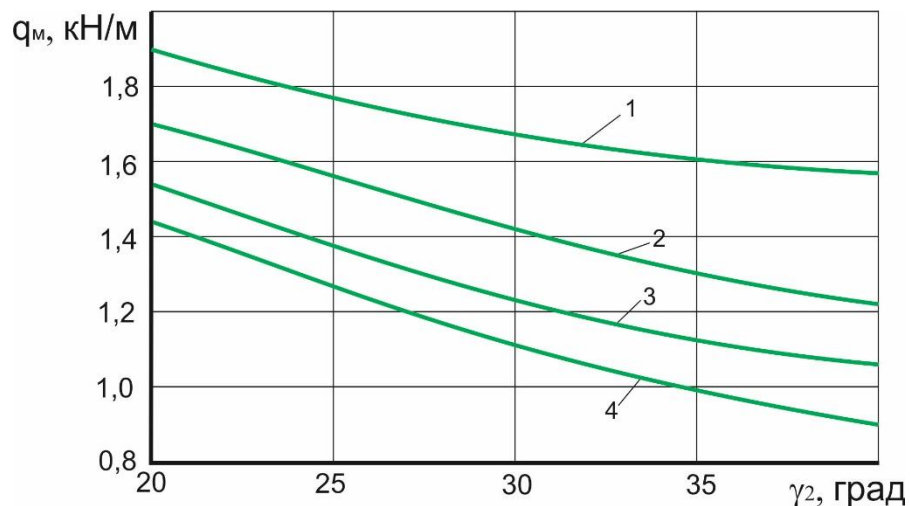


Рисунок 3.7 – Залежність питомої лінійної сили ножа q_m від кута заточування леза ножа γ_2 : 1 – кут нахилу леза ножа $\tau=0^\circ$; 2 – кут нахилу леза ножа $\tau=25^\circ$; 3 – кут нахилу леза ножа $\tau=30^\circ$; 4 – кут нахилу леза ножа $\tau=35^\circ$

При збільшенні кута γ_2 знижується питома сила впливу ножа, яка має нелінійний характер. Більш інтенсивне зниження спостерігається при $\gamma_2 > 30^\circ$. Це пов'язано зі зменшенням зусилля на деформацію коренеплодів.

Максимальне значення питомої сили впливу ножа має при куті нахилу леза щодо протиріжучої пластини (стола) $\tau=0^\circ$. При збільшенні кута τ питомої сили впливу ножа знижується. Більш інтенсивне зниження питомої сили впливу ножа q_m спостерігається при куті нахилу $\tau > 25^\circ$. Це пов'язано з кінематичною трансформацією кута заточування леза. Рациональні значення кута заточування ножа мають бути $30\dots35^\circ$, а кута нахилу леза ножа до протирізальної пластини - $25\dots35^\circ$.

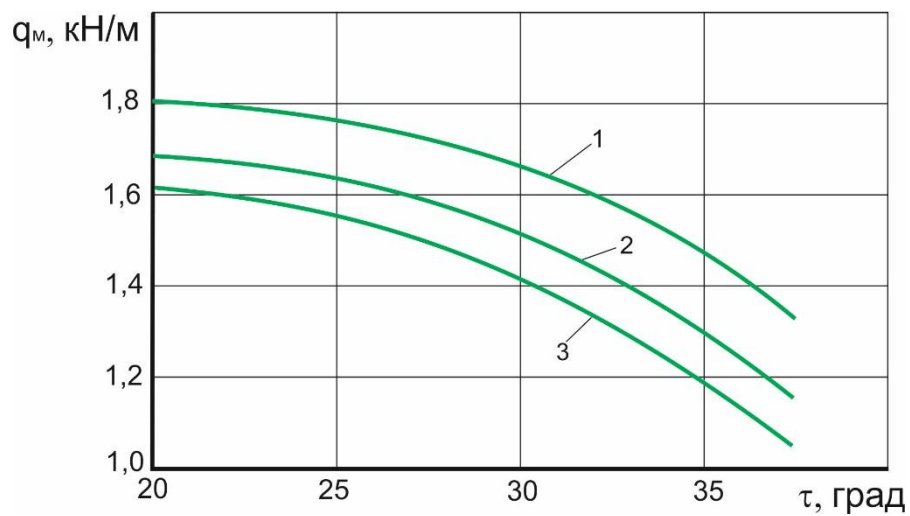


Рисунок 3.8 – Залежність питомої лінійної сили ножа q_m від кута нахилу леза ножа τ : 1–кут заточування леза ножа $\gamma_2=25^\circ$; 2 – кут заточування леза ножа $\gamma_2=30^\circ$; 3–кутзаточування леза ножа $\gamma_2=35^\circ$

За результатами досліджень зусиль різання коренеплодів подвійними ножами було побудовано залежності зміни опору різання P_{p2} від відстані між ножами h_2 та кута заточування ножів γ_2 (рис. 3.9 та 3.10).

При збільшенні відстані h_2 від 6 до 12 мм опір інтенсивно знижується майже в 2 рази, а при збільшенні h_2 від 15 до 18 мм – опір різанню знижується менш, ніж на 20%, тобто вплив h_2 на опір різання зменшується. Це пов'язано з тим, що при проштовхуванні між ножами коренеплоди інтенсивно стискаються і при величинах відносної деформації $\epsilon=0,29$ картопля починає руйнуватися

під дією зусиль різання та напруження деформації. При відстані $h_2 > 15$ мм будуть порушуватися зоотехнічні вимоги до подрібнення коренеплодів. Тому при проектуванні подрібнювальних апаратів з ножовими решітками величину h_2 необхідно вибирати в межах від 12 до 15 мм.

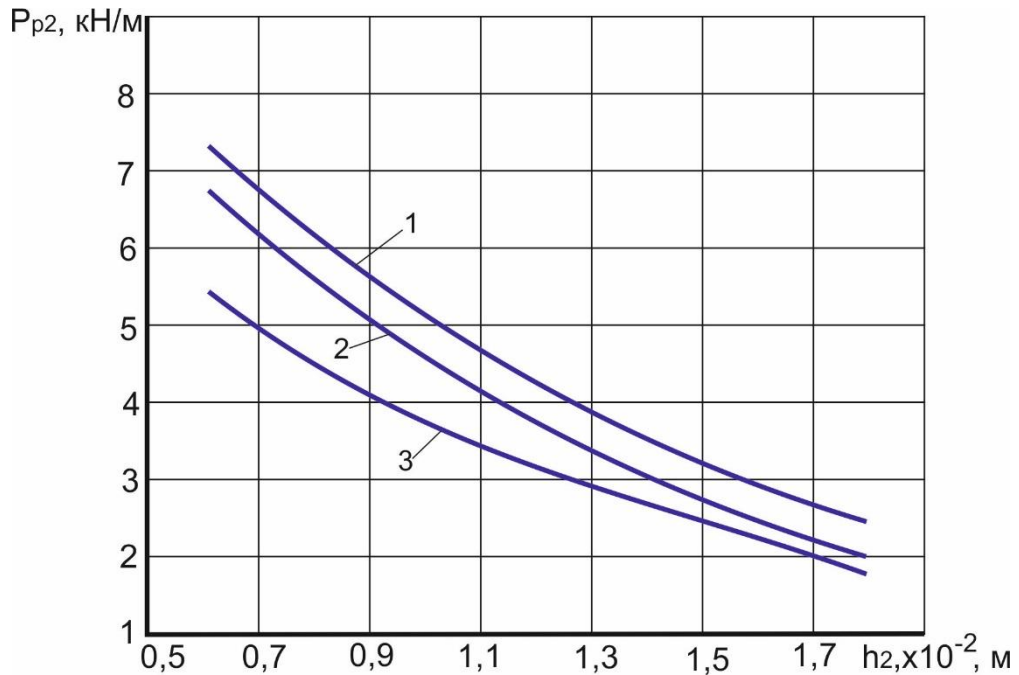


Рисунок 3.9 - Залежність опору різання P_{p2} подвійними ножами від відстані між ножами h_2 : 1 – кут заточування леза ножа $\gamma_2 = 25^\circ$; 2 – кут заточування леза ножа $\gamma_2 = 30^\circ$; 3 – кут заточування леза ножа $\gamma_2 = 35^\circ$

При збільшенні кута заточування ножів γ_2 від 25° до 35° (рис. 3.10) питомий опір різання подвійними ножами знижується. Це пов'язано з тим, що гостріші ножі легше впроваджуються в тіло коренеплоду і в процесі входження знижуються витрати на тертя об бічні грані ножів, зміщуючись в зону фаски ножів, де значення деформації мають менше значення.

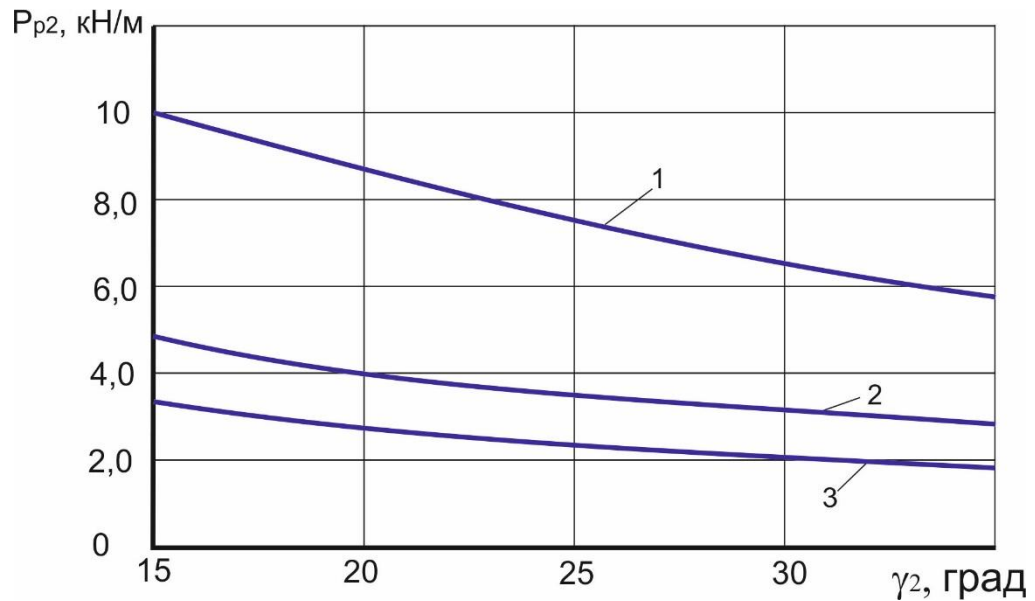


Рисунок 3.10 – Залежність опору різання P_{p2} подвійними ножами від кута заточування ножів γ_2 : 1 – відстань між ножами $h_2=0,006$ м; 2 – відстань між ножами $h_2=0,012$ м; 3 – відстань між ножами $h_2=0,018$ м

3.3 Висновки

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Дослідження міцнісних властивостей коренеплодів стисненням виявили, що:

а) зміни напруження стиснення від відносної деформації від нуля до 0,25 ... 0,35 МПа (момент руйнування) мають витягнуту S-подібну форму;

б) зміни модуля пружнопластичних деформацій від збільшення відносної деформації:

- при збільшенні відносної деформації від нуля до 0,12 ... 0,15 модуль пружнопластичних деформацій збільшується до 2 МПа (морква вздовж волокон, картопля) або 4,5 ... 4,8 МПа (морква поперек волокон, буряк) і змінюється за лінійним законом;

- при зміні відносної деформації від 0,12 ... 0,15 до 0,25 ... 0,35 модуль пружнопластичних деформацій збільшується на 10...25% (морква вздовж волокон, буряк) або після короткочасного зростання на 9...11% різко знижується (морква впоперек волокон, картопля) з подальшим руйнуванням цілісності досліджуваного зразка;

в) зміни модуля пружнопластичних деформацій від напруження стиснення:

- при зміні напруження стиснення від нуля до 0,3...0,4 МПа відбувається лінійне зростання модуля пружнопластичних деформацій до 2 МПа (морква вздовж волокон, картопля) або 4 МПа (морква впоперек волокон, буряки);

- при збільшенні напруження стиснення від 0,3...0,4 МПа до 0,7 МПа (картопля) або 1,2...1,5 МПа (морква, буряк) відбувається зростання пружнопластичних деформацій на 13 ... 22% (морква поперек волокон, картопля) знижується від максимального на 5...19% із наступним руйнуванням.

2. Дослідження зусиль різання коренеплодів показали:

а) при різанні одинарним плоским ножом:

- при збільшенні кута заточування від 25° до 35° питома лінійна сила ножа зростає на 18 ... 22%;

- зі збільшенням кута нахилу леза ножа від нуля до 35° питома лінійна сила ножа знижується на 28...34%;

б) при різанні подвійними плоскими ножами:

- при збільшенні відстані між ножами від 6 до 12 мм опір різання знижується у 2,9 рази;

- при збільшенні відстані між ножами від 12 до 18 мм сумарний опір різання знижується на 27...35%, тому раціональна відстань між ножами з урахуванням зоотехнічних вимог має бути в межах від 12 до 15 мм;

- при збільшенні кута заточування ножів від 25° до 35° сумарний опір різання знижується на 20 ... 27%.

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Загальні визначення та поняття

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

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

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

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

4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

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

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

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

Для убезпечення оператора подрібнювача коренеплодів від дії шкідливих і небезпечних факторів пропонуються наступні заходи:

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

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

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

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

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

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

Для захисту оператора подрібнювача від уражень електричним струмом під час аварійного замикання на землю чи корпус обладнання під час пошкодження ізоляції передбачено захисний вимикач, який спрацьовує через 0,2 сек після замикання та заземлення електродвигуна [21].

Для захисту робітника від підвищеної запиленості приміщення застосовують примусову систему вентиляції. У приміщенні, де працює розроблений у дипломі подрібнювач за годину виділяється 20 г пилу від продуктів подрібнення ще однієї складової кормосуміші - сіна. Для видалення надлишків пилу, нам необхідно визначити необхідну продуктивність вентилятора.

Відповідно до [17] гранична концентрація пилу, що містить до 10 % вільної SiO_2 , дорівнює 4 мг/м^3 .

У свіжому повітрі, що надходить до приміщення кормоприготувального відділення, зовсім немає вказаного пилу ($P_0 = 0$).

Тоді

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

де P – кількість пилу, що виділяється в приміщенні, мг/год ;

P_0 – концентрація пилу в засмоктуваному чистому повітрі, мг/м^3 ;

P_1 – допустима концентрація пилу в приміщенні, мг/м^3 .

Відповідно до отриманої продуктивності приймаємо до використання осьовий вентилятор ВО 56-00, продуктивністю $5600 \text{ м}^3/\text{год}$, з монтажем в стіну приміщення

4.4 Правила безпеки при виконанні робіт з подрібнення коренеплодів

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

на неї. Запустіть машину на холостому ході, щоб переконатися у відсутності зовнішнього шуму, вібрації, нагріву підшипників, витоку масла в підшипниковій коробці, стежте за роботою натяжного ланцюга та перевірте роботу контрольно-сигнальних пристроїв. Перевірте правильність заточування ножів, підтягніть і відрегулюйте необхідний зазор між піддоном і ножами. Після ретельної перевірки всіх механізмів і випробувань, а також усунення несправностей, визначених під час тестування, можна приступати до роботи.

Подрібнювач слід ремонтувати відповідно до інструкцій виробника. Не проштовхуйте оброблюваний корм в барабан або під горловину приймального бункера робочої машини руками або будь-якими предметами. Працюючи з подрібнювачем коренеплодів, не стійте перед робочим органом, оскільки він може потрапити на металеві предмети (зазвичай болти, гайки) і спричинити травми. При подрібненні вологого корму і його вивантаженні через бічну горловину дробильної камери не ставайте в площину обертання ротора. Не подавайте матеріал в подрібнювач вручну, не відкривайте кришку подрібнювальної камери, не перевіряйте та не очищайте магнітний бар'єр та горловину приймального бункера. Не подрібнюйте коренеплоди, якщо вони містять металеві та інші домішки. Запустіть подрібнювач коренеплодів на холостому ході і переконайтеся, що немає зовнішніх шумів, вібрації, тертя або нагріву підшипників, а також роботу пристроїв управління та сигналізації. Після того, як двигун досягне номінальної швидкості (визначається за звуком, тахометром або амперметром відповідно до конструкції машини), повільно відкрийте клапан на бункері та відкрийте розподільник або конвеєр, щоб забезпечити рівномірне подрібнення продукту. Продукт, що завис у бункері робочої машини і застряг у приймальній горловині, пропихайте штовхачем довжиною не менше 1 м, який виготовлено з дерева або пластику та при попаданні до подрібнювачого апарату легко руйнується. Під час роботи звертайте увагу на справність та ефективність технічного обладнання, систем всмоктування та вентиляції, ущільнювачів, електрообладнання, пристроїв управління та сигналізації. Після повної зупинки подрібнювача спеціальним обладнанням (скребками, очисниками, щітками) очистити робочі органи від залишків соковитого корму. При

зупинці машини для регулювань або технічного обслуговування вимкніть вимикач живлення магнітного пускача та розмістіть плакат: «Не вмикайте! Люди працюють.» Вимкніть загальні вимикачі під час складання ножів та чищення. Залишок корму подати на ріжучу частину диску, встановіть запобіжник встановіть плакат: «Не вмикай! Люди працюють» .Не дозволяється робота подрібнювача із знятими кожухами і огороженнями. Обслуговуйте подрібнювач, перебуваючи з правої сторони по ходу установки. Працюйте в захисній касці. Не працюйте поблизу викидного рукава подрібнювача. На час розрівнювання і ущільнення подрібненої маси машину зупиніть або відведіть направляючий рукав дефлектора в бік.

Після закінчення роботи на подрібнювачі вимикайте електроживлення систем подавання матеріалів. Обладнання, що працює під тиском, перевірте за показниками приладів на присутність залишкового тиску і забезпечте зниження його до атмосферного відкриттям клапана. Після закінчення роботи подрібнювача кормів видаліть масу, що знаходиться в бункері. Після повного зупинення двигунів прочистіть машину і робоче місце від залишків сировини, приміщення – від залишків корму і пилу. На мокру або слизьку підлогу висипте тирсу або інші матеріали, які потім приберіть. Повідомте змінника про особливості або вади в роботі обладнання. Знаряддя і пристрої, реманент (прощтовхувачі, чистики тощо) приберіть в шафу, здайте на зберігання або зміннику. Зніміть спецодяг і засоби індивідуального захисту, очистіть, здайте на обслуговування або на зберігання. Прийміть душ.

Оператор зобов'язаний:

- дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;
- виконувати лише ту роботу, яка доручена безпосереднім керівником;
- знати і вдосконалювати методи безпечної роботи;
- дотримуватися технологію виробництва робіт, застосовувати способи, що забезпечують безпеку праці, встановлені в інструкціях з охорони праці;
- використовувати інструмент, пристосування, інвентар за призначенням, про їхню несправність повідомляти керівнику робіт;

- знати, де перебувають і вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння;
- негайно повідомити керівника робіт про будь-якій ситуації, яка загрожує життю або здоров'ю працюючих і оточуючих, нещасний випадок, що стався на виробництві;
- пройти відповідну теоретичну і практичну підготовку і вміти надавати долікарську медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків;
- при необхідності забезпечувати доставку (супровід) потерпілого до закладу охорони здоров'я;
- дотримуватися правил особистої гігієни;
- відповідно до характеру виконуваної роботи правильно використовувати надані йому засоби індивідуального захисту, а в разі їх відсутності або несправності повідомити про це безпосереднього керівника.

Оператору заборонено появу на робочому місці в стані алкогольного, наркотичного та токсичного сп'яніння, а також розпивання спиртних напоїв, вживання наркотичних, токсичних і психотропних речовин в робочий час і за місцем роботи. Палити дозволяється тільки в спеціально обладнаних місцях. Не допускається куріння в невстановлених місцях і користування відкритим вогнем. Оператор зобов'язаний сприяти і співпрацювати з наймачем у справі забезпечення здорових і безпечних умов праці, негайно сповіщати свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу наймача про несправності устаткування, інструменту, пристосувань, транспортних засобів, засобів захисту, про погіршення стану свого здоров'я.

4.4 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Як було сказано вище, найбільш імовірною надзвичайною ситуацією на фермі є пожежа, тому приведемо обов'язки і дії працівників у разі пожежі на фермі великої рогатої худоби. «Кожен працівник ферми при виявленні пожежі

або ознак горіння (задимлення, запах гару, підвищення температури і т. п.) повинен [25]:

- негайно припинити роботу і викликати пожежну охорону по телефону 101, повідомивши при цьому адресу ферми, місце виникнення, прізвище, ім'я, по батькові, телефон;
- прийняти можливі заходи щодо евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей;
- відключити від електромережі закріплене електрообладнання;
- приступити до гасіння пожежі наявними первинними засобами пожежогасіння;
- повідомити безпосереднього керівника і оповістити оточуючих співробітників;
- при загальному сигналі небезпеки покинути будівлю.

Керівник структурного підрозділу, якому стало відомо про пожежу зобов'язаний:

- викликати по телефону пожежну охорону;
- негайно сповістити своїх підлеглих та інших працівників;
- повідомити про пожежу особи, відповідальної за пожежну безпеку на об'єкті;
- вжити заходів з надання допомоги в гасінні пожежі, евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей.

Особа, відповідальна за пожежну безпеку на фермі, зобов'язана:

- продублювати повідомлення про виникнення пожежі в пожежну охорону і довести до відома власника майна (генеральний директор, засновник);
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування, використовуючи для цього наявні сили і засоби;
- при необхідності відключити електроенергію, виконати інші заходи, що сприяють запобіганню розвитку пожежі і задимлення приміщень будівлі;
- припинити всі роботи в будівлі, крім робіт, пов'язаних із заходами щодо ліквідації пожежі;

- видалити за межі небезпечної зони всіх сторонніх працівників, які не беруть участі в локалізації пожежі;
- здійснити загальне керівництво з гасіння пожежі до прибуття підрозділу пожежної охорони;
- забезпечити дотримання вимог безпеки працівниками, які беруть участь в гасінні пожежі;
- одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію і захист тварин і матеріальних цінностей;
- організувати зустріч підрозділів пожежної охорони і надати допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до осередку пожежі.

При прибутті пожежних підрозділів особа, відповідальна за пожежну безпеку на фермі, зобов'язана проінформувати керівника гасіння пожежі про конструктивні особливості будівлі, прилеглих будівель і споруд, кількості і пожежонебезпечних властивостях речовин, які зберігаються і застосовуються, матеріалів та інших відомостях, необхідних для успішної ліквідації пожежі. Він зобов'язаний також організувати залучення сил і засобів об'єкта до здійснення необхідних заходів, пов'язаних з ліквідацією пожежі та попередженням її розвитку».

4.5 Висновки по розділу

З застосуванням актуальних нормативних документів та згідно вимог охорони праці нами виконано обстеження розробленого подрібнювача коренеплодів, встановлена дія шкідливих та небезпечних факторів на робітника. Для їх уникнення запропоновано належні заходи та приведено вимоги до безпечного виконання робіт. Виявлено, що найбільш ймовірною надзвичайною ситуацією на об'єкті є пожежа, тому наведено послідовність дій робітників при її виникненні.

5 Техніко-економічна оцінка подрібнювача коренеплодів

5.1 Вихідні дані

В цьому розділі проведемо техніко-економічну оцінку розробленого подрібнювача коренеплодів. Найближчий за характеристиками прототип – дисковий подрібнювач MS 400-24. Вихідними даними до порівняння будуть технічні характеристики прототипа та розробленого подрібнювача.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

Показник	Варіанти	
	MS 400-24	розроблений подрібнювач
Продуктивність, т/год.	1,0	1,4
Споживана потужність, кВт	4,2	3,0
Тривалість зміни, год.	8,0	8,0
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Строк служби, років	10	10
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,10	0,10
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт	0,11	0,11
Балансова вартість, грн.	52860	-
Вартість нового подрібнювача, грн.	-	48900

Ефективність нового подрібнювача в зіставленні з аналогом будемо оцінювати зіставляючи питомі експлуатаційні витрати.

5.2 Розрахунок питомих експлуатаційних витрат

Питомі експлуатаційні витрати визначимо за формулою

$$ПЕ = П_з + П_а + П_т + П_е, \text{ грн/т} \quad (5.1)$$

де Π_3 – питомі витрати на заробітну платню, грн./т;

Π_a – питомі амортизаційні відрахування, грн./т;

Π_r – питомі витрати на ремонт і ТО обладнання, грн/т;

Π_e – питомі витрати на електроенергію, грн./т.

Питомі експлуатаційні витрати на заробітну плату визначимо з виразу

$$\Pi_3 = \frac{n \cdot f \cdot \delta}{Q}, \text{ грн./т} \quad (5.2)$$

де n – кількість робітників, люд.

f – годинна тарифна ставка одного працівника, грн./год., приймаємо $f = 39,12$ грн./год.;

$\delta = 1,22$ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

Q – продуктивність подрібнювача, т/год (табл. 5.1).

За формулою (5.2) за варіантами отримаємо

базовий

$$\Pi_{3.б} = \frac{1 \cdot 39,12 \cdot 1,22}{1,0} = 47,72 \text{ грн./т.}$$

розроблений

$$\Pi_{3.е} = \frac{1 \cdot 39,12 \cdot 1,22}{1,4} = 34,09 \text{ грн./т.}$$

Питомі амортизаційні відрахування визначимо за формулою

$$\Pi_a = \frac{\alpha \cdot B \cdot K}{Q}, \text{ грн./т} \quad (5.3)$$

де B – вартість подрібнювача, грн.

α – коефіцієнт амортизаційних відрахувань (табл. 5.1).

K – коефіцієнт використання подрібнювача, його розраховують за виразом:

$$K_{\epsilon} = \frac{t_{\text{фак}}}{t_{\text{пл}} \cdot 365}, \quad (5.4)$$

де $t_{\text{фак}}$, $t_{\text{пл}}$ – річне фактичне та планове навантаження машини;

Приводимо коефіцієнт використання засобів механізації до 1 години при роботі в одну зміну, тобто 8 годин протягом року.

$$K_{\epsilon} = \frac{1}{8 \cdot 365} = 0,00034.$$

Тоді за (5.3) отримаємо за варіантами базовий

$$П_{аб} = \frac{0,1 \cdot 52860 \cdot 0,00034}{1,0} = 1,79 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$П_{ар} = \frac{0,125 \cdot 48900 \cdot 0,00034}{1,4} = 1,18 \text{ грн./т}.$$

Питомі відрахування на ремонт і ТО техніки обраховують за виразом

$$П_{р,то} = \frac{\beta \cdot B \cdot K}{Q}, \text{ грн./т} \quad (5.5)$$

де β – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт подрібнювача, %.

Тоді з (5.6) за варіантами маємо

базовий

$$P_{\text{Тоб}} = \frac{0,11 \cdot 52860 \cdot 0,00034}{1,0} = 1,97 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$P_{\text{Р,Тор}} = \frac{0,11 \cdot 48900 \cdot 0,00034}{1,4} = 1,30 \text{ грн./т.}$$

Питомі витрати на енергоресурси визначимо за формулою

$$P_e = \frac{N \cdot c_e}{Q}, \quad (5.6)$$

де N – потужність електроприводу подрібнювача, кВт.

$c_e = 2,05$ грн./кВт·год. – вартість електроенергії для споживачів II класу напруги до 27,5 кВ з ПДВ.

Тоді за формулою (5.6) отримаємо за варіантами:

базовий

$$P_{e,\text{б}} = \frac{4,2 \cdot 2,05}{1,0} = 8,61 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$P_{e,e} = \frac{3,0 \cdot 2,05}{1,4} = 4,39 \text{ грн./т.}$$

Питомі експлуатаційні витрати (5.1) за варіантами складуть:
базовий

$$\Pi_{\text{б}} = 47,72 + 1,79 + 1,97 + 8,61 = 60,09 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$\Pi_{\text{п}} = 34,09 + 1,18 + 1,30 + 4,39 = 40,96 \text{ грн./т}$$

Економія питомих експлуатаційних витрат при впровадженні нового подрібнювача:

$$E_e = \Pi_{\text{б}} - \Pi_{\text{п}} = 60,09 - 40,96 = 19,13 \text{ грн./т.} \quad (5.7)$$

Строк окупності експериментального подрібнювача при його впровадженні можна визначити наступним чином:

$$T = \frac{B_e}{EE_e}, \text{ роки} \quad (5.8)$$

де EE - економія експлуатаційних витрат, грн

$$EE = P \cdot E, \text{ грн} \quad (5.9)$$

де P – річний об'єм робіт, т.

Тоді:

$$P = Q \cdot k_{\text{вз}} \cdot t_{\text{зм}} \cdot D, \text{ т} \quad (5.10)$$

де $k_{\text{вз}}$ – коефіцієнт використання часу зміни, $k_{\text{вз}} = 0,8$.

$$P = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 8 \cdot 365 = 2336 \text{ т.}$$

$$EE = 2336 \cdot 19,13 = 44687,68, \text{ грн}$$

$$T = \frac{48900,00}{44687,68} = 1,1 \text{ роки.}$$

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники

Показники	Варіанти		Розробка у % до про- тотипу
	MS 400- 24	розробка	
Продуктивність, т/год.	1,0	1,4	140,0
Споживана потужність, кВт	4,2	3,0	71,4
Балансова вартість, грн.	52860	48900	92,5
Питомі експлуатаційні витрати, грн./т	60,09	40,96	68,2
в т.ч.: заробітна платня	47,72	34,09	71,4
амортизаційні відрахування	1,79	1,18	65,9
витрати на ТО та ремонт	1,97	1,30	66,0
витрати на електроенергію	8,61	4,39	51,0
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	44687,68	-
Строк окупності капітальних вкла- день, років	-	1,1	-

5.3 Висновки

Техніко-економічна оцінка нового подрібнювача коренеплодів показала, що в порівнянні з прототипом, MS 400-24, він має плюси за експлуатаційними витратами. Річна економія експлуатаційних витрат склала 44687,68 грн., за рахунок зменшення витрат на оплату праці та електроенергію, строк окупності – 1,1 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Однією з найважливіших операцій при підготовці коренеплодів до згодовування є їх подрібнення, що дозволяє підвищити продуктивність тварин, ефективність використання кормів і знизити собівартість продукції. З аналізу досліджень слід зробити висновок, що відсутні методики, що описують залежності продуктивності, споживаної потужності з фізико-механічними властивостями коренеплодів, конструктивними та режимними параметрами двоступінчастого подрібнювача коренеплодів з вальцевим підпором і плоскими ножами, встановлені по колу.

2. На основі теоретичних досліджень розроблена конструктивно-технологічна схема двоступінчастого подрібнювача коренеплодів, що включає в себе перший ступінь попереднього різання дискового типу і другий ступінь з вертикальним розташуванням подрібнюючого органу, що має вальцевий підпір і встановлені по кільцю плоскі ножі. Запропонована конструктивно-технологічна схема двоступінчастого подрібнюючого пристрою дозволяє отримувати подрібнені коренеплоди відповідні зоотехнічних вимог при мінімальних питомих витратах енергії за рахунок зниження швидкісних характеристик робочих органів і регламентованої розстановки плоских ножів у другій ступені.

3. Дослідження зусиль різання коренеплодів показали, що при різанні одинарним плоским ножом: при збільшенні кута заточування від 25° до 35° питома лінійна сила ножа зростає на 18 ... 22%; зі збільшенням кута нахилу леза ножа від нуля до 35° питома лінійна сила ножа знижується на 28...34%. При різанні подвійними плоскими ножами: при збільшенні відстані між ножами від 6 до 12 мм опір різання знижується у 2,9 рази; при збільшенні відстані між ножами від 12 до 18 мм сумарний опір різання знижується на 27...35%, тому раціональна відстань між ножами з урахуванням зоотехнічних вимог має

бути в межах від 12 до 15 мм; при збільшенні кута заточування ножів від 25° до 35° сумарний опір різання знижується на 20 ... 27%.

4. З застосуванням актуальних нормативних документів та згідно вимог охорони праці нами виконано обстеження розробленого подрібнювача коренеплодів, встановлена дія шкідливих та небезпечних факторів на робітника. Для їх уникнення запропоновано належні заходи та приведено вимоги до безпечного виконання робіт. Виявлено, що найбільш ймовірною надзвичайною ситуацією на об'єкті є пожежа, тому наведено послідовність дій робітників при її виникненні.

5. Техніко-економічна оцінка нового подрібнювача коренеплодів показала, що в порівнянні з прототипом, MS 400-24, він має плюси за експлуатаційними витратами. Річна економія експлуатаційних витрат склала 44687,68 грн., за рахунок зменшення витрат на оплату праці та електроенергію, строк окупності – 1,1 роки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ясенецкий В.А., Гончаренко П.В. Машины для измельчения кормов. К.: Техника, 1990. 166 с.
2. Копил А.М. Підготовка, зберігання та використання кормів. Київ: Урожай, 1973. 290 с.
3. Резник Е.И., Алябьев Е.В. Механизация приготовления кормов на животноводческих фермах и комплексах. М.: ВНИИТЭИСХ, 1983. 60 с.
4. Вольвак С.Ф., Ковалев С.В. Классификация способов измельчения и конструкций измельчителей корнеплодов. Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. №68(91). Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. 251 с.
5. Вольвак С.Ф. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів робочих органів гнучкого універсального малогабаритного кормоприготувального агрегату у варіанті подрібнення грубих кормів: дис.... канд. техн. наук: 05.20.01. Луганськ: ЛСГІ, 1998. 244 с.
6. Сиротюк В.М. Машины та обладнання для тваринництва. Навчальний посібник. Львів, «Магнолія», видавець В.М. Піча. 2004. 200 с.
7. Шацький В.В., Братішко В.В. Двоступеневий подрібнювач зелених кормів. Мелітополь: Видавництво ТДАТА, 2007. С. 90-97.
8. Ревенко І.І., Кукта Г.М., Манько В.М. Механізація виробництва продукції тваринництва. К.: Урожай, 1994.
9. Крамаренко Л.П., Резник Н.Е. Сопротивление растений перерезанию. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Т. 4. М. Л.: Сельхозгиз, 1940. С. 180-195.
10. Ивашко А.А. Вопросы теории резания органических материалов лезвием. 1958. № 2. С. 34-37.
11. Методичні рекомендації для проведення лабораторних занять з дисципліни «Машины і обладнання та їх використання в тваринництві» для студентів інженерно-технологічного факультету денної форми

- навчання за спеціальністю 208 «Агроінженерія»/Дудін В.Ю.// Дніпро: ДДАЕУ, 2020. 16 с.
12. Горячкин В.П. Собрание сочинений: В 3 т. М.: Колос, 1965. Т. 3. 384 с.
 13. Методичні рекомендації для проведення практичних занять з дисципліни «Проектування механізованих технологічних процесів у тваринництві» для студентів інженерно-технологічного факультету денної форми навчання за спеціальністю 208 «Агроінженерія». /Дудін В.Ю.// – Дніпро: ДДАЕУ, 2020. – 21 с.
 14. Мельник І.І. Оптимізація комплексів машин і структури машинно тракторного парку та обладнання технічного сервісу. К.: Національній аграрний університет, 2001. 150 с.
 15. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD. –P. 41-45.- Режим доступу: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/1024>
 16. Дудін В. Ю. Обґрунтування параметрів малогабаритного подрібнювача коренеплодів / В. Ю. Дудін // Техніка, енергетика, транспорт АПК. - 2015. - № 3. - С. 20-23. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tetapk_2015_3_6
 17. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація
 18. Об'єкт підвищеної небезпеки // Юридична енциклопедія : [у 6 т.] / ред. кол. Ю. С. Шемшученко (відп. ред.) [та ін.] — К. : Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 2002. — Т. 4 : Н — П. — 720 с. — ISBN 966-7492-04-4.
 19. Навчальний посібник з охорони праці / Дніпропетр. держ. агр. ун-т. -

Дніпропетровськ, 2009 р. - 132 с.

20. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила устройства электроустановок. электрооборудование специальных установок
21. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 р. № 42.
22. НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні
23. Закон України "Про охорону праці"
24. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. МОЗ України. К.: ІСДО, 1993.
25. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Пожежа>

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Ефективність технологічного процесу подрібнення кормових коренеплодів

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-3-20
Черненко Костянтин Костянтинович

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

Дніпро 2021

Мета і задачі досліджень

Мета досліджень: зниження питомої витрати енергії на процес різання коренеплодів в подрібнювальному пристрої з вальцевим підпором і плоскими ножами. Відповідно до мети поставлено наступні задачі досліджень:

- провести аналіз способів та засобів подрібнення коренеплодів;
- теоретично обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри нового подрібнювача коренеплодів;
- експериментально дослідити вплив конструктивних характеристик нової машини на показники процесу подрібнення;
- визначити основні заходи з охорони праці для нової машини;
- провести техніко-економічну оцінку нової конструкції.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес різання коренеплодів у подрібнювальному пристрої з вальцевим підпором через ножову решітку.

Предмет досліджень. Закономірності взаємодії коренеплодів з ножовою решіткою під дією вальцевого підпору.

Аналіз стану питання

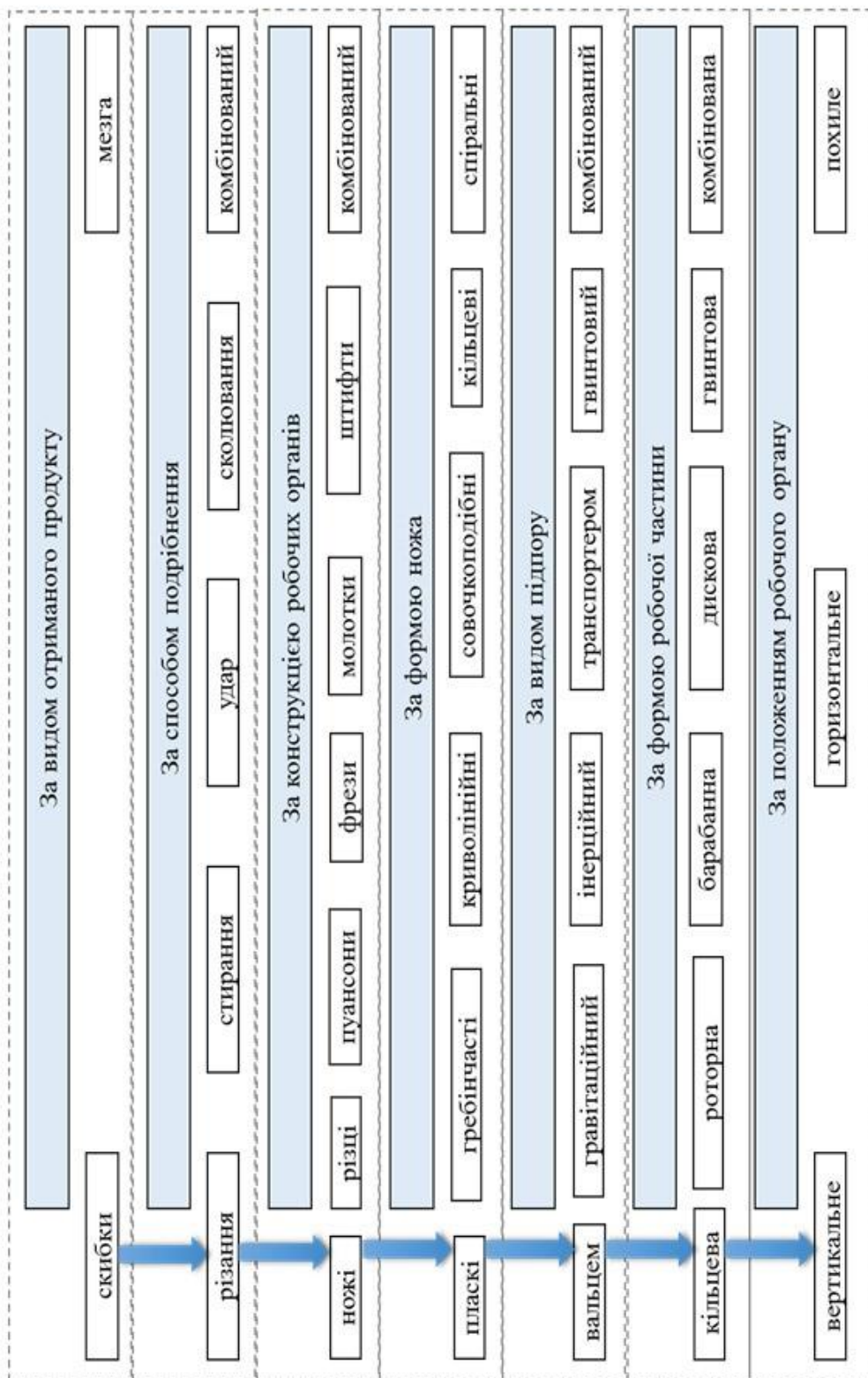
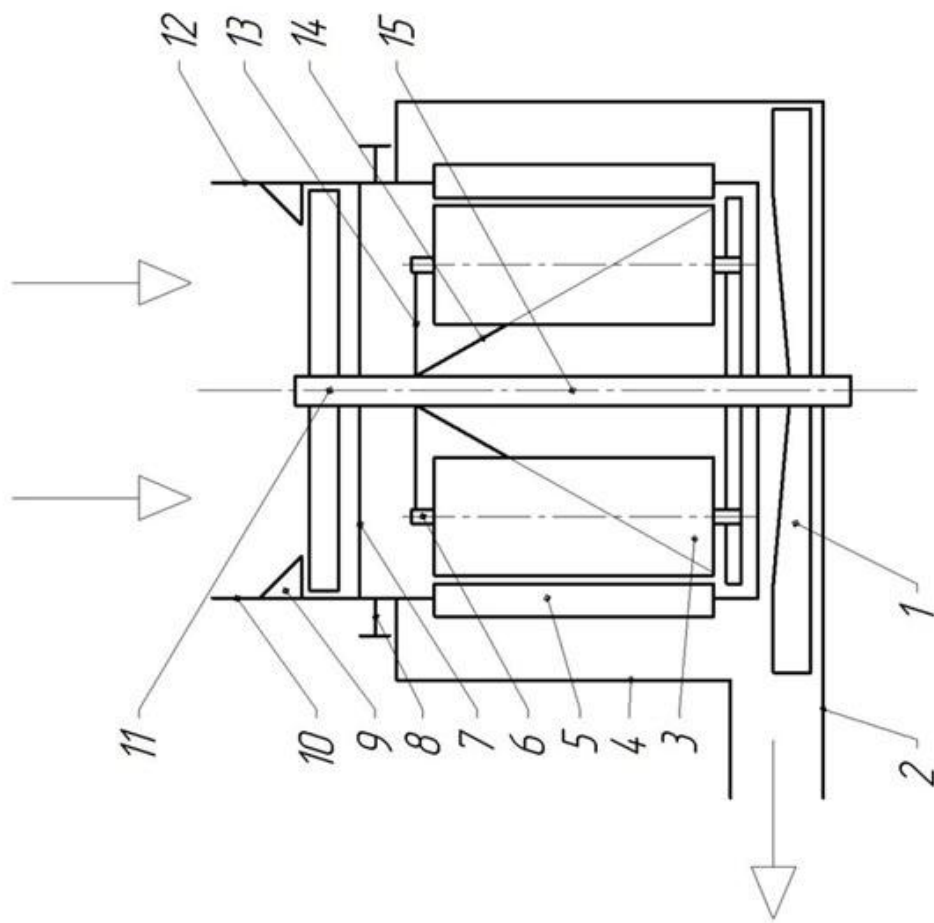


Рисунок 1 – Схема класифікації подрібнювачів коренеклубнеплодів

Теоретичні дослідження



Перший ступінь подрібнення складається з двох горизонтальних плоских ножів 8, встановлених на вертикальному валу 11 під кутом до площини обертання протирізів 7 і упорів 9, закріплених на внутрішній поверхні накопичувача циліндричної камери 10.

Другий ступінь подрібнення складається з циліндричної камери 4, по периметру якої встановлений блок пластинчастих вертикальних ножів 5. Через центр камери проходить вал 15, на якому закріплені крильчатка 1, конус 14 і водило 13. На водилі 13 встановлені вальці 3, що вільно обертаються на осях 6.

Рисунок 2 - Конструкційно-технологічна схема подрібнювача коренеплодів

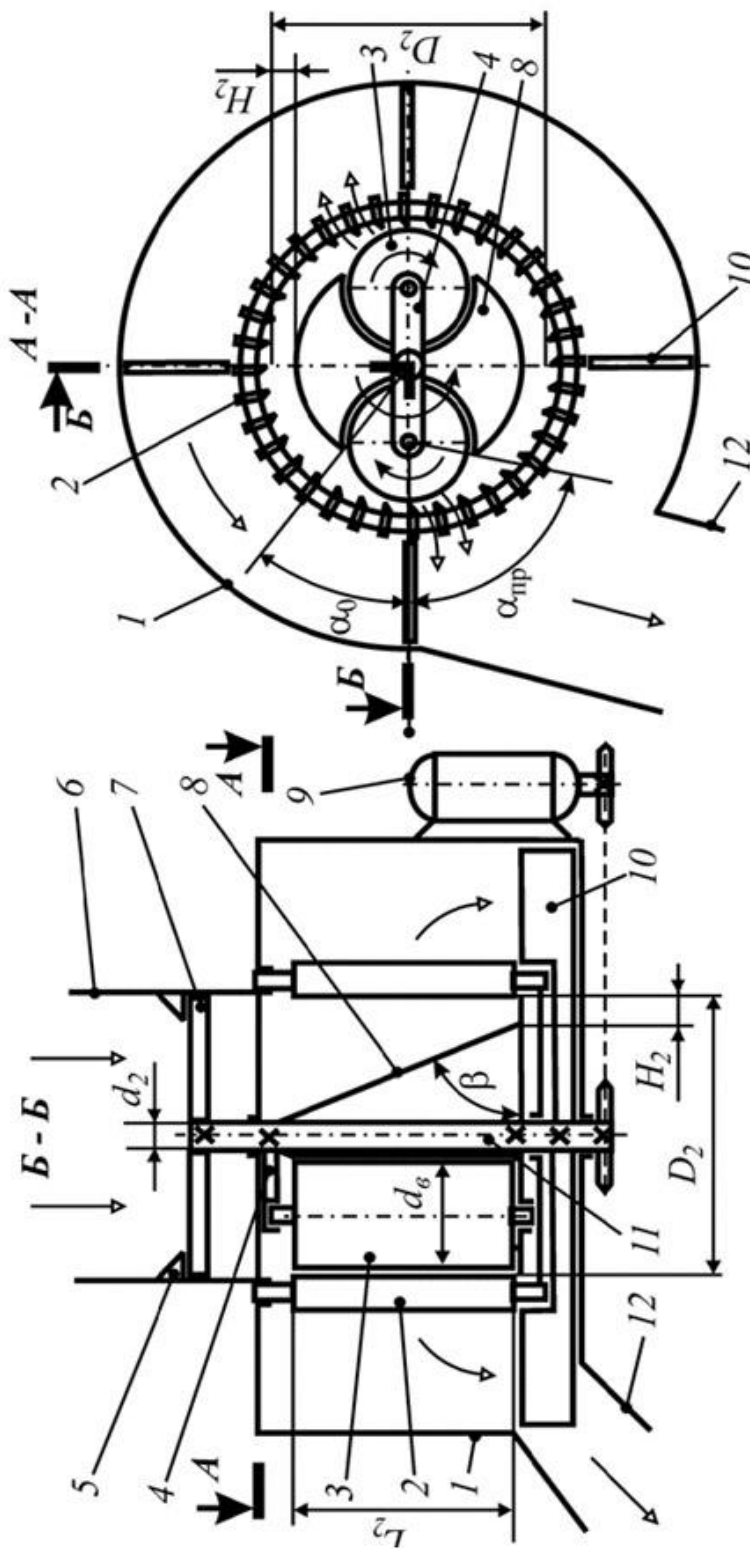


Рисунок 3 - Схема для визначення конструктивних параметрів другого ступеня подрібнення: 1 – кожух; 2 – ніж пластинчастий; 3 – валець; 4 – напрямні; 5 – пропірніз; 6 - завантажувальна горловина; 7 – ніж горизонтальний; 8 – конус; 9 – привід; 10 - крильчатка; 11 - вал другого ступеня подрібнення; 12 – вивантажувальний лоток

Задавшись продуктивністю 900...1000 кг/год та враховуючи розмірні характеристики коренеплодів (в першу чергу буряків), було визначено основні конструктивні параметри другого ступеня подрібнення: $D_2=0,44$ м, $d_2=0,025$ м, $d_6=0,18$ м, $H_2=0,05$ м, $L_2=0,50$ м/

Георетичні дослідження

Потужність другого ступеня подрібнення

$$N_2 = N_{під2} + N_{p2} + N_{e2} + N_{хх2}$$

$N_{під2}$ - потужність на підведення продукту до ножів у другому ступені подрібнення, Вт; N_{p2} - потужність на різання в другому ступені подрібнення, Вт; N_{e2} - потужність на відведення готового продукту, Вт; $N_{хх2}$ - потужність на холостий хід у другому ступені подрібнення, Вт.

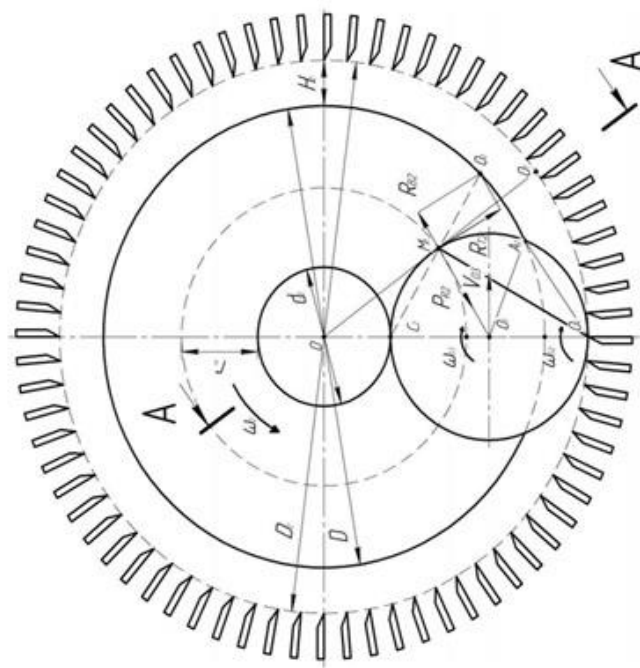


Рисунок 4 – Схема визначення потужності на підведення коренеплодів до ножів $N_{під2}$ у другому ступені подрібнення

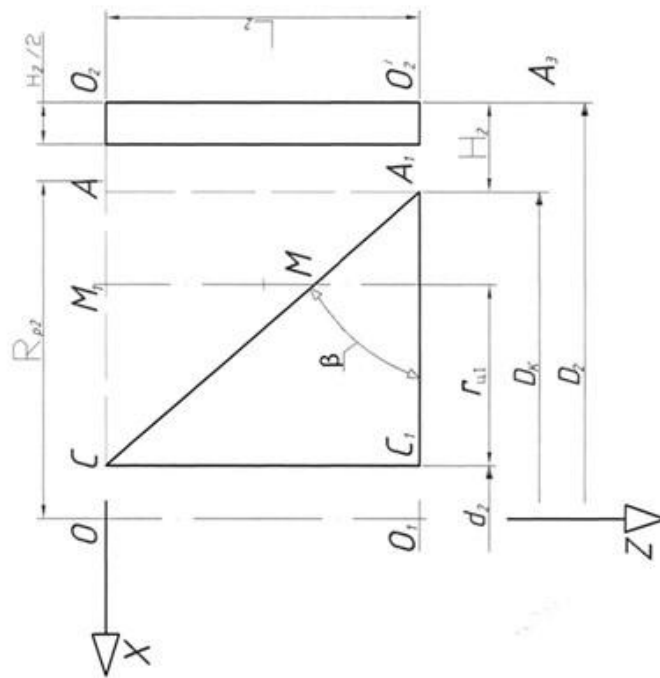


Рисунок 5 - Розріз А-А на рис. 2.7

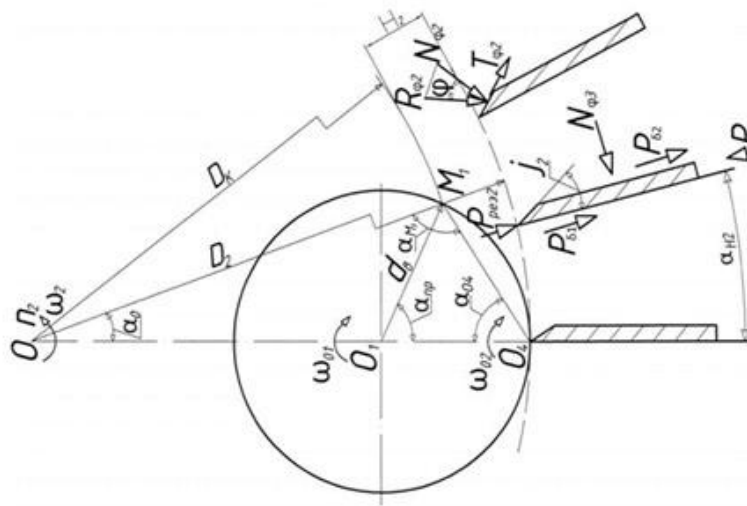


Рисунок 6 - Схема сил, що діють на ножі (до визначення потужності різання $N_{різ2}$)

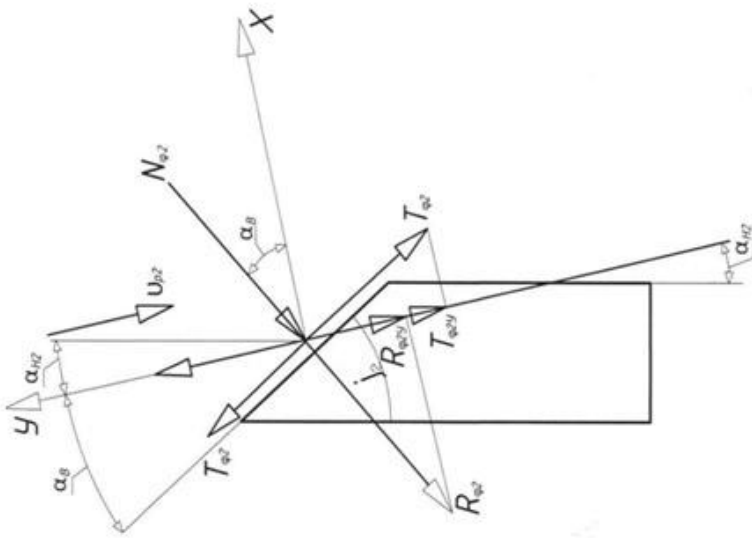


Рисунок 7 - Схема визначення сили $N_{\phi 2y7}$ основної складової потужності, що витрачається на різання

Що стосується потужності на відведення готового продукту $N_{в2}$ та потужності на холостий хід $N_{хх2}$, то в загальному балансі потужності їх сума знаходиться в межах 10...12 %. Загальна потужність для визначених вище геометричних параметрів подрібнювача складе 3,8...4,2 кВт.

Лабораторні дослідження

До програми лабораторних досліджень входило:

- уточнити деякі фізико-механічні властивості коренеплодів (щільність, вологість, розмірно-масові характеристики, міцнісні властивості та ряд інших);

- дослідити вплив конструктивних параметрів ножів на зусилля різання.

Для дослідження зусиль на стиснення та безпосередньо на процес різання використовували аналізатор текстури харчових та кормових продуктів, розроблений на кафедрі механізації виробничих процесів у тваринництві. Розміри зразка коренеплоду: діаметр $D_3 = 0,029$ м, висота $L_3 = 0,029$ м.

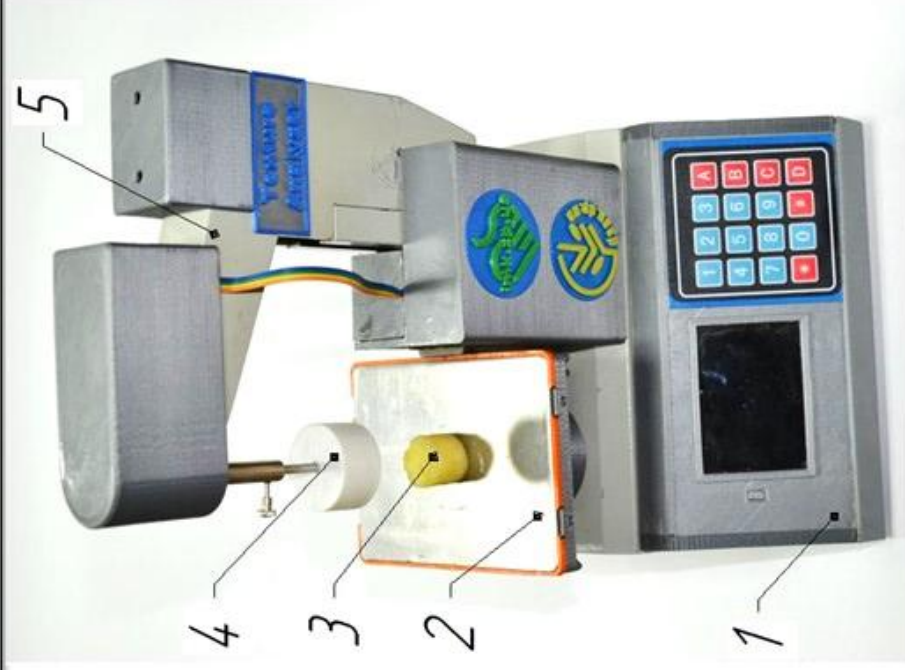


Рисунок 8. - Аналізатор текстури харчових та кормових продуктів: 1 – корпус; 2 – стіл; 3 – зразок коренеплоду; 4 – індентор; 5 – рухомий штатив

Лабораторні дослідження



Рисунок 9 – Зразки картоплі, моркви та буряків до руйнування (а), після руйнування (б)

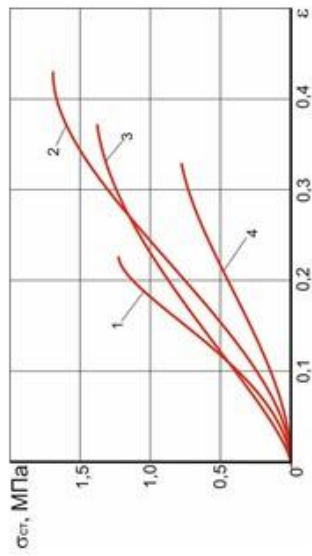


Рисунок 10 – Залежність напруження стиснення $\sigma_{ст}$ від величини відносної деформації ϵ : 1- буряк; 2-морква поперек волокон; 3- морква вздовж волокон; 4-картопля

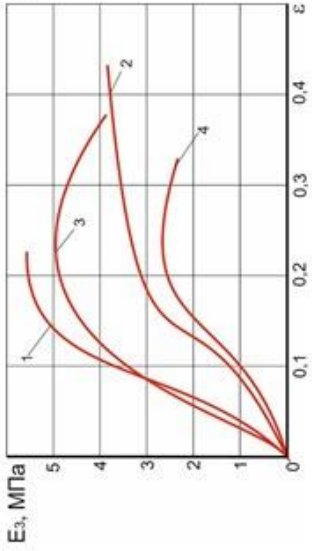


Рисунок 11 – Залежність модуля пружнопластичних деформацій E_3 від величини відносної деформації ϵ : 1- буряк; 2 - морква поперек волокон; 3 - морква вздовж волокон; 4 - картопля

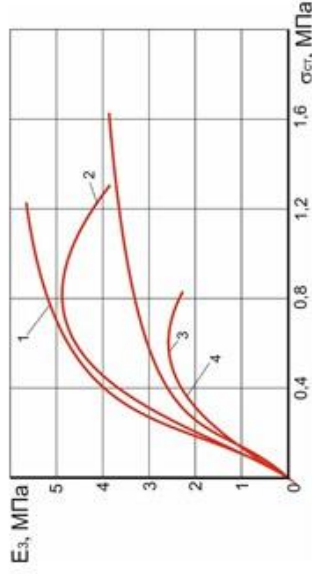


Рисунок 12 – Залежність модуля пружно-пластичних деформацій E_3 від величини напруження стиснення $\sigma_{ст}$: 1 - буряк; 2 - морква поперек волокон; 3 - морква вздовж волокон; 4 - картопля

Дослідження міцнісних властивостей коренеплодів стисненням виявили, що: зміни напруження стиснення від відносної деформації від нуля до 0,25 ... 0,35 (момент руйнування) мають витягнуту S-подібну форму (рис. 10); при збільшенні відносної деформації від нуля до 0,12 ... 0,15 модуль пружнопластичних деформацій збільшується до 2 МПа (морква вздовж волокон, картопля) або 4,5 ... 4,8 МПа (морква поперек волокон, буряк) і змінюється за лінійним законом (рис. 11); при зміні напруження стиснення від нуля до 0,3...0,4 МПа відбувається лінійне зростання модуля пружнопластичних деформацій до 2 МПа (морква вздовж волокон, картопля) або 4 МПа (морква впоперек волокон, буряк) (рис. 12).

Лабораторні дослідження

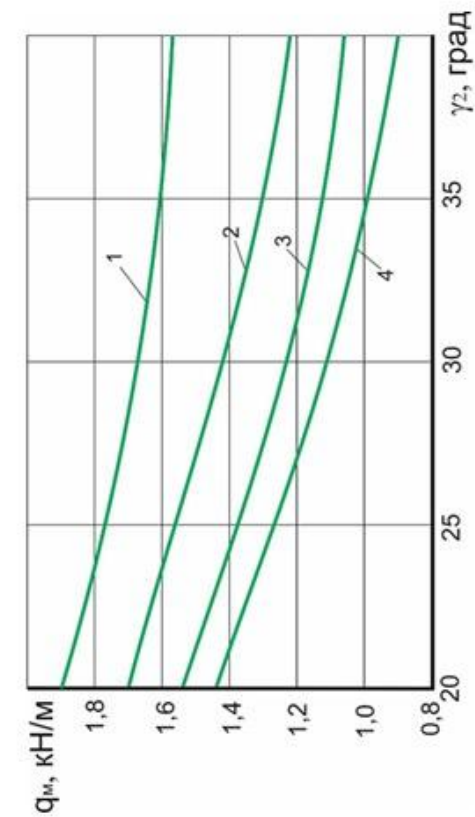


Рисунок 13 – Залежність питомої лінійної сили ножа q_m від кута заточування леза ножа γ_2 : 1 – кут нахилу леза ножа $\tau=0^\circ$; 2 – кут нахилу леза ножа $\tau=25^\circ$; 3 – кут нахилу леза ножа $\tau=30^\circ$; 4 – кут нахилу леза ножа $\tau=35^\circ$

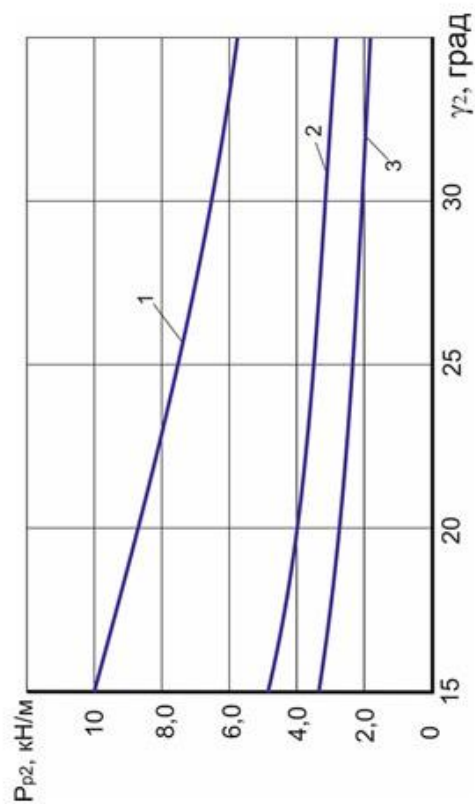


Рисунок 14 – Залежність опору різання P_{p2} подвійними ножами від кута заточування ножев γ_2 : 1 – відстань між ножами $h_2=0,006$ м; 2 – відстань між ножами $h_2=0,012$ м; 3 – відстань між ножами $h_2=0,018$ м

Дослідження зусиль різання коренеплодів показали, що при різанні одинарним плоским ножем (рис. 13): при збільшенні кута заточування від 25° до 35° питома лінійна сила ножа зростає на 18 ... 22%; зі збільшенням кута нахилу леза ножа від нуля до 35° питома лінійна сила ножа знижується на 28...34%.

При різанні подвійними плоскими ножами (рис. 14): при збільшенні відстані між ножами від 6 до 12 мм опір різання знижується у 2,9 рази; при збільшенні відстані між ножами від 12 до 18 мм сумарний опір різання знижується на 27...35%, тому раціональна відстань між ножами з урахуванням зоотехнічних вимог має бути в межах від 12 до 15 мм

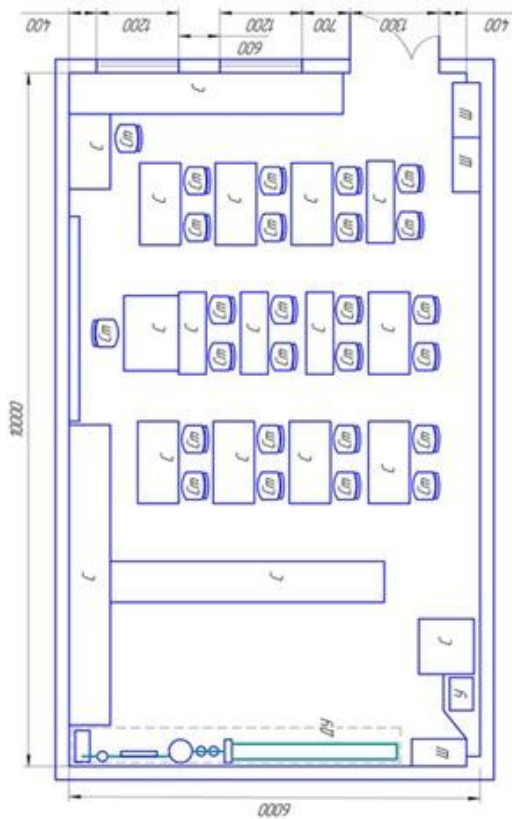
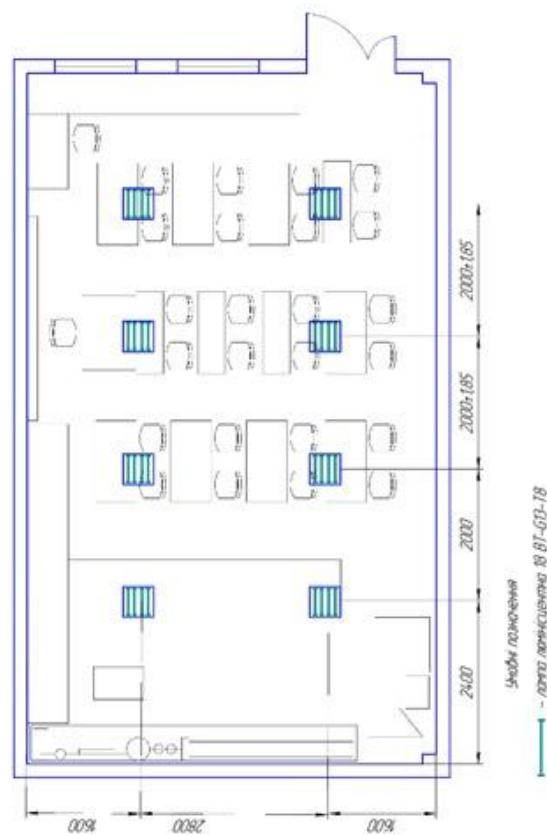


Рисунок 15 – Загальний вигляд приміщення лабораторії: Ш – шафа; С – стіл; Ст – стілець; У – умивальник; ДУ – лабораторний стенд дойної установки



Рисунку 16 – Схема розміщення світильників у приміщенні

Показники економічної ефективності

Показники	Варіанти		Розробка у % до прототипу
	MS 400-24	розробка	
Продуктивність, т/год.	1,0	1,4	140,0
Споживана потужність, кВт	4,2	3,0	71,4
Балансова вартість, грн.	52860	48900	92,5
Питомі експлуатаційні витрати, грн./т	60,09	40,96	68,2
в т.ч.: заробітна плата	47,72	34,09	71,4
амортизаційні відрахування	1,79	1,18	65,9
витрати на ТО та ремонт	1,97	1,30	66,0
витрати на електроенергію	8,61	4,39	51,0
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	44687,68	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	1,1	-

Загальні висновки

1. Однією з найважливіших операцій при підготовці коренеплодів до згодовування є їх подрібнення, що дозволяє підвищити продуктивність тварин, ефективність використання кормів і знизити собівартість продукції. З аналізу досліджень слід зробити висновок, що відсутні методики, що описують залежності продуктивності, споживаної потужності з фізико-механічними властивостями коренеплодів, конструктивними та режимними параметрами двоступінчастого подрібнювача коренеплодів з вальцевим підпором і плоскими ножами, встановлені по колу.
2. На основі теоретичних досліджень розроблена конструктивно-технологічна схема двоступінчастого подрібнювача коренеплодів, що включає в себе перший ступінь попереднього різання дискового типу і другий ступінь з вертикальним розташуванням подрібнюючого органу, що має вальцевий підпір і встановлені по кільцю плоскі ножі. Запропонована конструктивно-технологічна схема двоступінчастого подрібнюючого пристрою дозволяє отримувати подрібнені коренеплоди відповідні зоотехнічних вимог при мінімальних питомих витратах енергії за рахунок зниження швидкісних характеристик робочих органів і регламентованої розстановки плоских ножів у другій ступені.
3. Дослідження зусиль різання коренеплодів показали, що при різанні одинарним плоским ножом: при збільшенні кута заточування від 25° до 35° питома лінійна сила ножа зростає на 18 ... 22%; зі збільшенням кута нахилу леза ножа від нуля до 35° питома лінійна сила ножа знижується на 28...34%. При різанні подвійними плоскими ножами: при збільшенні відстані між ножами від 6 до 12 мм опір різання знижується у 2,9 рази; при збільшенні відстані між ножами від 12 до 18 мм сумарний опір різання знижується на 27...35%, тому раціональна відстань між ножами з урахуванням зоотехнічних вимог має бути в межах від 12 до 15 мм; при збільшенні кута заточування ножів від 25° до 35° сумарний опір різання знижується на 20 ... 27%.
4. З застосуванням актуальних нормативних документів та згідно вимог охорони праці нами виконано обстеження розробленого подрібнювача коренеплодів, встановлена дія шкідливих та небезпечних факторів на робітника. Для їх уникнення запропоновано належні заходи та приведено вимоги до безпечного виконання робіт. Виявлено, що найбільш ймовірною надзвичайною ситуацією на об'єкті є пожежа, тому наведено послідовність дій робітників при її виникненні.
5. Техніко-економічна оцінка нового подрібнювача коренеплодів показала, що в порівнянні з прототипом, MS 400-24, він має плюси за експлуатаційними витратами. Річна економія експлуатаційних витрат склала 44687,68 грн., за рахунок зменшення витрат на оплату праці та електроенергію, строк окупності – 1,1 роки.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

**ІНЖИНІРИНГ АГРОПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА**

Всеукраїнська студентська науково-практична конференція

Дніпро, 2021

УДК 631:62-5

Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр.
І 62 студ. наук.-практ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро:
ДДАЕУ, 2021. – 80 с.

У збірнику представлені наукові матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Інжиніринг агропромислового виробництва» (zareestrovano в УкрІНТЕІ, 8.11.2021, № 904). Тематика наукових матеріалів присвячена питанням розроблення та впровадження інноваційних технологій та технічних засобів агропромислового виробництва.

Наукові матеріали надані в авторській редакції з дотриманням стилю автора. За фактичний матеріал і його інтерпретацію відповідальність несуть автори та наукові керівники.

Адреса оргкомітету:

Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25
тел. (050) 970-16-90, Дніпровський державний аграрно-
економічний університет, кафедра механізації виробничих
процесів у тваринництві, dudin.v.yu@dsau.dp.ua

© ДДАЕУ, 2021

© Автори публікацій, 2021

Ріпний В.О. РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИЩУВАЧА СТІЙЛ	66
Черненко К.К. ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРЕНЕПЛОДІВ	69
Івлєва В.В. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШЕСТЕРЕННОГО ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ	72
Наливайко М.Я. ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ КОРМІВ	75
Лагутін Р.В. КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ГОДІВЛІ ВРХ	78
Хрущ В.В. РІВЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІКОРМІВ В УКРАЇНІ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ЇХ ПРИГОТУВАННЯ	80

УДК 631.36

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРЕНЕПЛОДІВ

Черненко К.К.

*здобувач вищої освіти СВО Магістр,
ОПП Агроінженерія, ІТФ ДДАЕУ**Науковий керівник – Івлєв В.В.,
кандидат технічних наук, доцент*

Подрібнення – складний енергоємний процес, на який великий вплив мають міцнісні властивості коренеплодів [1]. Для вивчення зусиль на стиснення та безпосередньо на процес різання використовували аналізатор текстури харчових та кормових продуктів, розроблений на кафедрі механізації виробничих процесів у тваринництві.

Розміри зразка коренеплоду: діаметр $D_3 = 0,029$ м, висота $L_3 = 0,029$ м.

Результати досліджень на міцність за напруженням стиснення $\sigma_{ст}$ і модулем пружнопластичних деформацій E_3 в залежності від величини відносної деформації представлені на рисунках 3.3 та 3.4, а також залежності зміни модуля пружнопластичних деформацій E_3 від напруження стиснення $\sigma_{ст}$ (рис. 1)

Залежність напруження $\sigma_{ст}$ і модуля пружнопластичних деформацій E_3 від відносної деформації ε для коренеплодів має S-подібну форму (рис. 2 та 3). Спочатку напруження зростає повільніше, а при досягненні значення відносної деформації ε відбувається більш інтенсивне зростання до моменту руйнування досліджуваного зразка, після чого величина напруження різко знижується, і у зразку утворюється тріщина (або кілька тріщин), спрямованих під кутом до навантаження.

Такий характер залежностей зміни міцнісних властивостей коренеплодів пов'язаний з тим, що коренеплоди є біологічними об'єктами, що мають нерівномірну внутрішню структуру (механічна структура), при якій змінюються форма, розміри, властивості та фізичні стани подрібнюваних кормів. Тому збільшення навантаження спочатку

Інжиніринг агропромислового виробництва

призводить до стиснення, ущільнення структури та видалення мікропор. Подальше збільшення навантаження більш рівномірно розподіляється всередині досліджуваного зразка та показує майже лінійну зміну властивостей міцності коренеплодів.

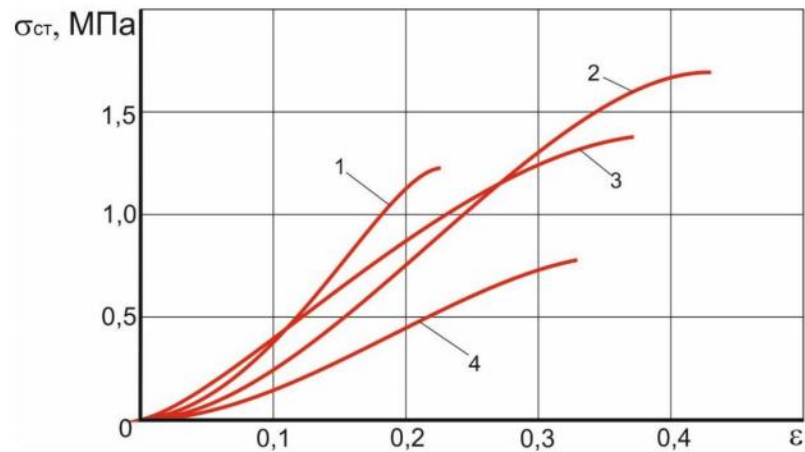


Рисунок 1 – Залежність напруження стиснення $\sigma_{ст}$ від величини відносної деформації ϵ : 1-бурак; 2-морква поперек волокон; 3-морква вздовж волокон; 4-картопля

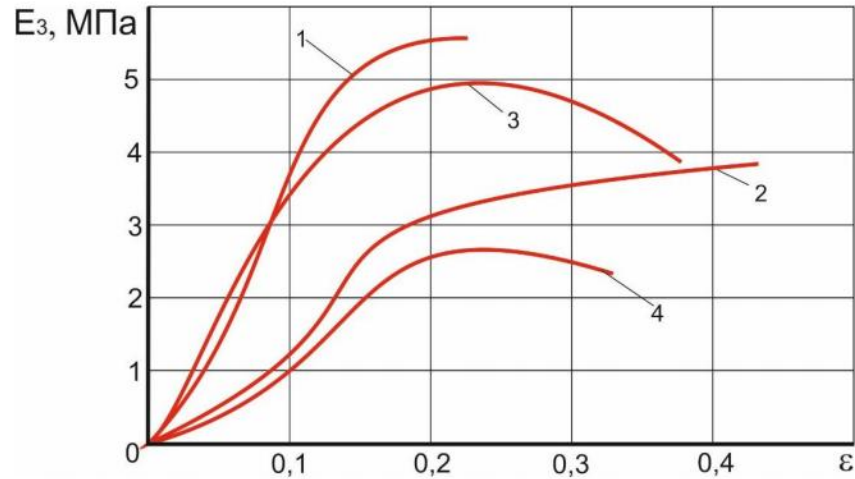


Рисунок 2 – Залежність модуля пружнопластичних деформацій E_z від величини відносної деформації ϵ : 1 - бурак; 2 - морква поперек волокон; 3 - морква вздовж волокон; 4 - картопля

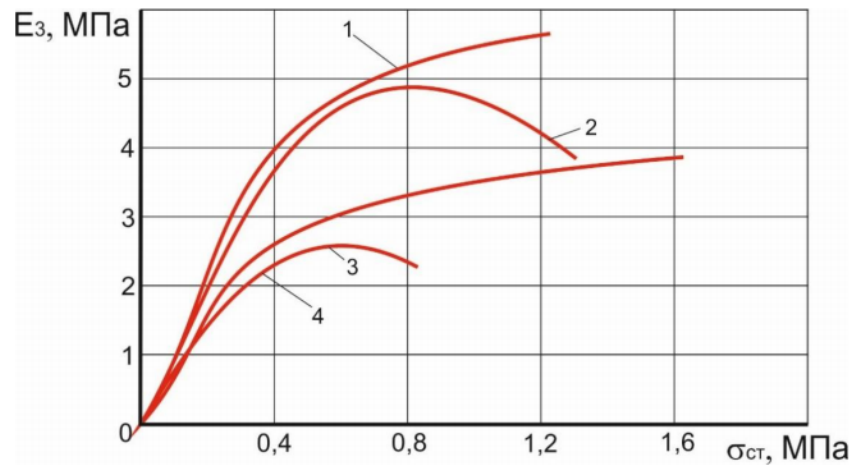


Рисунок 3 – Залежність модуля пружно-пластичних деформацій E_3 від величини напруження стиснення $\sigma_{ст}$: 1 - буряк; 2 - морква поперек волокон; 3 - морква вздовж волокон; 4 - картопля

Залежність модуля пружнопластичних деформацій E_3 від величини відносної деформації ϵ спочатку плавно зростає. При значенні відносної деформації більше 0,12...0,15 зростання модуля пружнопластичних деформацій для деяких коренеплодів уповільнюється (морква вздовж волокон, буряк) або навіть починає знижуватися (морква поперек волокон, картопля) до значення, у якому відбувається руйнування досліджуваного зразка.

Список використаних джерел:

1. Вольвак С.Ф., Ковалев С.В. Классификация способов измельчения и конструкций измельчителей корнеплодов. Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. №68(91). Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006. 251 с.