

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ**  
**ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ**  
**СКЕЛЕТНИХ ГІЛОК ДЕРЕВ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА»**

Виконав: студент групи Аін-51

спеціальності 208 „Агроінженерія”  
(шифр і назва)

Грицаюк Андрій Петрович.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Олег КРУПИЧ.  
(прізвище та ініціали)

Дубляни 2023





УДК 631.358.

Грицаюк А. П. Дослідження фізико-механічних властивостей скелетних гілок дерев волоського горіха. Дипломна робота. Кафедра агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023 с.

Дипломна робота: 58 с., 21 рис., 4 табл., 25 літературних джерела

У дипломній роботі проаналізовано існуючі засоби та способи дослідження фізико-механічних властивостей скелетних гілок дерев волоського горіх. Розглянуто значення волоського горіха для народного господарства України у харчовій, кулінарній та лікарських галузях. Обґрунтовано доцільність застосування ручних вібраційних струшувачів плодів для збирання горіхів у промислових насадженнях та приватних господарствах та необхідність визначення показників фізико-механічних властивостей скелетних гілок дерев волоського горіха.

В роботі визначено основні фізико-механічні властивості скелетних гілок дерев волоського горіха, а саме: розмірні показники (кількість ярусів та скелетних гілок на дереві; діаметр скелетної гілки в основі; максимальна довжина гілки, відстань від основи гілки до місця прикладення збурювальних зусиль; кут сходження діаметру гілки по довжині; кут відходження гілки від центрального провідника); зведений коефіцієнт жорсткості; коефіцієнти та кути тертя між корою гілки та накладкою захвату.

Розроблена модель можливості виникнення травмонебезпечної ситуацій під час збирання горіхів, а також розглянуто питання охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Обґрунтовано економічну ефективність від використання ручного вібраційного струшувача під час збирання горіхів.

Ключові слова: волоський горіх , збирання, скелетні гілки, фізико-механічні властивості

## Зміст

	стор.
Вступ.....	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ ЗБИРАННЯ. ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	8
1.1. Біологічна характеристика волоських горіхів та насаджень .....	8
1.2. Аналіз способів способі збирання волоських горіхів .....	11
1.3. Мета і завдання досліджень .....	14
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ І ОПРАЦЮВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ .....	15
РОЗДІЛ 3. МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СКЕЛЕТНИХ ГІЛОК ДЕРЕВ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА .....	19
3.1. Розмірні характеристики скелетних гілок дерев волоського горіха .....	19
3.2. Зведений коефіцієнт жорсткості скелетних гілок дерев волоського горіха .....	29
3.3. Фрикційні властивості кори скелетних гілок волоського горіха .....	36
Висновки .....	41
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ .....	43
4.1. Моделювання процесів виникнення травм, аварій і катастроф .....	43
4.2. Розробка заходів щодо захисту цивільного населення .....	48
4.3. Вплив технології на стан довкілля .....	49
Висновки .....	51
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РУЧНОГО ВІБРАЦІЙНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ .....	52
Висновки .....	54
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ .....	55
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	57

## ВСТУП

Важливою метою пріоритетного національного розвитку аграрного сектора України є забезпечення потреб населення якісними продуктами харчування, в тому числі продукцією горіхівництва.

Волоський горіх – це довговічне дерево заввишки до 35 м, яке вирощується, здебільшого, для отримання цінних їстівних плодів – горіхів. Агрокліматичні умови України сприяють вирощуванню цієї культури, основні на-садження якої зосереджені у західному регіоні України, особливо у Черні-вецькій області [17, 19, 21].

Горіхи містять жири, білки, вуглеводи, а також вітаміни, дубильні й ароматичні речовини. Тому плоди мають багатоцільове використання, зокрема в харчовій, олійній, лікарській і косметичній галузях. Щорічно в Україні вирощується до 27 тис. тонн горіхів, проте їх дефіцит на європейському ринку становить 100 тис. тонн [11, 17].

Відчутний стримуючий фактор збільшення вирощування волоських горіхів – це недостатній рівень механізації технологічних процесів, які першочергово потребують підвищення продуктивності, особливо процесів збирання.

У світі все ширше плоди збирають машинами та іншими засобами механізації, оснащеними струшувачами, які здійснюють захват і збурення коливань штаблів, центральних провідників крон або скелетних гілок дерев [5].

В загущених насадженнях і на схилах використовуються ручні струшувачі, які захоплюють скелетні гілки дерев [2, 3].

Вібраційні плодозбиральні засоби не завжди забезпечують високу, агротехнічно регламентовану повноту знімання плодів (не менше 95%). Гілки мають різні діаметри і довжини, а від цих розмірів залежить діапазон необхідних частот струшування, за якого досягається висока повнота

знімання. Для її досягнення повинен генеруватися широкий спектр частот струшування, що охоплює діапазон необхідних частот.

Крім потреби генерувати широкий спектр частот, ручні струшувачі не повинні пошкоджувати кору в місці захвату, а також – мають відповідати вимогам безпечних умов праці збирача урожаю.

Створення засобів малої механізації для насаджень волоського горіха є важливою народногосподарською проблемою, що вимагає невідкладного вирішення.

Значимість засобів малої механізації і садового механізованого інструменту зростає при обслуговуванні плодкових горіхових насаджень, особливо приватних фермерських або присадибних господарств. Для підбору засобів малої механізації для збирання врожаю і обґрунтування параметрів ручних вібраційних струшувачів на основі двигунів внутрішнього згорання необхідно знати фізико-механічні властивості скелетних гілок волоського горіха різних сортів і вікових груп.



## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ ТА СПОСОБІВ ЇХ ЗБИРАННЯ. ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1. Біологічна характеристика волоських горіхів та насаджень

Волоський горіх – цінною горіхоплідною культурою і використовується людьми у різних сферах життєдіяльності. Високопоживні плоди вживаються в їжу, а решта елементів дерева (листя, оплодні, перетинки, зелені горіхи) використовуються в лікарських цілях. За результатами світових досліджень тільки 7 % землі на планеті відповідають агротехнічним вимогам для вирощування горіхоплідних культур, в тому числі волоського горіха. Аналіз природно-кліматичних умов та земельних угідь на території України показав, що вона має всі умови ефективного вирощування волоського горіху порівняно зі світовими державами, а на європейському континенті поступається лише Туреччині. Однак сучасне виробництво волоського горіха в Україні покриває тільки 50 % потреб громадян. Причина – відсутність промислових насаджень і високотехнологічної переробки зібраного врожаю, як правило сьогодні в країні питаннями вирощування і переробки волоського горіха займається приватний сектор [10, 21]

Ядра горіхів мають хороші смакові якості і містять багато вітамінів. Слід також відзначити їх високу енергетичну калорійність, в одному кілограмові ядер горіхів нараховується від 6500 до 8500 калорій. Сукупність властивостей ядер волоського визначила їх промислову цінність у виробництві продуктів харчування, особливо в кондитерській галузі. Так плоди волоського горіха після обробки використовують як начинку для цукерок, тортів, печива, тощо. З ядер волоського виробляють чудову горіхову олію з кондитерськими та лікарськими властивостями. Горіхова олія є приємна на смак, і окрім того що вона безпосередньо використовується у харчовій промисловості з неї також добувають концентровані ароматичні

сполуки, такі ефірні олії як цитринова, трояндова, фіалкова. Горіховий жом використовують для годівлі тварин. Дуже смачне горіхове варення, що варять з зелених, на стадії молочної стиглості, плодів [17].

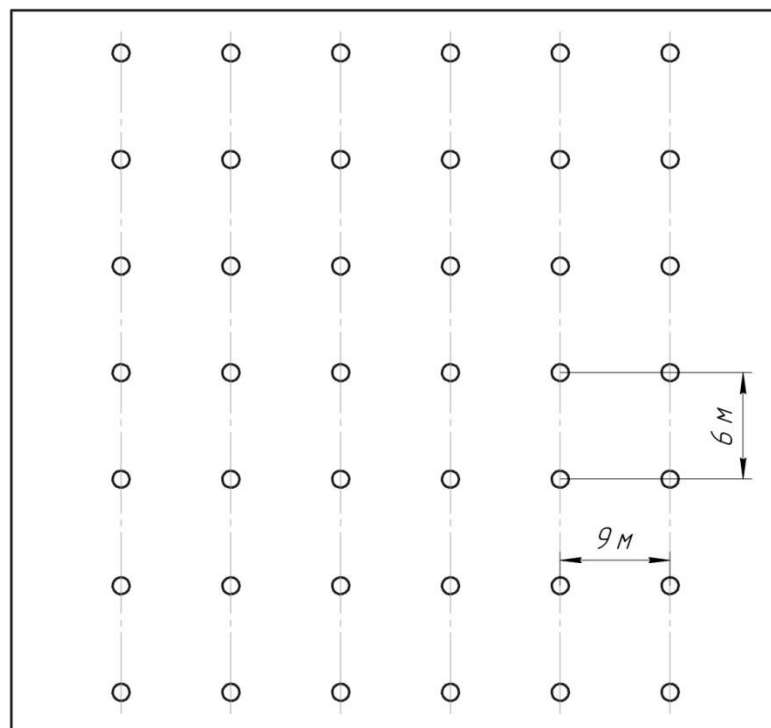
Ядра волоських горіхів містять багато різноманітних мінеральних й органічних сполук: білків 10-22%, жирів 59-77% і вуглеводів до 16%. А калорійність в 7 разів вища такої ж кількості яловичини, в 10 разів – коров'ячого молока і в 1,5 рази – свинини. Листки й оплодні волоського горіха широко застосовують у науковій медицині, як протизолотушний, протирахітний та ранозагоювальний засіб. У зеленій оболонці плодів вміст вітаміну С становить 3000мг%, а це в 5-6 разів більше, ніж у ягодах чорної смородини, 3-4 рази, ніж у шипшини, і в 100 разів більше, ніж у плодах лимона. Також зелений оплодень містить цукри, яблучну й лимонну кислоти, дубильні й фарбувальні речовини, фосфор та щавлевокислий кальцій. В свіжих листках міститься: аскорбінової кислоти – понад 1300мг%; каротину – 33мг%; ефірної олії – 0,005-0,2% та незначна кількість дубильної речовини, органічних кислот, вітамінів Р і В, елагової та галусової кислот, барвника юглон, флавоноїдів та кофейної кислоти [21].

На даний момент в Україні під горіхові культури відведено 4350 га. Основна проблема полягає в тому, що в основному це малі приватні господарства і площі посадки розпорошені. Через це внутрішня пропозиція є нестабільною, характеризується надмірною різноманітністю. За результатами досліджень лабораторії економіки Інституту садівництва НААНУ найперспективнішими зонами для промислової культури горіхів в Україні є Придністровсько-Прикарпатський, Закарпаття та територія південного передгір'я Криму.

Горіхи також вирощують і на західній Україні. Технологічний процес включає: вибір сортів і місця посадки, підготовку ґрунту і внесення добрив, схему посадки, систему догляду за насадженнями, збір урожаю, зберігання та переробку горіха.

Дерево волоського горіха довговічне, росте і плодоносить близько 400 років, висотою від 15 до 30 м. Крона могутня, розлога, широкоокругла при вільному рості, а в умовах загушення вона може бути неправильної форми (конусовидна, зворотньопірамідальна чи навіть циліндрична). Штамб дорослого дерева на висоті 1 м від рівня ґрунту, досягає в діаметрі від 1,5 до 2,5 м, а деколи навіть більше. Ріст дерева волоського горіха продовжується до 40-50 років, а ріст штамба дерева в товщину продовжується впродовж всього його життя. Як що говорити про гілки, то вони переважно відходять від штамба дерева вверх під невеликим кутом, мають на корі маленькі тріщини або можуть бути гладкими [21].

Сорти горіхів вибирають переважно по пристосування даного сорту до місцевості. Потім підбирають ґрунту, в залежності від родючості ґрунту вносять добрива і вибирають схему посадки. Для грецького горіха застосовують такі схеми посадки: 8 х 5 м 8 х 6 м 9 х 5 м, 9 х 6 м, 10 х 8 м, 10 х 10 м, 12 х 10 м, 12 х 12 м, 14 х 10 м, 14 х 12 м, 16 х 16 м та 18 х 18 м. (рис. 1). Чим родючіший ґрунт, тим більш потужним виросте дерево і тим більше місця буде потрібно йому для розвитку та формування врожаю [5, 21].



## Рисунок 1 – Схема посадки волоського горіха 9х6

Горіх споживає багато поживних речовин із ґрунту і тому для раннього вступу в плодоношення і отримання щорічного врожаю горіхів необхідно обов'язково вносити добрива. Кращим добривом є гній або компост. Також горіхам потрібно проводити обрізку. Обрізка волоського горіха полягає у видаленні зайвих та сухих гілок, щоб формувалася правильна крона дерева і поживних речовин хватало на досягання плодів.

Хвороб і шкідників, що помітно знижують продуктивність насаджень, в наших умовах поки не має [21].

Оскільки крона волоського горіха густа і має гарні вітрозахисні властивості його широко застосовують у лісомеліоративних насадженнях. А посухостійкість, довговічність, здатність до паросткового відновлення дають змогу застосовувати його як супутню плодової породи в полезахисних смугах, прибалкових і в захисних насадженнях на зрошуваних землях.

### **1.2. Аналіз способів способі збирання волоських горіхів**

В сучасному садівництві розділяють три способи знімання плодів: ручний, напівмеханізований і механізований. Кожний з цих способів характеризується певними перевагами і недоліками. Вибір способу збирання залежить від рельєфу саду, плодової культури та споживання плодів (закладка на зберігання чи переробка).

Ручний спосіб збирання застосовують в тому випадку коли плід від дерева потрібно відокремити без завдання йому пошкоджень. При цьому способі збирання застосовують допоміжні засоби, що полегшують працю (драбини, плодозбиральні сумки, столи, підставки, відра). Основними недоліками цього способу збирання є його висока трудомісткість, низька продуктивність, що залежить від типу насаджень, величини плодів, технології збирання, продуктивності працівників та організація самого

процесу збирання (виникає потреба в великій кількості сезонних працівників, яких в наш час знайти важко) [5, 6]. А для волоського горіха цей спосіб в деякій мірі не актуальний оскільки плоди горіха є твердими і під час струшування не пошкоджуються. Але на теперішній час цей спосіб найбільше застосовується для збирання волоських горіхів, а як засіб для струшування доцільно використовувати ручні вібраційні струшувачі, наприклад фірми Cifarelli [2, 3].

Фірма Cifarelli створила струшувач на основі патенту DE 69700193 T2 (рис. 1.2) відомий пристрій для збирання маслин, в якому в зворотній поступальній рух приводиться штанга з захватом за допомогою двигуна внутрішнього згорання [1, 4].

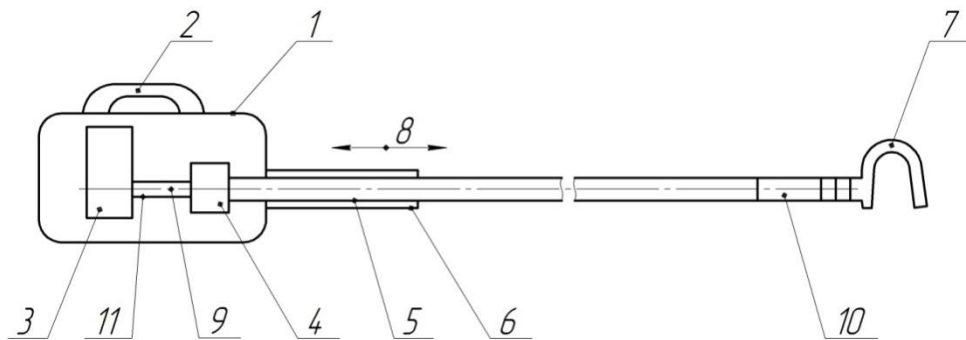


Рисунок 1.2 – Схема ручного віброударного струшувача плодів:  
 1 – основа; 2 – утримуюча ручка; 3 – привід; 4 – кривошипно-шатунний механізм; 5 – штанга; 6 – захисний кожух; 7 – захват;  
 8 – напрямок руху; 9 – вал; 10 – обмежувач; 11 – хвостовик двигуна

Фірма „Cifarelli” виготовляє два типи ручних струшувачів серій SC800 Shaker та SC105 Shaker (рис. 1.3, 1.4) [2, 3].



Рисунок 1.3 – Ручний струшувач плодів SC800 „Ciffarelli” Італія:

1 – двигун (Ciffareli); 2 – коробка передач; 3 – ручка керування з системою анти вібрації; 4 – антивібраційна система.



Рисунок 1.4 – Ручний струшувач плодів SC105 „Ciffarelli” Італія:

1 – двигун (Ciffareli); 2 – регульована ручка керування з системою анти вібрації; 3 – антивібраційна система.

Струшувачі призначенні для збирання маслин шляхом передачі скелетним гілкам дерев гармонічних вібраційних коливань заданою частотно-амплітудною характеристикою. Приводом струшувачів послуговує одноциліндровий двохтактний двигун з повітряним охолодженням Ciffarelli C5. Але ми використали дані струшувачі для збирання волоських горіхів.

Технологія збирання волоських горіхів передбачала використання причепа-контейнеровоза ВУК-3, що рухається в міжрядді горіхового саду. Одночасно створюється ланка кількістю 10 –20 чоловік, що будуть обслуговувати контейнеровоз. До складу ланки входять працівники з ручними вібраційними струшувачами та працівники зі вловлювачами. Під час технологічного процесу працівники встановлюють вловлювачі під кроною дерев. Після цього робітники зі струшувачами струшують горіхи передачею збудовальних вібраційних коливань скелетним гілкам, захоплюючи гілки різних порядків, як правило скелетні гілки першого порядку. Горіхи опадають на вловлюючі поверхні. Після цього працівники пересипають зібрані горіхи в контейнери, що розташовані на платформі

контейнеровоза. Заповнені контейнери відвозяться на пункт збору зібраного врожаю [5, 6].

Для застосування ручних вібраційних струшувачів для збирання волоських горіхів передачею збурювальних зусиль скелетним гілкам визначити їх фізико-механічні властивості. Дані показники необхідні для встановлення необхідних режимів струшування. В першу чергу визначення місця захвату гілки, що дасть можливість генерувати достатні зусилля струшування плодів без пошкодження самої гілки, особливо кори в місці захвату.

### **1.3. Мета і завдання досліджень**

Мета досліджень. Визначити основні фізико-механічні властивості скелетних гілок дерев волоського горіха, що дозволять обґрунтувати оптимальні режими роботи ручних вібраційних струшувачів та конструктивні параметри їх захватів для забезпечення необхідної повноти збирання горіхів (більше 95 %) без пошкодження кори гілок в місці передачі збурювальних зусиль.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- дослідити розмірні показники скелетних гілок дерев волоського горіха різних сортів та вікових груп;
- визначити зведений коефіцієнт жорсткості скелетних гілок до місця прикладання збурювальних зусиль;
- визначити значення коефіцієнта та кута тертя між корою гілки та гумовою подушкою захвата;

## РОЗДІЛ 2

### ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ І ОПРАЦЮВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

На теперішній час багатьма вченими були проведені експериментальні дослідження в галузі механізованого збирання плодів. Однак цих досліджень недостатньо для обґрунтування параметрів ручного вібраційного струшувача плодів, особливо параметрів захвату. Всі дослідження переважно проводились для плодозбиральних машин позиційної дії, які струшують плоди діючи на штабб дерева, а не на скелетні гілки, як в нашому випадку.

Досліджувалися скелетні гілки дерев волоського горіха сортів Яблунівський, Буковинський 1, Чернівецький 1 промислових насаджень Придністровської ДСС ІС НААНУ [19, 21].

Експерименти проводилися у вересні, жовтні під час збиральних робіт коли горіхи перебувають у повній стиглості. Як об'єктами досліджень були також обрані дерева волоських горіхів що ростуть на кафедрі садівництва Львівського національного університету природокористування. Під час збирального сезону у даних регіонах природно-кліматичні умови є сприятливими для застосування засобів механізації, в тому числі ручних вібраційних струшувачів, що діють на скелетні гілки дерев. Для збирання горіхів з гілок верхніх ярусів можна використовувати садові драбини чи платформи.

В дослідженнях використовувалися відомі [22, 23] та розроблені методики, прилади та допоміжні засоби.

Загальна повторюваність експериментів (кількість дослідів  $n$  під час проведення одного експерименту) рівна [22, 23]:

$$n = \frac{V^2}{p^2}, \quad (2.1)$$

де  $V$  – коефіцієнт варіації, %;

$p$  – точність досліду, %.



Для визначення коефіцієнта варіації  $V$  необхідно провести додаткові дослідження.

Обробку результатів досліджень проводили за наступними відомими виразами з теорії ймовірності та математичної статистики [22, 23]:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}; \quad (2.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (2.3)$$

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad (2.4)$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100; \quad (2.5)$$

$$p = \frac{m}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (2.6)$$

де  $x_i$  – результати одного  $i$ -го дослідження;

$\bar{x}$  – середнє арифметичне від усіх результатів досліджень;

$\sigma$  – середнє значення квадратичного відхилення;

$m$  – похибка експерименту (середня арифметична);

$V$  – коефіцієнт варіації, %;

$p$  – точність  $i$ -го.

Графічні залежності на основі результатів досліджень будувалися із застосуванням методу найменших квадратів та методу різницевого згладжування, коли різниця двох послідовних значень функції не перевищувала 5% [23]. Підбір вигляду емпіричних формул (тип формули та її коефіцієнти) проводився на основі отриманого візуального графіка залежності функції відгуку з використанням методу найменших квадратів [23].

Для проведення та планування експериментів використали теорію багатофакторного експерименту, що дозволяє отримати залежності функції відгуку від планових факторів впливу [22]

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.7)$$

де  $y$  – досліджувана функція відгуку;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – фактори впливу на функцію відгуку.

Дані рівняння можна записати у вигляді рівняння регресії другого порядку:

$$y = b_0 + \sum_{k=i}^k b_i x_i + \sum_{k=i<j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{k=i<j}^k b_{ii} x_i^2, \quad (2.8)$$

де  $k$  – обґрунтована кількість факторів;

$b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  – коефіцієнти членів рівняння регресії, що визначають вплив кожного фактора та їх взаємодії на функцію відгуку.

Для визначення коефіцієнтів рівняння регресії і їх аналізу, щодо впливу факторів на функцію відгуку, самі фактори доцільно подавати у кодованих значення  $-1, 0, +1$ , де  $-1$  – мінімальне значення інтервалу;  $0$  – середина інтервалу (нульовий рівень), та  $+1$  – максимальне значення інтервалу, що визначаються із залежностей [22]:

$$x_{i\min} = \frac{X_{i\min} - X_{i0}}{\Delta X_i} = -1; \quad x_{i0} = \frac{X_{i0} - X_{i0}}{\Delta X_i} = 0; \quad x_{i\max} = \frac{X_{i\max} - X_{i0}}{\Delta X_i} = +1, \quad (2.9)$$

де  $X_{i\min}, X_{i0}, X_{i\max}$  – дійсні, відповідно, мінімальні, середні та максимальні значення  $i$ -го фактору досліджуваного інтервалу;

$\Delta X_i$  – крок зміни  $i$ -го фактору.

Перевірка на відтворюваність дослідів проводилась за критерієм Кохрена ( $G$ -критерій), а адекватність рівняння регресії за критерієм Фішера ( $F$ -критерій) [22, 23].

Критерій Фішера визначається за формулою:

$$G_P = \frac{S_{imax}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2}, \quad (2.10)$$

де  $S_{imax}^2$  – максимальна дисперсія відтворюваності дослідів;  $S_i^2$  – дисперсія відтворюваності  $i$ -го досліду,

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{im} - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad (2.11)$$

де  $m$  – кількість повторностей  $i$ -го досліду;  $y_{im}$  – значення функції відгуку;  $\bar{y}_i$  – середнє значення функції відгуку.

Критерій Фішера ( $F_P$ ) становить:

$$F_P = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (2.12)$$

де  $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності математичної моделі;  $S_y^2$  – дисперсія помилки дослідів.

Дисперсії адекватності становить:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y}_i)^2}{n-k-1}; \quad S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{im} - \bar{y}_i)^2}{n(m-1)}, \quad (2.13)$$

де  $y$  – теоретичне (розрахункове) значення функції відгуку;  $n$  – кількість незалежних дослідів експерименту;  $k$  – планована кількість факторів.

Отримане рівняння регресії буде вважатися відтворюваним та адекватним, якщо розрахункові значення критеріїв Кохрена  $G_P$  і Фішера  $F_P$  будуть менші табличних  $G_T$ , та  $F_T$  тобто:

$$G_P < G_T(0,05; n; f_i); \quad G_P < G_T(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (2.14)$$

де 0,05 – коефіцієнт, що відповідає 5-ти відсотковому рівню значимості;

$f_i$  – число степенів вільності незалежного досліду:  $f_i = m-1$ ;

$f_{ad}$  – число степенів вільності дисперсії адекватності:  $f_{ad} = n-k-1$ ;

$f_y$  – число степенів вільності дисперсії відтворюваності:  $f_y = n(m-1)$ .

На підставі результатів досліджень обґрунтовувались режими роботи ручного вібраційного струшувача та параметри його захвату.

## РОЗДІЛ 3

### МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СКЕЛЕТНИХ ГІЛОК ДЕРЕВ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА

#### 3.1. Розмірні характеристики скелетних гілок дерев волоського горіха

Дослідження розмірних характеристик надземної частини проводились на деревах сортів Буковинський 1, Яблунівський і Чернівецький 1 різних вікових груп. Дерева сорту Буковинський 1 утворюють помірковану за величиною крону, а плоди формуються на верхівках гілок та на 2-3 бічних пагонах минулорічних приростів. Для дерев сорту Чернівецький 1 характерна велика крона з закладанням плодів на верхівках та бічних пагонах. Крона дерева сорту Яблунівський округлої форми середньої сили росту і плоди формуються на верхівках приросту гілок минулого року. Дерева перерахованих сортів, що вирощені на підщепах, вступають у плодоношення не раніше третього року після посадки.

Для обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів ручних вібраційних струшувачів та умов їх експлуатації необхідно визначити розмірні параметри крони дерева, особливу увагу треба звернути на скелетні гілки першого порядку яким передаються збурювальні зусилля під час збирання плодів.

Програмою досліджень передбачалось визначення наступних показників: всього скелетних гілок на дереві та окремо на кожному ярусі; діаметр скелетної гілки  $D_g$  в місці проростання зі центрального провідника; максимальна довжина гілки по центральній вісі  $L_{gmax}$  від крайньої точки до центрального провідника,  $L_g$  – довжина на якій можливе прикладення збурювальних зусиль до гілки, вимірюється від центрального провідника в місці проростання гілки до точки захвату гілки; кут сходження  $\beta_g$  (закономірність зміни діаметра гілки  $d_g$  за довжиною); кут нахилу  $\alpha_g$  (відходження) гілки від вертикалі (центрального провідника) (рисунок 3.1).

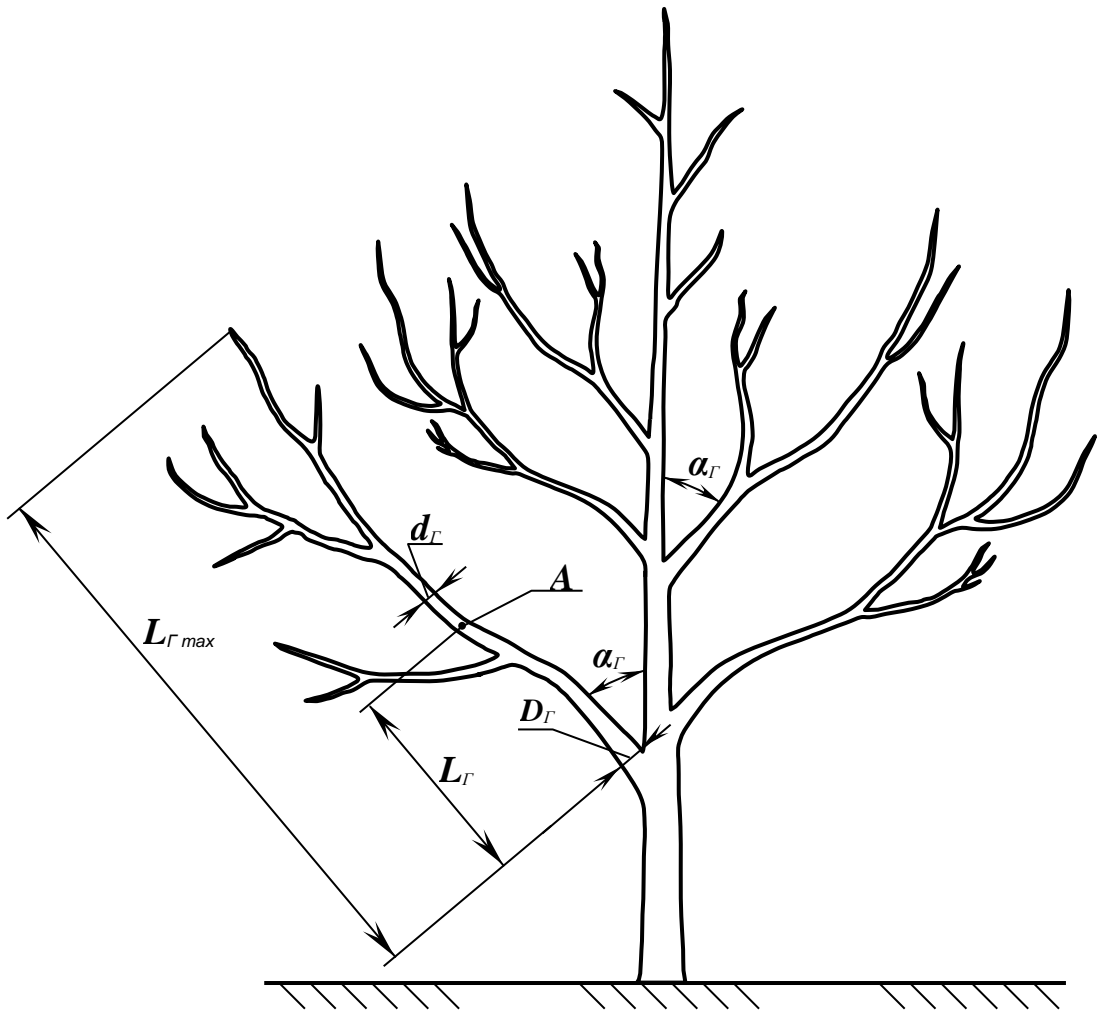


Рисунок 3.1 – Схема крони дерева волоського горіха:  
 А – місце прикладання збурювальних зусиль

Скелетна гілка першого порядку представляє собою консольну балку змінного перерізу за довжиною (рисунок 3.2), що характеризується діаметром в основі  $D_r$  та довжиною по центральній вісі  $L_r$ . В точці  $A$  здійснюється захват гілки і передаються збурювальні зусилля, тому важливо знати віддаль  $\ell_r$  та діаметр  $d_{er}$ .

Від розмірів скелетної гілки першого порядку, тобто  $D_r$  і  $L_r$  та віддалі  $\ell_r$  від основи гілки до місця прикладання збурювальних зусиль залежать відповідно частота власних коливань гілки і коефіцієнт згасання коливань та приведена маса і коефіцієнт жорсткості.

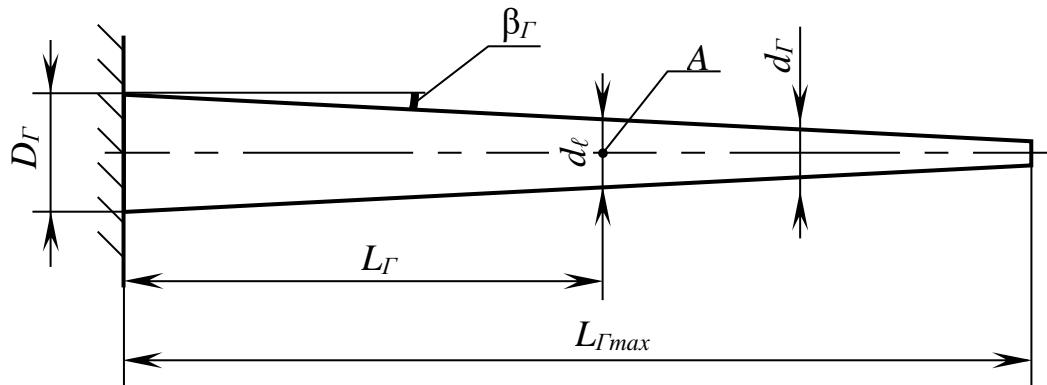


Рисунок 3.2 – Схема скелетної гілки, як консольної балки

Діаметри скелетних гілок першого порядку в основі  $D_{Г}$  та за довжиною  $d_{Г}$  розраховувалися як середньоарифметичне замірів діаметрів в двох взаємно перпендикулярних площинах у визначених місцях. Заміри проводилися штангенциркулем SIGMA з електронним табло точність вимірювань якого становила 0,01 мм. (рисунок 3.3 а)



а)



б)



в)

Рисунок 3.3 – Прилади для вимірювання розмірних показників крони дерева: а – штангенциркуль SIGMA; б – лазерний далекомір DW040P; в – прилад для вимірювання кутів Ski10580AA

Для замірів лінійних параметрів використано лазерний далекомір (лазерний вимірювач віддалей) фірми DeWALT марки DW040P (рисунок 3.3 б) з технічними параметрами: лазер класу 2, межі вимірювань від 0,02 до 40 метрів з похибкою вимірювань 0,01 мм на кожен метр замірів, тобто під час фіксації максимальної можливої віддалі 40 метрів похибка буде становити 0,4 мм. Технічна характеристика лазерного далекоміра DW040P дозволяє

проводити заміри необхідних параметрів крони дерева волоського горіха з необхідною точністю.

За допомогою приладу для вимірювання кутів кутоміра Skil0580AA (рисунок 3.3 в) проводились заміри кута відходження від центрального провідника  $\alpha_r$ . Кутомір складається з опорної та рухомої рейок. Для вимірювання кута необхідно дві рейки сумістити з базовими поверхнями чи з осями симетрії об'єктів між якими вимірюється кут. В опорну рейку кутоміра вмонтовані рідинні рівні, що дозволяє рейку встановити у горизонтальне чи вертикальне положення.

Кут сходження  $\beta_r$ , що визначає закономірність зміни діаметра гілки за довжиною, розраховується за формулою

$$\beta_r = \operatorname{arctg} \frac{D_r - d_r}{2l_r}. \quad (3.1)$$

Кут сходження розраховується в декількох точках при різних значеннях віддалі  $l_r$ . Приймається середньо арифметичне значення в залежності від кількості проведених замірів.

З формули 3.1 діаметр гілки в місці прикладання збурювальних зусиль за можливого значення віддалі  $l_r$  буде рівний

$$d_r = D_r - 2l_r \operatorname{tg} \beta_r. \quad (3.2)$$

Розміри наземної частини визначались у трикратній повторності на 30 деревах трьох визначених сортів та дерев віком 10, 20, 30 та 40 років. Відповідно, на деревах відбиралися скелетні гілки першого порядку з різних ярусів діаметрами в основі від 50 до 90 мм з кроком 10 мм.

Отже, для проведення експериментів вибирались скелетні гілки першого порядку, яким передаються збурювальні зусилля під час струшування горіхів.

Дослідження показали, що розмірні показники таких гілок залежать від сорту та віку дерева, природно-кліматичних умов та обрізки крони дерева, яка передбачає прорідження крони. В процесі росту дерева відбувається



старіння гілок, особливо плодоносних, які необхідно видаляти, на їх місці починають рости молоді більш продуктивні, що проростають зі сплячих бруньок. Дані гілки видаляються обрізкою з моменту зменшення їх продуктивності [21].

З моменту закладки саду розпочинається період формування крони дерева. Для волоського горіха притаманні два типи крони: чашоподібна безярусна; ярусна, коли дерево має виражений центральний провідник з двома чи трьома ярусами. На кожному ярусі формується три або чотири скелетні.

Наявність якісно сформованих скелетних гілок першого порядку є запорукою ефективного використання ручних вібраційних струшувачів під час збирання горіхів. Вібраційні коливання передаються гілці в місці захвату струшувачем на визначеній віддалі від центрального провідника.

Як показали дослідження дерева віком від 10 до 40 років і більше відповідно мають від 7-8 гілок дерева десятирічного віку і 15-17 гілок дерева сорокарічного віку. В технологічному процесі кількість гілок і їх омолодження проводиться обрізкою під час всього життєвого циклу, що формувати достатню масу плодоносних гілок, що є запорукою підвищення врожайності дерева [21].

Зрозуміло, що використання ручних вібраційних струшувачів підвищують продуктивність збирачів під час збиральних робіт, а час обробки одного дерева буде залежати від кількості скелетних гілок. Чим більше скелетних гілок на дереві тим більше часу необхідно для обтрушування горіхів з одного дерева.

Продуктивність використання ручних струшувачів має пряму залежність від кількості скелетних гілок на дереві. Враховуючи врожайності дерев розраховуються затрати коштів, праці та економічна ефективність як окремих збирачів з ручними струшувачами так і збиральних робіт в цілому.

Значення діаметрів скелетних гілок  $D_{\Gamma}$  місці проростання і кутів відгалуження  $\alpha_{\Gamma}$  (кут між віссю центрального провідника дерева та віссю

скелетної гілки) приведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Діаметри скелетних гілок і кути їх відгалуження

Характеристики	Статистичні показники	Вік дерев, років			
		10	20	30	40
Діаметр в основі, $D_g$ , мм	мінімальне значення	39,2	48,9	55,1	58,6
	максимальне значення	53,6	72,0	85,9	92,3
	середнє значення	48,9	63,7	71,5	78,5
	середньо квадратичне відхилення	5,089	9,661	11,60	13,593
	коефіцієнт варіації, %	10,47	15,23	16,26	17,38
Кут відгалуження для гілок першого порядку, $\alpha_g$ , град	мінімальне значення	42,6	46,8	49,5	51,9
	максимальне значення	49,5	57,3	63,9	68,5
	середнє значення	46,3	53,0	58,1	61,8
	середньо квадратичне відхилення	2,786	4,031	5,484	6,327
	коефіцієнт варіації, %	6,06	7,65	9,49	10,29

З віком діаметри гілок в основі та кути відгалуження зростають. Більші значення відповідають гілкам нижніх ярусів, а менші – верхнім ярусам. Дослідження показали, що на одному дереві можуть бути присутні гілки різних розмірів. Так, діаметри скелетних гілок першого та другого порядків коливаються в межах 39,6...92,3 мм. Для дерев віком 10 років вони становлять в середньому 48,7 мм, а для дерев 40 років – 78,3 мм. Коливання значень досліджуваного діаметра скелетних гілок характеризуються коефіцієнтом варіації, який для дерев віком десять років становить 10,47 %, а для дерев сорока років 17,38 %. На старших деревах діапазон зміни діаметрів скелетних гілок першого та другого порядків зростає.

Для кута відгалуження скелетних гілок від центрального провідника характерна аналогічна закономірність. Для старших дерев за віком дані кути є більші порівняно з молодими деревами. Кути відгалуження закладаються під час формування крони молодого дерева і він має становити не менше 45 градусів, що забезпечує якісне кріплення гілки до стовбура. З часом довжина і маса гілки зростають, що приводить до її прогинання і збільшення кута відгалуження. Окрім того, під час росту дерева і збільшення крони кути відгалуження скелетних гілок верхній зменшуються. Скелетні гілки на деревах віком десять років відгалужуються від центрального провідника під кутами: за мінімального значення  $42,6^{\circ}$ ; максимального –  $49,5^{\circ}$ ; середнього –  $46,3^{\circ}$ , при цьому коефіцієнт варіації зміни даного параметру становить 6,06%. Для сорокарічних дерев досліджувані кути будуть відповідно становити: мінімальне значення  $51,9^{\circ}$ ; максимальне значення  $68,5^{\circ}$ ; середнє значення  $61,6^{\circ}$ ; коефіцієнт варіації 10,29%.

Довжини гілок залежать від щорічного приросту і відповідають розмірам діаметрам при основі (таблиця 3.2), тобто із збільшенням діаметра гілки в основі зростає і її довжина.

Таблиця 3.2 – Довжини скелетних гілок в залежності від діаметрів гілки в основі

Діаметр гілки в основі, $D_r$ , мм	Статистичні показники				
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>середнє</i>	$\sigma$	$V, \%$
	максимальна довжина гілки $L_r$ , м				
50	2,56	2,85	2,71	0,142	5,23
60	2,71	3,05	2,86	0,155	5,39
70	2,88	3,24	3,05	0,173	5,65
80	3,11	3,50	3,30	0,193	5,83
90	3,43	3,96	3,63	0,223	6,11
	довжина гілки на якій можливе прикладення збурювальних зусиль $l_r$ , м				
50	1,59	1,93	1,78	0,155	8,69
60	1,81	2,04	1,94	0,104	5,34
70	2,01	2,28	2,15	0,132	6,13

80	2,26	2,49	2,37	0,112	4,71
90	2,49	2,80	2,64	0,152	5,75

\* мінімальне значення – *min*; максимальне значення – *max*; середньо арифметичне значення – *середнє*; середньо квадратичне відхилення –  $\sigma$ ; коефіцієнт варіації – *V*, %

Враховуючи максимальну довжину гілок  $L_r$  та довжину на якій можливе прикладення збурювальних зусиль  $l_r$  скелетні гілки доцільно розділити на дві групи. До першої групи відносяться гілки діаметром при основі 50...70 мм, для яких максимальна довжина гілки  $L_r$  коливається межах від 2,56 до 3,24 м за коефіцієнта варіації, відповідно, від 5,23...5,65%, а довжина гілки на якій можливе прикладення збурювальних зусиль  $l_r$  буде рівна: максимальне значення 1,59 м; максимальне значення 2,28 м; коефіцієнт варіації, відповідно, 5,34 % та 8,69 %. До другої групи гілок будуть відноситися гілки з діаметрами в основі від 70 до 90 мм. Для даних гілок довжина  $L_r$  становить: мінімальне значення 2,88 м; максимальне – 3,96 м; коефіцієнт варіації, відповідно, 5,65 % та 6,11% та довжина  $l_r$  прикладання збурювальних зусиль: мінімальне значення 2,01 м; максимальне – 2,80 м при коефіцієнту варіації 4,71–6,13 %.

Скелетні гілки першого та другого порядків представлено у вигляді зрізаного конуса (рисунок 3.2), що характеризується кутом сходження  $\beta_r$ . Як показали дослідження кут сходження не є постійним, а збільшується відповідно до приросту гілки і залежить від діаметра гілки в основі та розраховується за формулою 3.1.

Кут сходження скелетних гілок залежать від діаметра гілки в основі і описується залежністю

$$\beta_r = -954,547 \cdot 10^{-7} D_r^2 + 187,136 \cdot 10^{-4} D_r - 269,575 \cdot 10^{-3}. \quad (3.3)$$

Для гілок з діаметром в основі від 30 до 90 мм кут сходження  $\beta_r$  збільшується в інтервалі від  $0,22^0$  до  $0,64^0$ , а для робочого діапазону діаметрів гілок від 50 до 90 мм він лежить в межах від  $0,43$  до  $0,64^0$ . Мінімальне значення кута сходження  $0,22^0$  відповідає діаметру гілки основі 30 мм, а

максимальне  $0,64^0$  діаметру гілки в основі 90 мм.

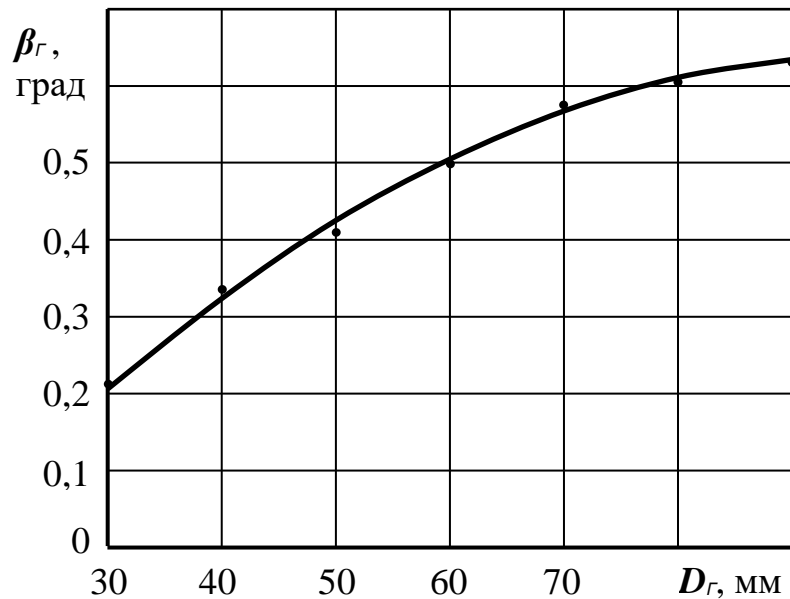


Рисунок 3.4 – Залежність зміни кута сходження скелетних гілок дерева волоського горіха від їх діаметра в основі  $D_g$

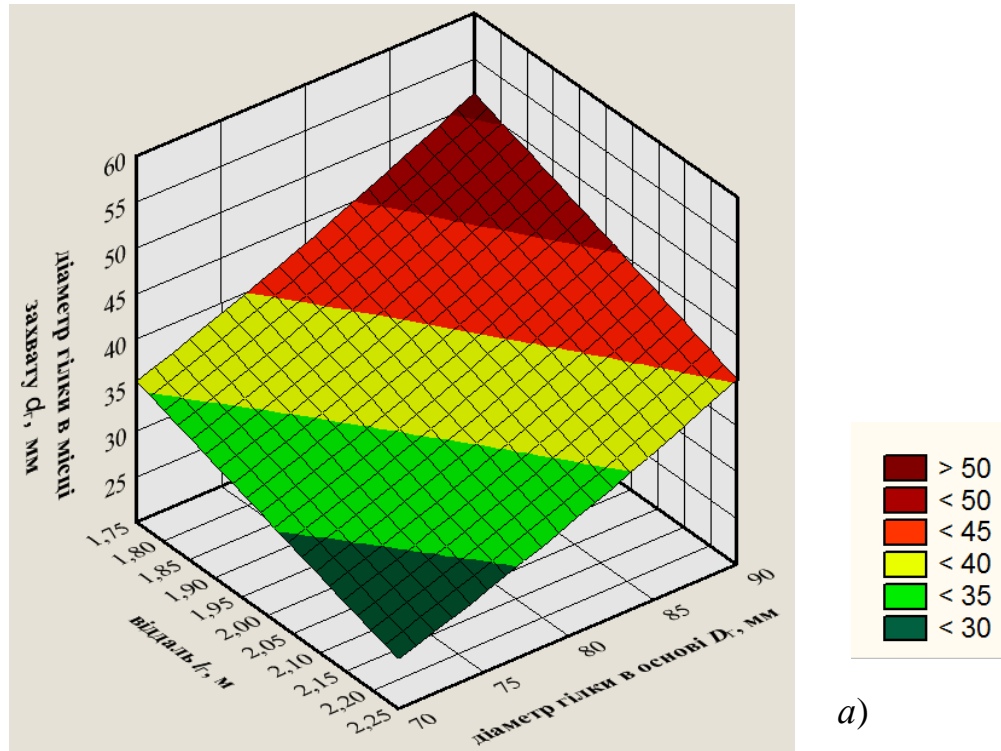
За відомих значень кутів сходження гілки  $\beta_g$  та її діаметру в основі  $D_g$  при зміні робочої довжини гілки  $l_g$  (віддалі від основи гілки до місця можливого прикладання збурювальних зусиль) за формулою 3.2 розраховані діаметри гілок за довжиною  $d_g$ .

Значення діаметрів гілок  $d_g$  в місці прикладання збурювальних зусиль для робочих діапазонів зміни діаметрів гілок в основі та віддалі від основи гілки були розраховані для двох груп скелетних гілок: для першої групи –  $D_g$  змінюється в діапазоні від 50 до 60 мм і  $l_g$  – від 1,25 до 1,75 м; для другої групи  $D_g$  змінюється в діапазоні від 70 до 90 мм і  $l_g$  – від 1,75 до 2,25 м.

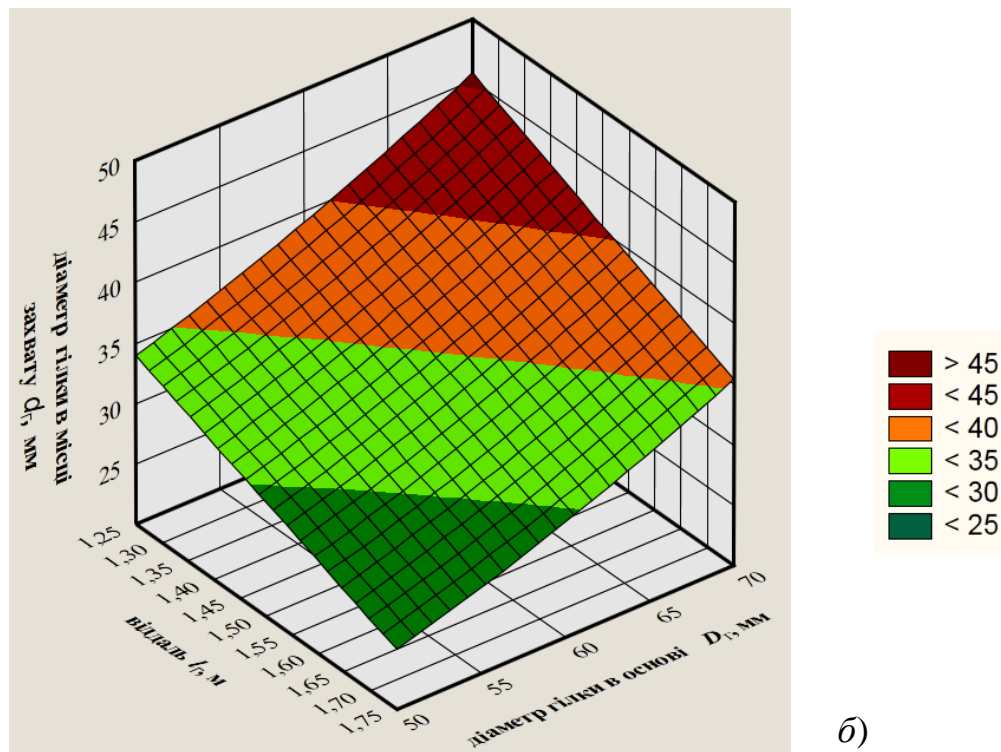
На основі отриманих даних побудовані поверхні відгуку, що характеризують залежність діаметру гілки  $d_g$  в місці передачі збурювального зусилля від діаметра в основі  $D_g$  та віддалі  $l_g$  від основи до місця захвату гілки (рисунок 3.5а, 3.5б) та отримані рівняння другого порядку з дійсними значеннями змінних:

для  $D_g$  – 50...70 мм і  $l_g$  – 1,25...1,75 м

$$d_{r50_70} = 16,9889 + 0,4417 D_r - 3,2 \ell_r + 0,0047 D_r^2 + 0,2667 \ell_r^2 - 0,25 D_r \ell_r. \quad (3.4)$$



a)



б)

Рисунок 3.5 – Поверхні відгуку, що характеризують залежність діаметру гілки  $d_{\Gamma}$  в місці передачі збурювального зусилля від діаметра гілки в основі  $D_{\Gamma}$  та віддалі  $l_{\Gamma}$  від основи до місця захвату гілки:

a)  $D_{\Gamma}$  – 50...70 мм,  $l_{\Gamma}$  – 1,25...1,75 м;

б)  $D_{\Gamma}$  – 70...90 мм,  $l_{\Gamma}$  – 1,75...2,25 м

для  $D_r = 70 \dots 90$  мм і  $l_r = 1,75 \dots 2,25$  м

$$d_{r50\_70} = 44,9778 - 0,0883 D_r - 13,6 l_r + 0,0068 D_r^2 + 0,5333 l_r^2 - 0,12 D_r l_r. \quad (3.5)$$

Діаметр гілки  $d_r$  в місці прикладання збурювальних зусиль зростає із збільшенням діаметру гілки при основі стовбура  $D_r$  та зменшенням віддалі  $l_r$ . Для першої групи гілок діаметром при основі від 50 до 70 мм, коли захоплення гілки можливе на віддалі від основи 1,25...1,75 м шуканий діаметр  $d_r$  коливається в межах 24,3...45,5 мм. Найменша значення діаметру  $d_r = 24,3$  мм відповідає  $D_r = 50$  мм і  $l_r = 1,75$  м, а найбільше –  $D_r = 70$  мм і  $l_r = 1,25$  м.

Аналогічна закономірність спостерігається для гілок другої групи, за діапазону зміни діаметру  $D_r = 70 \dots 90$  мм та віддалі можливого захоплення гілки  $l_r = 1,75 \dots 2,25$  м. Відповідно діаметр  $d_r$  зростає в межах від 25,5 до 51,3 мм, при цьому більше значення відповідає діаметру  $D_r = 90$  мм за  $l_r = 1,75$  м, а менше –  $D_r = 70$  мм і  $l_r = 2,55$  м.

Для ручного струшувача доцільно використати універсальний вилчатий захват, що забезпечував би захоплення гілок з діаметрами  $d_r$  в місці передачі збурювальних від 20 до 55 мм.

### **3.2. Зведений коефіцієнт жорсткості скелетних гілок дерев волоського горіха**

Жорсткість гілки, це є сила яку треба прикласти для згинання гілки на певну величину від початкового природного положення, характеризується приведеним коефіцієнтом жорсткості до місця прикладання збурювальних зусиль. Опір згинанню гілки від положення рівноваги буде залежати від розмірних параметрів скелетної гілки та твердості деревини. Зведений коефіцієнт жорсткості скелетної гілки зростає, якщо збільшується її діаметр в основі  $D_r$  та зменшується відстань  $l_r$  від центрального провідника дерева до місця передачі збурювальних зусиль на самій скелетній гілці.



Для визначення зведеного коефіцієнта жорсткості плодових гілок волоського горіха відбирались скелетні гілки першого порядку нижній ярусів діаметри в основі яких становили: мінімальне значення 50 мм, а максимальне – 90 мм.

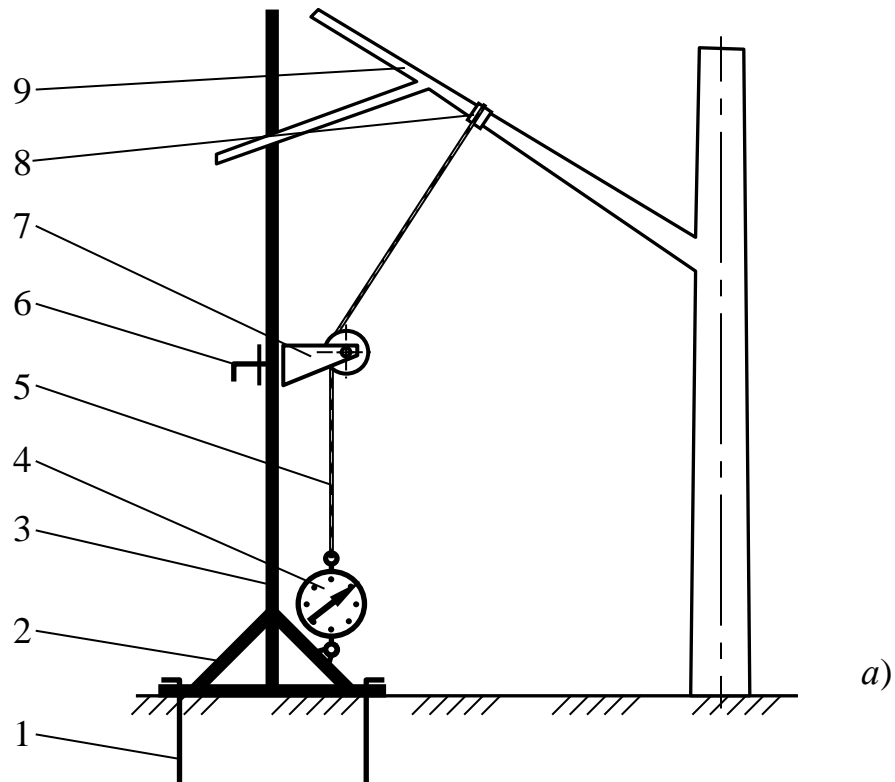
Експерименти проводилися з використанням запропонованого натяжного пристрою (рисунок 3.6а, 3.6б). Даний пристрій надає можливість прикладання сили для відхилення гілки від початкового положення перпендикулярно до осі гілки в місці прикладання збурювальних зусиль.

Основу натяжного пристрою складає стійка 3, що монтується на опорі 2, як у свою чергу фіксується штирями 1 до землі у визначеному місці під гілкою. На стійці 3 затискним гвинтом 6 кріпиться кронштейн з роликками 7. Кронштейн 7 є рухомим відносно стійки 3, що дозволяє лінву 5 через проставку 8 встановлювати перпендикулярно до гілки відносно зміни точки прикладання збурювальних зусиль (вібрації). Один кінець лінви 5 через проставку 8 кріпиться до гілки, а другий кінець через динамометр 4 до опори 2.

Вимірювання відхилення гілки від положення рівноваги (рисунок 3.6в) проводиться лазерним далекомір (рисунок 3.6б) фірми DeWALT і розраховується як різниця віддалей від опорної площини кронштейна 7 біля стійки 3 до нижньої частини гілки вздовж лінви 5 в початковому і натягнутому (після прикладання сили) положеннях гілки.

Під час проведення експериментів стійка 3 встановлювалась під гілкою. На гілці в місцях прикладання збурювальних зусиль на заданій віддалі від центрального провідника дерева наносились, відповідно до матриці планованого експерименту, мітка. Для встановлення даної віддалі використовувався лазерний далекомір. Один кінець лінви 5 кріпився до місцях прикладання сили, а другий кінець через блок кронштейна 7 динамометр 4 до основи 2 стійки 3. Під час кріплення лінви до гілки переміщенням кронштейна 7 і його фіксацією затискним гвинтом 6 забезпечувався прямий кут між гілкою і лінвою.





б)



в)

- Рисунок 3.6 – Натяжний пристрій для вимірювання зведеного коефіцієнта жорсткості скелетних гілок першого порядку:
- а) схема (1 – штирі; 2 – опора; 3 – стійка; 4 – динамометр; 5 – линва; 6 – затискний гвинт; 7 – рухомий кронштейн з роликом; 8 – проставка; 9 – скелетна гілка першого порядку );
- б) загальний вигляд;
- в) загальний вигляд вимірювання відхилення гілки від положення рівноваги

Внаслідок натягування ливни гілка відхилялась від положення рівноваги, збурювальна сила фіксувалась динамометром, а зміщення – розраховувалось, як різниця віддалей від опорної площини кронштейна 7 біля стійки 3 до нижньої частини гілки вздовж ливни 5 в початковому і натягнутому положеннях.

Дослідження зведеного коефіцієнта жорсткості скелетних гілок першого порядку базувались на методиці планування двофакторного експерименту на трьох рівнях [22, 23]. Незалежні змінні – діаметр гілки в основі  $D_r$  і віддаль  $l_r$  зведення від основи гілки до місця прикладання збурювальної сили; кодовані значення змінних  $X_1, X_2$  на трьох рівнях становили  $-1, 0, +1$ . Функція відгуку або вихідний параметр  $Y_c$  – це зведений коефіцієнт  $C_r$  жорсткості скелетних гілок першого порядку.

Жорсткість скелетних гілок досліджувалась на гілках першого порядку з діаметрами в основі  $D_r$  двох розмірних груп: 50–70 мм та 70–90 мм. На всіх гілках у триразовій повторності проводились шість серій дослідів, у процесі яких до гілки на віддаль  $l_r$  зведення 1,25, 1,5 та 1,75 м для першої розмірної групи  $D_r$  – 50...70 мм, і 1,75, 2 та 2,25 м для другої розмірної групи  $D_r$  – 70...90 мм прикладалась перпендикулярно направлена збурювальна сила  $P$ .

Закономірність зміни  $P$  (Н) у межах пружної деформації носить лінійний характер:

$$P = C_r x_k, \quad (3.6)$$

де  $C_r$  – зведений коефіцієнт жорсткості гілки, Н/м;

$x_k$  – відхилення гілки від положення рівноваги на віддаль  $l_r$  прикладання збурювальної сили, м.

Зведений коефіцієнт жорсткості визначається за формулою:

$$C_r = \left( \sum_{i=1}^n P_i x_{ki} \right) / \left( \sum_{i=1}^n x_{ki}^2 \right), \quad (3.7)$$

де  $i$  – номер дослідів;  $n$  – число вимірювань.

Пружна відновлювальна сила, яка виникає під час відхилення гілки від вихідного природного положення, зумовлюється пружними властивостями деревини та кори.

Точки матриць планованих експериментів для двох розмірних груп гілок відповідали різним рівням кодованих змінних  $X_1$ ,  $X_2$  за умови трикратної повторності визначення вихідних параметрів у центрі плану.

Для першої розмірної групи гілок:  $X_1$  ( діаметр гілки в основі  $D_r$  ): -1 – 50 мм; 0 – 60 мм; +1 – 70 мм, а  $X_2$  ( віддаль від основи гілки до місця прикладання збурювальної сили  $l_r$  ): -1 – 1,25 м; 0 – 1,5 м; +1 – 1,75 м. Відповідно для гілок другої розмірної групи:  $X_1$  ( $D_r$ ): -1 – 70 мм; 0 – 80 мм; +1 – 90 мм, а  $X_2$  ( $l_r$ ): -1 – 1,75 м; 0 – 2 м; +1 – 2,25 м.

Після обробки даних методом регресійного аналізу отримано залежності зведених коефіцієнтів жорсткості скелетних гілок першого порядку дерев волоського горіха.

Зведені коефіцієнти  $Y_{C_{50-70}}$ ,  $C_{r_{50-70}}$  (Н/м) жорсткості гілок першої розмірної групи становить:

а) у кодованих значень змінних

$$Y_{C_{50-70}} = 1095,79 + 682,5 X_1 - 708,33 X_2 + 167,03 X_1^2 + 174,53 X_2^2 - 382,5 X_1 X_2 ; \quad (3.8)$$

б) у дійсних значень змінних

$$C_{r_{50-70}} = -223,07 + 973,14 \cdot 10^{-1} D_r - 2030,76 l_r + 167,03 \cdot 10^{-2} D_r^2 + ; \quad (3.9)$$

$$+ 2792,48 l_r^2 - 153 D_r l_r$$

Для гілок другої розмірної групи зведені коефіцієнти  $Y_{C_{70-90}}$ ,  $C_{r_{70-90}}$  (Н/м) визначаються із залежностей:

$$Y_{C_{70-90}} = 975,47 + 392,17 X_1 - 500,83 X_2 + 44,82 X_1^2 + 147,82 X_2^2 - 199,5 X_1 X_2 ; \quad (3.10)$$

для дійсних значень змінних

$$C_{r_{70-90}} = 1405,71 + 127,105 D_r - 5079,8 l_r + 44,82 \cdot 10^{-2} D_r^2 + ; \quad (3.11)$$

$$+ 2365,12 l_r^2 - 79,8 D_r l_r$$

На основі отриманих рівнянь регресії (3.9) та (3.11) побудовані поверхні відгуку (рисунок 3.7 та 3.8) що характеризують залежність зведеного коефіцієнта жорсткості гілок волоського горіха від віддалі прикладання сили відносно основи гілки та діаметра гілки в основі для першої (рисунок 3.7) та другої (рисунок 3.8) розмірних груп.

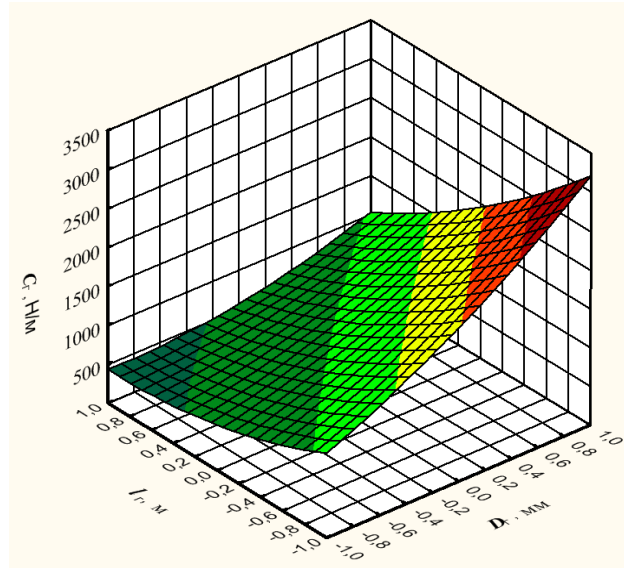


Рисунок 3.7 – Поверхня відгуку, що характеризують залежність зведеного коефіцієнта жорсткості гілок волоського горіха  $C_{Г50-70}$  від віддалі прикладання сили відносно основи гілки  $l_{Г}$  – 1,25...1,75 м та діаметра гілки в основі  $D_{Г}$  – 50...70 мм

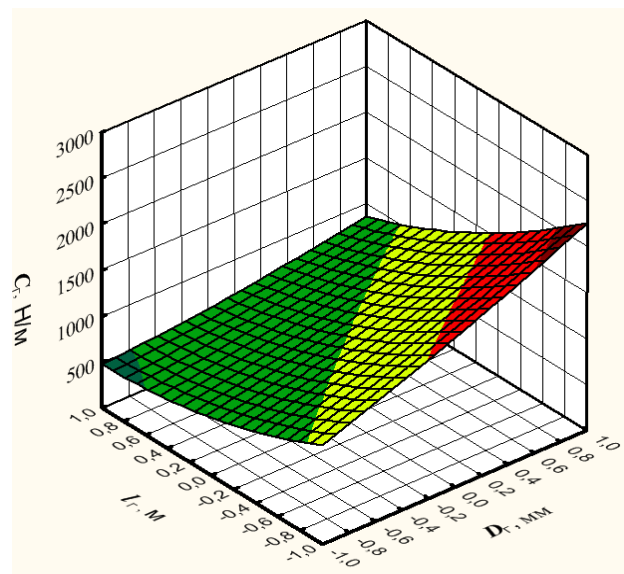


Рисунок 3.8 – Поверхня відгуку, що характеризують залежність зведеного коефіцієнта жорсткості гілок волоського горіха  $C_{Г70-90}$  від віддалі прикладання сили відносно основи гілки  $l_{Г}$  – 1,75...2,25 м та діаметра гілки в основі  $D_{Г}$  – 70...90 мм

За результатами розрахунків, з рівнянь(3.9) та (3.11), отримані залежності зведеного коефіцієнтів жорсткості скелетних гілок першого порядку в дійсних значеннях змінних: для  $D_r$  в діапазоні 50–70 мм при  $l_r$  від 1,25 до 1,75 м (рисунок 3.9) та для  $D_r$  – 70–90 мм при  $l_r$  – 1,75–2,55 м (рисунок 3.10).

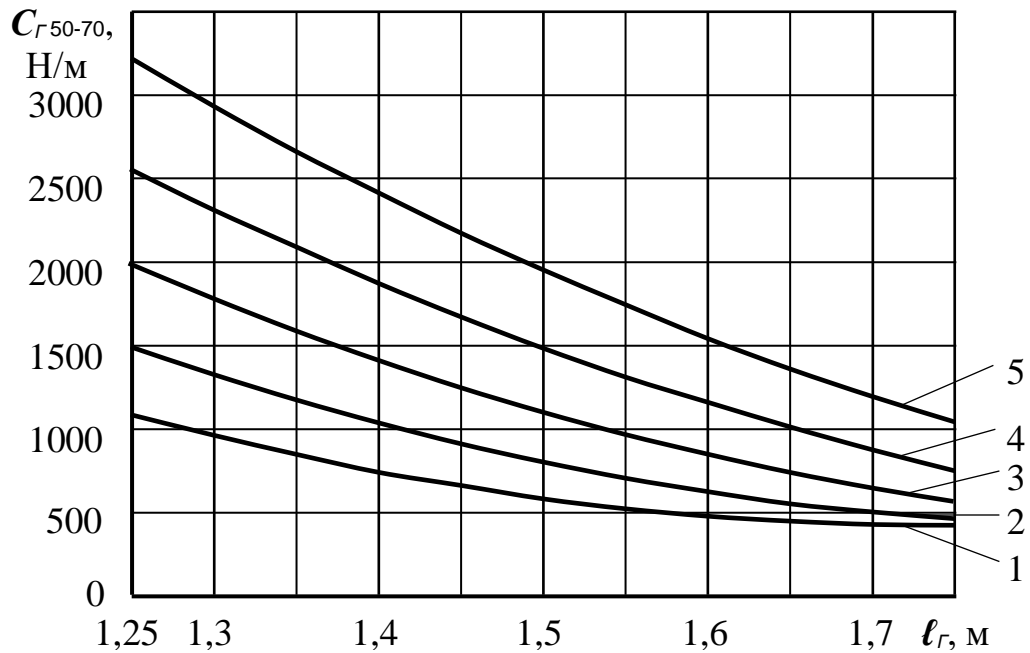


Рисунок 3.9 – Залежність зведеного коефіцієнта жорсткості гілок волоського горіха  $C_{Г50-70}$  від віддалі прикладання збурювальної сили відносно основи гілки  $l_r$  для гілок діаметром в основі  $D_r$ : 1 – 50 мм; 2 – 55 мм; 3 – 60 мм; 4 – 65 мм; 5 – 70 мм

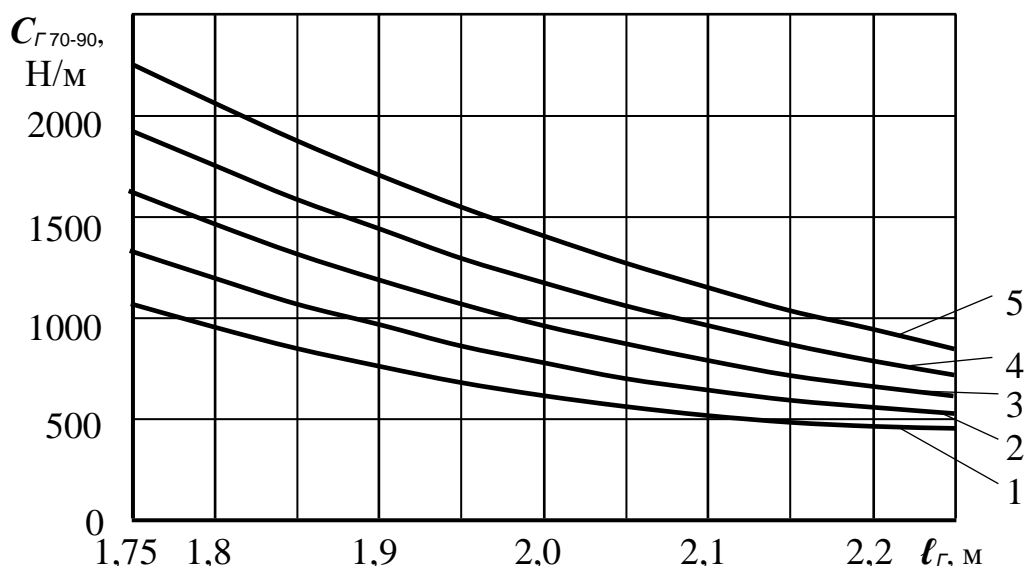


Рисунок 3.10 – Залежність зведеного коефіцієнта жорсткості гілок волоського горіха  $C_{Г70-90}$  від віддалі прикладання збурювальної сили відносно основи гілки  $l_r$  для гілок діаметром в основі  $D_r$ : 1 – 70 мм; 2 – 75 мм; 3 – 80 мм; 4 – 85 мм; 5 – 90 мм





Перевірка за критерієм Кохрена підтвердила відтворюваність дослідів експерименту, а за критерієм Фішера – адекватність отриманих математичних моделей.

Зведений коефіцієнт жорсткості гілок першого порядку дерев волоського горіха зростає із збільшенням діаметра гілки в основі і зменшенням віддалі від основи гілки до місця прикладання збурювальних зусиль. Для гілок першої розмірної групи з діаметрами в основі від 50 до 70 мм при віддальх зведення  $\ell_r$  1,25 – 1,75 м коефіцієнт жорсткості змінюється в межах

429–3210,7 Н/м. Найменше значення 429 Н/м отримано при  $D_r = 50$  мм і  $\ell_r = 1,75$  м, а найбільше 3210,7 Н/м – при  $D_r = 70$  мм і  $\ell_r = 1,25$  м. Для гілок другої розмірної групи ( $D_r = 70\text{...}90$  мм) при віддальх зведення  $\ell_r = 1,75\text{...}2,25$  м коефіцієнт жорсткості змінюється в діапазоні від 474,6 Н/м при  $D_r = 70$  мм і  $\ell_r = 2,25$  м до 2260,6 Н/м при  $D_r = 90$  мм і  $\ell_r = 1,75$  м.

Як показали експерименти, значення зведеного коефіцієнта жорсткості гілок першого порядку дозволяють під час збирання плодів використовувати ручні віброударні струшувачі.

### 3.3. Фрикційні властивості кори скелетних гілок волоського горіха

В процесі струшування плодів ручним віброударним струшувачем, дуже важливим чинником є контакт захвата струшувача з корою гілки дерева. Якщо захват буде прилягати до гілки недостатньо щільно і ковзати по ній то кора може пошкоджуватись, що не є допустимим. Тому доцільно приділити увагу вибору матеріалу і конструкції захвату тому необхідно дослідити фрикційні властивості кори плодових гілок, а саме кута зовнішнього тертя.

Для дослідження кута зовнішнього тертя ми використовували прилад академіка В.О. Желіговського (Рисунок 3.11) [15].

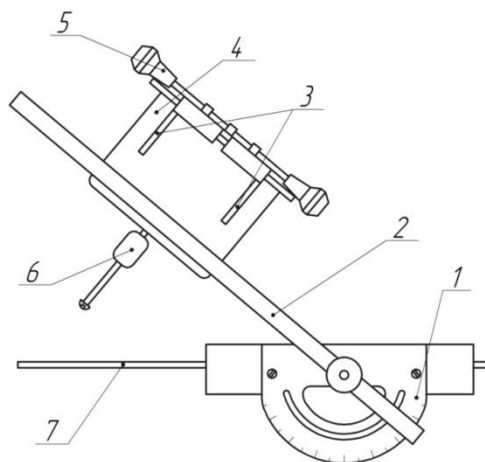


Рисунок 3.11 – Прилад академіка В.О. Желіговського для визначення кутів і коефіцієнтів тертя:  
 1 – напрямна; 2 – лінійка; 3 – затискні губки; 4 – каретка з самописцем;  
 5,6 – регулювальні гвинти; 7 – напрямна колодка

Дослідження проводились наступним чином. Спершу нами був відібраний досліджуваний матеріал. Це бруски нарізані з гілок волоського горіха різної довжини та діаметра. Бруски підготовлені таким чином, щоб можна було досліджувати кути та коефіцієнти тертя, як вздовж так і поперек волокон (Рисунок 3.12 ).

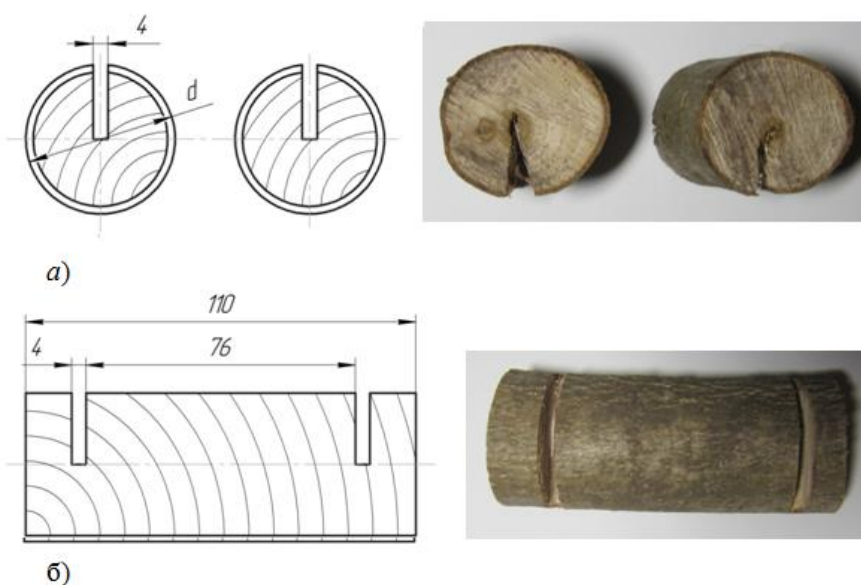


Рисунок 3.12 – Зразки гілок для дослідження кутів і коефіцієнтів тертя:

*a* – поперек волокон, *б* – поздовж волокон.

Після цього ми підібрали дві гумових смужки різної жорсткості, що імітують ту частину захвату, що контактує з деревом (Рисунок 3.13).

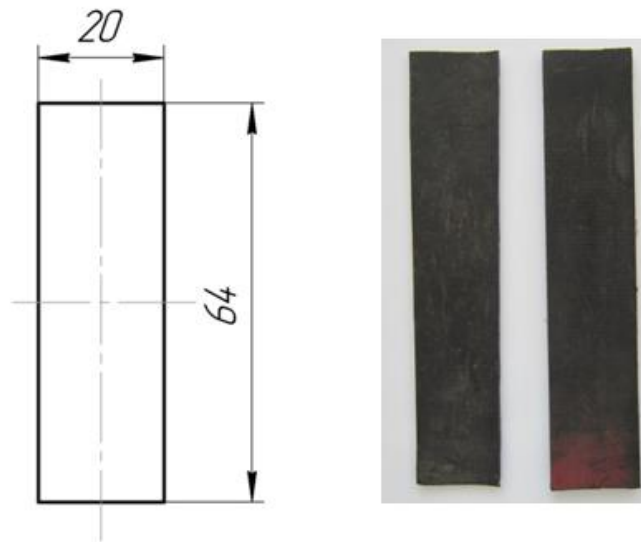


Рисунок 3.13 – Гумові смужки різної жорсткості виготовлені з твердої і м'якої гуми

Дальше ми почергово кріпили до каретки з самописцем бруски так, щоб можна було провести заміри вздовж (рисунок 3.14) та поперек (рисунок 3.15) волокон, а до лінійки почергово приклеювали за допомогою двохсторонньої клейкої стрічки гумові смужки.

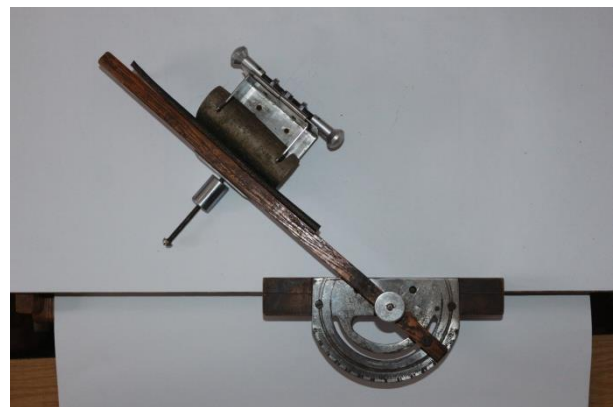
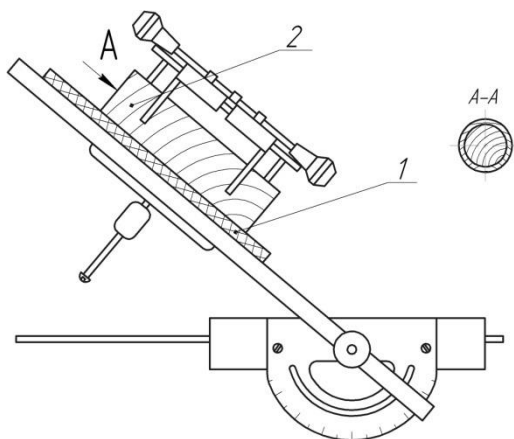


Рисунок 3.14. Визначення коефіцієнтів та кута тертя поздовж волокон

1 – гума; 2 – зразок;

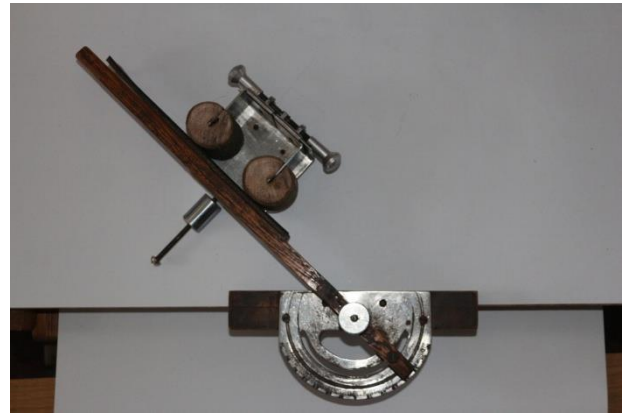
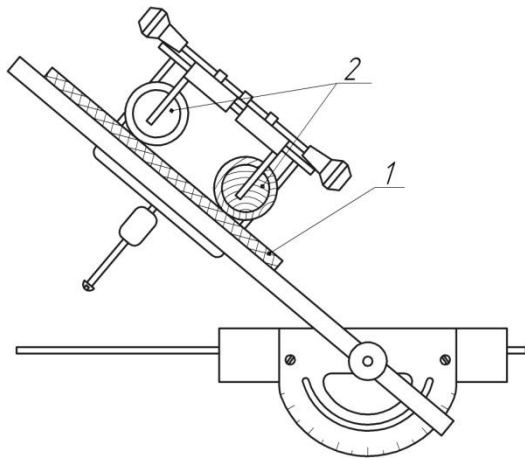


Рисунок 3.15 – Визначення коефіцієнтів та кута тертя поперек волокон

1 – гума; 2 – зразок;

Сам експеримент ми проводимо наступним чином. Прилад напрямною колодкою 7 впираємо в креслярську дошку і підводимо до лінійки 2 каретку з самописцем 4 так щоб досліджуваний матеріал торкався з гумовою стрічкою. Прилад плавним поперечним рухом напрямної колодки 7 вздовж торця креслярської дошки приводимо в дію. Самописець 4 викреслить лінію за допомогою олівця на поверхні листа що закріплений на дошці. Це буде лінія рівнодійної сили  $R$ , що відхиляється від нормалі до лінійки на кут тертя  $\varphi$ . Далі ми за допомогою лінійки проводимо лінію ковзання, що перетне напрямок рівнодійної сили і це буде точка  $A$  (рисунок 3.16).

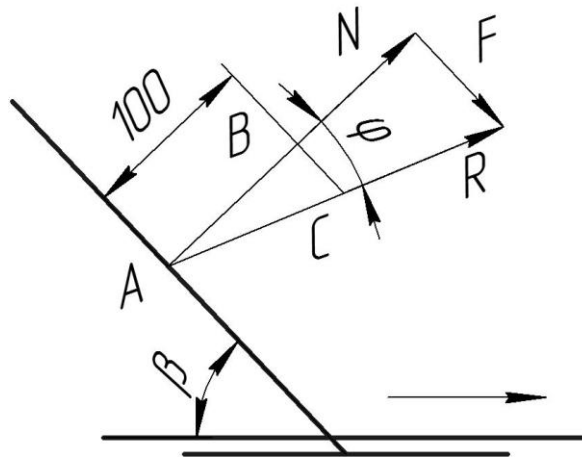


Рисунок 3.16. – Схема побудови силового трикутника

До лінії ковзання проводимо нормаль на якій відкладаємо відрізок АВ – нормальна сила (для зручності обчислень він становить 100 мм), а з точки В опускаємо перпендикуляр ВС до відрізка АВ (сила тертя). Силовий трикутник ANR за побудовою подібний до трикутника ABC. Коефіцієнт тертя  $f$  визначається із співвідношення:

$$f = BC/100 = tg\alpha , \quad (3.12)$$

а кут тертя із співвідношення:

$$\varphi = arctgf. \quad (3.13)$$

Досліди проводився в п'ятикратній повторюваності з різною комбінацією брусків і матеріалів. Результати досліджень наведено нижче.

Вивчення фрикційних властивостей кори показав, що коефіцієнт та кут тертя в більшій мірі залежать від шорсткості взаємодіючих поверхонь гілки та робочої поверхні захвату, що виконана у вигляді вилки з накладками твердої гуми та напрямку руху захвату відносно гілки, поперек чи вздовж волокон. свідчить про залежність його коефіцієнта і кута тертя від матеріалу й шорсткості взаємодіючих поверхонь захвату і гілки, також напрямку переміщення: поперек чи вздовж волокон.

Так, коефіцієнт та кут тертя майже не змінюється для гілок діаметром від 30 до 70 мм, а для гілок діаметром 120 мм даний показник зростає, що зумовлене старінням кори гілки і зростанням шорсткості її поверхні. Для гілок діаметрами від 30 до 70 мм (таблиця 3.3 ) коефіцієнт та кут тертя поперек волокон змінюється в межах відповідно від 0,478 до 0,486 та  $25,49...25,85^{\circ}$  , а для діаметра гілки 120 мм дані показник є дещо більші і становлять: коефіцієнт тертя – 0,534; кут тертя –  $28,02^{\circ}$ . Аналогічні показники для напрямку руху захвату вздовж волокон гілки діаметром від 30 до 70 мм: коефіцієнт тертя – 0,502...0,517; кут тертя –  $26,64...27,29^{\circ}$ , а для гілок більших діаметрів (120 мм): коефіцієнт тертя – 0,564; кут тертя –  $29,36^{\circ}$ .

Кут тертя необхідний для вибору кута нахилу губки вилчастого захвату до осі перерізу гілки, щоб під час робочого процесу не було проковзування

Таблиця 3.3  
Коефіцієнти та кути тертя між гумовою поверхнею захвату і корою плодової гілки волоського горіха

показники	діаметр зразка, мм					
	30	40	50	60	70	120
напрямок руху	поперек волокон					
коефіцієнт тертя	0,486	0,481	0,478	0,484	0,483	0,534
кут тертя, град	25,85	25,62	25,49	25,74	25,71	28,02
напрямок руху	вздовж волокон					
коефіцієнт тертя	0,517	0,512	0,502	0,506	0,505	0,564
кут тертя, град	27,29	27,06	26,64	26,78	26,73	29,36

робочої поверхні захвату, що може супроводжуватися здиранням кори. Для забезпечення постійного контакту захвату з гілкою під час робочого процесу необхідно, щоб кут нахилу губки становив  $20^{\circ}$  і він є менший мінімального кута тертя  $25,49^{\circ}$  між корою і робочою поверхнею захвату. Відповідно кут розведення губок вилчастого захвату має становити  $40^{\circ}$ .

## ВИСНОВКИ

1. Крони волоського горіха віком 10 – 40 років нараховують від 7 – 15 скелетних гілок першого та другого порядків, діаметри яких в основі  $D_2$  коливаються в межах 39,2 – 92,3 мм, кут відгалуження  $\alpha_2$  гілок становить 42,6 – 68,5 %.

2. Враховуючи механіко-технологічні властивості, доцільно розділити скелетні гілки за діаметром в основі  $D_2$  на дві розмірні групи: перша – 50 – 70 мм, друга – 70 – 90 мм. Довжина гілок  $L_2$  першої розмірної групи варіює в

діапазоні 2,56 – 3,24 м, а другої –  $L_2 = 2,88 - 3,96$  м, причому кут  $\beta_2$  сходження поперечного перерізу гілок –  $0,43 - 0,64^\circ$ .

3. Для струшування скелетних гілок першої розмірної групи доцільно вибирати відстань захвату  $\ell_2$  в межах 1,25 – 1,75 м, в цьому випадку: діаметр гілок в місці захвату  $d_2$  дорівнює 24,3 – 45,5 мм; зведений коефіцієнт жорсткості  $c_2 = 429 - 3210,7$  Н/м. Відстань захвату скелетних гілок другої розмірної групи  $\ell_2 = 1,75 - 2,25$  м й тоді:  $d_2 = 25,5 - 51,3$  мм;  $c_2 = 474,6 - 2260,6$  Н/м.

4. Ручний віброударний струшувач доцільно оснащувати вилчастим захватом, що дозволяє охоплювати гілки діаметром 20 – 55 мм, і за кута розхилу еластичних подушок захвата  $40^\circ$  унеможлиблює проковзування подушок по корі в місці передачі збурювальних зусиль.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

#### 4.1 Моделювання процесів виникнення травм, аварій і катастроф

Для аналізу потенційних чи існуючих травмонебезпечних чи аварійних ситуацій, що виявлені під час обстеження робочих місць, машин чи агрегатів, доцільно застосовувати метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій. Проте метод логічного моделювання не може бути використаний для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій і катастроф, оскільки будь-яка аварія чи катастрофа може виникнути внаслідок однієї з багатьох потенційно небезпечних ситуацій.

Для аналізу складних систем застосовують метод «дерева відказів і помилок оператора». Цей метод дає можливість здійснити математичну обробку моделі для визначення ймовірності виникнення аварій, травм і катастроф.

Основними принципами побудови моделі є такі:

- аналізується виробництво, де можливе виникнення аварій, травм чи катастроф;
- приймають головну подію (аварію, травму, катастрофу);
- шляхом логічного аналізу зв'язують головну подію з наступною, що обумовлює її виникнення, приходячи до кінцевих подій з яких починає формуватися головна подія.

Для запровадження на виробництві оцінювання рівня безпеки певного об'єкта чи явища, необхідно мати простий і доступний метод обчислення значень ймовірності будь-якого випадкового явища.

На основі обстеження робочого місця чи окремої машини (обладнання) виявляють можливі безпеки, що можуть призвести до аварійної чи травмонебезпечної ситуації. При оцінці небезпечних ситуацій визначають



події, серед яких вибирають головну випадкову подію для побудови логіко-імітаційної моделі.

Вибирають головну випадкову подію виходячи з оцінки відповідного об'єкта виробництва і змісту його найбільш небезпечного явища, яке може виникнути на виробництві за певних умов.

Вибравши головну подію будують логіко-імітаційну модель.

Визначають набір ситуацій, які можуть призвести до головної події і зв'язують їх з головною подією за допомогою операторів «І» та «АБО».

Після визначення аварійних чи травмонебезпечних ситуацій та їх кількості, логічним аналізом визначають інші події, що входять до кожної такої ситуації також із застосуванням операторів «І» та «АБО». Побудова триває доти, поки не будуть знайдені всі базові події.

Оператор «І» застосовують, коли вихідна подія реалізується, якщо одночасно реалізуються всі вхідні події.

Вихідна подія оператора «АБО» реалізується, якщо має місце хоча б одна з вхідних подій.

Як правило оператори логіко-імітаційних моделей зображують у вигляді символів. Вони з'єднують події відповідно до причинних співвідношень між ними і обов'язково повинні мати вхід і вихід. Оператор може мати кілька входів, проте вихід повинен бути тільки один.

Побудована модель піддається математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, починаючи з базових і закінчуючи головною. Ймовірність базових подій визначають за даними виробництва [8, 13].

Математичні обчислення ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують формули.

1. Нехай дві базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора «І» входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події  $P_3$  можна визначити так [8, 13]:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2 , \quad (5.1)$$

2. За допомогою оператора «І» три події з ймовірностями  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_3$  формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події  $P_4$  обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \quad (5.2)$$

3. Дві базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора «АБО» входять до третьої події. Тоді її ймовірність  $P_3$  буде:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2, \quad (5.3)$$

4. Оператор «АБО» об'єднує три базові події з ймовірностями  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_3$ , які за допомогою нього оператора входять у наступну подію з ймовірністю  $P_4$ . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1P_2 - P_1P_3 - P_2P_3 + P_1P_2P_3, \quad (5.4)$$

Поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, визначають ймовірність виникнення головної події.

Для обчислення ймовірності виникнення травми при роботі з установкою для активного вентилявання сіна, використаємо логіко-імітаційну модель процесу її процесу (рис. 4.1).

Ймовірності базових подій приймемо умовно:

- стан контролю ( $P_1$ ) – 0,3;
- професійний рівень працівників ( $P_5$ ) – 0,5;
- ізоляція відсутня ( $P_2$ ) – 0,4;
- несправна мережа ( $P_7$ ) – 0,3;
- заземлення не відводить електричний струм ( $P_{24}$ ) – 0,1;
- до обладнання доторкався працівник ( $P_{24}$ ) – 0,1.

Відповідно до логіко-імітаційної моделі проводимо розрахунки ймовірностей подій за формулами (5.1)...(5.4).

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2$$

$$P_3 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,65.$$

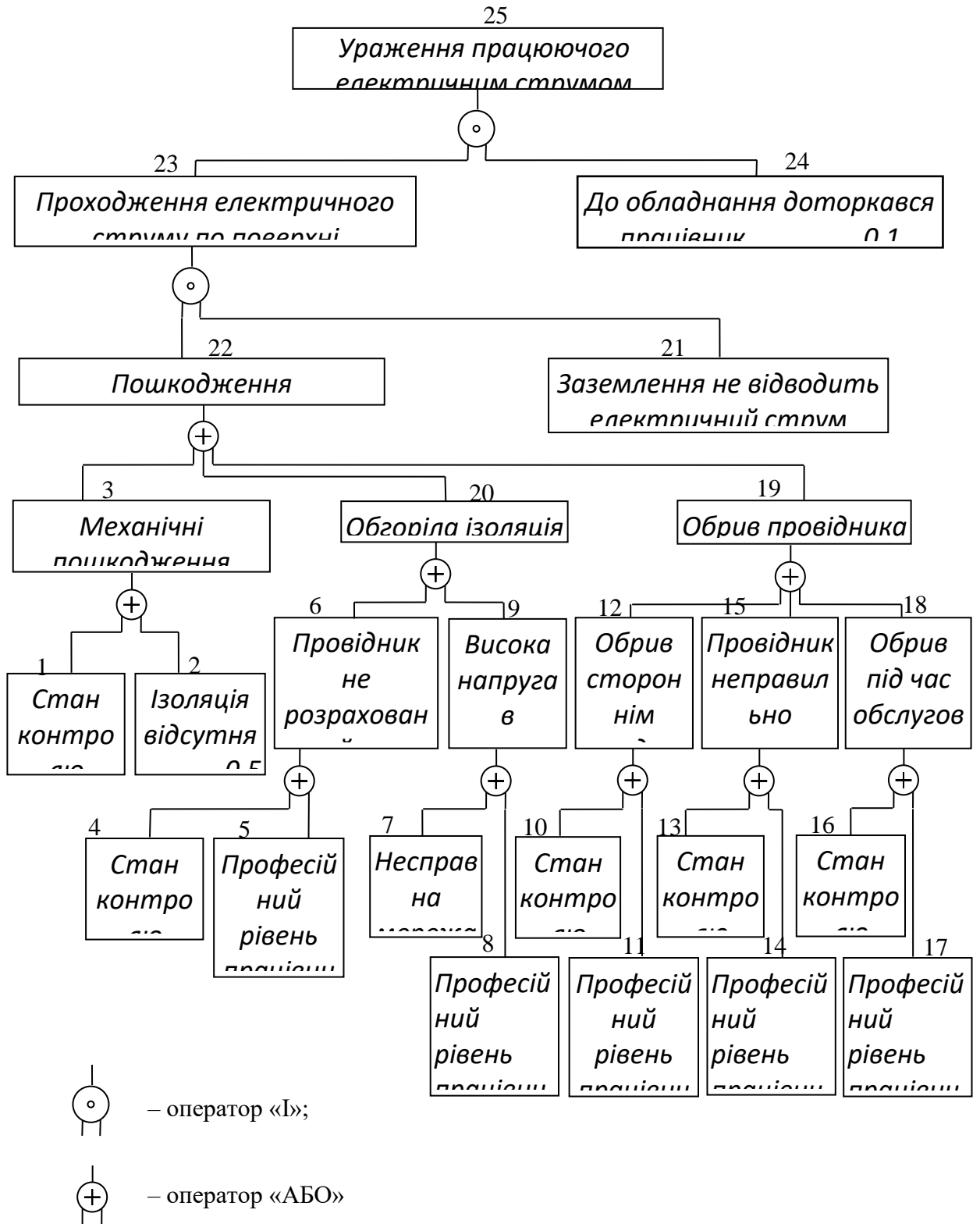


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при роботі з лабораторною установкою для визначення власних коливань плодового дерева

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_6 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_9 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_{12} = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_{15} = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_{18} = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,58;$$

$$P_{20} = 0,58 + 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 = 0,82;$$

$$P_{19} = 0,58 + 0,58 + 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 + \\ + 0,58 \cdot 0,58 \cdot 0,58 = 0,46;$$

$$P_{20} = 0,58 + 0,58 - 0,58 \cdot 0,58 = 0,82;$$

$$P_{22} = 0,65 + 0,82 + 0,46 - 0,65 \cdot 0,82 - 0,82 \cdot 0,46 - 0,65 \cdot 0,46 + \\ + 0,65 \cdot 0,82 \cdot 0,46 = 0,69;$$

$$P_{23} = 0,69 \cdot 0,1 = 0,069;$$

$$P_{25} = 0,0069 \cdot 0,1 = 0,00069.$$

Отже, як показали розрахунки ймовірність виникнення аварії (пошкодження електропроводу) становить 0,69. Ймовірність виникнення травми є значно нижчою від ймовірності виникнення аварії і становить 0,0069, а це означає, що на кожні 1000 таких робочих місць, при наявності таких подій, можна очікувати 6,9 травм.

Логіко імітаційні моделі аварій і травм дають можливість передбачити і тим самим зменшити ймовірність виникнення аварійних і травмонезбезпечних ситуацій. Таким чином, для оцінки рівня небезпеки робочого місця потрібно побудувати логіко-імітаційну модель потенційно небезпечних ситуацій і розрахувати ймовірність виникнення травми.

## 4.2 Розробка заходів щодо захисту цивільного населення

Одним з найважливіших завдань служби охорони праці є забезпечення захисту населення у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

Адже, актуальність проблеми природно–техногенної безпеки для населення і території, зумовлена зростанням втрат людей, що спричиняється небезпечними природними явищами та промисловими аваріями. Ризик надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невинно зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

Відповідальність за організацію цивільної оборони згідно із Законом “Про цивільну оборону України” лягає на керівника господарства. Керівництво господарства повинно забезпечити працівників засобами захисту (індивідуального та колективного), створює загони для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Найбільш повне та організоване виконання заходів цивільної оборони на об’єкті досягається завчасним розробленням плану заходів, які необхідні проводити при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій:

- оповіщення та інформуванні, яке досягається утриманням в постійній готовності систем оповіщення, які переважно інформують про прогноз погоди;
- спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою, забезпечується створенням та підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до них існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості;
- укриття в захисних спорудах, якому підлягає працююча зміна та усе населення, досягається створенням фонду захисних споруд;
- евакуаційні заходи, які проводяться на території господарства та за його межами переважно під час виникнення пожеж;

- медичний захист проводиться для зменшення ступеня зараження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим;
- біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно–господарських, спеціальних протиепідемічних та медичних заходів;
- радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного і хімічного контролю, засобами індивідуального захисту.

Одним із основних завдань цивільної оборони є навчання населення вмінню застосувати засоби індивідуального захисту та дій у надзвичайних ситуаціях [13].

Тому заходи щодо зниження ступеня впливу негативних наслідків аварійних ситуацій здійснюються з метою завчасної підготовки підприємств від надзвичайних ситуацій та створення умов для підвищення стійкості їх роботи, проведення своєчасних робіт щодо рятувальних заходів.

### **4.3 Вплив технології на стан довкілля**

З розвитком сільськогосподарського виробництва вплив людини на природу зріс у негативному напрямку. В процесі розвитку сільськогосподарського виробництва людина перейшла від споживання продуктів природи до використання природних умов і ресурсів, для вирощування рослин і тварин.

На теперішньому етапі сільськогосподарське виробництво є одним із основних, що характеризується середнім контактом з навколишнім середовищем [18].

В умовах інтенсивного сільськогосподарського виробництва використовується велика кількість самохідних машин, тракторів, добрив та

отрутохімікатів, їх неправильне застосування негативно впливає на рослинний і тваринний світ, приносить шкоду навколишньому середовищу.

В період інтенсифікації сільськогосподарського виробництва його виснажуюча дія на природне середовище та відходність багаторазово зростає. Така інтенсифікація сільськогосподарського виробництва викликала цілу низку небажаних наслідків, а саме: деградація ґрунтів, забруднення навколишнього середовища мінеральними добривами та пестицидами, заболочення, опустелення та ін. Це супроводжується низькою культурою землеробства, застосуванням неефективних технологій виробництва сільськогосподарської продукції.

При застосуванні важких сільськогосподарських машин та агрегатів, тракторів та транспортних засобів ущільнюється ґрунт. Це різко погіршує мікробіологічні процеси в ґрунті, сповільнює розклад шкідливих сполук, пригнічує діяльність целюлозних бактерій, які мінералізують органічну масу. Саме тому треба старанно добирати комплекс машин та агрегатів, які б мінімально впливали на фізичні якості ґрунту.

Існуючі операції технологічного процесу збирання плодів передбачають застосування важкої сільськогосподарської техніки та значної кількості проходів тракторів та сільськогосподарських машин по поверхні садів, яка значно впливає на щільність ґрунту.

Найбільшої шкоди навколишньому середовищу завдають засоби хімічного захисту рослин та мінеральні добрива, що вносяться без дотримання агротехнічних вимог. Оскільки в садах із інтенсивною технологією вирощування використання засобів хімічного захисту є необхідним, то необхідно чітко дотримуватися норм внесення отрутохімікатів та дотримання правил техніки безпеки поводження з ними.

Струшування плодів здійснюється машинами вібраційної або ударної дії, тому необхідно звернути увагу на якість процесу взаємодії робочих органів із корою дерева. Оскільки штамбу дерева чи скелетним гілкам передаються віброударні зусилля існує вірогідність пошкодження кори, що

може вплинути на плодоношення дерева. Необхідно більш ретельно дослідити вплив робочих органів віброударної дії для струшування плодів на пошкодження кори дерев, та його наслідки.

Також під час передачі вібрацій штамбу дерева чи скелетній гілці, вони також передаються кореневій системі. При недотриманні допустимих коливань дерева існує ймовірність порушення зв'язку кореневої системи дерева, що може призвести до зменшення його родючості або взагалі загибелі. Тому необхідно дотримуватись агротехнічних вимог під час здійснення операції струшування плодів.

### **Висновок**

Вивчено методику моделювання процесів виникнення травмо-небезпечних чи аварійних ситуацій, а саме змодельовано процес виникнення травматичної ситуації та проведено оцінку рівня небезпеки. Описано заходи щодо захисту цивільного населення. Також розглянуто вплив засобів механізації збирання горіхів на навколишнє середовище.



## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РУЧНОГО ВІБРАЦІЙНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

Завдання економічного аналізу – розрахунок ефективності використання ручного вібраційного струшувача волоських горіхів, конструкція якого, порівняно з базовим струшувачем фірми Cifarelli SC105, доповнена ударним механізмом та вилчастим захватом [25]. Експлуатаційні показники визначались на основі результатів господарських випробувань експериментального зразка ручного віброударного струшувача, що здійснював знімання горіхів зі скелетних гілок на уловлювану поверхню, розстелену в міжряддях під кронами дерев.

Розрахунки проводились за стандартизованою методикою визначення економічної ефективності спеціалізованої сільськогосподарської техніки [7, 24]. Частково механізована технологія збирання волоських горіхів з використанням ручного струшувача порівнювалась з ручним збиранням. Працівник-збирач за ручної технології використовував плodoзбиральну сумку і драбину, а в разі частково механізованої – модернізований віброударний струшувач та уловлювач у вигляді суцільного агроволокна. Уловлювач розстелявся під кронами дерев двома допоміжними працівниками, які також підбирали і завантажували зняті горіхи у тару, зокрема контейнери.

Враховуючи зміну цін на техніку, сільськогосподарську продукцію й паливо-мастильні матеріали, тарифи на погодинну оплату праці та інфляційні процеси в державі, економічний розрахунок проведено для збирального сезону 2023 року.

Застосування частково механізованої технології з використанням ручних віброударних струшувачів підвищує продуктивність збиральних робіт, зменшує затрати праці, підвищує повноту знімання горіхів. Порівняно з типовим ручним збиранням з'являються значні додаткові капіталовкладення

на придбання струшувача і вловлювача, та все ж частково механізована технологія забезпечує економічний ефект.

Річний економічний ефект від використання ручного віброударного струшувача волоських горіхів порівняно з ручним збиранням розраховується згідно запропонованої методики [12]. Розрахунки проведено за допомогою програми Microsoft Excel; вихідні дані отримано за результатами господарських випробувань, експериментальних досліджень на підставі Податкового кодексу України, даних нормативних документів та сайтів електронного ресурсу. Результати розрахунків наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності збирання горіхів ручним струшувачем

Показники	Збирання	
	ручне	з використанням струшувача
1	2	3
Річне напрацювання, дерев	225	1800
Прямі затрати (грн/дерево) на:		
– оплату праці	23,08	7,98
– паливо-мастильні матеріали	–	0,9
– технічне обслуговування і поточний ремонт	1,18	2,72
– реновацію	2,36	3,51
– зберігання	0,08	0,18
– всього прямих затрат	26,70	15,29
Капітальні вкладення, грн/дерево	11,79	34,45
Зведені затрати, грн/дерево	28,47	20,46
Економічний ефект від підвищення повноти збирання, грн/дерево	–	90
Річний економічний ефект від використання ручного струшувача, грн	–	176420
Лімітна ціна ручного струшувача, грн	–	689111

Продовження табл. 5.1

1	2	3
Затрати праці, люд.-год/дерево	0,93	0,35
Річна економія праці, люд.-год	–	1044
Ступінь зменшення, %:		
– затрат праці	–	62,37
– прямих затрат	–	42,73
– зведених затрат	–	28,14
– капіталовкладень	–	–192,2

Отримані результати розрахунку свідчать про економічну доцільність використання ручних віброударних струшувачів волоських горіхів порівняно з ручним збиранням за рахунок підвищення продуктивності праці, підвищення повноти знімання та зменшення затрат праці, але при цьому необхідні додаткові капіталовкладень на придбання струшувача.

Спостерігається зменшення (на одне дерево віком 40 років з 10 скелетними гілками) затрат праці на 62,37 % та зведених затрат – 28,14 % за зростання капіталовкладень на 192,2 %. Річний економічний ефект від використання ручного віброударного струшувача під час збирання волоських горіхів порівняно з ручним збиранням становить 176,42 тис. грн за умови річного напрацювання 1800 дерев в цінах збирального сезону 2023 року.

### Висновки

1. Продуктивність збиральних робіт з використанням ручного струшувача порівняно з ручним збиранням збільшується у 8 раз, при цьому зведені затрати на одне дерево зменшуються з 28,47 до 20,46 грн.

2. Річний економічний ефект від використання ручного віброударного струшувача плодів складає 176,42 тис. грн (в цінах збирального сезону 2023 року) й досягається за рахунок зменшення зведених затрат та підвищення повноти знімання горіхів з дерева за річного напрацювання 1800 дерев.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Розглянуто агробіологічні особливості та господарське значення волоських горіхів. Описано цінність волоських горіхів і використання їх у народному господарстві.

Проаналізовано способи збирання волоських горіхів та запропоновано удосконалений ручний спосіб збирання. Даний спосіб передбачає створення ланки до складу якої входить 10-20 чоловік, що будуть обслуговувати контейнеровоз ВУК-3. До складу ланки входять працівники з ручними вібраційними струшувачами та працівники зі вловлювачами.

Для застосування ручних вібраційних струшувачів для збирання волоських горіхів передачею збурювальних зусиль скелетним гілкам необхідно визначити їх фізико-механічні властивості. Дані показники необхідні для встановлення необхідних режимів струшування та конструктивних параметрів захвату струшувача.

Обґрунтовано доцільність та актуальність проблеми вивчення фізико-механічних властивостей скелетних гілок дерев волоського горіха.

Описано методику та результати проведення дослідження розмірних та механічних характеристик скелетних гілок дерев волоського горіха, а саме: розмірні показники (кількість ярусів та скелетних гілок на дереві; діаметр скелетної гілки в основі; максимальна довжина гілки, відстань від основи гілки до місця прикладення збурювальних зусиль; кут сходження діаметру гілки по довжині; кут відходження гілки від центрального провідника); зведений коефіцієнт жорсткості; коефіцієнти та кути тертя між корою гілки та накладкою захвату.

В результаті проведених досліджень основних розмірних та фізико-механічних властивостей скелетних гілок дерев волоського горіха встановлено наступне:

1. Крони волоського горіха віком 10 – 40 років нараховують від 7 – 15 скелетних гілок першого та другого порядків, діаметри яких в основі  $D_2$

коливаються в межах 39,2 – 92,3 мм, кут відгалуження  $\alpha_2$  гілок становить 42,6 – 68,5 %.

2. Враховуючи механіко-технологічні властивості, доцільно розділити скелетні гілки за діаметром в основі  $D_2$  на дві розмірні групи: перша – 50 – 70 мм, друга – 70 – 90 мм. Довжина гілок  $L_2$  першої розмірної групи варіює в діапазоні 2,56 – 3,24 м, а другої –  $L_2 = 2,88 - 3,96$  м, причому кут  $\beta_2$  сходження поперечного перерізу гілок – 0,43 – 0,64°.

3. Для струшування скелетних гілок першої розмірної групи доцільно вибрати відстань захвату  $\ell_2$  в межах 1,25 – 1,75 м, в цьому випадку: діаметр гілок в місці захвату  $d_2$  дорівнює 24,3 – 45,5 мм; зведений коефіцієнт жорсткості  $c_2 = 429 - 3210,7$  Н/м. Відстань захвату скелетних гілок другої розмірної групи  $\ell_2 = 1,75 - 2,25$  м й тоді:  $d_2 = 25,5 - 51,3$  мм;  $c_2 = 474,6 - 2260,6$  Н/м.

4. Ручний віброударний струшувач доцільно оснащувати вилчастим захватом, що дозволяє охоплювати гілки діаметром 20 – 55 мм, і за кута розхилу еластичних подушок захвата 40° унеможлиблює проковзування подушок по корі в місці передачі збурювальних зусиль.

Вивчено методику моделювання процесів виникнення травмо-небезпечних чи аварійних ситуацій, а саме змодельовано процес виникнення травматичної ситуації та проведено оцінку рівня безпеки. Описано заходи щодо захисту цивільного населення. А також розглянуто вплив технології збирання горіхів на навколишнє середовище.

Продуктивність збиральних робіт з використанням ручного струшувача порівняно з ручним збиранням збільшується у 8 раз, при цьому зведені затрати на одне дерево зменшуються з 28,47 до 20,46 грн. Річний економічний ефект від використання ручного віброударного струшувача плодів складає 176,42 тис. грн (в ціна збирального сезону 2023 року) й досягається за рахунок зменшення зведених затрат та підвищення повноти знімання горіхів з дерева за річного напрацювання 1800 дерев.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. A portable shaking device: pat. 1543875 European: A01D46/26. № 04425295.5; declared 29.04.04; published by 20.04.05, Bul. № 2005/16. 11 p.
2. Shaker SC105. Cifarelli SpA. [https://www.cifarelli.it/documenti/depSC105\\_GB.pdf](https://www.cifarelli.it/documenti/depSC105_GB.pdf) (Last accessed: 30.11.2023).
3. Shaker SC800. Cifarelli SpA. URL: [https://www.cifarelli.it/documenti/SC800\\_SP-ING.pdf](https://www.cifarelli.it/documenti/SC800_SP-ING.pdf) (Last accessed: 30.11.2023).
4. Tree shaking device: pat. 0906721 European: A01D46/26. № 97830708.0; declared 23.12.97; published by 07.04.99, Bul. № 1999/14. 10 p.
5. Бабій П. Т. Механізація виробництва плодів і ягід. 2-е вид., допов. і перероб. Київ: Урожай, 1980. 160 с.
6. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2004. 544 с.
7. Данильченко М. Г., Гладич Б. Б., Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки: Навчально-методичний посібник для студентів економічних спеціальностей. Тернопіль: Економічна думка, 2001. 61 с.
8. Житецький В. Ц. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 200. 350с.
9. Закон України “Про охорону праці”. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. (Дата звернення 10.10.2023).
10. Затоковий Ф.Т., Сайко В.І., Сатіна Л.Ф. Сорт грецького горіха Яблунівський. Аграрна наука – виробництву. Науково-інформаційний бюлетень завершений наукових розробок НААНУ. 2013. №4(66). С.22.
11. Кернасюк Ю. В. Горіхові перспективи. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/7946-horikhovi-perspektyvu.html> (дата звернення: 18.11.2023).

- 12.Крупич Р. О., Шевчук Р. С., Черевко Г. В. Економічна ефективність ручного віброударного струшувача волоських горіхів. *Аграрна економіка*. Львівський НАУ, 2018. Т.1, № 1–2. С 63 – 68.
- 13.Лахман С. Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. К.: Урожай, 1993. 272с.
- 14.Марченко В.В. Механізація технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник. Київ: Кондор. 2007. 334 с.
- 15.Рибарук В. Я., Ріпка І. І. Сільськогосподарські машини: практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів: За вільну Україну. 1998. 264 с.
- 16.Ріпка І.І., Семен Я.В., Крупич О.М., Бендера І.М., Рудь А.В. Основи механізації сільськогосподарського виробництва: Навч. посібник. Львів: ЛНАУ, 2013. 224 с.
- 17.Самойленко О. Грецький горіх: ваш бізнес сьогодні, завтра і в майбутньому. URL: <http://propozitsiya.com/ua/greckiy-gorih-vash-biznes-sogodni-zavtra-i-v-maybutnomu> (дата звернення: 18.10.2023).
- 18.Снітинський В.В., Саницький М.А., Мазурак О.Т., Мазурак А.В. Інженерне екологія. Аспекти енергозбереження: навчальний посібник. Львів. Априорі, 2008. 221с.
- 19.Сорти волоського (грецького) горіха Буковинської селекції. Стаття з журналу „Садівництво“, № 1, 2015 р. URL: [http://vodospad.com/sorti\\_gretskogo\\_gorikhu.html](http://vodospad.com/sorti_gretskogo_gorikhu.html) (дата звернення 16.12.2023).
- 20.Стандарт підприємства: дипломні і курсові проекти (роботи), загальні вимоги до оформлення. Львів: ЛНАУ, 2017. 13 с.
- 21.Стрела Т. Е. Орех грецкий / отв. ред. К. М. Сытник. Киев: Наукова думка, 1990. 192 с.
- 22.Хайліс Г. А. Планування польового дослідження і статистична обробка даних. Київ: Урожай, 2002. 207 с.
- 23.Хайліс Г. А., Ковалев М. М. Дослідження сільськогосподарської техніки і обробка експериментальних даних. Київ: Урожай, 2004. 169 с.

24. Шевчук Р. С., Крупич О. М. Економічна оцінка спеціалізованої сільськогосподарської техніки: методичні рекомендації Львівського ДСГІ. Львів: Львівський ДСГІ, 1994. 27 с.
25. Шевчук Р. С., Крупич Р. О. Модернізований ручний струшувач плодів. *Техніка і технології АПК*. 2015. № 3(66). С. 24 – 26.