

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій ім. С.З.Гжицького
Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу машин
імені Олександра Семковича

ДИПЛОМНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: «Дослідження фізико-механічних властивостей горіхоплідних культур з метою оптимізації процесу їх переробки»

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-51

Спеціальності Н7 «Агроінженерія»

Шевчука Дениса Олексійовича

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Гошко Зіновій Орестович

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2025

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій ім. С.З.Гжицького
Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу машин
імені Олександра Семковича

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
«28» лютого 2025 р
Завідувач кафедри _____
к.т.н. доцент Шарибура А.О..

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу

_____ Шевчука Дениса Олексійовича

1. Тема роботи: **«Дослідження фізико-механічних властивостей горіхоплідних культур з метою оптимізації процесу їх переробки»**

Керівник роботи Гошко Зіновій Орестович, к. т. н., доцент.

Затверджено наказом по університету 28.02.2025 року №140/к-с.

2. Термін здачі студентом магістерської роботи до «15» 12. 2025 р.

3. Вихідні дані для магістерської роботи: *1.Технологічні вимоги до різальних апаратів машин. 2.Патентний огляд. 3.Наукова та довідкова література.*

4. Перелік питань, які необхідно розробити: (наводиться зміст, який містить пункти і підпункти усіх розділів):

ВСТУП

1. ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ГОРІХОПЛІДНИХ КУЛЬТУР

1.1. Особливості збирання плодів горіхоплідних культур; Особливості відділення ядра горіхоплідних культур; 1.3.Машини для відділення ядра горіхоплідних культур; Висновки

2. ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ ШКАРАЛУПИ ГОРІХІВ

2.1. Основи переробки горіхів ; 2.2. Обґрунтування схеми пристрою для лущення горіхів; 2.3. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів лущильника; Висновки

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мета і обладнання для експериментальних досліджень; 3.2. Методика обробки експериментальних досліджень; 3.3. Статистична обробка результатів досліджень

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Дослідження граничної міцності шкарлупи горіхів; 4.2. Результати розмірно масових показників горіхів; 4.3. Результати досліджень енергії руйнування шкарлупи; Висновки

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

5.1. Окреслення чинників можливих травм та аварій під час збирання плодів; 5.2. Створення моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій під час збирання плодів; 5.3. Обґрунтування інженерно-технічних рекомендацій стосовно безпечного збирання плодів; 5.4. Охорона і раціональне використання землі; 5.5. Охорона і раціональне використання води; 5.6. Охорона атмосферного повітря; 5.7. Збереження і використання нафтопродуктів

6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,6	Гошко З.О., доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича		
5	Тимочко В.О., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		

6. Дата видачі завдання 28.02.2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Виконання першого розділу	12.09-30.09	
2	Виконання другого розділу	1.10-14.10	
3	Виконання третього розділу	15.10-30.10	
4	Виконання четвертого розділу	31.10-15.11	
5	Написання розділу «Охорона праці»	16.11-22.11	
6	Розрахунок економічної ефективності	23.11-6.12	
7	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів доповіді	7.12-10.12	
8	Завершення проекту в цілому	10.12	

Студент _____ Шевчук Д.О.

Керівник дипломної роботи _____ Гошко З.О.

Дослідження фізико-механічних властивостей горіхоплідних культур з метою оптимізації процесу їх переробки. Шевчук Д.О. Дипломна робота на здобуття ОКР "Магістр". – Дубляни: ЛНУВМБ ім. Гжицького, кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. О. Семковича, 2025. –60 стор. текст. част.; 7 таблиць; 17 рисунків; 32 бібліографічних назв.

Магістерська робота присвячена обґрунтуванню вдосконаленого процесу розколювання шкарлупи волоського горіха для його реалізації в малих приватних господарствах та на підприємствах харчування. Вдосконалена методика розрахунку енергетичних складових процесу розколювання горіха на горіхоколах. Встановлено, що зазвичай переробка горіхів полягає у здійсненні ряду операцій, які можуть виконувати у різній послідовності, або не виконувати взагалі, в залежності від якості вхідної сировини, та очікуваних якісних показників очищених ядер. Встановлено, що найбільш ефективним є процес обробки у двох конусоподібних прижимних пластинах. Дана конфігурація виконачого органу дозволить отримати вихід цільного ядра понад 75%.

Ключові слова: процес розколювання, горіхокол, прижимна пластина, цільність ядра, шкаралупа, продуктивність, імітаційне моделювання, фізичні характеристики.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ГОРІХОПЛІДНИХ КУЛЬТУР.....	9
1.2. Особливості збирання плодів горіхоплідних культур	9
1.3. Особливості відділення ядра горіхоплідних культур.....	10
1.4. Машини для відділення ядра горіхоплідних культур.....	13
Висновки.....	16
2. ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ ШКАРАЛУПИ ГОРІХІВ.....	17
2.1. Основи переробки горіхів	17
2.2. Обґрунтування схеми пристрою для лущення горіхів.....	19
2.3. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів лущильника.....	22
Висновки.....	24
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
3.1. Мета і обладнання для експериментальних досліджень.....	25
3.2. Методика обробки експериментальних досліджень	26
3.3. Статистична обробка результатів досліджень.....	29
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
4.1. Дослідження граничної міцності шкарлупи горіхів.....	30
4.2. Результати розмірно масових показників горіхів	30
4.3. Результати досліджень енергії руйнування шкарлупи	35
Висновки.....	38
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	40
5.1. Окреслення чинників можливих травм та аварій під час збирання плодів.....	40
5.2. Створення моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій під час збирання плодів	41
5.3. Обґрунтування інженерно-технічних рекомендацій стосовно безпечного збирання плодів.....	42
5.4. Охорона і раціональне використання землі.....	45
5.5. Охорона і раціональне використання води.....	46
5.6. Охорона атмосферного повітря.....	47
5.7. Збереження і використання нафтопродуктів.....	47
5.8. Заходи направлені на зменшення негативного впливу засобів механізації навколишнє середовище.....	48
6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	49
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57

ВСТУП

Грецькі горіхи у світі цінуються за поживні і лікувальні властивості плодів та різнобічний характер їх застосування. Зокрема, вони широко використовуються у кондитерській, оліє-жировій, борошномельній, фармацевтичній, хімічній, кормовій, лакофарбовій та інших галузях.

Ареал горіха грецького у світі надто звужений. Україна вирізняється значним поширенням цієї культури і посідає перше місце за обсягами виробництва плодів у Європі, а саме 21% валових зборів. Разом з тим, рівень внутрішньої пропозиції не задовольняє потреб країни – на одну особу в рік виробляється лише 0,4-0,9 кг горіхів, або 12-25% до стандартів харчування. Основною причиною такого стану є недостатній рівень розвитку промислової культури. Товарні насадження майже повністю зосереджені в дрібних господарствах населення. Це зумовлює стихійність пропозиції, низьку якість плодів, складність їх заготівлі, нерозвиненість оптової торгівлі та промислової переробки, звужує асортимент вітчизняної продукції і сповільнює розвиток експорту [1, 8, 13].

Україна входить у п'ятірку провідних країн-виробників волоських горіхів у світі (6% від світового виробництва), що за даними Держкомстату становить в середньому 83 тисячі тонн плодів на рік. При цьому очищенням ядра волоських горіхів від шкаралупи займаються в основному підсобні домашні господарства та невеликі мануфактурні виробництва. Очищення в промислових масштабах як такого не існує, хоча останніми роками ведуться розробки нового переробного обладнання. Складність переробки даної сировини полягає у необхідності попереднього калібрування, значних енергетичних затратах при луценні, та забезпеченні виходу цілого ядра, що й зумовлює пошук нових методів та їх конструктивної реалізації для луцення волоських горіхів. Тому, вдосконалення технологічної лінії переробки волоських горіхів шляхом розробки нового високоефективного обладнання для їх луцення є актуальним завданням для національного господарства країни.

Зв'язок з науковими проблемами, планами, темами. Тема дипломної роботи пов'язана з тематичним планом науково-дослідної роботи кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича.

Мета досліджень: вдосконалення процесу лушення горіхоплідних культур та обладнання для його реалізації.

Задачі досліджень:

- визначити вплив фізико-механічних характеристик та конфігурації лущильного пристрою для розколювання на показники якості цільного ядра горіха;
- визначити вплив конструктивно-експлуатаційних параметрів обладнання на енергетичні та техніко-економічні показники процесу розколювання, а саме питомий тиск пластини, питоме енергоспоживання, продуктивність лущильника тощо;
- розробити методику розрахунку необхідної потужності електродвигуна приводів обладнання для розколювання шкарлупи горіхоплідних культур, яка враховувала б конструктивні особливості робочих органів.

Об'єкти досліджень: процес лушення шкарлупи горіхоплідних культур прижимною пластиною.

Предмет досліджень. Предметом досліджень є конструктивно-функціональне рішення прижимної пластини лущильника горіхів.

Методи досліджень: при вирішенні поставлених задач досліджень використовувалися класичні методи теоретичної механіки, опору матеріалів, математичного аналізу та моделювання. Вивчення механіко-технологічних властивостей стебел кукурудзи проводилося з використанням методів математичної статистики та регресійного аналізу на ПЕОМ. Експериментальні дослідження проводились на спеціально виготовленій установці з використанням теорії планування експериментів.

Наукова новизна: визначено залежності, що характеризують вплив конструктивно- експлуатаційних параметрів лущильника горіхоплідних культур

на якість цільного ядра горіха та на важливі показники протікання процесу – питомий тиск пластини, продуктивність лушчильника.

Практичне значення полягає в тому, що запропонована конструкція лушчильного пристрою дозволить підвищити продуктивність переробки горіхів на 6..8%, зменшити енергоємність технологічного процесу, а також скоротити затрати праці і матеріальних засобів на доочистку отриманої продукції.

Особистий внесок здобувача: основні положення та результати дипломної роботи отримано самостійно, а саме:

- патентно-інформаційний пошук існуючих технологій переробки горіхоплідних культур;
- досліджені основні фізико-механічні параметри волоських та лісових горіхів;
- проведена обробка і аналіз результатів, експериментальних досліджень з обґрунтування геометричних параметрів лушчильного пристрою;
- проведена економічна оцінка машини для лущення горіхів з новим подрібнювальним пристроєм.

Публікація результатів. За результатами досліджень опублікована 1 стаття у фаховому збірнику.

1. ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ГОРІХОПЛІДНИХ КУЛЬТУР

1.1.Особливості збирання плодів горіхоплідних культур

Основними виробниками плодозбиральної техніки для горіхоплідних культур є фірми «AMB ROUSSET», «Recolt - Concept», BERARDINUCCI, «Jessee Equipment Manufacturing» і «Munckhof». Машини для механізованого збирання горіхоплідних культур, оснащені струшувачем або вібратором і вловлювачем. Струшувач з допомогою ударного, вібраційного, віброударного механізмів (залежно від моделі та комплектації), забезпечує струшування плодів, а вловлювач забезпечує їх підбирання, з подальшим затарюванням, або ж плоди падають на поверхню ґрунту, звідки підбираються потужним порохотягом. Струшувальні механізми виготовляють у вигляді самохідних комплексів або, як навісне обладнання для енергетичних засобів. На рис. 1.1 і 1.2 зображено навісне струшувальне обладнання і збиральна машина R16. Навісне обладнання для струшування дерев фірми «AMB ROUSSET» струшує горіхи на поверхню ґрунту, а збиральна машина R16 діє за принципом пирососа і їх підбирає. На рис. 1.3 наведено горіхозбиральний комбайн «Munckhof», він забезпечує їх струшування, та підбирання у спеціальні секції [6].



Рисунок 1.1 - Навісний струшувач «AMB ROUSSET»



Рисунок 1.2 – Підбиральна машина R16



Рисунок 1.3 - Горіхозбирпльний комбайн «Munckhof»

В процесі механізованого збирання горіхів, разом з стиглими плодами, часто потрапляють плоди з невідокремленою зеленою плодовою шкіркою, що негативно впливає на якість сировини. Отже виникає необхідність у додатковій доочистці продукції (зняття залишків шкірки, миття горіхів). Необхідне обладнання для виконання даної операції випускає французька фірма Sommer SA, «AMB ROUSSET» і «Recolt - Concept» (рис. 1.4).



а)



б)

Рисунок 1. 4 – Обладнання для для відділення зеленої шкірки горіхів фірм:
а) AMB ROUSSET; б) Sommier SA

1.2. Особливості відділення ядра горіхоплідних культур

Технологія переробки отриманої сировини з горіхоплідних культур має свої особливості. З якісної горіхової сировини, виробники прагнуть отримати високий відсоток «метеликів» та ціле ядро (рис.1.5), що високо цінуються на світовому ринку.



Рисунок 1. 5 – Метелики лущеного горіха

Даного ефекту досягають з допомогою ручного лущення, але для промислового виробництва, це надрозумно і малоефективно. Результатом є те, що ядро є найм'якшою складовою горіха, яке пошкоджується першим під час виконання будь-яких механічних впливів на горіх.

Частково дану проблему вдається вирішити з використанням аспіраційних машин. Їх ефективність роботи суттєво підвищується внаслідок попереднього калібрування розколотого горіха на кілька розмірних фракцій, за розміром з допомогою калібрувальних машин вібраційної дії.

Горіх після луцення на лущильних машинах направляється до віброкалібрувального столу, що відділяє крупний лущений горіх від дрібного. Цілий лущений горіх направляється на інспекційний стіл для його ручного очищення, що забезпечує максимальний вихід «метеликів» та цілого ядра. Дрібна фракція лущеного горіха поступає до аспіраційної машини, де відбувається відділення вільної шкарлупи від ядра, а сам горіх поступає на додатковий контроль. Ядро горіха з контрольного сортувального столу, поступає на ділянки калібрування продукту луцення, за його розміром і кольором.

Існують і інші технології переробки горіхоплідних культур, в яких горіхи перед луценням, попередньо сушать, стараючись максимально зменшити вологість. А самі горіхи чистять на лущильних машинах, у яких встановлюється режим максимального стиску, щоби шкарлупа повністю розкололась. Далі розколотий горіх, як і в попередньому випадку, на вібросортувальному столі розділяється на декілька фракцій за розміром. Частково відділені метелики, надходять до аспіраційних машин, які налаштовані для очистки певної фракції продукту. Сухі метелики краще очищаються, а це суттєво підвищує ефективність використання аспіраційних машин. В подальшому горіхи, через контрольний конвеєр подаються на оптичний сортувальник.

На оптичному сортувальному пункті ядро горіха розділяється за кольором (забарвленням). Оптичним сортувальним пунктом обов'язково оснащують переробні лінії, щоб відділити некондиційні ядра (гнилі, з темним забарвленням, протухле ядро). Актуальність даної технологія полягає в тому, що багато замовників експортерів, переважно для кондитерської промисловості, потребують мікс ядр горіха.

1.3. Машини для відділення ядра горіхоплідних культур

На даний час існує багато конструктивних розробок машин призначених для луцення оболонки горіха. Вони мають свої особливості, які слід враховувати перше ніж їх застосувати. Найважливішим є принцип луцення оболонки горіха,

використаний в даній машині. Це можуть бути машини, що використовують вальцеві або барабанні лушильники, для них попередньо, обов'язково перед процесом лущення, слід провести калібрування за розмірним показником. Як наслідок, чим краще калібрування (більша кількість розмірних фракцій), тим якісніше лущення і вищий вихід цільного ядра.

Існують моделі машин, в яких використовують для лущення зовнішній нерухомий та внутрішній обертовий барабани, зазор між якими регулюють залежно від фракції горіхів. Даний метод забезпечує високу продуктивність, але також потребує попереднього калібрування горіха на фракції. На рис. 1.6 зображено машини для лущення горіхів (а) і міні лінія для їх лущення та вилучення ядра (б) продуктивністю 100-120 кг/год.



т



а)

б)

Рисунок 1.6 - Обладнання для лущення горіхів

Подібну лінію розробили в Україні у ВПКТІ марки Ш24-ШОЖ1.1.00 (рис. 1.7). Лінія складається з ковшового елеватора, вібросити для розподілу горіхів на фракції, а також містить два вузли лущення барабанного типу і сортувальний конвеєр з аспіраційним пристроєм. Продуктивність лінії 125 кг/год.



Рисунок 1.7 - Лінія для лушення горіхів Ш24-ШОЖ1.1.00 виробництва ВПКТІ

Машини з елементами лушення барабанного (валкового) типу розробила українська фірма ТОВ «Сервіс-Пак» (рис. 1.8). Вони характеризуються високою продуктивністю, але потребують попередньої калібрування горіхів на фракції [5].



Рис. 1.7 - Машина для лушення горіхів ОД-1 продуктивністю 50-60 кг/год

Щоб покращити якість лушення і усунути додаткові технологічні операції (калібрування горіха), деякі фірми використовують для лушення горіхів вузол розколу, що складається з двох лущильних плит виготовлених з круглим або конусним зазором [2].

Горіх будької фракції, потрапляючи у цей зазор, заклинюється на рівні, що відповідне його розміру. З подальшим ударним змиканням лущильних плит, наслідком є, процес лушення шкарлупи горіха. Ступінь стиску (деформація горіха) регулюється положенням плит, це необхідно, для отримання якісного лушення горіхів з різною товщиною оболонки. Даний принцип використаний у машині «ОДМ 994/250» виробництва ДП «СКТБ ІПП НАНУ». Її продуктивність 270 шт. /хв або 200 кг/год.

Висновки

Згідно результатів досліджень можна зробити наступні висновки:

- ядро є наймякшою складовою горіха, яке пошкоджується першим під час виконання будь-яких механічних впливів на горіх;
- для лущення оболонки горіха використовують вальцеві або барабанні лущильники, для них обов'язково перед процесом лущення, слід провести калібрування горіхів за розмірним показником;
- щоб покращити якість лущення і усунути додаткові технологічні операції (калібрування горіха), деякі фірми використовують для лущення горіхів вузол розколу, що складається з двох лущильних плит виготовлених з круглим або конусним зазором.

2. ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ ШКАРАЛУПИ ГОРІХІВ

2.1. Основи переробки горіхів

Під час переробки горіхів, здійснюють певні процедури, які виконують у певній послідовності, або ними нехтують, залежно від того, якої якості сировина, та якість кінцевого продукту. З цією метою було розроблено схему технологічної лінії переробки горіхоплідної продукції (рис. 2.1), що включає наступні операції:

1. Калібрування на 5 фракцій, в залежності від розміру. Калібрування проводять на калібрувальному станку вальцевого типу, направляючи плоди на два обертові конусні вальці, де вони переміщаються вздовж обертової вісі і потрапляють у між вальцевий зазор.

2. Горіхи завантажують у бункер луцильної машини «ОК-МЗ» (об'ємом 20-30 літрів), де відбувається процес лушення, за рахунок обертання двох рифлених барабанів, між які потрапляють горіхи, лушений продукт потрапляє у розвантажувальний лоток. Зазори і зусилля між обертовими частинами луцильного барабана регулюються, за рахунок чого, отримують оптимальні зусилля стиску.

3. Калібрують ядра горіхів на три фракції, з допомогою вібросортувальних сит, очищена фракція поступає в попередньо підготовлену тару. Продуктивність сит 150 кг/год.

4. Милку фракцію, продукту лушення, додатково очищають від залишків шкаралупи повітряним сепаратором.

5. Милка фракція продукту лушення, направляється живильником на сортувальний транспортер, з обладнаними шістьма робочими місцями. Продукт лушення транспортується, а робітники вибирають дрібну шкаралупу лушеного горіха, дрібна “крошка” транспортується в підготовлений контейнер.

6. Крупна фракція продукту лушення, направляється живильником на сортувальний транспортер, також обладнаними шістьма робочими місцями, його поверхня виготовлена з харчової стрічки білого кольору. Робітники вибирають цільні ядра горіха (“метелики”), а крупна фракція шкаралупи і внутрішні

перетинки відвантажуються в контейнер.

7. Сепаруючи крупну фракцію шкаралупи, проводять її очистку від внутрішніх перетинок (цінний продукт для фармакології) з допомогою повітряного сепаратора.

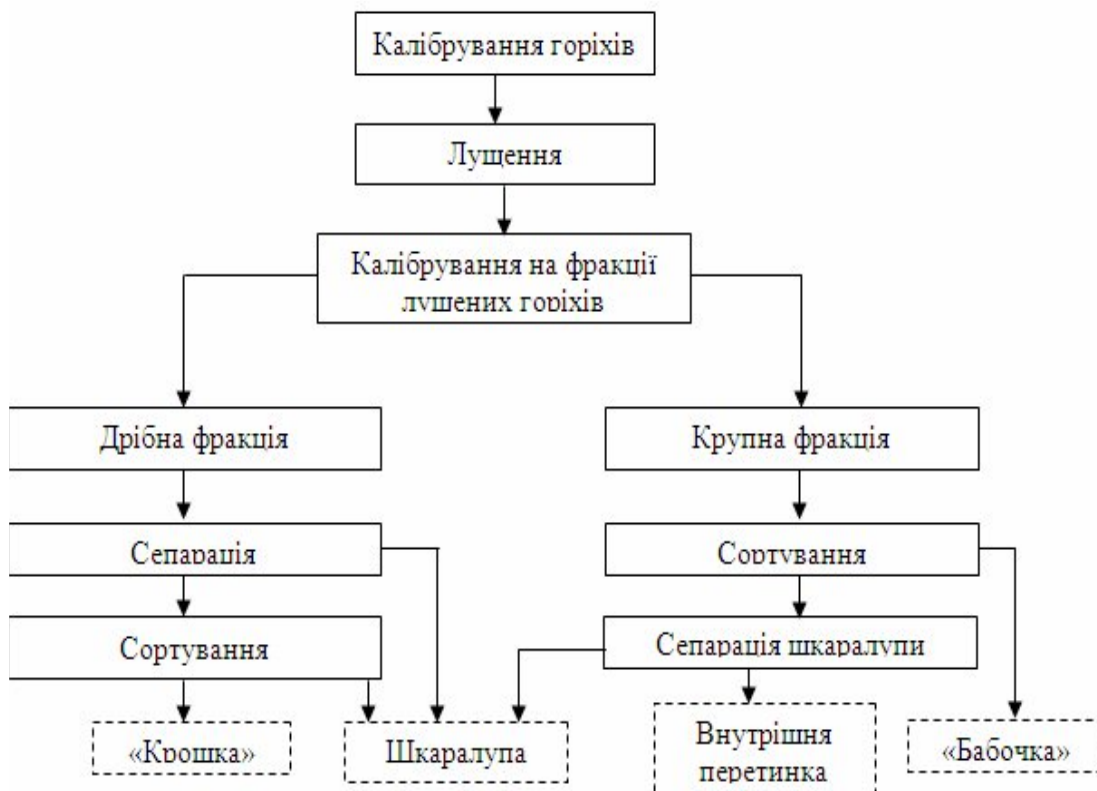


Рисунок 2.1- Схема технологічної лінії для переробки горіхів

Запропонована технологічна лінія з переробки горіхоплідної продукції, є безвідходною і передбачає повне розділення вихідного продукту, за якісними і корисними показниками. А саме:

1. “Метелики” – вихід 25 – 85 % від маси ядра. Процент залежить від таких факторів: сортові, розмір горіхів, вологість, спосіб збирання та інші.). Горіх та його компоненти є, цінною сировиною для харчової, медичної та кондитерської промисловості.

2. “Крихта” – погано зберігається і має меншу цінність, вважається малоякісною продукцією, її вихід стараються мінімізувати, вона не бажана і економічно не вигідна.

3. Внутрішня перетинка – має низький вихід за масою, але представляє цінність для фармацевтичної галузі.

4. Шкаралупа – її вміст 60 % від загальної маси плодів, з значним вмістом дубильних речовин (16-21%), які використовують у хутровій галузі, для дублення шкур. З них також виготовляють активоване вугілля, лінолеум, фарби, брикети для опалення.

Найбільш енергоємною операцією з переробки горіхоплідної продукції є лущення, від якого залежить потреба у калібруванні та подальший обробіток, вихід ядра, метеликів.

Щоб покращити якісні показники виходу сировини після процесу лущення, нами пропонується модернізувати, розроблену у Вінницькому національному аграрному університеті принципову схему вібраційної лушилки (рис. 2.2).

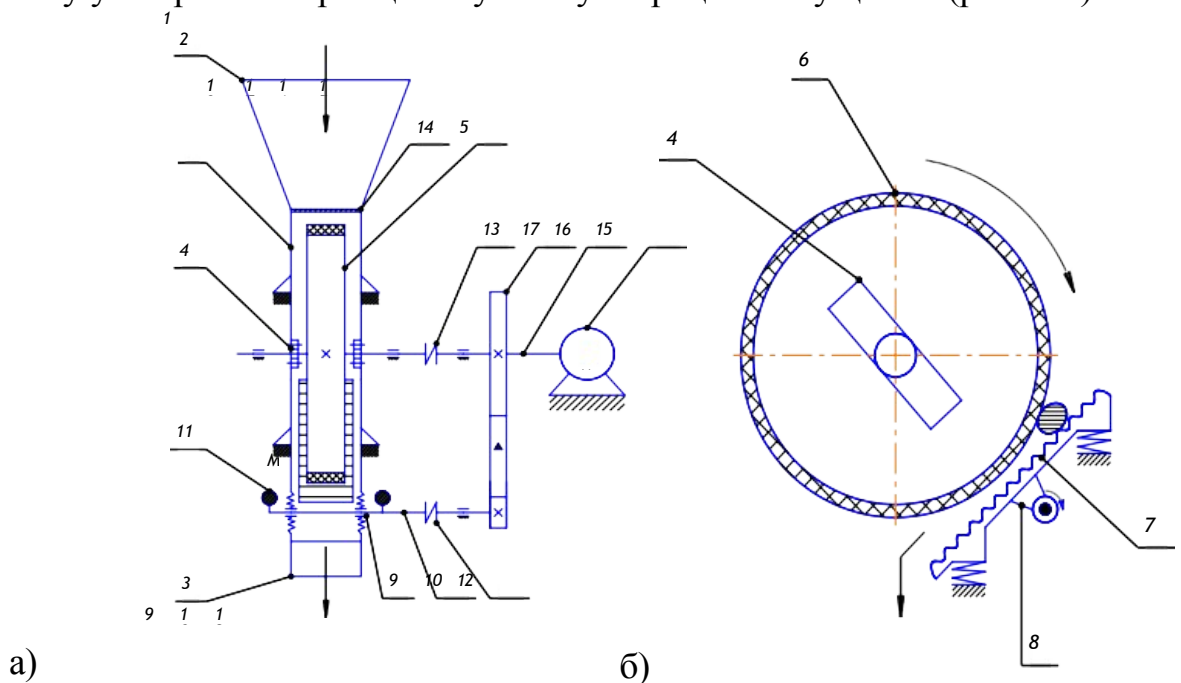


Рисунок 2.2 - Вібраційна лушилка горіхоплідних культур: а) схема; б) будова; 1 – основа; 2 –бункер сировини; 3 – завантажувальна горловина; 4 –механізм варіації; 5 – дробильний барабан; 6 – гума; 7 – підпружинене деко; 8 – опора; 9 – підшипникові вузли; 10 –вал приводу; 11 – де балансний механізм; 12, 13 – еластичні муфти; 14 – дозувальна заслінка; 15 – електропривід; 16 –вал приводу; 17 – клинопасова передача

Запропонована конструкція реалізує ідею комбінованої взаємодії вібраційного та обертового руху виконавчих органів, що значно інтенсифікує процес лущення.

Запропонована лушильна машина для горіхоплідних культур працює

наступним чином: у приймальний бункер 2 завантажують лушені чисті висушені горіхи. З допомогою механізму варіації 4 виставляють величину зазору у робочій камері і за рахунок відкриття шиберної заслінки 14 забезпечують подачу продукції у луцильну камеру 1.

Електродвигун 15, з допомогою клинопасової передачі 17 та еластичних муфт 12, 13 передає крутний момент (у співвідношені 3:1) дробильному барабану 5 та на вал приводу 10 з дебалансним механізмом 11. Оберти дебалансного механізму 11 спричиняють до коливних рухів, підпружинену рифлену деку 7, що передаються на корпус 1 прискорюючи переміщення горіхів у робочий зазор, між рифленим деком 7 і дробильним барабаном 5, де під його дією і відбувається руйнування шкаралупи горіхів. Подрібнений продукт вивантажується у приймальний контейнер.

Використаний принцип поєднання обертового і коливного руху луцильного механізму, суттєво сприяє затисканню горіхів, не залежно від їх фракції, і передачі руйнівного зусилля стиску шкарлупі, забезпечуючи їй руйнівну деформацію з мінімальним травмуванням ядра горіхів та мінімізації енергозатрат на процес луцення.

2.2. Обґрунтування схеми пристрою для луцення горіхів

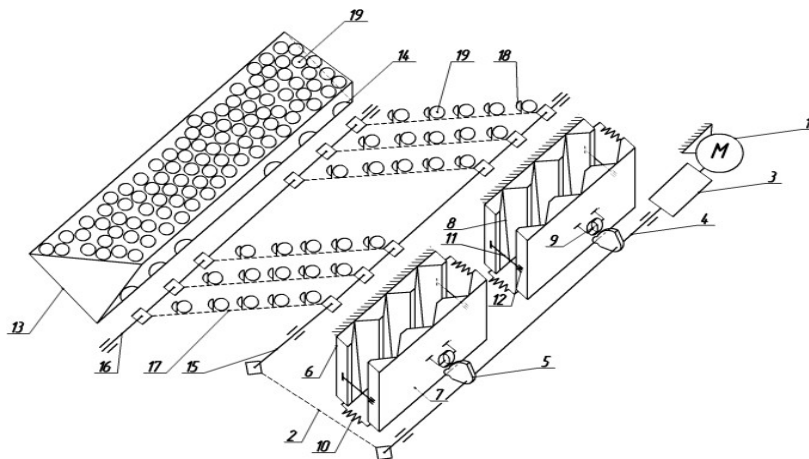
Аналіз технологічних на конструктивних особливостей луцильних машин для горіхоплідних культур, дозволив зробити висновки, що їх спільними недоліками є, необхідність попереднього калібрування горіхів на фракції, що, негативно впливає на зростання енергозатрат і на організацію процесу очистки ядер горіхів.

Щоб покращити роботу базової моделі луцильника, необхідно забезпечити адаптований розподіл зусилля стиску по всій поверхні шкарлупи горіха, а отже – її рівномірне руйнування і максимальний вихід непошкодженого ядра та «метеликів». Кінцевий результат, запропонованої конструкції, дозволить забезпечити високоякісну очистку горіхів без додаткового сортування на фракції

Дане завдання можна розв'язати використавши запропонований луцильник горіхів, в якому процес сколювання шкарлупи горіха відбувається внаслідок стиску двох площин з клиновидними впадинами.

Він оснащений два основними структурними контурами, що приводяться в дію електродвигуном 1 зеднані між собою ланцюговою передачею 2 [8].

Луцильний складається з редуктора 3, валу приводу 4, з розміщеним на ньому кулачком 5, статичної та рухомої прижимних пластин 6, 7, пружних елементів 10 і напрямних 11 оснащених роликівими підшипниками 12, що забезпечують плоско паралельне переміщення прижимних пластин 7 відносно нерухомих пластин 6.



При вмиканні електродвигуна 1, через редуктор 2 приводиться в дію вал приводу 4, що забезпечує оберти кулачків 5 і з допомогою передачі 2 через ведений вал 15, забезпечує одночасний рух ланцюгових передач 17 з елементами виготовленими у вигляді напівсфер 18. Горіх 19 через горловину 14 скочується до напівсфер 18, звідки ланцюговою передачею 17 подається зону лушення, у вигляді клиновидних впадини 8 між статичною та рухомою прижимними пластинами 6, 7. Кулачки з допомогою відливків 5 тиснуть на ролики 9, які забезпечують плоско паралельне переміщення прижимних пластин 7 відносно нерухомих 6, забезпечуючи процес лушення шкарлупи горіхів.

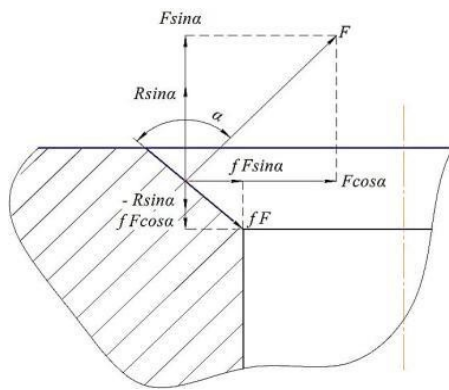
Запропонована конструкція лушильника горіхів, забезпечить одночасне об'ємне лущення шкарлупи горіхів, при умові їх самопозиціювання у процесі розколювання.

2.3. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів лушильника

Лушильник забезпечує розколювання шкарлупи горіхів, руйнуючи його оболонку. Отже основними параметрами, що будуть характеризувати його ефективність є: геометрична форма пластин, час дії на кінцевий продукт, продуктивність та енергоємність [4].

Модернізована конструкція забезпечує безперервне очищення ядер горіхів від шкарлупи, при умові розділення продукту на фракції. Забезпечивши постійну автоматизовану подачі горіхів у приймальний бункер та вивантаження готового продукту, можна повністю механізувати весь процес переробки горіхоплідної маси, без залучення ручної праці. [7].

Розрахуємо необхідні зусилля, для забезпечення процесу лущення, для



цього визначимо розклад зусиль, що виникають на поверхні взаємодії між шкарлупою горіха і пластиною рис. 2.5.

Рисунок 2.5 - Схема виникаючих зусиль у зоні взаємодії між шкарлупою горіха і кромкою пластини: $F \sin \alpha$ – зусилля руйнування оболонки горіха, Н; fF – зусилля тертя, Н; f – коефіцієнт тертя, α – кут кромки пластини, град

Під час моделювання процесу подрібнення в лушильнику приймали, що ширина пластини пов'язана з розміром еталонного горіха, нерівністю $a+b \geq a_{II} \geq c$. Знаючи, що $t \approx a_{II}$ і дослідивши геометричні дані горіхів різних форм [7], значення D_e приймемо:

$$t \approx 2D_e. \quad (2.1)$$

Знаючи, крок подачі t , можна розрахувати кількість робочих пластин n_{II} :

$$n = \frac{2R}{t} \cdot \frac{R}{D_e} \quad (2.2)$$

Визначимо висоту пластин h для луцильника урахувавши, що вона буде впливає на цілність кінцевого продукту:

$$h = \frac{t \sin 2\lambda_1}{2\lambda} \quad (2.3)$$

де λ – цілність ядра горіха;

де M – середньозважений діаметр (мм) розколеного ядра горіха.

$$\lambda = \frac{D_e}{M} \quad (2.4)$$

Кут защемлення α буде залежати від розмірних показників горіхів, затиснутих між пластинами. Приймавши даний розмір рівним еталонному діаметру вхідного горіха D_e , можна розрахувати кут α з врахуванням зазору δ , використавши теорему косинусів:

$$\alpha = \arccos \frac{R^2 + R^2 - D_e^2}{2RR} \quad (2.5)$$

В луцильнику параметром зазору δ визначають ширину притискної пластини [9]. Враховуючи еталонне значення D_e горіха, теоретично обґрунтуємо ширину пластини луцильника:

$$H_{\min} = \frac{D_e}{2 \cos \alpha} \quad (2.6)$$

де $H_{\min}$ – найменша ширина пластини лушильника, м.

Велика кількість випробувань [9], проведених для визначення оптимальних значень конструктивно-режимних параметрів, дозволяє рекомендувати значення 45...65. Після теоретичного обґрунтування геометричних параметрів робочих органів лушильника, можна розрахувати їх виходячи з товщини шкарлупи волоського горіха.

За результатами розрахунку $t = 7,6$ мм, $h = 45$ мм, $D_{\min} = 62$ мм, $\alpha = 4,46^\circ$. Для проведення експериментальних досліджень і оцінки якості розколювання при роботі лушильника горіхів, ширина пластини прийнята постійним значенням.

Висновки

1. Горіх та його компоненти є, цінною сировиною для харчової, медичної та кондитерської промисловості.
2. Найбільш енергоємною операцією з переробки горіхоплідної продукції є лущення, від якої залежить потреба у калібруванні та подальшому обробітку, виході ядра, «метеликів».
3. Аналіз технологічних на конструктивних особливостей лушильних машин для горіхоплідних культур, дозволив зробити висновки, що їх спільним недоліком є, необхідність попереднього калібрування горіхів на фракції, що, негативно впливає на зростання енергозатрат і на організацію процесу очистки ядер горіхів.
4. Використаний принцип поєднання обертового і коливного руху лушильного механізму, суттєво сприяє затисканню горіхів, не залежно від їх фракції, і передачі руйнівного зусилля стиску шкарлупі, забезпечуючи їй руйнівну деформацію з мінімальним травмуванням ядра горіхів та мінімізації енергозатрат на процес лущення.
5. Запропонована конструкція лушильника горіхів, забезпечить одночасне об'ємне лущення шкарлупи горіхів, при умові їх самопозиціювання у процесі розколювання.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мета і обладнання для експериментальних досліджень

Лушильна машина забезпечує процес розколювання шкаралупи горіха [5], при цьому, конструкція, що складається з двох прижимних пластин забезпечує ефективніше виконання процесу [9].

Метою лабораторних досліджень є обґрунтування раціональних конструктивних параметрів і режимів роботи лушильника. З цією метою додатково необхідно дослідити фізико-механічних властивості горіхоплідної сировини, для виготовлення експериментального зразка лушильної машини.

Щоб вирішити поставлені завдання, нами розроблена програма лабораторних досліджень, що передбачає визначення наступних фізико-механічних властивостей горіхоплідних культур горіха волоського та лісового (фундука). [4,5,8].

У процесі лабораторних досліджень вимірювали наступні показники: загальна маса горіха m_z (рис. 3.1 с), маса ядра m_y (рис. 3.1 д), розмірні показники горіха: висота - a , товщина - b , ширина - c , а також товщина шкаралупи h (рис. 3.1 а, в) .

Повну вагу горіха m_z (рис. 3.1 с,д) і масу ядра m_y вимірювали з допомогою електронних ваг МН-200/0,01, з точністю виміру до 0,01 г. Для цієї мети брали вибірку з 40 плодів кожного досліджуваного виду, вагу яких перевіряли у трикратному повторі.

Висоту горіха заміряли від основи його денця до верху ростка. З цією метою дослідний зразок встановлювали між губками для зовнішніх замірів штангенциркуля, а покази реєстрували з допомогою вимірювальної шкали (див. рис. 3.1 а,в).

Товщина і ширина зразка замірялись аналогічно.

На рис. 3.1,3.2, 3.3 наведене обладнання з допомогою якого визначали:

- розмірні показники (a -висота, b -товщина, c -ширина) (рис. 3.1 а, в);

- об'ємний ($\eta = V_{\text{я}}/V_2$) (рис. 3.3) та масовий ($\mu = m_{\text{я}}/m_2$) коефіцієнти (рис. 3.1с,д) [4];

- енергія, що затрачається на руйнування шкарлупи горіха (рис.3.2).



Рисунок 3.1- Обладнання для замірів розмірних і масових показників горіха і ядра



Рисунок 3.2 - Визначення об'ємних показників горіха

Для досліджень фізико-механічних властивостей горіхів фундука, сорту Каталонський, що добре зарекомендував себе в країнах Європи і добре культивується в західних областях України визначали:

- масові і розмірні показники (маса, довжина, ширина, товщина) (рис. 3.3 а, б) [5];
- енергію руйнування оболонки та ядра горіха.



Рисунок 3.3- Обладнання для замірів розмірних показників лісових горіхів

Проектуючи лушпильну машину, її вузли та механізми, необхідно знати властивості матеріалу, що обробляється, у нашому випадку, це плоди волоського та лісового горіхів.

Щоб визначити міцність дослідних зразків використали розроблений нами прилад ударного типу (рис. 3.4).

Визначаємо роботу, що затрачається на руйнування шкарлупи горіха:

$$A = mgh, \quad (3.1)$$

де m – вага зразка, г;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8$ м/с²;

h – висота падіння тягарця, м.

Прилад (див рис.3.4) складається з станини 1, встановленій на площині, підставки 2 (закріплена до станини), з направляючою 3, для тягарця 5, до стінки направляючої закріплена мірна лінійка 4, досліджуваний зразок 10 встановлюється на підставку 2. Тягарець 5 закріплений з допомогою ланки 6 через блок у котушці фіксатором 8 до штатива 9.

Енергію руйнування оболонки горіхів визначали з допомогою тягарця, положення якого, періодично мінялось.

Для розрахунку енергії руйнування шкарлупи горіхів використовували наступну умову, що на тягарець, використаний у нашій роботі, діють дві сили: вага тягарця і сила тертя ланки в котушці (це зусилля настільки мале, що в

подальших розрахунках його не враховуємо). Внаслідок удару тягарця по поверхні шкарлупи горіха, відбувається її розтріскування, наше завдання визначити енергію руйнування (зусилля руйнування оболонки) (рис. 3.4).

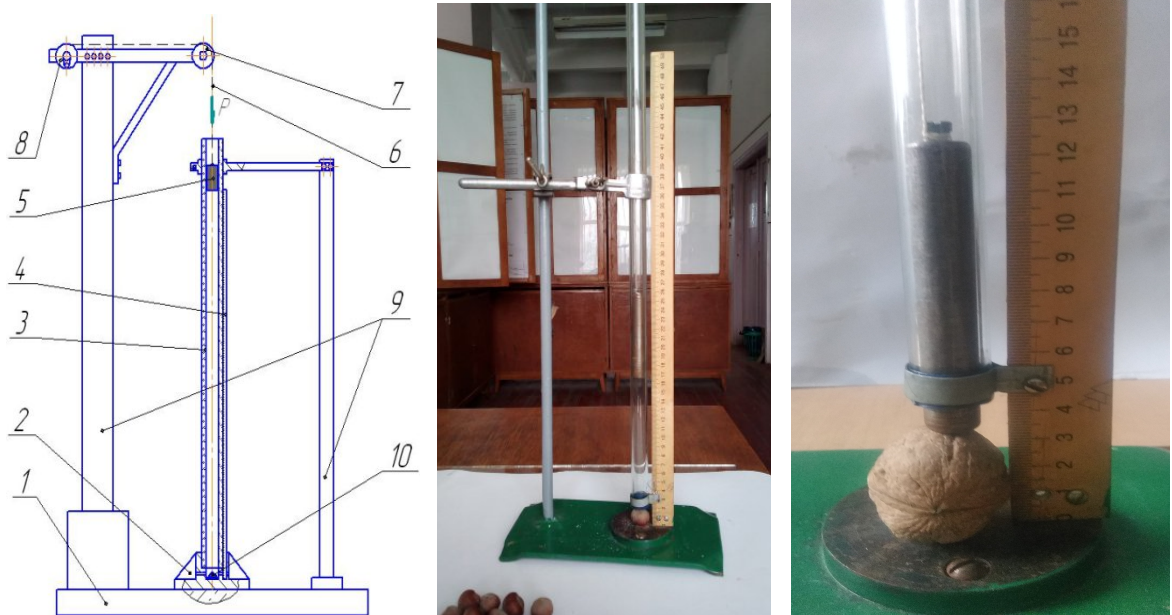


Рисунок 3.4 - Стенд для дослідження зусилля руйнування оболонки та ядра горіхів: 1 - станина; 2 - підставка; 3 - направляюча; 4 - лінійка; 5 - тягарець; 6 - линва; 7 - поліспаст; 8 - котушка з фіксатором; 9 - штатив; 10 - зразок.

3.2. Методика обробки експериментальних даних

Для розрахунку отриманих показників використовували можливості програми Microsoft Excel. Обробку даних лабораторних досліджень здійснювали згідно з стандартною методикою [12].

Точки плану для реалізації всіх поєднань рівних факторів розраховували з формули:

$$N = 3^k, \quad (3.2)$$

де N – число точок в плані;

3 – число рівнів;

k – кількість змінних факторів.

Побудувавши план матриці планування, перевірили її властивості: – симетричність відносно центру дослідів, загальна сума значень стовпця кожного фактора повинна бути рівна нулю, крім стовпчика, вільного члена b_0 :

$$\sum_{e=1}^N x_{ie} = 0, \quad (3.3)$$

де e – номер точки плану;

i – номер фактора;

N – число різних точок плану матриці.

Сума квадрата кожного стовпчика повинна бути рівною числу крапок плану матриці:

$$\sum_{e=1}^N x_{ie}^2 = N. \quad (3.4)$$

Сума добутків планів матриці двох стовпців має бути рівною нулю:

$$\sum_{e=1}^N x_{ie} x_{je} = 0, \quad (3.5)$$

де j – імовірність факторів в i -ій точці, $i \neq j$.

План матриці планування відповідає вищезаявленим властивостями, тоді математична модель, отримана експериментальним шляхом, здатна розрахувати параметри показників оптимізації точно на напрямках рівних відстаней від центру досліду. Для реалізації плану досліджень проводили рандомізацію досліду. У кожній точці планування матриці визначали дійсні параметри факторів, нижніх або основних, у процесі досліджень першого етапу експерименту.

Середнє значення параметру оптимізації розраховували з реалізації паралельних спостережень .

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Дослідження граничної міцності шкарлупи горіхів

Результати лабораторних досліджень з таблиці 4.1 свідчать, що для вологішої сировини опір руйнуванню і модуль еластичності зменшуються, а відносна деформація збільшується.

Таблиця 4.1- Результати фізико-механічних властивостей шкаралупи горіха

Вологість, W , %	Щільність, ρ , кг / м ³	Опір розриву, $\sigma_r \cdot 10^{-6}$ Па	Відносна деформація, ε , %	Модуль пружності, $E \cdot 10^{-8}$ Па
10	720	70,1-70,7	9,0-9,8	8,66-8,65
15	800	65,2-65,7	12,0-12,4	6,10-6,00
20	820	5,3-58,7	15,0-15,6	4,57-4,47
25	860	45,6-45,8	18,0-19,0	3,16-3,00

Для сировини з вологістю 15% опір руйнуванню і модуль еластичності становлять 65,2 і 6,1 МПа, а відносна деформація 12,0%. Також, встановили, що із зростанням вологості горіхів, збільшується щільність їх шкаралупи. Для сировини з вологістю 10%, щільність шкаралупи рівна 720 кг/м³ а для вологості 25% відповідно 860 кг/м³.

Результати досліджень свідчать, що для плодів з однаковими розмірними характеристиками мають подібні характерні залежності. Так найменша висота a у плодів 41 мм, а максимальна – 60 мм; найменша товщина b 35, а максимальна – 47.

4.2. Результати розмірно масових показників горіхів

Головний показник, який впливає на розміри і конфігурацію робочих органів машин для луцення горіхів та ефективного їх поштучного затискання і утримання в зоні руйнування шкарлупи, і від якого залежать якісні показники процесу руйнування шкарлупи, є середній зовнішній радіус горіха. Цей показник

дає можливість оцінити форму горіха і закладений в основу теоретичної моделі з визначення його центра ваги.

Результати досліджень свідчать, що плодам горіхів окремих сортів властиві свої характерні зовнішні поверхні, приведений радіус, яких закладається біологічними особливостями даного сорту. Дана властивість є принциповою для моделювання робочих органів машин луцильного типу, призначених до поштучно відділення шкарлупи від ядра.

Згідно з отриманими даними лабораторних досліджень, були побудовані варіаційні криві, для досліджуваних показників грецьких горіхів (рис.4.1-4.8).

Згідно графічної залежності по вісі Y відкладали кількість проведених дослідів, які потрапили в певний числовий проміжок варіаційної кривої, а по вісі X відкладали досліджувані показники .

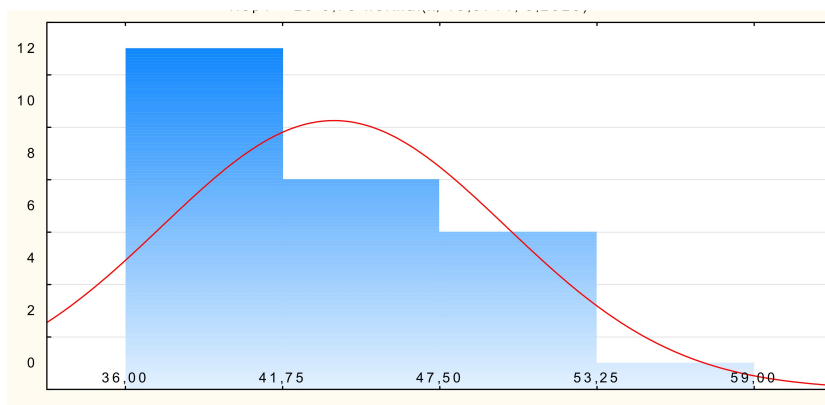


Рисунок 4.1 – Крива нормального розподілу плодів горіха за висотою, a мм.

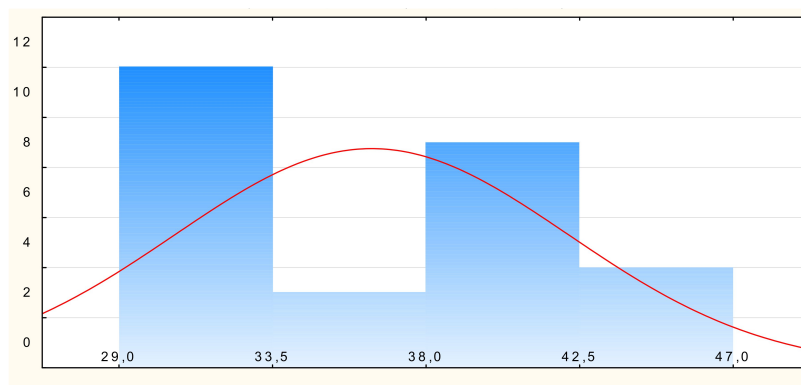


Рисунок 4.2 - Крива нормального розподілу плодів горіха за товщиною b , мм.

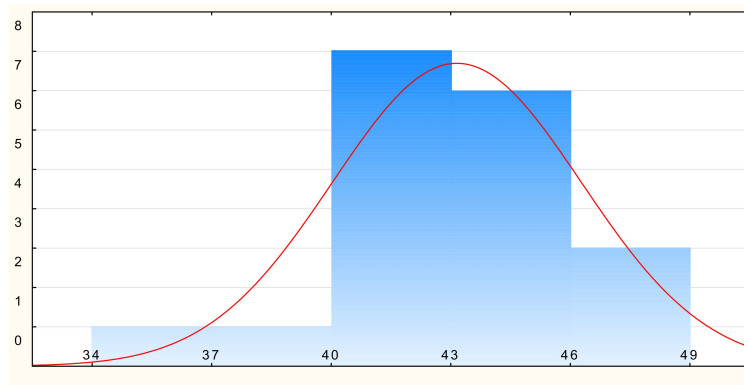
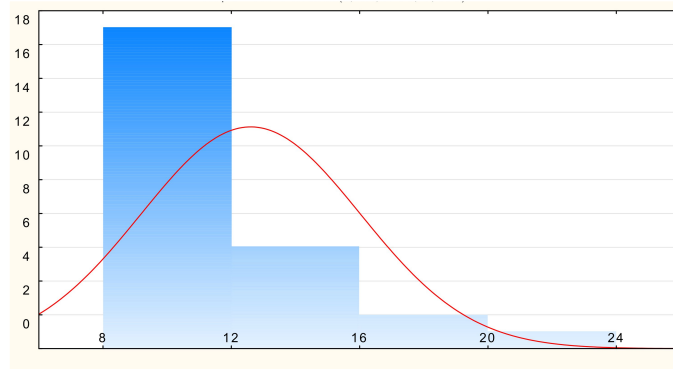
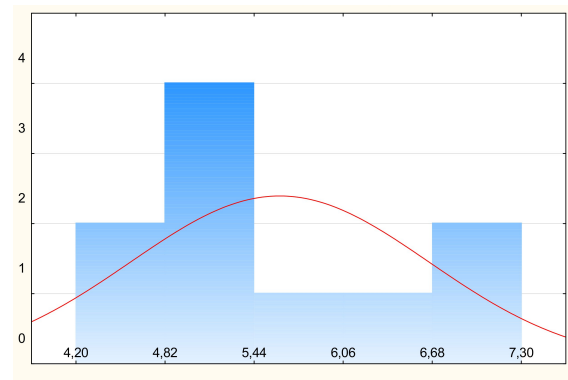
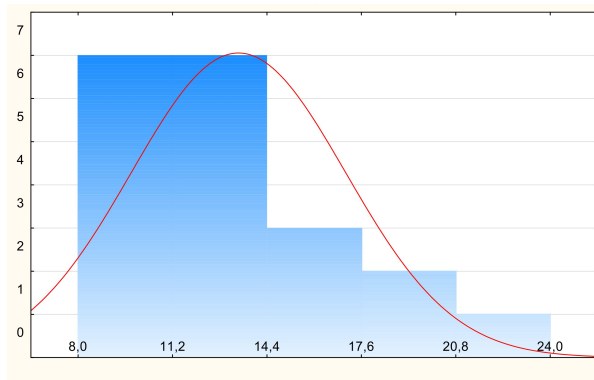


Рисунок 4.3 - Крива нормального розподілу плодів горіха за шириною c , мм.



Розподіл горіхів за масою, г



Крива нормального розподілу плодів *а)* та ядра горіха *в)* за масою m , г.

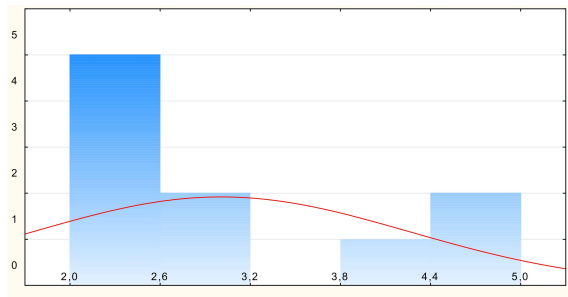
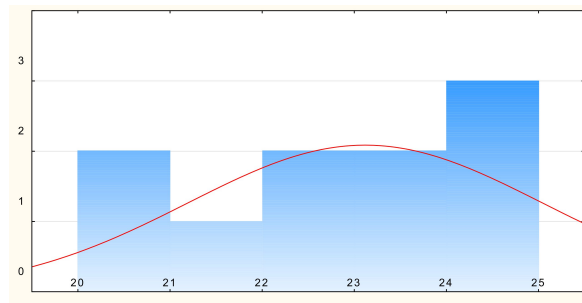
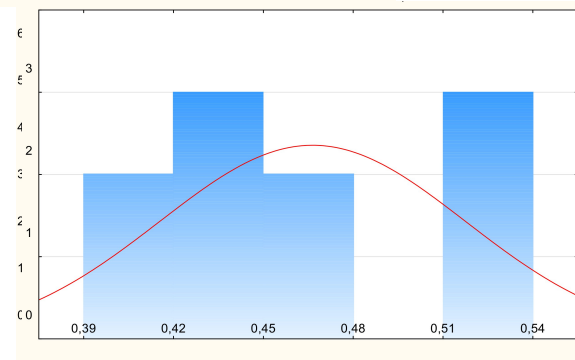


Рисунок 4.5 - Крива нормального розподілу за об'ємом горіха V_r *а)* та ядра V_y *в)*



горіха, $мг^3$.

Рисунок 4.6 - Крива нормального розподілу плодів та ядра горіха за масовим μ та об'ємним η коефіцієнтами

Результати лабораторних досліджень енергії розколювання шкарлупи волоських горіхів наведено на рис. 4.8.

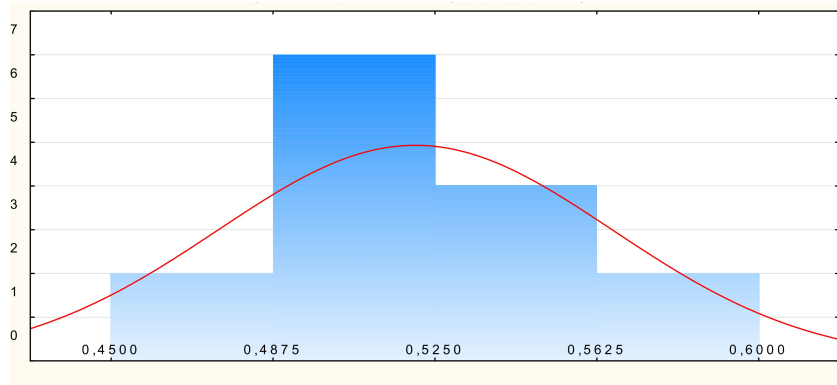


Рисунок 4.8 - Крива нормального розподілу горіхів за енергією руйнування шкарлупи A_o , Дж.

Для лісових горіхів (фундука) проводились аналогічні дослідження і на основі результатів лабораторних досліджень, були побудовані криві нормального розподілу (рис.4.9-4.14).

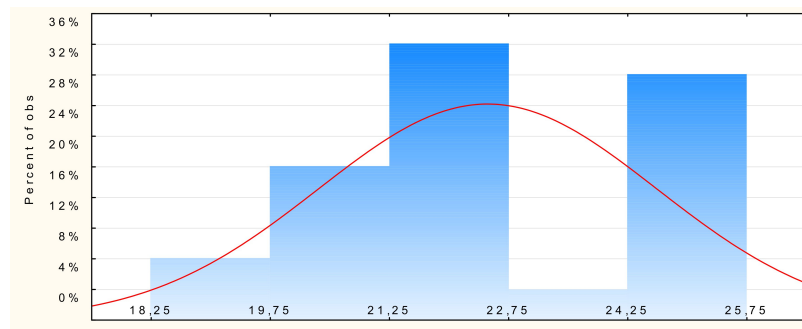


Рисунок 4.9 - Крива нормального розподілу плодів фундука за висотою, b мм.

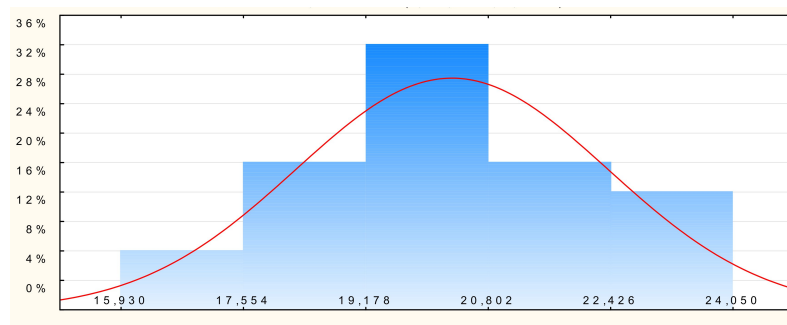


Рисунок 4.10 - Крива нормального розподілу плодів фундука за шириною a , мм.

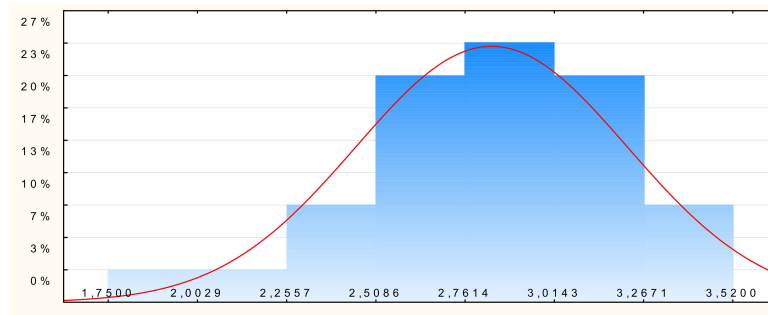


Рисунок 4.11 - Крива нормального розподілу плодів фундука за товщиною c , мм.

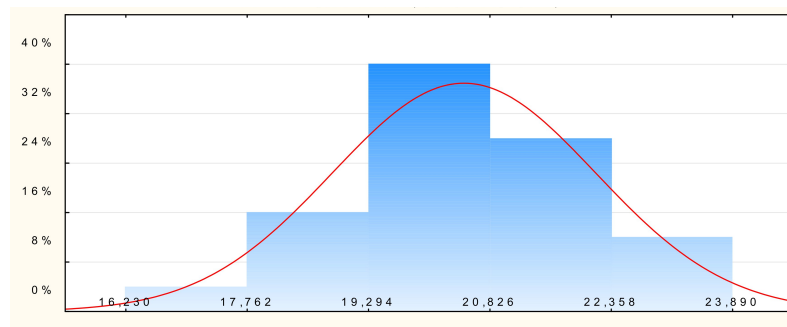


Рисунок 4.12 - Крива нормального розподілу плодів фундука за масою m , г.

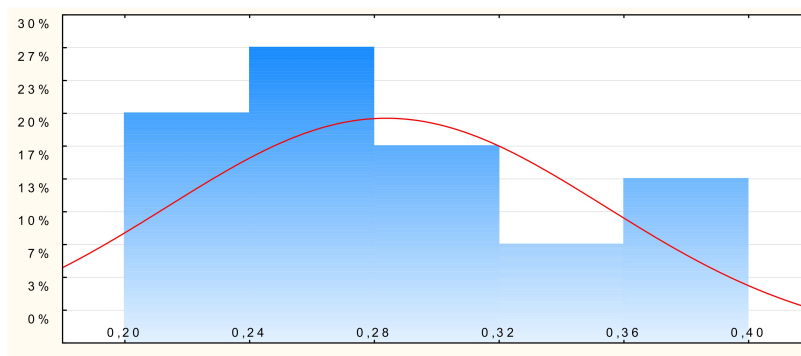


Рисунок 4.13 - Крива нормального розподілу плодів фундука за роботою руйнування шкарлупи A_o , Дж.

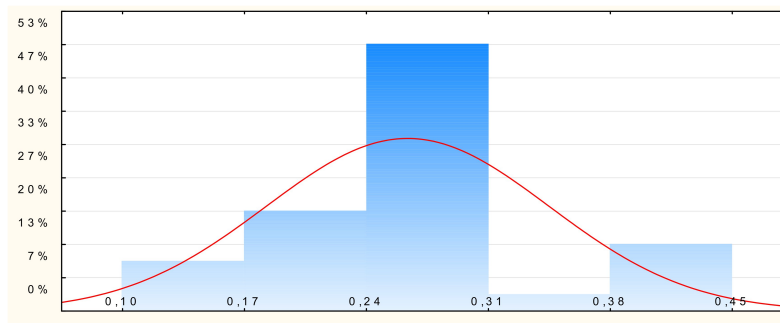


Рисунок 4.14 - Крива нормального розподілу плодів фундука за роботою руйнування ядра A_y , Дж.

На підставі результатів лабораторних досліджень, визначил необхідні затрати енергії на процес лущення шкарлупи, внаслідок розміщення горіхів між двома кільцями з різними скосами.

На рис. 4.15. наведені зміни максимальної енергії руйнування шкарлупи залежно від її товщини, для вологості 5%.

4.3. Результати досліджень енергії руйнування шкарлупи

Результати рис. 4.15 свідчать, що затрати енергії на процес лущення зростають із збільшенням товщини шкарлупи. Також, енергія, що затрачається на процес розколювання залежить, від кута нахилу кільця. Якщо горіх розташований між кільцем з крайкою 30°, гранична енергія руйнування для шкарлупи товщиною 1,0 мм становитиме 1,8 Дж, а для 2,5 мм - 3,2 Дж. Коли використанні кільця з крайкою 15°, енергія руйнування зростає від 0,9 Дж для шкарлупи товщиною 1,0 мм до 1,3 Дж, для товщини у 1,0 мм до 1,6 Дж для товщини у 2,5 мм. Таким чином, на рис. 4.17. представлено графік залежностей максимальної енергії від вологості при розташуванні горіха в кільці зі скосом 15°.

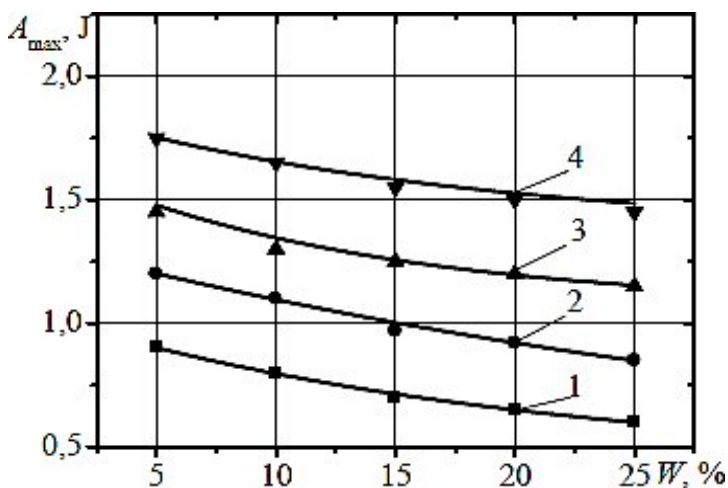


Рисунок 4.15 – Графіки зміни енергії руйнування, залежно від вологості горіхів, для різних товщин шкарлупи δ : 1 – 1,0 мм; 2 – 1,5 мм; 3 – 2,0 мм; 4 – 2,5 мм

За аналогією нами досліджено використання енергії в процесі лущення горіхів, залежно від їх вологості.

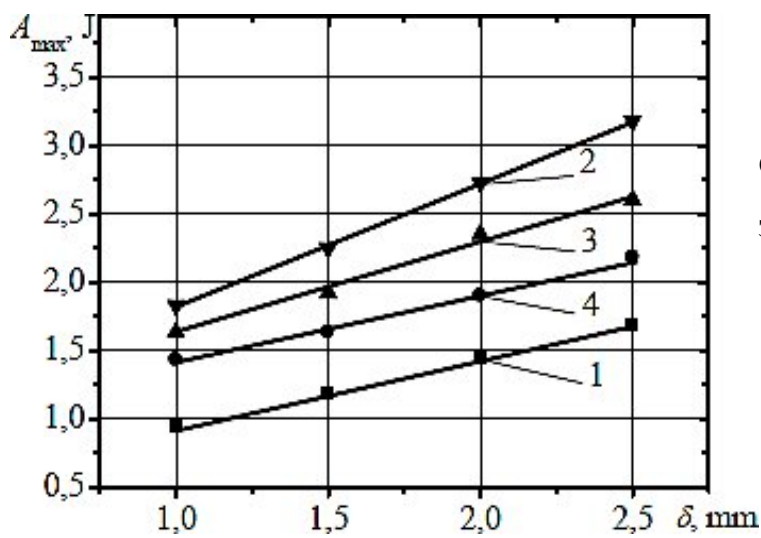


Рис. 4.16 - Графіки зміни енергії руйнування (A_{max} , Дж), залежно від товщини шкарлупи

горіха, для їх розташування між кільцями з різними скосами α : 1 – 15°; 2 – 30°; 3 – 45°; 4 – 60°

Результатом є те, що для шкаралупи товщиною 2,5 мм, енергія руйнування зменшується до 1,7 Дж, при вологості 5% до 1,5 Дж при вологості 25%.

На рис. 4.17 представлено графічно кореляції між максимальною силою дроблення і вологості при розміщенні горіха між двома кільцями із скосом 60°.

Як показано на рис. 4.17 для товщини шкаралупи горіха у 2,0 мм можна вважати, що енергія дроблення зменшується від 1,8 Дж при вологості 5% до 1,6 Дж при вологості 25%.

Як вже було сказано, на базі процесу дроблення горіхів була поставлена мета визначити максимальну енергію дроблення, в результаті якої якість ядра буде максимально високого рівня.

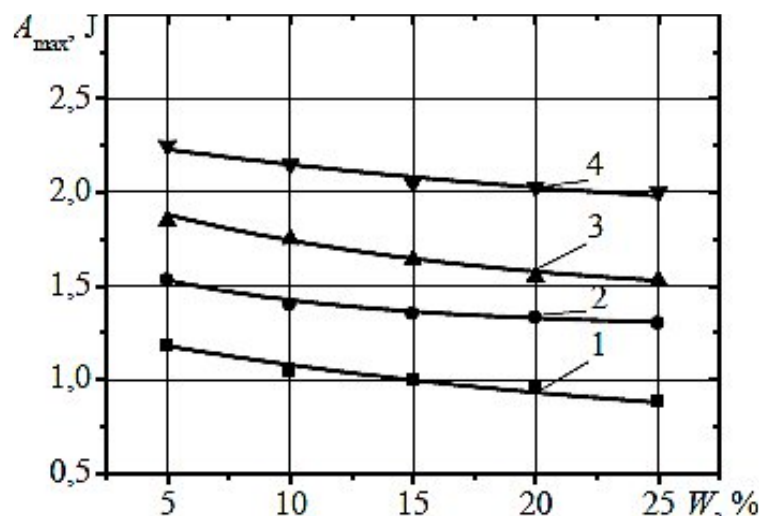


Рисунок 4.17 - Варіація максимальної енергії дроблення залежно від вологості горіхів для різної товщини шкаралупи δ : 1 – 1,0 мм; 2 – 1,5 мм; 3 – 2,0 мм; 4 – 2,5 мм

Розташування горіха в процесі дроблення між двома паралельними пластинами призводить до неякісної якості ядра горіха. Дослідження процесу

дроблення горіха між пластиною і кільцем показали підвищення якості ядра. Аналогічну якість ядра можна побачити і у випадку дроблення горіхів між двома кільцями. Але з огляду на той факт, що в цьому випадку збільшується споживання енергії, розумно використовувати процес дроблення горіхів саме між пластиною і кільцем.

На рис. 4.18 представлений графік залежності цілісності ядра від скосу кільця при вологості 15%.

Аналізуючи отриманий графік на рис. 4.18, було виявлено, що цілісність ядра після процесу дроблення, відповідно становило: 94% при розташуванні горіха в кільці зі скосом 30° , 89% для $\alpha = 45^\circ$, 83% для $\alpha = 60^\circ$ і 81% при розташуванні горіха в кільці зі скосом 15° . Таким чином, використання кільця зі скосом 30° дає можливість отримати ядро з максимальною цілісністю.

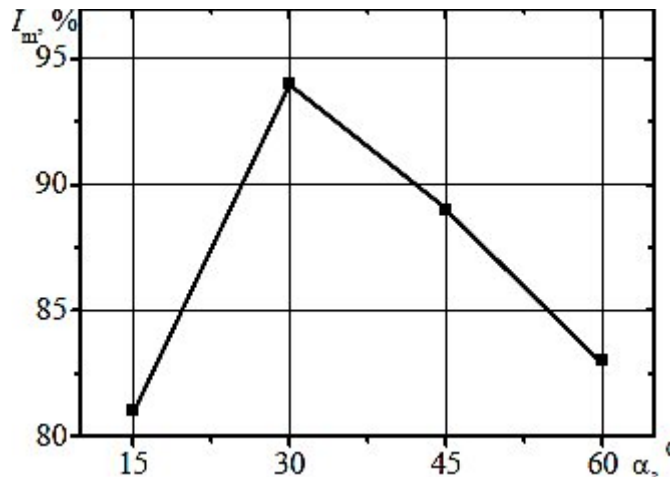


Рисунок 4.18 - Залежність цілісності ядра від скосу кільця при вологості 15%

В процесі дослідів, було виявлено, що якість ядра залежить, як від співвідношення між діаметром горіха і діаметром кільця так і від скосу кільця. Таким чином, для отримання максимальної якості ядра рекомендується проводити процес дроблення прийнявши до уваги наступне: відношення діаметра горіха до діаметра кільця в межах 1,15-1,3; скіс кільця – 30° , а вологість в межах 13-16%.

З підвищенням вологості горіха збільшується і пластичність горіхової шкаралупи, що ускладнює процес вилучення ядра з шкаралупи. Зі зниженням вологості збільшується крихкість горіха, що призводить до ефекту дроблення ядра в кілька частин.

Висновки

Аналізуючи отримані результати експериментальних досліджень та побудовані на їх основі експериментальні криві, можна зробити наступні висновки щодо плодів грецьких горіхів сортів Чернівецький та Буковинський:

- висота $a_{\min}=42$ мм, $a_{\max}=49$ мм, $a_{\text{ср}}=45,5$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=10\%$;
- товщина $b_{\min}=35$ мм, $b_{\max}=47$ мм, $b_{\text{ср}}=41$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=8\%$;
- ширина $c_{\min}=34$ мм, $c_{\max}=49$ мм, $c_{\text{ср}}=41,5$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=9\%$;
- масовий коефіцієнт $\mu_{\min}=0,39$, $\mu_{\max}=0,54$, $\mu_{\text{ср}}=0,46$;
- об'ємний коефіцієнт $\eta_{\min}=0,1$, $\eta_{\max}=0,2$, $\eta_{\text{ср}}=0,15$;
- енергія руйнування оболонки $A_{o\min}=0,45$ Дж, $A_{o\max}=0,6$ Дж, $A_{o\text{ср}}=0,525$

Дж.

Для плодів фундука сорту Каталонський:

- ширина $a_{\min}=15,93$ мм, $a_{\max}=24,05$ мм, $a_{\text{ср}}=20,29$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=10\%$;
- висота $b_{\min}=16,23$ мм, $b_{\max}=23,89$ мм, $b_{\text{ср}}=20,47$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=8\%$;
- товщина $c_{\min}=18,25$ мм, $c_{\max}=25,75$ мм, $c_{\text{ср}}=22,46$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}}=9\%$;
- робота руйнування оболонки $A_{o\min}=0,2$ Дж, $A_{o\max}=0,4$ Дж, $A_{o\text{ср}}=0,3$ Дж;
- робота руйнування ядра $A_{я\min}=0,1$ Дж, $A_{я\max}=0,275$ Дж, $A_{я\text{ср}}=0,45$ Дж.

Отримані результати свідчать, що діапазон коливань значень за розмірними показниками плодів волоського горіха в межах одного сорту незначний, а значення коефіцієнта варіації не перевищує 10 %. Отже, у процесі проектування сортувальних та калібрувальних машин суттєвих проблем під час розділення плодів горіха виникати не буде. Досліджувані сорти дають значний вихід продукції вищого – 50 %, та першого — 45 % сортів, що відповідає масовим коефіцієнтам $\mu_{\max}=0,5$ і $\mu_{\text{ср}}=0,45$ відповідно.

Плоди цих сортів можна віднести до середньошкурних з товщиною шкарлупи 1,11-1,3 мм., а значення енергії її руйнування необхідно враховувати під час проектування обрешувальних машин.

Результати досліджень параметрів фундука свідчать, що діапазон коливань значень за розмірними показниками плодів незначний, а значення

коефіцієнта варіації не перевищує 8 %. Отже, у процесі проектування сортувальних та калібруваних машин суттєвих проблем під час розділення плодів виникати не буде.

Значення роботи руйнування оболонки і ядра практично перекриваються, що є свідченням того, що в процесі руйнування оболонки є значна імовірність пошкодження ядра плодів, що необхідно враховувати під час проектування обрешувальних машин.

Отримані числові значення розмірно-масових показників горіха будуть використані для математичного моделювання процесу їх лущення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. В результаті аналізу основних напрямків розвитку науки і техніки щодо поліпшення якості та автоматизації процесу очистки волоського горіха встановлено, що зазвичай переробка горіхів полягає у здійсненні ряду операцій, які можуть виконуватись у різній послідовності, або не виконуватись взагалі, в залежності від якості вхідної сировини, та очікуваних якісних показників очищених ядер. Серед найбільш вагомих ділянок організації процесу очистки даної сировини варто відзначити місце (машину), де проходить процес сколювання шкарлупи.

2. На основі проведеного аналізу принципів схем та видів конструктивної реалізації технологічних машин для процесу механічного сколювання шкарлупи волоського горіха було розроблено луцильну машину МЛГ-350, в якій, за рахунок зміни конструкції луцильного пристрою, забезпечується адаптований розподіл тиску по всій поверхні шкарлупи горіха, а як наслідок проходить рівномірне руйнування за умови максимального виходу неушкодженого ядра та мінімізації питомих енерговитрат на його очистку. Технічний результат, що закладається в конструкцію, дозволяє забезпечити високопродуктивну очистку оброблюваної сировини без необхідності попереднього сортування на фракції.

3. Запропонована конструкція дає можливість безперервно очищати ядра волоських горіхів від шкаралупи, за умови пофракційного відокремлення одержуваних фракцій. При забезпеченні постійної механізованої подачі горіхів в завантажувальний бункер та вивантаження готової продукції, можна повністю вилучити важку ручну працю очищення волоських горіхів за умови значного підвищення продуктивності загального циклу обробки сировини.

4. В результаті проведених експериментальних досліджень, щодо реалізації процесу сколювання шкарлупи волоського гріха, залежно від його

фізико-механічних характеристик та конфігурації сколюючого пристрою встановлено, що найбільш ефективним є процес обробки у двох конусоподібних прижимних пластинах. Дана конфігурація виконавчого органу дозволить отримати вихід цільного ядра понад 75%.

5. Також було проведено імітаційне моделювання технологічної системи горіх-сколюючий пристрій, яке дозволило встановити фізичний перебіг досліджуваного процесу. Так при дії сили у 100 Н, деформація вершини горіха складає 0,18 мм, а при 400 Н – 0,65 мм, після чого спостерігається різке зростання величини початкової тріщини шкарлупи горіха, а як наслідок її повне руйнування.

6. Завдяки збільшенню змінної продуктивності істотно зменшуються на одиницю напрацювання: затрат праці – на 23,81 (30,43)%.

7. Річний економічний ефект від експлуатації модернізованої машини, 10184,74 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Установка для розколювання горіхів. Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2010. Випуск № 29. С. 28–31.
2. Бандура В. М., Власенко В. І. Вплив сил тертя в процесі подрібнення сировини. Харчова і переробна промисловість, № 4. 1998. С. 35– 39.
3. Гуць В. С., Губеня О. О. Моделювання процесу різання харчових продуктів. Товари і ринки. 2007. № 2. С.107–114.
4. Гошко З. О., Крупич О. М., Крупич Р.О. Дослідження фізико-механічних властивостей плодів лісових горіхів / Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. Львів: Львів. нац. аграр. університет, 2017. № 21. С. 30-37.
5. Гошко З.О., Магац М.И. Исследование физико-механических свойств плодов фундука. Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: межд. науч.-техн. конф. (г. Могилев, 24–25 октября 2019). Могилев, 2019. С. 49.
6. Полевода Ю.А. Дослідження процесу сколювання шкарлупи горіхів в результаті силової дії напівсферичних поверхонь /Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». Вінниця: Вінниця нац. аграр. університет, 2020. № 3 (98). С. 111-119.
7. Крупич О.М. Спосіб визначення об'єму тіл неправильної форми / О.М. Крупич, С.І. Левко, Р.О. Крупич / Каталог інноваційних розробок №14, Львів 2014р.-С.63.
8. Крупич Р.О. Дослідження вагових показників плодів горіхоплідних культур. Вісник Львівського національного аграрного університету ЛНАУ - 2013.
9. Донцова І. В., Лебединець В. Т., Гірняк Л. І. Горіх волоський – перспективна високоцінна продовольча та промислова сировина. Актуальні проблеми економіки і торгівлі в сучасних умовах євроінтеграції : матеріали

щорічної наукової конференції. Львів : вид-во Львівського торговельно-економічного університету. 2017 р. С. 92–98.

10. Кондратенко П. В., Сатіна Г. М., Затоковий Ф. Т., Сатіна Л. Ф. Культура горіха грецького в Україні: стан і перспективи розвитку. Міжв. темат. наук. зб. Садівництво. Київ: Нора-Прінт, 2000. № 50. С. 121–126.

11. Левіт І. Б., Сукманов В. О., Афенченко Д. С. Реологія харчових продуктів: монографія. Донецьк: 2012. ДонНУЕТ, 408 с.

12. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва / П. С. Берник, З. А. Стоцько, І. П. Паламарчук. К. : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. 336 с.

13. Пат. КМ 137018 Україна. Обладнання для лушення волоських горіхів. Опубл. 25.09.2019.

14. Пат. КМ 137176 Україна. Обладнання для лушення волоських горіхів. Опубл. 10.10.2019.

15. Пат. КМ 137177 Україна. Обладнання для лушення волоських горіхів. Опубл. 10.10.2019.

16. Пат. КМ 91325 Україна. Вібраційне обладнання для лушення волоських горіхів. Опубл. 25.06.2014.

17. Полевода Ю. А., Твердохліб І. В. Визначення фізико-механічних параметрів шкаралупи волоського горіха. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». 2019. № 2, (93). С. 12–17.

18. Полевода Ю. А. Дослідження процесу лушення волоських горіхів між двома паралельними пластинами. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». 2019. № 3, (94). С. 110–117.

19. Полевода Ю. А. Особливості реалізації процесу лушення шкаралупи горіха між пластиною та сферичною вставкою. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». 2019. № 4, (95). С. 69–75.

20. Полевода Ю. А. Дослідження процесу сколювання шкаралупи горіха в результаті силової дії напівсферичних поверхонь. Всеукраїнський науково-

технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». 2020. № 3, (99). С.111–119.

21. Розробка комплексу технологічних машин для глибокої переробки волоського горіха. Звіт про науково-дослідну роботу № держреєстрації 0118U001421 / В.П. Янович, І.В. Гончарук [та ін.]; Вінницький національний аграрний університет. Вінниця, 2018. 82 с.

22. Сатіна Г. М. Формування внутрішнього і зовнішнього ринку волоських горіхів. Матеріали Шостих річних зборів Всеукраїнського конгресу вчених економістів-аграрників. Київ: ННЦ ІАЕ, 2004. С. 299–303.

23. Сатіна Г. М. Питання організації виробництва волоського горіха в господарствах населення. Науковий вісник Національного аграрного університету. К.: ПП «Ірена», 2002. Вип. 51 С. 111–113.

24. Шестопаль О. М., Сатіна Г. М. Природно-економічні передумови промислового вирощування горіха грецького в Україні. Зб. наук. праць Луганського державного аграрного університету. Луганськ: Вид-во «Елтон», 2002. № 14 (26). С. 392–396.

25. Янович В. П., Купчук І. М., Корольчук В. С. Обґрунтування технології та обладнання для переробки волоських горіхів. Збірник наукових праць вінницького національного аграрного університету, серія технічні науки. 2015. №1(89) Том1. С.136–139.

26. Галузева Програма розвитку садівництва України на період до 2025 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0444555-08#Text> (дата звернення: 13.06.2022).

27. Бабій П. Т. Механізація виробництва плодів і ягід. 2-е вид., допов. і перероб. Київ : Урожай, 1980. 160 с.

28. Бабенко. А. Є, Демидко М. О. , Бабій В. П., Дмитрюк О П. Довідник з механізації садівництва. 2-е вид., допов. і перероб. Київ : Урожай, 1992. 261 с.

29. Білявський Г.О., Падун М. М., Фурдуй Р.С. Основи загальної екології, вид. 2-ге. – Київ : 1995. – 368 с.

- 30.Винокуров Л.Е.; Васильчик М.В.; Гаман М.В.Основи охорони праці. - Київ : Вікторія. -2001. – 254 с.
- 31.Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. та ін. Сільськогосподарські машини. – Київ : Урожай, 2004. – 448 с.
- 32.Гряник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. Охорона праці. – Київ: Урожай, 1994. – 272 с.