

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” 20 р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
Андрій ВОЙТІК
(підпис) (ініціали, прізвище)

ДИПЛОМНА РОБОТА
магістр
(освітній рівень)

тема роботи **«ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЧНОГО
ВІБРОУДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-з-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Вовк Н.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.е.н., доцент, Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2023 рік

РЕФЕРАТ

Вовк Н.А. Дослідження параметрів ручного віброударного струшувача волоських горіхів (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на 58 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 23 рисунки, 10 таблиць, 18 джерел літератури).

Теоретично обґрунтовано параметри ручного віброударного струшувача волоських горіхів. Встановлено залежності переміщення, швидкості та прискорення гілки в місці захвату від частоти струшування, відстані захвату, зазору між ковзними чашками в ударному механізмі, кута направленості коливань та діаметра гілки в основі. Розраховано потужність струшування волоських горіхів зі скелетних гілок ручним віброударним струшувачем. Доведено ефективність віброударного режиму струшування порівняно з вібраційним.

Мета роботи – підвищення ефективності знімання волоських горіхів шляхом обґрунтування параметрів ручного віброударного струшувача.

Об'єкт дослідження – дерева волоського горіха сортів, ручний віброударний струшувач та технологічний процес знімання плодів.

Предмет дослідження – залежності показників ефективності знімання волоських горіхів від параметрів ручного віброударного струшувача з урахуванням механіко-технологічних властивостей скелетних гілок як об'єктів коливань.

Ключові слова: ВОЛОСЬКІ ГОРІХИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВІБРОУДАРНИЙ СТРУШУВАЧ, СТРУШУВАННЯ, ВІБРОУДАРНИЙ РЕЖИМ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ.....	8
1.1. Аналіз способів, технологічних схем і засобів для збирання волоських горіхів.....	8
1.2. Огляд ручних струшувачів плодів.....	12
1.3. Мета та завдання досліджень.....	15
Висновки по розділу.....	22
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЧНОГО ВІБРОУДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....	23
2.1. Структурна та принципова схеми ручного віброударного струшувача плодів.....	23
2.2. Параметри коливань плодової гілки в місці захвату.....	25
2.3. Потужність струшування скелетної гілки.....	00
Висновки по розділу.....	28
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЧНОГО ВІБРОУДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....	29
3.1. Опис модернізованого ручного віброударного струшувача волоських горіхів.....	29
3.2. Результати досліджень ручного віброударного струшувача волоських горіхів.....	31
3.2.1. Коефіцієнти жорсткості та в'язкого опору відхиленню складових ручного віброударного струшувача.....	
3.2.2. Повнота знімання горіхів та режими роботи ручного віброударного струшувача.....	
3.2.3. Параметри коливань рукояток віброударного струшувача.....	
3.3. Результати господарських випробувань ручного віброударного струшувача волоських горіхів.....	
Висновки по розділу.....	35

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	36
4.1. Організація умов та заходів з охорони праці в господарстві.....	36
4.2. Моделювання травмонебезпечних ситуацій при роботі з ручним віброударним струшувачем волоських горіхів.....	38
Висновки по розділу.....	39
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РУЧНОГО ВІБРОУДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....	40
Висновки по розділу.....	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

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 насадження якої зосереджені у західному регіоні України, особливо у Чернівецькій області. Щорічно в Україні вирощується до 27 тис. тонн горіхів, проте їх дефіцит на європейському ринку становить 100 тис. тонн.

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

Горіхові насадження в Україні часто не відповідають вимогам підготовки до використання плодозбиральних машин, тому урожай збирається вручну. Іноді застосовуються допоміжні засоби для полегшення умов праці, але продуктивність і повнота збирання доволі низькі. Враховуючи це, тема досліджень на сьогодні є актуальною, що потребує подальшого розгляду.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

1.1. Аналіз способів, технологічних схем і засобів для збирання волоських горіхів

На теперішній час волоські горіхи збираються за технологіями й технічними засобами, призначеними першочергово для плодових культур. Тобто, збирання здійснюється трьома способами: ручним з використанням допоміжних засобів; частково механізованим, що передбачає механізацію окремих операцій; механізованим з використанням комбайнів та плодозбиральних машин із завершеним технологічним циклом [2].

Міцна оболонка запобігає пошкодженню волоських горіхів під час збирання, що сприяє запровадженню механізованих технологій. Волоські горіхи можна збирати прямим комбайнуванням або ж здійснюється роздільне збирання, коли плоди знімаються на підготоване міжряддя чи уловлювальне полотно. На першому етапі роздільного збирання використовуються струшувачі плодів, а в подальшому можливе використання підбирачів, зокрема пневматичних [7].

Найпоширеніша в Україні технологія ручного збирання передбачає підбирання вручну горіхів, що самовільно опали з дерева у міжряддя, потім здійснюється затарювання і транспортування урожаю з саду на пункти зберігання. Зібрані горіхи доцільно транспортувати контейнеровозами, наприклад ВУК-3А, оснащеним завантажувальним краном. Контейнеровоз ВУК-3А завозить і розставляє в міжряддях саду порожні контейнери, які після заповнення завантажуються краном на платформу контейнеровоза і вивозяться з саду [3]. Схеми посадки волоського горіха сприяють ефективному використанню контейнеровозів.

Підвищеною продуктивністю відзначається частково механізоване збирання з використанням ручних струшувачів, що забезпечують механізоване знімання горіхів на розстелені у міжряддях уловлювачі. Для цього формується

ланка з працівника-збирача, оснащеного ручним струшувачем, та двох допоміжних працівників з двома переносними уловлювачами. Обслуговує таку ланку контейнеровоз ВУК-3А (рис. 1.1).

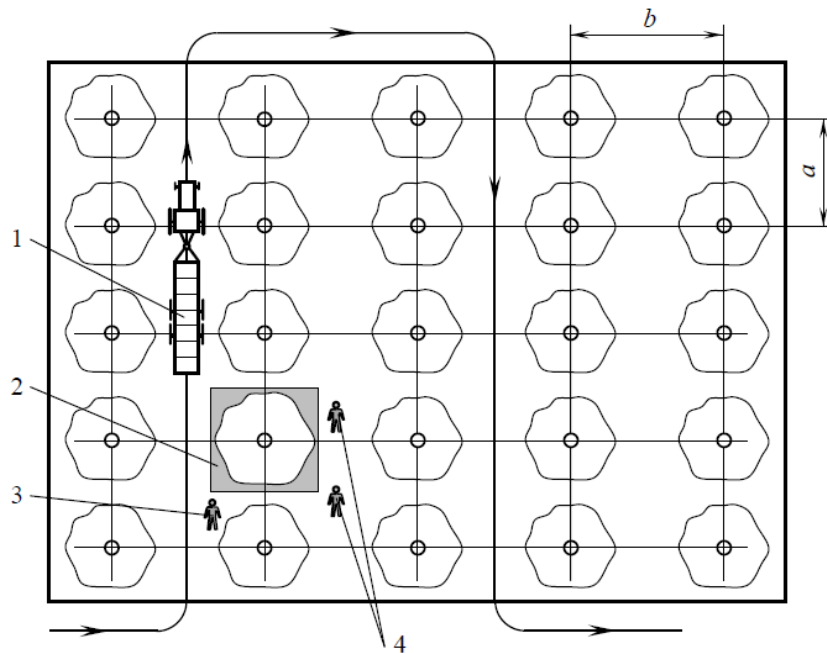


Рисунок 1.1 – Технологічна схема збирання горіхів

(a – відстань між деревами в ряду; b – ширина міжряддя; $b \times a$ – схема посадки): 1 – контейнеровоз; 2 – переносний уловлювач;
3 – працівник-збирач, оснащений ручним струшувачем плодів;
4 – допоміжні працівники

Під час збирання допоміжні працівники встановлюють один уловлювач під кроною дерева, після чого працівник-збирач послідовно накладає захват ручного струшувача на одну за одною скелетні гілки, струшуванням яких забезпечує механізоване знімання горіхів, що опадають на встановлений під кроною уловлювач, а в цей час допоміжні працівники встановлюють інший уловлювач під наступним деревом. Зняті на перший уловлювач горіхи перевантажуються допоміжними працівниками в тару контейнеровоза, зупиненого поруч у міжрядді, а працівник-збирач із струшувачем підходить до наступного дерева. Така технологічна схема (рис. 1.2) найбільш ефективна в насадженнях, не підготованих до механізованого збирання [9].

В садах підготованих до механізованого збирання, доцільно використовувати плодозбиральну техніку – струшувачі, машини і комбайни, призначені для прямого чи роздільного збирання.

Відомі плодозбиральні машини і комбайни МПУ-1, МПУ-1А, ВУМ-15, ВУМ-15А, КПУ-2, КПУ-2А мають завершений технологічний цикл – від струшування до затарювання плодів і в основному відрізняються типом збурювачів коливань. Для збирання плодів кісточкових, зерняткових і горіхоплідних культур використовуються плодозбиральні машини МПУ-1 і МПУ-1А, вишні і черешні – ВУМ-15, ВУМ-15А, переважно зерняткових культур – плодозбиральні комбайни [2].

Особливість крон волоського горіха порівняно з іншими плодовими деревами полягає в набагато більших розмірах і жорсткості штамбів, центральних провідників й гілок різних порядків, а також у значній тривалості періоду плодоношення. Для знімання горіхів доцільно використовувати інерційні струшувачі, що не мають жорсткого зв'язку з остовом плодозбирального засобу, а коливання дерев під дією сил інерції генерується кривошипно-шатунними чи дебалансними механізмами.

На базі самохідного шасі Т-16М була сконструйована плодозбиральна самохідна машина МПУ-1 (рис. 1.2) [5], призначена для збирання кісточкових та зерняткових плодів з дерев, діаметр крони яких не перевищує 6 м, а діаметр штамбів – 200 мм.

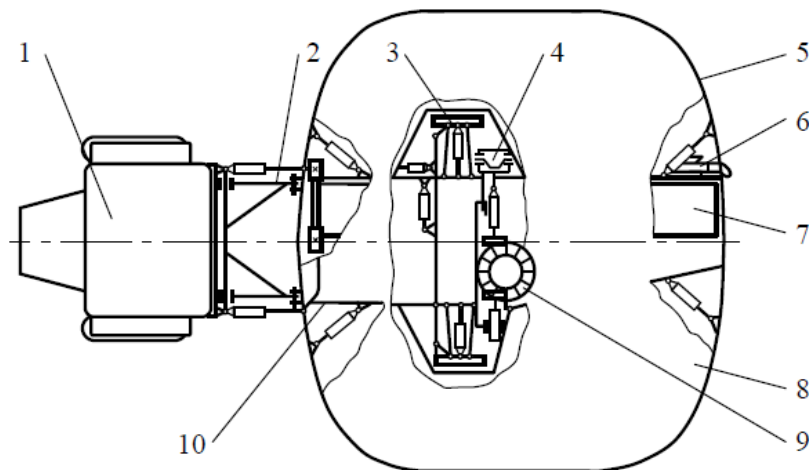


Рисунок 1.2 – Схема плодозбиральної машини МПУ-1:

- 1 – самохідне шасі Т-16М; 2 – паралелограмні механізми; 3 – передній міст;
 4 – інерційний струшувач; 5 – розтяжки; 6 – вентилятор;
 7 – повздовжній вивантажувальний транспортер ; 8 – уловлювач;
 9 – ущільнювач штамбів; 10 – рама

Машина МПУ-1 позиційної дії із завершеним технологічним циклом, тобто забезпечує знімання, уловлювання, транспортування і затарювання плодів; оснащена інерційним струшувачем і може використовуватися для збирання волоських горіхів.

Нідерландська фірма Munckhof випускає плодозбиральний комбайн (рис. 1.3), що складається з двох секцій, які під час збирання рухаються паралельно. На одній секції встановлено турельний струшувач у вигляді стріли із захватом та інерційним збурювачем коливань, який дозволяє коливати штаб, центральний провідник чи скелетні гілки дерев [17].



Рисунок 1.3 – Плодозбиральний комбайн нідерландської фірми Munckhof

Комбайн характеризується високою продуктивністю, може працювати у напів- чи повністю автоматизованому режимах, забезпечуючи завершений цикл збиральних робіт від знімання до затарювання плодів. Потужний збурювач коливань дозволяє використовувати плодозбиральний комбайн у вишневих садах, а також під час збирання інших плодових культур, в тому числі й волоських горіхів з дерев віком до 20 років, висота яких не перевищує 4 м, а діаметр крони – 5 м [17].

Волоські горіхи можуть збиратися роздільно, тобто – струшуються у міжряддя, а потім підбираються. В цьому випадку доцільно використовувати турельні струшувачі, що монтуються на окремих енергетичних засобах.

Відома французька фірма AMB ROUSSET виготовляє інерційні дебалансні струшувачі для збирання плодових і горіхоплідних культур (рис. 1.4) [18].

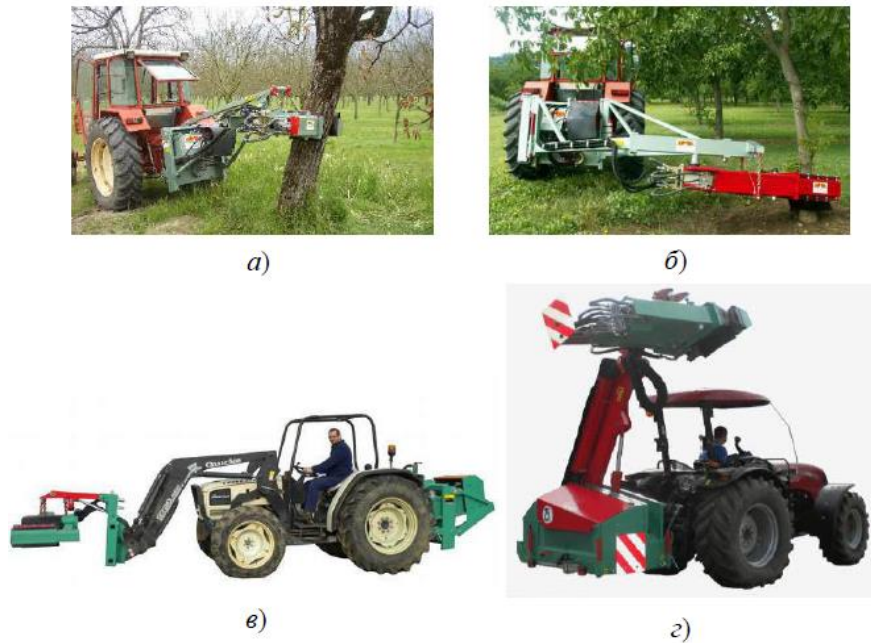


Рисунок 1.4 – Моделі інерційних струшувачів французької фірми AMB ROUSSET: *a* – VNB-D-E; *б* – VNP; *в* – VNF; *г* – VNT

Струшувачі моделей VNB-D-E, VNP, VNF в агрегатах з тракторами підвішуються на ланцюгах, причому їх привід здійснюється гідродвигунами, що живляться від автономних гідросистем [18].

Використання плодозбиральних машин, комбайнів і струшувачів можливе в садах, підготованих до механізованого збирання. Для промислових горіхових садів важливе формування прорідженої крони й штамбів висотою не менше 1,5м, що дозволяє струшувати горіхи в результаті передачі збурювальних зусиль штамбу, центральному провіднику чи скелетним гілкам дерева.

Простою конструкцією відзначається тросовий струшувач моделі SEC французької фірми AMB ROUSSET (рис. 1.5) [17].



Рисунок 1.5 – Тросовий вібраційний струшувач плодів моделі SEC французької фірми AMB ROUSSET

Такий тросовий струшувач складається із збурювача коливань вібраційної дії, що навіщується за триточковою схемою ззаду трактора з мінімальною потужністю двигуна 40 к.с. і приводиться в дію від вала відбору потужності. Віброзбурювач за допомогою троса та петлі-захвата з'єднується з центральним провідником чи скелетною гілкою дерева (рис. 1.5); продуктивність тросового струшувача 20 дерев/год.

Збільшення прискорень плодоносних гілок та генерування широкого спектру частот під час віброударного струшування дозволяє реалізувати режими коливань, що забезпечують агротехнічну необхідну повноту знімання за умов зниження амплітуди коливань і пошкоджень гілок.

До основних переваг механізованого способу збирання з використанням технічних засобів належать: висока повнота знімання плодів; низька трудомісткість; висока продуктивність, яка дозволяє витримати агротехнічні строки збирання. Недоліки цього способу: пошкодження крони, кореневої системи та кори у місці прикладання збурювальної сили; складність реалізації на схилах, в загущених насадженнях без формування крони; великі енергозатрати.

1.2. Огляд ручних струшувачів плодів

Найбільш поширений в Україні ручний спосіб збирання волоських горіхів з використанням допоміжних засобів, що полегшують ручну працю (драбини, плодозбиральні сумки, столи, підставки, відра) [2]. Основні недоліки цього способу – висока трудомісткість, низька продуктивність і потреба великої кількості сезонних працівників під час збирального сезону. Вказані недоліки залежать від типу насаджень, величини плодів, продуктивності працівників та технології й організації процесу збирання. Волоські горіхи не пошкоджуються під час опадання на землю, оскільки ядро знаходиться в твердій оболонці, тому працівники спочатку вручну струшують горіхи, а потім підбирають [8]. Зібрані горіхи засипають в контейнери, що перевозяться контейнеровозами ВУК-3А. У

збиральний сезон формуються ланки по 15 – 30 чоловік залежно від урожайності й типу насаджень.

Для підвищення продуктивності збиральних робіт доцільно використати ручні струшувачі у вигляді збурювача коливань із штангою, на якій закріплений захват. Залежно від приводу струшувачі бувають механічні, пневматичні, гідравлічні та електричні [4].

Технологічний процес роботи ручних струшувачів полягає в наступному. Працівник-збирач, утримуючи струшувач, підходить до дерева, охоплює скелетну гілку і приводить в дію збурювач коливань. Плоди опадають на завчасно встановлений під кроною уловлювач, а потім пересипаються в тару. Ручні струшувачі в поєднанні з різними типами уловлювачів забезпечують знімання 95 % плодів, підвищують продуктивність порівняно з ручним збиранням в 3 – 5 разів, зменшують затрати праці в 2 – 3 рази та собівартість продукції [3].

Бонським інститутом садівництва (Німеччина) розроблений і випробуваний агрегат OEG-8 для збирання дрібних плодів [17]. Агрегат містить шасі на пневматичних колесах, на якому змонтований двигун внутрішнього згоряння з електрогенератором для живлення електродвигунів приводу двох ручних струшувачів. Кожен струшувач OEG-8 і OEG-12 (рис. 1.6) утримується працівником-збирачем в руках та перекинутаю через плече лямкою. На довгій штанзі 2 встановлений гак-захват 1, внутрішня поверхня якого вистелена гумовим покриттям. Гак-захват 1 коливається з частотою 17 Гц й амплітудою 45 – 50 мм, а приводиться в дію електродвигуном 7 через зубчасту 6 і пасову 5 передачі, кривошипно-шатунний механізм 4; маса ручного струшувача 10 кг.

Основні недоліки такого агрегату полягають у використанні електродвигунів та електрогенератора з двигуном внутрішнього згоряння, що створює додаткові труднощі стосовно безпеки праці й загазованості середовища під час збирання плодів. Також спостерігається пошкодження плодових гілок, особливо кори в місці охоплення й передачі збурювальних

зусиль. Значні коливні навантаження передаються працівнику-збирачу під час утримання і управління ручним струшувачем.

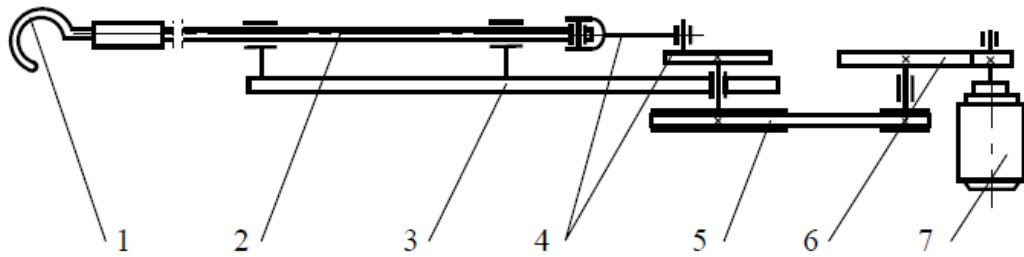


Рисунок 1.6 – Схема ручних струшувачів OEG-8 і OEG-12 (Німеччина):

1 – гак-захват; 2 – штанга; 3 – остов; 4 – кривошипно-шатунний механізм;
5, 6 – пасова і зубчаста передачі; 7 – електродвигун

Ручні струшувачі плодів можуть оснащуватися пневматичними збурювачами коливань. Зокрема, струшувач [6] складається з телескопічної штанги 1 (рис. 1.7) з рукоятками 2, що кріпляться до патрубку 3 з клапаном управління 4. На штанзі 1 змонтований пневматичний віброциліндр 5, шток 9 якого з'єднаний з гакм 6, покритим еластичним матеріалом. Гак 6 з підтискним важелем 7 охоплюють гілку в місці передачі збурювальних зусиль. Пневматичний віброциліндр 5 складається з корпусу 8, в якому розташований поршень 10 зі штоком 9. В задній частині корпусу 8 встановлений золотник 11 з клапаном 12, які перерозподіляють повітряні потоки і генерують вібрацію гака 6. Частота вібрації змінюється регулятором 13 швидкості подачі повітря від компресора, з'єданого з валом відбору потужності мотоблока потужністю 4,16 кВт. Компресор забезпечує тиск до 0,7 МПа, а витрата – 0,5-0,6 м³/хв [14].

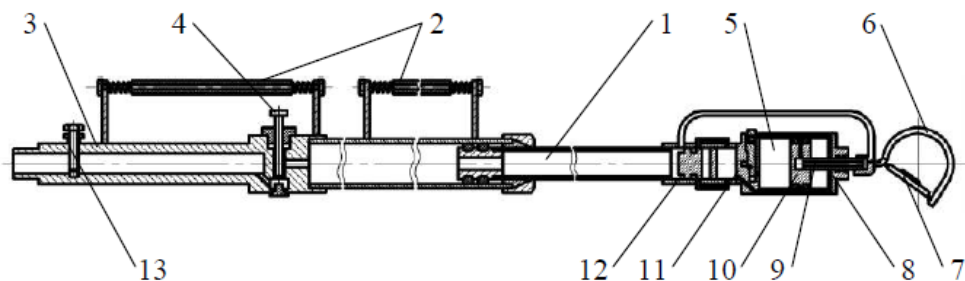


Рисунок 1.7 – Схема ручного пневматичного струшувача плодів:

1 – телескопічна штанга; 2 – рукоятки; 3 – вхідний патрубок; 4 – клапан управління; 5 – пневматичний віброциліндр; 6 – гак; 7 – підтискний важіль;
8 – корпус віброциліндра; 9 – шток; 10 – поршень; 11 – золотник; 12 – клапан;
13 – регулятор швидкості (дросель)

Якщо частота вібрації 15-18 Гц й амплітуда 30-35 мм, повнота знімання слив, лісових горіхів та мигдалю перевищує 95 %. Продуктивність працівника-збирача, оснащеного таким струшувачем плодів, становила 6-8 дерев/год, що в 3-5 раз більше від ручного збирання [6].

Основний недолік ручного струшувача з пневматичним віброзбудовувачем зумовлений використанням мотоблока з компресором, що знижує маневреність, а значить продуктивність працівника-збирача.

Широко використовуються ручні вібраційні струшувачі плодів з двигунами внутрішнього згоряння потужністю 2-3,5 кВт [18]. Такі струшувачі (рис. 1.8) містять кривошипно-повзунні збудовувачі коливань 2, які через штангу 4 і захват 5 передають збудовувальні зусилля скелетним гілкам чи центральним провідникам дерев. Утримує і маневрує струшувачем працівник-збирач за допомогою лямки й тримача 3 з важільцем регулювання паливоподачі.

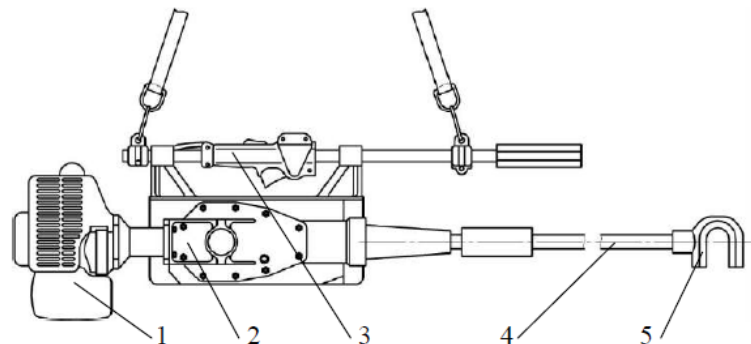


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд ручного вібраційного струшувача плодів:

1 – двигун внутрішнього згоряння з відцентровою муфтою; 2 – збудовувач коливань кривошипно-повзунного типу; 3 – тримач з важільцем регулювання паливоподачі; 4 – штанга; 5 – захват

Італійська фірма „Cifarelli“ розробила свої двигуни внутрішнього згоряння марок С5 і С7, на основі яких виготовляє ручні знаряддя для садівництва – обприскувачі, повітрорудки, вакуумні підбирачі плодів з землі, а також вібраційні струшувачі для збирання оливок, що можуть використовуватися і для горіхоплідних культур [12].

Фірма „Cifarelli“ виготовляє ручні струшувачі SC800 та SC105 (рис. 1.9) [17, 18], призначенні для збирання оливок шляхом передачі скелетним гілкам

дерев гармонічних коливань (вібрації) із заданою частотою та амплітудою. Привід струшувачів забезпечують одноциліндрові бензинові двотактні двигуни 1 внутрішнього згоряння Cifarelli C5 та C7 з повітряним охолодженням [17, 18]. Коливання кривошипно-повзунного збурювача 3 через штангу і захват, що приєднуються до коливного повзуна 4, передаються гілці або центральному провіднику дерева.

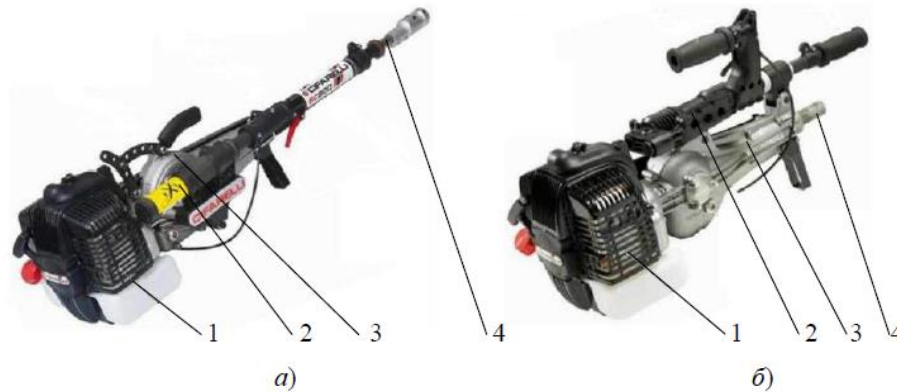


Рисунок 1.9 – Італійські ручні струшувачі плодів „Cifarelli” (а – SC800; б – SC105): 1 – двигун внутрішнього згоряння з відцентровою муфтою; 2 – механізм утримання та управління; 3 – збурювач коливань кривошипно-повзунного типу; 4 – коливний повзун (приєднувана до повзуна штанга із захватом не показані)

Основні технічні характеристики ручного вібраційного струшувача SC800 [18]: маса 14,9 кг; частота струшування 33 Гц; хід повзуна 62 мм. Струшувач оснащений антивібраційною системою, яка зменшує передачу вібрації працівнику-збирачу в 4 рази порівняно зі струшувачами без цієї системи, в результаті чого створюються безпечні умови праці. В період повної стиглості повнота знімання оливков струшувачем становить 90-95% [17].

У ручних струшувачах SC800, SC105 частота струшування гілок змінюється частотою обертання приводу – колінчастого вала двигуна внутрішнього згоряння. Проте, змінюючи частоту обертання колінчастого вала двигуна, спектр частот струшування гілок не охоплює діапазон необхідних частот струшування, тому повнота знімання плодів низька.

Для забезпечення високої повноти знімання плодів спектр частот струшування гілок повинен охоплювати діапазон необхідних частот

струшування, а це можна досягти віброударним режимом роботи збурювача коливань [10, 11].

1.3. Мета та завдання досліджень

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. Тому, є необхідність таких досліджень.

Метою роботи є підвищення ефективності знімання волоських горіхів шляхом обґрунтування параметрів ручного віброударного струшувача.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання.

1. Проаналізувати способи, технологічні схеми й засоби збирання волоських горіхів і на цій основі обґрунтувати вимоги та створити схему ручного віброударного струшувача.

2. Теоретично обґрунтувати параметри ручного віброударного струшувача волоських горіхів.

3. Розробити конструкцію ударного механізму і вилчастого захвата, які введені до складу ручного віброударного струшувача волоських горіхів.

4. Дослідити закономірності зміни продуктивності й повноти знімання горіхів та оцінити коливання на рукоятках струшувача з точки зору безпечних умов праці збирача урожаю.

5. Визначити економічну ефективність ручного віброударного струшувача волоських горіхів.

Висновки по розділу

В першому розділі здійснено огляд засобів для збирання волоських горіхів, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва.

Для забезпечення високої повноти знімання волоських горіхів спектр частот струшування гілок в місці їх захвату повинен охоплювати діапазон необхідних частот струшування, а це досягається віброударним режимом роботи збурювача коливань.

Визначено, що створення ручних віброударних струшувачів для збирання волоських горіхів вимагає проведення теоретичних та експериментальних досліджень з обґрунтування основних параметрів та режимів роботи, що забезпечують агротехнічно необхідну повноту знімання, без пошкодження скелетних гілок та негативного впливу на працівника-збирача.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЧНОГО ВІБРОУДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

2.1. Структурна та принципова схеми ручного віброударного струшувача плодів

Для механізованого збирання плодів волоського горіха все частіше застосовують вібраційні струшувачі плодів, хоча вібраційні засоби не завжди забезпечують високу, агротехнічно необхідну повноту знімання плодів, яка залежить від частоти струшування дерев і, зокрема, гілок в місці їх захвату. Плодоносні гілки мають різні діаметри й довжину, а від цих розмірів залежить необхідна частота струшування гілок, за якої досягається висока повнота знімання плодів, тобто діапазон необхідних частот струшування гілок крони доволі широкий. Для забезпечення високої повноти знімання плодів спектр частот струшування гілок в місці їх захвату повинен охоплювати діапазон необхідних частот струшування. Тому, доцільно використовувати не вібраційні, а віброударні ручні струшувачі плодів, які відповідають такій вимозі й забезпечують підвищення повноти знімання плодів.

Структурна схема ручного віброударного струшувача плодів (рис. 2.1) представлена віброударним збурювачем коливань 1, що містить кривошипно-повзунний механізм 2 із закріпленням на його повзуні ударним механізмом 3, який за допомогою штанги 4 сполучений із захватом 5. Привід струшувача забезпечує двигун внутрішнього згоряння 6 через відцентрову муфту 7, а утримується даний засіб працівником-збирачем за допомогою механізму утримання і управління 8 [14].

Ручний віброударний струшувач [8, 17], що створений шляхом модернізації вібраційного струшувача SC-105 [17], містить (рис. 2.2) збурювач коливань 1 кривошипно-повзунного типу, виконаний у вигляді корпусу 2, в опорах обертання якого на валах змонтовані ведуча 3 та ведена 4 конічні шестерні. На веденій конічній шестерні 4 встановлений кривошип 5, шарнірно

з'єднаний із шатуном 6, що шарнірно сполучений з повзуном 7, змонтованим у напрямній корпуса 2 збурювача коливань 1. До корпуса 2 прикріплений корпус 8 відцентрової муфти 9 у вигляді ведучої 10 та веденої 11 частин. Ведуча частина 10, що виконана як маточина з шарнірно встановленими на ній тягарцями, з'єднана з двигуном внутрішнього згоряння 12, прикріпленим до корпуса 8 відцентрової муфти 9. Ведена частина 11 відцентрової муфти 9 змонтована на валу ведучої конічної шестерні 3.

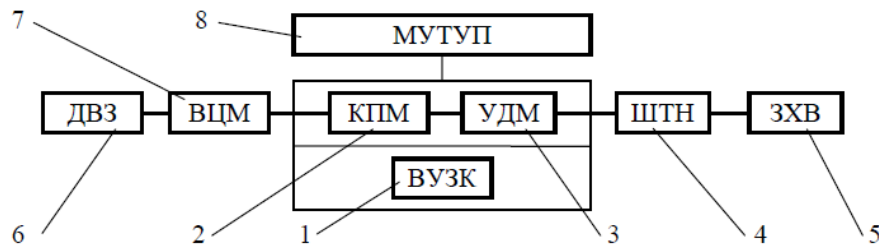


Рисунок 2.1 – Структурна схема віброударного струшувача плодів

Струшувач оснащений ударним механізмом 13 з регульованим ударним імпульсом. Виконаний ударний механізм 13 у вигляді циліндра 14 та прикріплених до його торців кришок-упорів 15 і 16. Одна кришка-упор 15 з'єднана з повзуном 7 збурювача коливань 1, а у циліндрі 14 встановлені ковзні чашки 17 й 18, між якими розташована пружина 19 та шайби 20 регулювання її попереднього натягу. В ковзних чашках 17 й 18 встановлений ковзний шток 21 з упорами 22 та 23 і шайбами 24 регулювання зазору між цими чашками. До ковзного штока 21 прикріплена штанга 25 з важелем 26 її повертання, й на штанзі 25 встановлений вилчастий захват 27, оснащений еластичними подушками 28 і 29. Названі подушки розташовані під певним кутом одна до одної, формучи клиновий розхил, в який входять гілки.

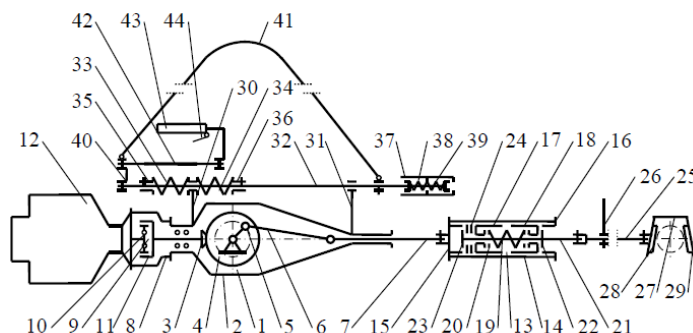


Рисунок 2.2 – Принципова схема ручного віброударного струшувача плодів

До корпусу 2 збурювача коливань 1 прикріплені кронштейни 30 й 31, в отворах яких змонтована напрямна штанга 32 механізму утримання і управління струшувачем. На напрямній штанзі 32 встановлені демпферні пружини 33 та 34 і упори 35 й 36 регулювання попереднього натягу цих пружин. На передній частині напрямної штанги 32 встановлена рукоятка 37 з демпферними пружинами 38 і 39, а на задній частині напрямної штанги 32 змонтований поперечний важіль 40. Одним кінцем до важеля 40 прикріплена утримувальна лямка 41, з'єднана іншим кінцем з напрямною штангою 32. До поперечного важеля 40 також приєднана еластична вставка 42, на якій закріплена рукоятка 43 з важільцем 44 управління системою подачі палива двигуна внутрішнього згоряння 12 струшувача.

Ручний віброударний струшувач плодів завдяки широкому спектру частот струшування гілок в місці їх захвату забезпечує підвищення повноти знімання плодів.

Досліджуючи ручний віброударний струшувач для збирання плодів волоського горіха, теоретичному обґрунтуванню підлягають такі параметри: частота обертання кривошипа збурювача коливань, тобто частота струшування; зазор між ковзними чашками в ударному механізмі, що забезпечує генерування ударного імпульсу під час зворотно-поступального руху повзуна збурювача коливань; переміщення, швидкість та прискорення коливань плодової гілки в місці захвату; потужність ручного віброударного струшувача, яка затрачається на коливання скелетної гілки. Такі дослідження дозволять підвищити ефективність застосування ручних віброударних струшувачів під час збирання плодів волоського горіха, а також сприятимуть зменшенню пошкодження кори плодових гілок і втрати продуктивності саду в наступні роки.

2.2. Параметри коливань плодової гілки в місці захвату

Розв'язок системи диференціальних рівнянь, здійснювався методом Рунге-Кутта [16] за допомогою програми для скелетних гілок, поділених залежно від діаметра гілки в основі на дві розмірні групи: перша – 50-70 мм та

друга – 70-90 мм. Дані групи гілок характеризуються своїми розмірно-масовими та механіко-технологічними показниками, які впливають на вибір режимів роботи струшувача для забезпечення відокремлення горіхів від гілок.

Умови роботи ручного струшувача плодів в горіхових насадженнях відзначаються мінливістю відстані захвату ℓ_z , тобто відстані прикладання збурювальних зусиль вздовж скелетних гілок відносно їх основи діаметром D_r . Для гілок першої групи зі значеннями діаметра $D_r = 50-70$ мм відстань захвату ℓ_z змінювалась в діапазоні 1,25-1,75 м, при цьому коефіцієнт жорсткості c_z , зведена маса гілки m_r за першою частотою та коефіцієнт в'язкого опору n_{v_r} відповідали діапазнам 429,02–3210,68 Н/м, 5,991–40,872 кг та 97,415–724,505 Н·с/м. Значення вказаних показників для гілок другої групи ($D_r = 70-90$ мм) становили: $\ell_z = 1,75-2,25$ м; $c_z = 474,61-2260,61$ Н/м; $m_r = 6,042-25,589$ кг; $n_{v_r} = 107,102-481,03$ Н·с/м. Нижчі межі представлених діапазонів для кожної групи гілок відповідали мінімальним значенням діаметра гілки в основі та максимальним значенням відстані прикладання збурювальних зусиль.

Також вихідними даними для розрахунку ручного віброударного струшувача плодів служать його розмірні, масові та жорсткісно-демпфірувальні показники елементів конструкції, що створена на базі ручного вібраційного струшувача для збирання оливок моделі SC-105 італійської фірми CIFARELLI.

Як свідчать розрахунки, зміна переміщення, швидкості й прискорення гілки (рис. 2.3) в місці передачі захватом збурювального зусилля має синусоїдальний характер і залежить від віброударного режиму роботи струшувача, а саме роботи кривошипно-повзунного та ударного механізмів. Коливання гілки можна розділити на три етапи: I, I' – до удару; II, II' – під час удару і після нього – III, III'. Ударний імпульс збурюється за один період двічі, причому етапи I, II, III відповідають відштовхувальному руху повзуна збурювача коливань, а I', II', III' – притягальному руху.

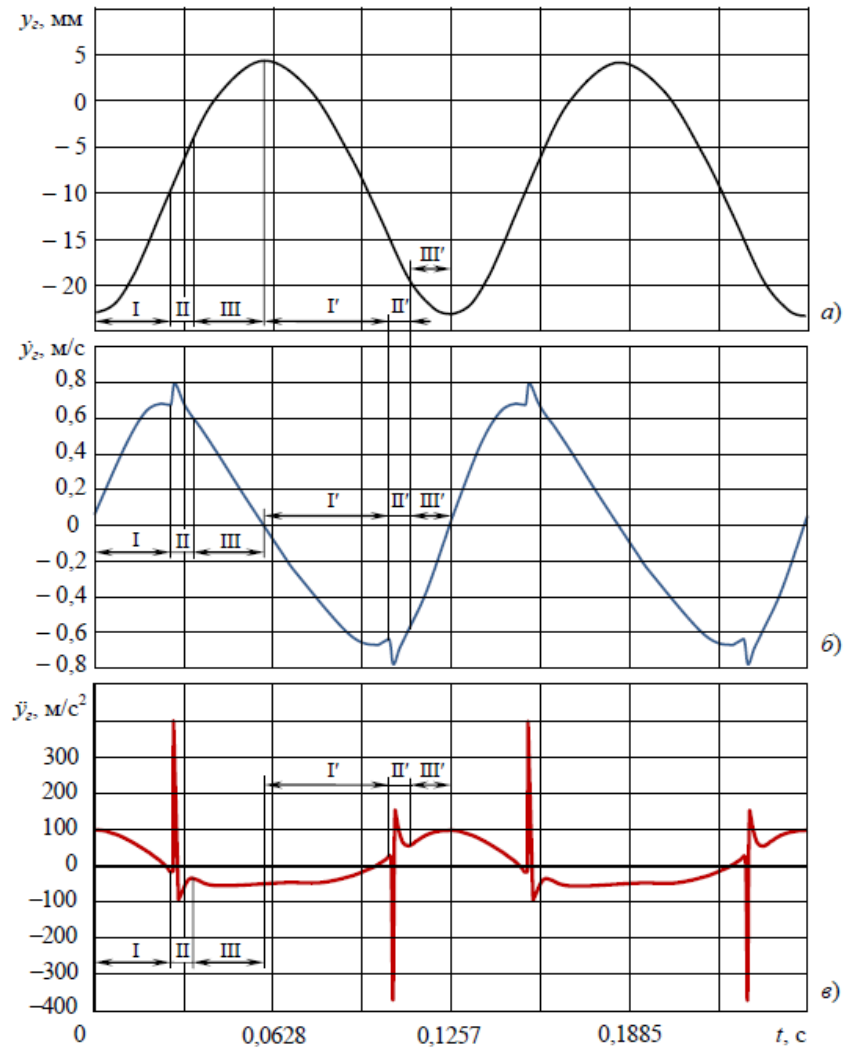


Рисунок 2.3 – Закономірності зміни в часі переміщення (а), швидкості (б) та прискорення (в) гілки в місці захвату, якщо діаметр гілки

в основі $D_r = 50$ мм; відстань захвату $\ell_z = 1,75$ м; частота струшування $\omega_c = 50$ рад/с; початковий зазор між ковзними чашками ударного механізму $\Delta_0 = 5$ мм; кут направленості коливань $\alpha = 40^\circ$ (етапи коливання гілки: I, II, III – відштовхувальний рух; I', II', III' – притягальний рух)

Під час обертання кривошипа й переміщення повзуна до удару передається гілці збурювальне зусилля за рахунок сили пружності стиснутої пружини ударного механізму, і коливний рух гілки відповідає вібраційному режиму. Повзун розганяється, зростають його переміщення та швидкість (рис. 2.3 а, б), але зменшується прискорення (рис. 2.3 в). З наближенням до максимального значення швидкості чи досягненням цього значення ковзні чашки входять в контакт. Генерується ударний імпульс, супроводжуваний стрімким зростанням прискорення (рис. 2.10 в), яке значно перевищує

прискорення вібраційного режиму, а після удару гілка знову переходить у вібраційний режим. Під час зворотного руху повзуна вказаний цикл повторюється, лише у протилежному напрямі, тобто за один оберт кривошипа генеруються два ударні імпульси.

Якщо штанга струшувача рухається вверх, то й удар наноситься знизу вверх, протидіючи силі тяжіння гілки, а за зворотного руху штанги удар наноситься зверху вниз за дією вказаної сили тяжіння, що впливає на характер коливання гілки та струшувача.

Розрахунки підтвердили, що під час віброударного режиму роботи струшувача забезпечується значне зростання прискорення гілки за незначних змін переміщення і швидкості (рис. 2.3). Досягається необхідне прискорення струшування за значно менших частот обертання кривошипа збурювача коливань, тобто на знижених швидкісних режимах привідного двигуна внутрішнього згоряння. Це дозволить підвищити повноту збирання волоських горіхів шляхом передачі збурювального зусилля скелетним гілкам, а також поліпшити умови праці збирача горіхів, підвищити його продуктивність, знизити витрату палива й уникнути пошкодження плодових гілок і кори в місці захвату.

Аналіз максимальних значень переміщення гілок u_r в місці захвату свідчить (табл. 2.1, 2.2; рис. 2.4, 2.5), що переміщення залежить від частоти струшування ω_c , жорсткісно-демпфірувальних і масових показників гілок, зведених до місця захвату, які, у свою чергу, залежать від відстані ℓ_z захвату та діаметра гілок в основі D_z . На переміщення гілок незначно впливають початковий зазор в ударному механізмі між ковзними чашками та кут направленості коливань. В табл. 2.1 і 2.2 подано максимальні значення переміщення гілок за віброударного режиму роботи у випадках середніх значень кута направленості коливань $\alpha = 60^\circ$ та початкового зазору $\Delta_0 = 7,5$ мм між ковзними чашками в ударному механізмі.

Таблиця 2.1 – Розрахункові максимальні значення переміщення гілок
першої розмірної групи в місці захвату ($\alpha = 60^\circ$, $\Delta_0 = 7,5$ мм)

Діаметр гілки в основі D_z , мм	Відстань ℓ_z , м	Переміщення гілки $y_{z\max}$, (мм), якщо: частота струшування ω_c , рад/с						
		40	50	60	70	80	90	100
50	1,25	10,9	13,0	14,7	15,9	16,8	17,4	17,5
	1,5	15,7	18,1	20,1	21,7	23,0	23,8	24,3
	1,75	18,8	21,3	23,3	24,9	26,7	27,0	27,4
60	1,25	7,8	9,5	10,9	12,0	12,9	13,4	13,6
	1,5	11,4	13,7	15,5	17,0	17,8	18,3	18,4
	1,75	15,1	17,5	19,5	21,0	22,1	22,8	23,1
70	1,25	5,6	7,0	8,2	9,2	9,9	10,4	10,7
	1,5	8,59	10,3	11,8	12,9	13,8	14,4	14,6
	1,75	12,3	14,5	16,3	17,8	18,8	19,4	19,6

Таблиця 2.2 – Розрахункові максимальні значення переміщення гілок
другої розмірної групи в місці захвату ($\alpha = 60^\circ$, $\Delta_0 = 7,5$ мм)

Діаметр гілки в основі D_z , мм	Відстань ℓ_z , м	Переміщення гілки $y_{z\max}$, (мм), якщо: частота струшування ω_c , рад/с						
		40	50	60	70	80	90	100
70	1,75	12,3	14,5	16,3	17,8	18,8	19,4	19,6
	2	15,8	18,5	20,6	22,3	23,4	24,0	24,1
	2,25	17,9	20,6	22,8	24,5	25,7	26,4	26,6
80	1,75	9,5	11,6	13,3	14,6	15,5	16,0	16,1
	2	13,3	15,6	17,4	18,9	19,9	20,5	20,6
	2,25	16,2	18,9	21,1	22,8	24,0	24,6	24,8
90	1,75	7,9	9,6	11,0	12,2	13,1	13,8	14,2
	2	10,9	13,1	14,9	16,4	17,5	18,2	18,6
	2,25	14,6	17,1	19,1	20,7	21,9	22,7	23,0

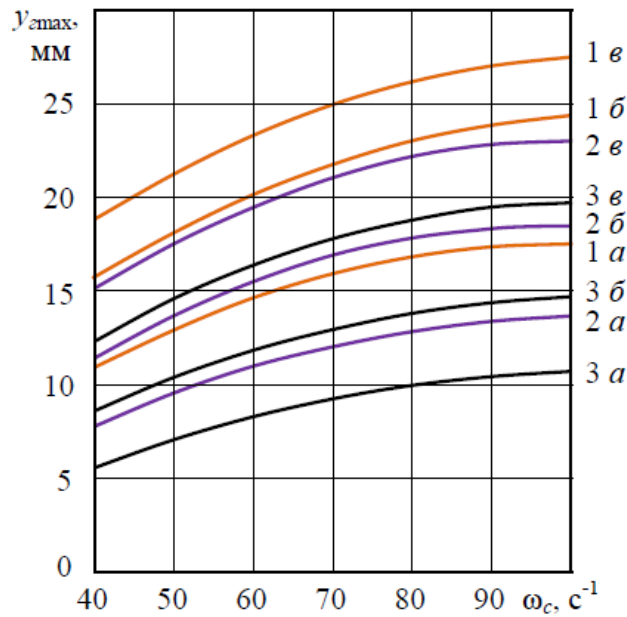


Рисунок 2.4 – Залежність максимального переміщення гілок $y_{\max}$ в місці

захвату від частоти струшування ω_c для гілок діаметром D_e в основі:

1 – 50 мм (—); 2 – 60 мм (—); 3 – 70 мм (—); відстань ℓ_z захвату:
 a – 1,25 м; b – 1,5 м; v – 1,75 м

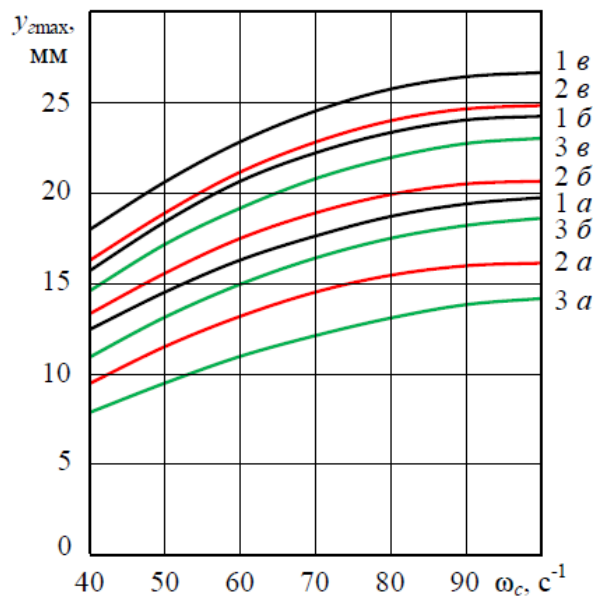


Рисунок 2.5 – Залежність максимального переміщення гілок $y_{\max}$ в місці

захвату від частоти струшування ω_c для гілок діаметром D_e в основі:

1 – 70 мм (—); 2 – 80 мм (—); 3 – 90 мм (—); відстань ℓ_z захвату: a –
 1,75 м; b – 2,0 м; v – 2,25 м

Переміщення гілок зростають із збільшенням кутової швидкості струшування ω_c від 40 до 100 рад/с, відстані ℓ_z захвату та із зменшенням діаметра гілок в основі D_e (рис. 2.4, 2.5).

Максимальні значення переміщення гілок першої групи (табл. 2.1, рис. 2.4) змінюються в діапазоні 5,6–27,4 мм, причому найменші переміщення характерні для випадку $\omega_c=40$ рад/с, $D_z=70$ мм і $\ell_z=1,25$ м, а найбільші – $\omega_c=100$ рад/с, $D_z=50$ мм й $\ell_z=1,75$ м. Для гілок другої групи (табл. 2.2, рис. 2.5) найменше переміщення в місці захвату становить 7,9 мм, якщо $\omega_c=40$ рад/с, $D_z=90$ мм і $\ell_z=1,75$ м, а найбільше – 26,6 мм у випадку $\omega_c=100$ рад/с, $D_z=70$ мм та $\ell_z=2,25$ м.

Отримані результати розрахунку максимальних значень швидкості $\dot{y}_{z\max}$ гілок в місці захвату вказують, що характер їх зміни аналогічний переміщенню гілок. Тобто, із збільшенням частоти струшування ω_c , зменшенням діаметра гілок в основі D_z та збільшенням відстані ℓ_z захвату максимальна швидкість $\dot{y}_{z\max}$ зростає (табл. 2.3, 2.4 та рис. 2.6, 2.7). Кут нахилу коливальних тіл α та початковий зазор Δ_0 в ударному механізмі на зміну швидкості впливають несуттєво.

Таблиця 2.3 – Розрахункові максимальні значення швидкості гілок першої розмірної групи в місці захвату

Діаметр гілки в основі D_z , мм	Відстань ℓ_z , м	Швидкість $\dot{y}_{z\max}$, (м/с), якщо: частота струшування ω_c , рад/с						
		40	50	60	70	80	90	100
50	1,25	0,2301	0,3504	0,4701	0,5892	0,7076	0,8254	0,9426
	1,5	0,3300	0,4862	0,6400	0,7915	0,9406	1,0873	1,2316
	1,75	0,3941	0,5713	0,7454	0,9166	1,0848	1,2500	1,4122
60	1,25	0,1624	0,2583	0,3519	0,4431	0,5320	0,6185	0,7026
	1,5	0,2456	0,3726	0,4977	0,6210	0,7425	0,8622	0,9800
	1,75	0,3450	0,5074	0,6670	0,8237	0,9776	1,1287	1,2770
70	1,25	0,1163	0,1872	0,2571	0,3259	0,3936	0,4603	0,5259
	1,5	0,1877	0,2874	0,3843	0,4784	0,5697	0,6581	0,7437
	1,75	0,2554	0,3925	0,5273	0,6597	0,7898	0,9175	1,0428

Максимальна швидкість $\dot{y}_{z\max}$ гілок в місці захвату змінюється в діапазонах: для першої розмірної групи 0,1163–1,4122 м/с, якщо відповідно $\omega_c=40$ рад/с, $D_z=70$ мм, $\ell_z=1,25$ м й $\omega_c=100$ рад/с, $D_z=50$ мм, $\ell_z=1,75$ м; другої –

0,1758–1,3782 м/с, коли відповідно $\omega_c=40$ рад/с, $D_c=90$ мм та $\ell_c=1,75$ м та $\omega_c=100$ рад/с, $D_c=70$ мм, $\ell_c=2,25$ м.

Таблиця 2.4 – Розрахункові максимальні значення швидкості гілок другої розмірної групи в місці захвату

Діаметр гілки в основі D_c , мм	Відстань ℓ_c , м	Швидкість $\dot{y}_{\text{max}}$, (м/с), якщо: частота струшування ω_c , рад/с						
		40	50	60	70	80	90	100
70	1,75	0,2554	0,3925	0,5273	0,6597	0,7898	0,9175	1,0428
	2	0,3464	0,5046	0,6598	0,8119	0,9610	1,1070	1,2500
	2,25	0,3955	0,5632	0,7293	0,8939	1,0569	1,2183	1,3782
80	1,75	0,2244	0,3292	0,4336	0,5374	0,6407	0,7436	0,8459
	2	0,2991	0,4322	0,5648	0,6969	0,8287	0,9599	1,0908
	2,25	0,3571	0,5226	0,6837	0,8405	0,9930	1,1412	1,2851
90	1,75	0,1758	0,2774	0,3759	0,4715	0,5641	0,6538	0,7404
	2	0,2411	0,3584	0,4758	0,5934	0,7111	0,8290	0,9470
	2,25	0,3201	0,4723	0,6189	0,7596	0,8946	1,0239	1,1474

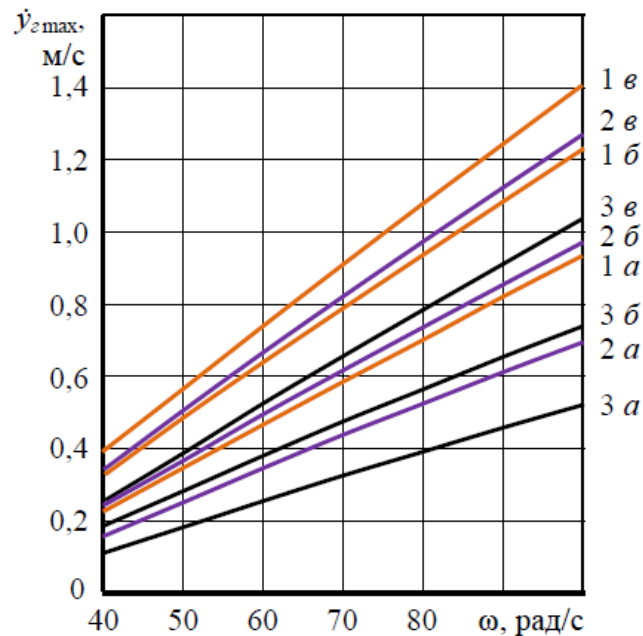


Рисунок 2.6 – Залежність максимальної швидкості гілок $\dot{y}_{\text{max}}$ в місці захвату

від частоти струшування ω_c для гілок діаметром D_c в основі:

1 – 50 мм (—); 2 – 60 мм (—); 3 – 70 мм (—); відстані ℓ_c захвату:
а – 1,25 м; б – 1,5 м; в – 1,75 м

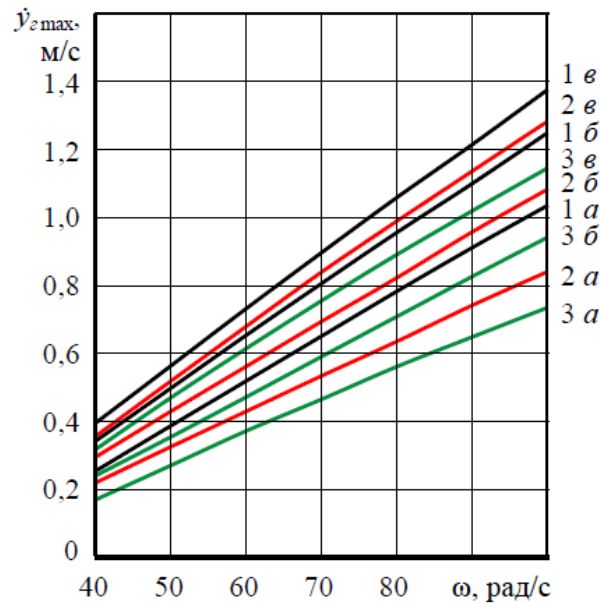


Рисунок 2.7 – Залежність максимальної швидкості гілок $y_{\varepsilon \max}$ в місці захвату

від частоти струшування ω_c для гілок діаметром D_ε в основі:

1 – 70 мм (—); 2 – 80 мм (—); 3 – 90 мм (—); відстані ℓ_ε захвату:
а – 1,75 м; б – 2,0 м; в – 2,25 м

Розрахункові максимальні значення прискорення гілок $y_{\varepsilon \max}$ наведені в табл. 2.5, 2.6.

Незначний вплив на максимальні прискорення має кут напруженості коливань, а найбільший – частота струшування ω_c , початковий зазор Δ_0 між ковзними чашками ударного механізму та відстань ℓ_ε захвату гілок.

Підтверджено, що максимальні прискорення гілок в місці захвату за віброударного режиму роботи набагато вищі, ніж за вібраційного, що зумовлено генеруванням ударного імпульсу. Необхідна повнота знімання волоських горіхів досягається на менших частотах ω_c віброударного струшувача.

Розрахунки показують, що максимальні прискорення змінюються в широкому діапазоні. Для гілок діаметром в основі 50-70 мм на відстані захвату 1,25–1,75 м максимальні прискорення змінюються в межах 26,7–760,5 м/с². Найбільші значення відповідають випадку $D_\varepsilon = 50$ мм, $\ell_\varepsilon = 1,75$ м, $\Delta_0 = 10$ мм, $\omega_c = 100$ рад/с, а найменші – $D_\varepsilon = 70$ мм, $\ell_\varepsilon = 1,25$ м, $\Delta_0 = 5$ мм, $\omega_c = 40$ рад/с. Для гілок другої розмірної групи діаметром в основі $D_\varepsilon = 70$ -90 мм за відстані

захвату $\ell_z = 1,75\text{--}2,25$ м розрахункові максимальні прискорення перебувають в межах $55,1\text{--}731,1$ м/с², причому нижня межа відповідає значенням $D_z=90$ мм, $\ell_z=1,75$ м, $\Delta_0=5$ мм, $\omega_c=40$ рад/с, а верхня – $D_z=70$ мм, $\ell_z=2,25$ м, $\Delta_0=10$ мм, $\omega_c=100$ рад/с.

Таблиця 2.5 – Розрахункові максимальні значення прискорення гілок
першої розмірної групи в місці захвату ($\alpha = 60^\circ$)

Діаметр гілки в основі D_z , мм	Відстань ℓ_z , м	Початковий зазор Δ_0 , мм	Прискорення $\ddot{y}_{z \max}$, (м/с ²), якщо: частота струшування ω_c , рад/с						
			40	50	60	70	80	90	100
50	1,25	5	129,0	149,8	172,4	183,9	208,8	222,4	233,6
		7,5	184,8	216,8	236,9	243,3	268,1	279,2	280,5
		10	224,7	254,7	272,3	278,0	298,3	306,8	309,4
	1,5	5	216,6	241,9	270,0	310,8	317,1	336,2	361,3
		7,5	330,4	345,1	370,6	421,1	412,6	429,1	437,1
		10	403,3	419,1	442,1	471,3	479,0	492,9	525,3
	1,75	5	364,9	411,4	444,9	468,1	502,9	527,4	552,1
		7,5	492,6	550,7	581,7	597,5	634,5	656,5	669,1
		10	645,2	660,9	689,3	706,2	737,1	756,4	760,5
60	1,25	5	54,8	74,0	92,1	112,9	119,3	128,3	137,9
		7,5	103,8	122,2	137,8	143,8	159,8	166,3	172,3
		10	130,2	141,4	154,3	164,9	171,2	175,2	184,7
	1,5	5	116,6	137,8	161,4	186,0	199,4	213,9	234,4
		7,5	190,3	222,2	243,2	261,5	276,1	288,0	307,7
		10	253,4	277,5	295,9	307,1	323,7	333,0	347,1
	1,75	5	256,5	279,1	308,1	327,6	356,9	376,8	401,8
		7,5	381,5	399,7	426,0	460,3	469,8	487,1	508,8
		10	473,5	491,1	514,9	551,3	553,5	568,3	401,8
70	1,25	5	26,7	42,0	55,5	67,0	73,5	78,0	81,5
		7,5	59,0	71,4	82,4	92,2	95,3	97,2	92,9
		10	70,2	85,5	97,8	106,9	113,2	116,4	117,1
	1,5	5	57,6	77,6	96,5	117,1	125,4	135,3	141,0
		7,5	124,2	143,2	159,6	172,3	183,3	190,7	198,8
		10	166,8	179,7	193,5	208,6	212,1	216,9	220,9
	1,75	5	152,1	175,9	197,5	217,0	234,3	249,5	262,6
		7,5	210,5	234,0	255,3	274,4	291,4	306,3	319,0
		10	267,9	291,0	312,0	330,8	347,5	362,1	374,5

Таблиця 2.6 – Розрахункові максимальні значення прискорення гілок
другої розмірної групи в місці захвату ($\alpha = 60^\circ$)

Діаметр гілки в основі D_2 , мм	Відстань ℓ_2 , м	Початковий зазор Δ_0 , мм	Прискорення $\ddot{y}_{2 \max}$, (м/с ²), якщо: частота струшування ω_c , рад/с						
			40	50	60	70	80	90	100
70	1,75	5	152,1	175,9	197,5	217,0	234,3	249,5	262,6
		7,5	210,5	234,0	255,3	274,4	291,4	306,3	319,0
		10	267,9	291,0	312,0	330,8	347,5	362,1	374,5
	2	5	208,8	235,3	259,7	281,9	301,9	319,9	335,6
		7,5	308,5	334,6	358,7	380,5	400,3	417,9	433,3
		10	407,1	432,9	456,6	478,2	497,6	514,9	530,0
	2,25	5	311,1	340,4	367,4	392,4	415,2	435,8	454,3
		7,5	452,0	480,9	507,6	532,3	554,7	575,0	593,2
		10	591,8	620,4	646,8	671,1	693,3	713,3	731,1
80	1,75	5	131,0	151,1	169,0	184,7	198,3	209,8	219,1
		7,5	168,1	187,8	205,4	220,8	234,1	245,3	254,3
		10	204,1	223,5	240,8	255,9	268,9	279,7	288,4
	2	5	188,9	211,6	232,2	250,7	267,1	281,3	293,3
		7,5	267,1	289,6	309,9	328,0	344,1	357,9	369,7
		10	344,4	366,5	386,5	404,3	420,0	433,6	445,0
	2,25	5	292,3	317,8	341,1	362,3	381,4	398,3	413,1
		7,5	411,8	437,0	460,0	480,9	499,6	516,2	530,6
		10	530,3	555,1	577,8	598,4	616,8	633,1	647,2
90	1,75	5	55,1	71,5	85,6	97,7	107,6	115,3	120,9
		7,5	70,9	86,9	100,7	112,4	122,0	129,4	134,7
		10	85,6	101,2	114,8	126,2	135,4	142,5	147,4
	2	5	114,1	133,1	150,0	164,8	177,4	187,8	196,2
		7,5	171,0	189,7	206,3	220,8	233,0	243,2	251,2
		10	227,0	245,3	261,6	275,7	287,7	297,5	305,2
	2,25	5	218,6	240,4	260,0	277,5	292,8	306,0	317,0
		7,5	316,8	338,2	357,5	374,7	389,7	402,5	413,3
		10	413,9	435,1	454,0	470,9	485,5	498,1	508,5

В інтервали розрахункових значень максимальних прискорень гілок $\ddot{y}_{2 \max}$ в місці їх захвату попадають прискорення $\ddot{y}_{2a}$, за яких забезпечується агротехнічно необхідна повнота знімання Π_a горіхів. Прискорення $\ddot{y}_{2 \max}$ генеруються віброударним збудовачем коливань, передаються від місця захвату до точок різноспрямованого звисання плодів, забезпечуючи їх

відокремлення, якщо виконується умова струшування $\ddot{y}_{\text{max}} \geq \ddot{y}_{\text{za}}$. З такої умови визначаються початковий зазор в ударному механізмі Δ_0 , відстань захвату ℓ_z та частота струшування ω_c гілок різних розмірів.

Для гілок з мінімальним діаметром в основі $D_e=50$ мм агротехнічна необхідна повнота знімання $P_a=95$ % досягається (табл. 2.5) за: $\ell_{za}=1,25$ м, $\Delta_0=10$ мм, $\omega_{ca}=80$ рад/с; $\ell_{za}=1,5$ м, $\Delta_0=5$ мм, $\omega_{ca}=70$ рад/с або $\ell_{za}=1,75$ м, $\Delta_0=5$ мм, $\omega_{ca}=40$ рад/с. Для гілок з максимальним діаметром $D_e=90$ мм (табл. 2.6) – $\ell_{za}=2,25$ м, $\Delta_0=7,5$ мм, $\omega_{ca}=70$ рад/с або $\ell_{za}=2,25$ м, $\Delta_0=10$ мм та $\omega_{ca}=40$ рад/с.

Відповідно для гілок першої розмірної групи $D_e=50-70$ мм виконується умова струшування $\ddot{y}_{\text{max}} \geq \ddot{y}_{\text{za}}$, якщо початковий зазор в ударному механізмі $\Delta_0=7,5-10$ мм, відстань захвату $\ell_{za}=1,5-1,75$ м і частота струшування $\omega_{ca}=40-100$ рад/с, а для гілок другої розмірної групи $D_e=70-90$ мм у випадку $\Delta_0=7,5-10$ мм, $\ell_{za}=2-2,5$ м та $\omega_{ca}=40-100$ рад/с.

2.3. Потужність струшування скелетної гілки

Потужність двигуна приводу струшувача витрачається на подолання внутрішніх механічних і гідравлічних опорів у збурювачі коливань, подолання сил жорсткого і в'язкого опорів руху та зміну швидкості руху системи „ручний віброударний струшувач плодів – плодова гілка“.

Потужність струшування N_z (Вт) гілки становить:

$$N_z = N_{c+n} + N_j, \quad (2.1)$$

де N_{c+n} , N_j – затрати потужності на подолання жорсткого і в'язкого опорів руху гілки, а також зміну швидкості руху, Вт.

Складові потужності струшування:

$$\left. \begin{aligned} N_{c+n} &= (c_z y_z + n_{\text{вз}} \dot{y}_z) \dot{y}_z ; \\ N_j &= m_z \ddot{y}_z \dot{y}_z , \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де c_z , $n_{\text{вз}}$ – зведені коефіцієнти жорсткого (Н/м) і в'язкого (Н·с/м) опорів руху гілки;

y_z , $\dot{y}_z$, $\ddot{y}_z$ – переміщення (м), швидкість (м/с) і прискорення (м/с²) гілки.

За формулами (2.1) та (2.2) було розраховано потужність струшування гілки та її складові.

Як показали розрахунки, затрати потужності N_{c+n} на подолання жорсткого і в'язкого опорів руху гілки змінюються в часі гармонічно за синусоїдальним законом (рис. 2.8) і суттєво залежать від частоти струшування. Потужність N_j , що зумовлена зміною швидкості руху гілки (рис. 2.8), окрім частоти струшування залежить і від початкового зазору між ковзними чашками ударного механізму.

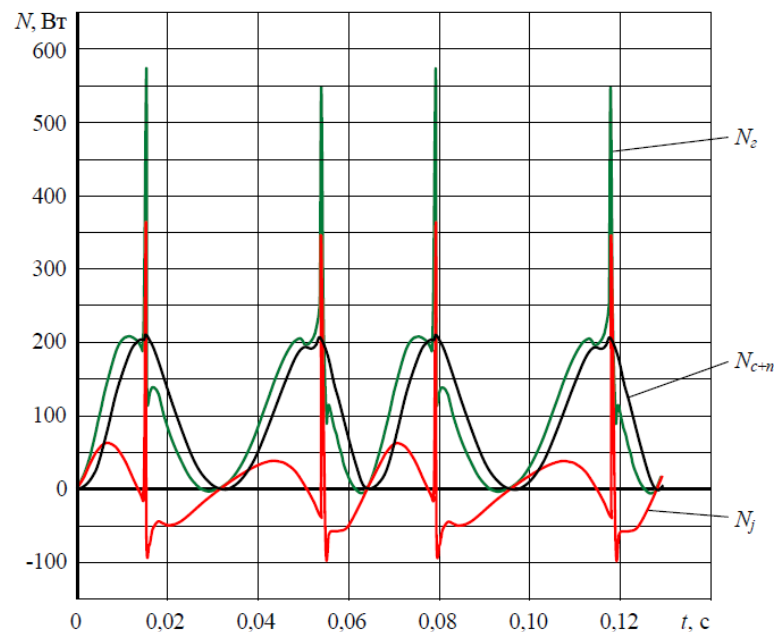


Рисунок 2.8 – Закономірності зміни в часі затрат потужності на:

N_z – струшування гілки; N_{c+n} – подолання жорсткого і в'язкого опорів руху гілки; N_j – зміну швидкості руху (діаметр гілки $D_g=50$ мм; відстань захвату $\ell_z=1,5$ м; частота струшування $\omega_c=100$ рад/с; початковий зазор в ударного механізму $\Delta_0=5$ мм; кут направленості коливань $\alpha = 40^\circ$)

Найбільша потужність струшування досягається в момент ударного імпульсу за найбільшої швидкості гілки (рис. 2.8). Закономірності зміни в часі затрат потужності N_{c+n} на подолання жорсткого і в'язкого опорів руху відповідає зміні переміщення й швидкості гілки, а затрат N_j на зміну швидкості руху характеризується зміною як швидкості, так і прискорення.

Значення потужності струшування гілок двох розмірних груп відрізняються не значно, оскільки зведені до місця захвату масові та жорсткісно-демпфувальні показники гілок мають неістотну розбіжність.

Для гілок діаметром в основі 50–70 мм, якщо відстань захвату гілки 1,25–1,75 м, затрати потужності на подолання жорсткого і в'язкого опорів руху гілки N_{c+n} лежать в межах 12,5–263,4 Вт, зміну швидкості руху N_j – 11,4–435,7 Вт, струшування гілок N_e – 27,1–659,3 Вт. Для гілок другої розмірної групи діаметром в основі 70–90 мм за відстані захвату 1,75–2,25 м діапазони зміни вказаних потужностей становлять: N_{c+n} – 16,6–305,9 Вт; N_j – 19,4–419,9 Вт; N_e – 36,3–667,1 Вт.

Затрати потужності на струшування скелетної гілки у віброударному режимі збільшуються із зростанням переміщення, швидкості і прискорення гілки в місці захвату, тобто із збільшенням частоти струшування та початкового зазору між ковзними чашками ударного механізму. Ручні віброударні струшувачі волоських горіхів можна комплектувати двигунами внутрішнього згоряння з ефективною потужністю $N_e=1$ кВт.

Висновки по розділу

На основі проведеного теоретичного дослідження, можна зробити наступні висновки:

Встановлено, що параметри коливання скелетної гілки в місці захвату залежать від розмірно-масових та жорсткісно-демфірувальних показників гілок і режимів роботи віброударного збурювача коливань.

Для забезпечення агротехнічно необхідної повноти знімання волоських горіхів віброударний режим роботи ефективніший порівняно з вібраційним внаслідок збільшення прискорень гілок в місці захвату.

Ручні віброударні струшувачі волоських горіхів можна комплектувати двигунами внутрішнього згоряння з ефективною потужністю $N_e=1$ кВт.

РОЗДІЛ 3.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЧНОГО ВІБРОУДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

3.1. Опис модернізованого ручного віброударного струшувача волоських горіхів

Ручний віброударний струшувач (рис. 2.2, 3.1 а, б) створено на базі серійного вібраційного струшувача SC-105 італійської фірми Cifarelli [17, 18], який переважно використовується для збирання оливок.

До базових елементів серійного вібраційного струшувача (рис. 3.1) належать: двигун внутрішнього згоряння 1, збурювач кривошипно-повзунного типу 2, штанга 4, механізм утримання і управління струшувачем 6. Цей серійний струшувач доповнено розробленими вилчастим захватом (рис. 3.2) та ударним механізмом (рис. 3.3) [14].

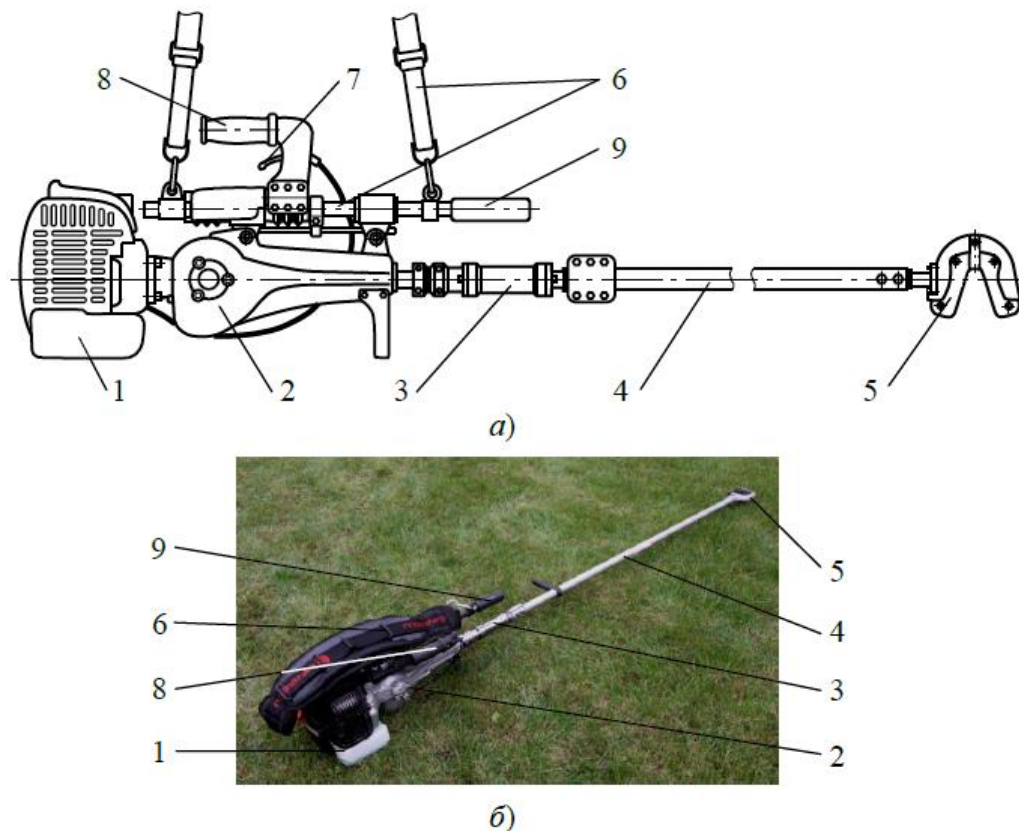


Рисунок 3.1 – Ручний віброударний струшувач волоських горіхів
(а – схема; б – загальний вигляд)

Кривошипно-повзунний збудувач коливань 2 та ударний механізм 3, що приводяться в дію двигуном внутрішнього згоряння 1, зумовлюють зусилля, які через штангу 4 і вилчастий захват 5 передаються скелетним гілкам першого чи другого порядків. Частота обертання колінчастого вала двигуна 1 змінюється важільцем управління 7 системою подачі палива. Працівник-збирач утримує струшувач за допомогою механізму утримання і управління струшувачем 6.

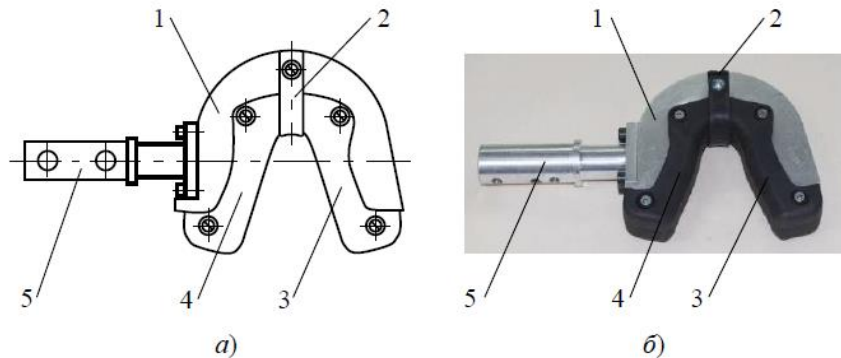


Рисунок 3.2 – Вилчастий захват (*а* – схема; *б* – загальний вигляд):
1 – вилка; 2 – стяжка; 3, 4 – еластичні подушки; 5 – хвостовик

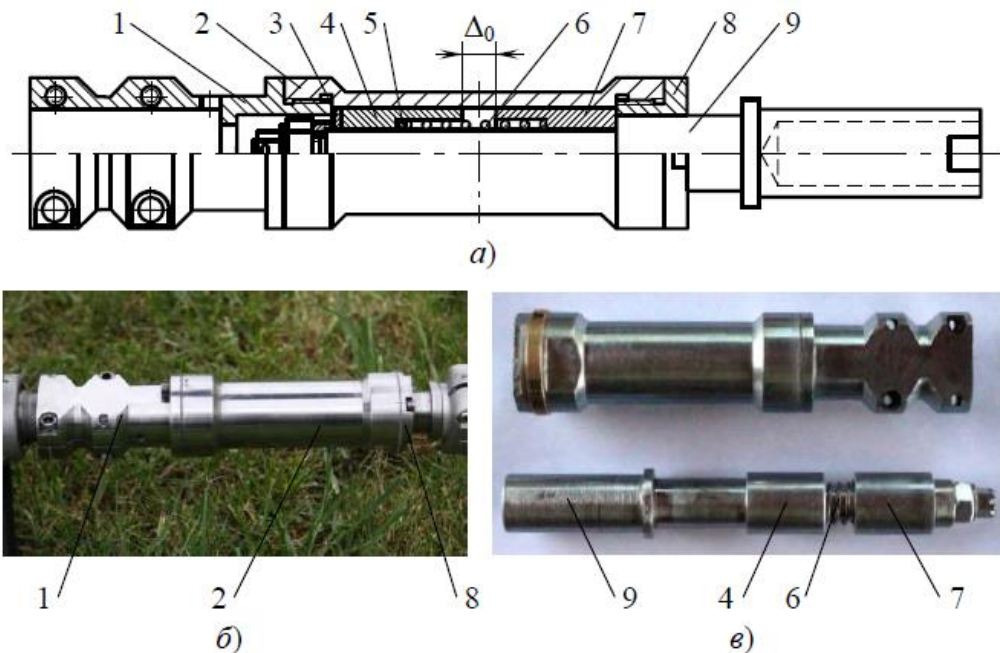


Рисунок 3.3 – Ударний механізм (*а* – схема; *б* – загальний вигляд;
в – складові елементи): 1, 8 – кришки-упори; 2 – циліндр; 3, 5 – регулювальні
шайби; 4, 7 – ковзні чашки; 6 – пружина; 9 – ковзний шток

Для захисту кори гілок від пошкоджень розроблено вилчастий захват (рис. 3.2), що складається з вилки 1, до якої гвинтами і стяжкою 2 кріпляться з'єднані між собою еластичні подушки 3, 4. Вилка 1 за допомогою хвостовика 5

монтується на штанзі струшувача. Конструкція вилчастого захвата дозволяє щільно охоплювати скелетні гілки першого та другого порядків діаметром від 25 до 60 мм.

Ударний механізм (рис. 3.3) генерує ударний імпульс під час гармонічних вібраційних коливань скелетних гілок. Накладання імпульсу на гармонічні коливання супроводжується значним зростанням прискорення гілок в місці їх захвату. Також забезпечується широкий спектр частот струшування гілок, який охоплює діапазон необхідних частот струшування, і досягається висока повнота знімання горіхів [12].

3.2. Результати досліджень ручного віброударного струшувача волоських горіхів

3.2.1. Коефіцієнти жорсткості та в'язкого опору відхиленню складових ручного віброударного струшувача

Експериментальні дослідження підтверджують залежність жорсткісно-демпфірувальних властивостей складових ручного віброударного струшувача від його конструктивного виконання, розмірних показників еластичних елементів та використовуваних матеріалів.

Отримані результати досліджень (табл. 3.1) використано для розв'язку диференціальних рівнянь, що описують роботу струшувача. Найбільші значення коефіцієнтів жорсткого і в'язкого опорів деформуванню мають еластичні подушки вилчастого захвата струшувача, які забезпечують передачу збурювальних зусиль скелетним гілкам волоського горіха без пошкодження кори. Еластичні елементи механізму утримання і управління струшувачем відповідають масі струшувача, динамічним навантаженням під час роботи і зменшують коливання, що передаються працівнику-збирачу. Гасіння коливань також забезпечують демпферні пружини, монтвані на напрямній штанзі механізму утримання і управління як проміжна ланка між цими механізмом та корпусом збурювача коливань струшувача.

Таблиця 3.1 – Жорсткісно-демпфірувальні властивості складових
ручного віброударного струшувача

Складові струшувача	Коефіцієнт жорсткості c_i , Н/м	Коефіцієнт в'язкого опору n_{ei} , Н·с/м
Еластичні подушки вилчастого захвата	$c_1 = 725000$	$n_{e1} = 1696$
Пружина ударного механізму	$c_2 = 1510$	-
Складові механізму утримання і управління струшувачем:	-	-
- демпферні пружини напрямної штанги	$c_3 = 7460$	-
- пружина передньої ручки	$c_4 = 3050$	-
- еластичне покриття передньої ручки	$c_5 = 5800$	$n_{e5} = 378,08$
- еластичні вставки утримувальної лямки	$c_6 = c_7 = 6000$	$n_{e6} = n_{e7} = 8,25$
-еластична вставка задньої рукоятки	$c_8 = 4700$	$n_{e8} = 11,69$

Пружина ударного механізму впливає на генерування удару під час коливань. За коефіцієнта жорсткості даної пружини $c_2=1510$ Н/м забезпечується дотримання зазору між ковзними чашками та подальша їх взаємодія.

3.2.2. Повнота знімання горіхів та режими роботи ручного віброударного струшувача

На основі результатів експериментальних досліджень побудована залежність (рис. 3.4) повноти знімання Π горіхів від максимального прискорення $\ddot{y}_{2\max}$ гілки в місці захвату гілок діаметром в основі від 50, 60, 70, 80 і 90 мм.

Прискорення початку опадання горіхів та агротехнічно необхідні прискорення $\ddot{y}_{2a}$ залежать від діаметра D_e скелетних гілок в основі. Прискорення початку опадання для гілок діаметром в основі $D_e = 50\text{--}90$ мм варіюють в межах $48,8\text{--}97,8$ м/с². Для знімання 95 % горіхів необхідно в місці захвату гілок генерувати значно більші прискорення, якщо $D_e=50$ мм – $\ddot{y}_{2a}=285,8$ м/с²; $D_e=60$ мм – $\ddot{y}_{2a}=293,8$ м/с²; $D_e=70$ мм – $\ddot{y}_{2a}=309,4$ м/с²; $D_e=80$ мм – $\ddot{y}_{2a}=332,5$ м/с²; $D_e=90$ мм – $\ddot{y}_{2a}=371,7$ м/с². Повнота знімання горіхів 98 % для гілок

діаметром 50, 60, 70, 80 і 90 мм досягається за прискорень відповідно 301,7; 309,7; 325,5; 349,1 і 389,9 м/с².

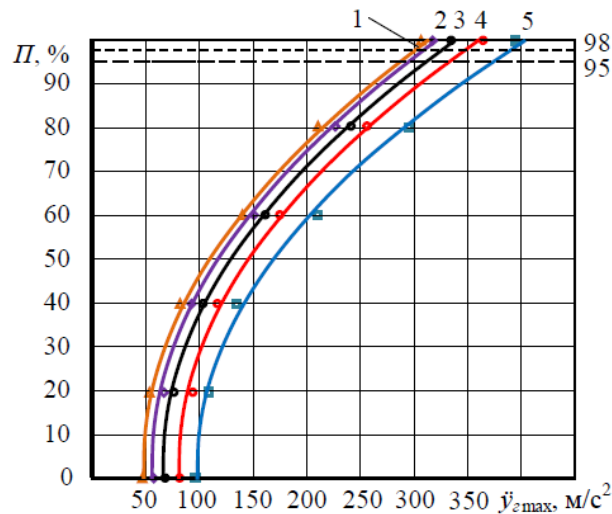


Рисунок 3.4 – Залежність повноти знімання Π горіхів від прискорення $y_{z \max}$ в місці захвату гілок діаметром в основі D_z :
 1 – 50 мм (—); 2 – 60 мм (—); 3 – 70 мм (—);
 4 – 80 мм (—); 5 – 90 мм (—)

На основі отриманих результатів встановлено значення агротехнічно необхідної частоти струшування ω_{ca} , якщо відстань захвату ℓ_z гілок діаметром D_z в основі 50, 60, 70, 80 і 90 мм, а початковий зазор Δ_0 між ковзними чашками 5, 7,5 та 10 мм. У цих випадках забезпечується висока, агротехнічно необхідна повнота знімання (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Режимы та умови роботи ручного віброударного струшувача для забезпечення агротехнічно необхідної повноти знімання горіхів

Діаметр гілок в основі D_z , мм	Початковий зазор Δ_0 , мм	Повнота знімання Π_a , %			
		95		98	
		Частота струшування ω_{ca} , рад/с	Відстань захвату гілок ℓ_{za} , м	Частота струшування ω_{ca} , рад/с	Відстань захвату гілок ℓ_{za} , м
50	5	40	1,63	40	1,66
		100	1,39	100	1,42
	7,5	40	1,45	40	1,48
		100	1,25	100	1,28
	10	40	1,35	40	1,38
		70	1,25	70	1,25

Продовження таблиці 3.2

60	5	55	1,75	61	1,75
		100	1,62	100	1,64
	7,5	40	1,66	40	1,68
		100	1,50	100	1,52
	10	40	1,56	40	1,58
		100	1,45	100	1,47
70	5	40	2,25	45	2,25
		100	1,93	100	1,98
	7,5	40	2,01	40	2,04
		100	1,68	100	1,7
	10	40	1,71	40	1,73
		100	1,62	100	1,64
80	5	57	2,25	64	2,25
		100	2,1	100	2,13
	7,5	40	2,13	40	2,15
		100	1,93	100	1,96
	10	40	1,99	40	2,01
		100	1,83	100	1,86
90	7,5	68	2,25	80	2,25
		100	2,2	100	2,22
	10	40	2,2	40	2,22
		100	2,09	100	2,11

Доцільно вибрати початковий зазор між ковзними чашками в ударному механізмі $\Delta_0=7,5$ мм. В цьому випадку генеруються агротехнічно необхідні прискорення в місці захвату гілок, за яких повнота знімання становить 95–98% для гілок двох розмірних груп. Зазор $\Delta_0=5$ мм недостатній для ефективного струшування горіхів з великих гілок діаметром в основі 80–90 мм, якщо ж $\Delta_0=10$ мм, то на малих гілках діаметром в основі 50–60 мм спостерігається обламування продуктивних плодових гілочок вищих порядків. Щоб забезпечити повноту знімання горіхів 95–98 %, режими та умови роботи ручного віброударного струшувача в разі зазору $\Delta_0=7,5$ мм становлять: для гілок діаметром в основі $D_e=50$ мм – частота струшування $\omega_{ca}=40\text{--}100$ рад/с і відповідно відстань захвату $\ell_{ga}=1,48\text{--}1,28$ м; $D_e=60$ мм – $\omega_{ca}=40\text{--}100$ рад/с, $\ell_{ga}=1,68\text{--}1,52$ м; $D_e=70$ мм – $\omega_{ca}=40\text{--}100$ рад/с, $\ell_{ga}=2,04\text{--}1,7$ м; $D_e=80$ мм – $\omega_{ca}=40\text{--}100$ рад/с, $\ell_{ga}=2,15\text{--}1,96$ м; $D_e=90$ мм – $\omega_{ca}=80\text{--}100$ рад/с і $\ell_{ga}=2,25\text{--}2,22$ м. Тобто, під час використання модернізованого ручного віброударного

струшувача горіхів агротехнічно необхідна повнота знімання досягається зміною частоти струшування і відстані захвату гілок. Кожній відстані захвату відповідає своя частота струшування, що регулюється зміною подачі палива в двигуні внутрішнього згоряння, причому із збільшенням частоти струшування відстань захвату гілки зменшується (табл. 3.2).

3.2.3. Параметри коливань рукояток віброударного струшувача

Досліджено коливні навантаження на рукоятках ручного струшувача горіхів, що працює у віброударному режимі. При цьому на руки працівника-збирача впродовж робочого часу передаються локальні коливання непостійної дії.

Відповідно до державних санітарних норм виробничих загальної та локальної вібрацій [2], гранично допустимий рівень середніх квадратичних локальних віброприскорень становить $1,4 \text{ м/с}^2$ (73 дБ) за частот коливань до 16 Гц, що відповідає робочим частотам ручного віброударного струшувача під час знімання горіхів зі скелетних гілок.

Враховуючи непостійну дію прискорень коливань на рукоятках струшувача, коректоване за частотою допустиме середнє квадратичне прискорення, що розраховується за формулою (3.1), становить:

$$\bar{\sigma}_{at} = \bar{\sigma}_{azm} \sqrt{\frac{t_{zm}}{t_e}} = 1,4 \sqrt{\frac{480}{52,5}} = 4,23 \text{ м/с}^2. \quad (3.1)$$

Таким чином $\sigma_{at}=4,23 \text{ м/с}^2$, тобто 83 дБ.

На рукоятках механізму утримання і управління струшувачем досліджені коректовані за частотою середні квадратичні прискорення локальних коливань вздовж осі у, що збігається з напрямом дії збурювальної сили, а також перпендикулярної до даного напрямку осі х відповідно досягають $2,47 \text{ м/с}^2$ та $0,63 \text{ м/с}^2$ (78,3 дБ та 66,4 дБ). Тобто, механізм утримання і управління ручного віброударного струшувача забезпечує гасіння коливань, які передаються на рукоятки. Коливні навантаження на руки працівника-збирача, що забезпечує

роботу струшувача, не перевищують допустимих короточасних локальних коливань за коректованими значення середнього квадратичного прискорення.

3.3. Результати господарських випробувань ручного віброударного струшувача волоських горіхів

Господарські випробування модернізованого ручного віброударного струшувача підтвердили його ефективність під час збирання волоських горіхів.

Підтверджено, що зазор між ковзними чашками ударного механізму має становити 7,5 мм. За такого зазору забезпечується агротехнічно необхідна повнота знімання горіхів 95–98 % зі скелетних гілок двох розмірних груп діаметром D_c в основі 50–70 мм і 70–90 мм, якщо витримуються рекомендовані режими і умови роботи струшувача (табл. 3.2). Так, для скелетних гілок діаметром в основі $D_c=50$ мм за частоти ω_{ca} струшування 40 й 100 рад/с відстань захвату ℓ_{ca} відповідно становила 1,45 і 1,25 м, а повнота Π_a знімання 95,4–98,1 %; $D_c=60$ мм, $\omega_{ca}=40, 100$ рад/с, $\ell_{ca}=1,66, 1,5$ м, $\Pi_a=96,3–97,5$ %; $D_c=70$ мм, $\omega_{ca}=40, 100$ рад/с, $\ell_{ca}=2,01, 1,68$ м, $\Pi_a=96,1–98,1$ %; $D_c=80$ мм, $\omega_{ca}=40, 100$ рад/с, $\ell_{ca}=2,13, 1,93$ м, $\Pi_a=95,3–97,8$ %; $D_c=90$ мм, $\omega_{ca}=68, 100$ рад/с, $\ell_{ca}=2,25, 2,09$ м, $\Pi=95,4–97,4$ %.

Проведений хронометраж затрат часу на знімання горіхів з однієї скелетної гілки показав, що тривалість пошуку місця захвату становить в середньому 5 с, захват гілки – 8 с, струшування – 4 с, вивільнення – 5 с, переміщення працівника-збирача до наступної гілки – 10 с, а сумарний середній час – 32 с (0,54 хв).

Для знімання горіхів з одного дерева з десятьма скелетними гілками чистий робочий час становить 5,4 хв. Час на технічне і технологічне обслуговування струшувача t_{mo} складає 8 хв/дер, а час на короточасний відпочинок та перехід працівника-збирача до наступного дерева $t_{відп}=0,8$ хв/дерев. Тоді загальний середній час на знімання горіхів з одного дерева $t_{дер}$ становить 7 хв. Продуктивність ручного віброударного струшувача

за годину дорівнює 8,57 дерев/год, за семигодинну зміну – 60 дерев/зм, а в разі схеми посадки дерев 10×10 м – 0,6 га/зм.

Встановлено, що із збільшення частоти струшування, спочатку опадають горіхи вільні від оплоднів, а потім – в оплодні; співвідношення таких горіхів залежить від ступеня їх стиглості.

Пошкоджень гілок у вигляді здирання і потемніння кори в місці передачі збурювальних зусиль під дією подушок захвата не виявлено. Незначні пошкодження спостерігались в разі взаємодії металевих частин вилчастого захвата з деревиною як наслідок необережного охоплення гілок. Різниці в плодоношенні гілок, з яких горіхи знімалися ручним віброударним струшувачем і вручну не спостерігалось.

Висновки по розділу

В результаті проведених експериментальних досліджень можемо зробити наступні висновки:

Ручний віброударний струшувач, який додатково оснащений ударним механізмом та вилчастим захватом, забезпечує агротехнічно необхідну повноту знімання горіхів 95–98 % з гілок діаметром D_e в основі 50, 60, 70, 80, 90 мм.

Продуктивність ручного віброударного струшувача волоських горіхів за годину становить 8,57 дерев/год, за семигодинну зміну – 60 дерев/зм, а в разі посадки дерев 10×10 м – 0,6 га/зм.

В діапазоні робочих частот знімання горіхів механізм утримання і управління ручного віброударного струшувача забезпечує ефективне гасіння коливань, що передаються на руки працівника-збирача. Коректовані за частотою середні квадратичні прискорення на рукоятках механізму утримання і управління струшувачем становлять $0,63\text{--}2,47 \text{ м/с}^2$ (66,4–78,3 дБ), що не перевищує допустимого нормативу $4,23 \text{ м/с}^2$ (83дБ).

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Організація умов та заходів з охорони праці в господарстві

Організація охорони праці в господарстві – це передбачений чинним законодавством комплекс заходів щодо державного регулювання охорони здоров'я працівників, забезпечення виконання основних вимог законодавства з охорони праці безпосередньо на підприємствах, додержання кожним працівником правил і норм з охорони праці.

Відповідно до Закону України «Про охорону праці», дія якого поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих, обов'язок створення на робочому місці в кожному структурному підрозділі умов праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечення додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці покладається на роботодавця. З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, яка створюється суб'єктом господарювання і має передбачати підготовку, прийняття та реалізацію завдань щодо здійснення організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності найманих працівників у процесі їх трудової діяльності [13].

Для цього роботодавець створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань охорони праці, затверджує інструкції про їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій, а також контролює їх додержання.

Служба охорони праці виконує цілий ряд функцій, передбачених ч.3 Типового положення про службу охорони праці. Серед них можна назвати наступні: розробка комплексних заходів з охорони праці; перевірка дотримання працівником вимог нормативно-правових актів з охорони праці; складання

звітності з охорони праці у господарстві за встановленими формами; проведення вступного, періодичного, позапланового інструктажу та навчання з охорони праці; розгляд скарг, заяв працівників з питань охорони праці; участь у розслідуванні нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві та ін.

4.2. Моделювання травмонебезпечних ситуацій при роботі з ручним віброударним струшувачем волоських горіхів

Метод логічного моделювання потенційних аварій і травм надає можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності на виробництві, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх поглибленому логічному аналізі і терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

Аналіз побудованої логічної моделі технологічного процесу дозволяє знайти первинну подію, з якої починається утворення небезпечної ситуації. Крім того, логічні моделі дають можливість виявити причетність окремих осіб до виникнення небажаних подій, а також ступінь вини самого потерпілого. Метод є більш наглядним для процесу не тільки навчання, але і виховання в молоді стереотипу безпечної поведінки.

Під час побудови логіко-імітаційних схем використовують сукупність небезпечних подій, пов'язаних між собою причинно-наслідковими зв'язками, які у процесі діяльності можуть призвести до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій. Головним елементом логічної моделі є поняття про небезпечну ситуацію (НС) – тобто випадкове явище, що передує виникненню травм, аварій, катастроф [13]. Для повного розкриття змісту і аналізу поняття НС використовують її складові компоненти, такі як, небезпечна умова (НУ) – умова, за якої існує навіть малоймовірна можливість впливу на людину небезпечного чинника, що може призвести до реальної загрози виникнення аварії або травми. Це сукупність небезпечних виробничих чинників, недоліки

технологічних процесів та обладнання, низький рівень організації виробництва тощо.

При роботі з ручним віброударним струшувачем волоських горіхів логіко-імітаційна модель буде мати вигляд:

$$HY1 - HY2 - HY3 - \dots - HC - (A;T)$$

Як бачимо, що в нашому випадку небезпечна умова може викликати наступну небезпеку і в результаті неправильного використання приладу може бути травмування працівника.

Використовуючи побудову моделей впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників на соціальні та професійні гурти людей, можна розробити досконалу превентивну систему, що базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх поглибленому логічному аналізі й терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

Висновки по розділу

Таким чином, в розділі охорони праці нами визначені умови та заходи з охорони праці в господарстві та наведено логічну модель виникнення небезпечних ситуацій при роботі з ручним віброударним струшувачем горіхів.

Визначено, що використовуючи побудову моделей впливу небезпечних та шкідливих виробничих чинників на працівників, можна уникнути потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РУЧНОГО ВІБРОУДАРНОГО СТРУШУВАЧА ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

Завдання економічного аналізу – розрахунок ефективності використання ручного віброударного струшувача волоських горіхів, конструкція якого, порівняно з базовим струшувачем фірми Cifarelli SC105, доповнена ударним механізмом та вилчастим захватом [15]. 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 [4]. Частково механізована технологія збирання волоських горіхів з використанням ручного струшувача порівнювалась з ручним збиранням. Працівник-збирач за ручної технології використовував плодозбиральну 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 [4].

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 2022 року [4] на підставі вихідних даних (табл. 5.1).

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.

Таблиця 51 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	Збирання	
	ручне	з використанням струшувача
Продуктивність за години змінного часу, дерев/год	1,07	8,57
Балансова вартість, грн :		
- струшувача	—	60000
- допоміжного обладнання	2650	2000
Річне завантаження, год:		
- струшувача	—	210
- допоміжного обладнання	210	210
Чисельність виробничого персоналу, чел:		
- основного	1	1
- допоміжного	—	1
Годинні тарифні ставки персоналу, грн/год :		
основного	19	19
допоміжного	—	19
Коефіцієнт, що враховує доплати персоналу:		
- основного	1,3	1,2
- допоміжного	—	1,2
Коефіцієнт відрахувань на реновацію:		
- струшувача	—	0,1
- допоміжного обладнання	0,2	0,16
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування:		
- струшувача	—	0,08
- допоміжного обладнання	0,1	0,05
Витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/га	—	0,028
Ціна 1 кг палива з врахуванням вартості мастильних матеріалів, що припадає на 1 кг палива	—	54
Коефіцієнти затрат на зберігання від вартості поточного ремонту та технічного обслуговування:		
- струшувача	—	0,065
- допоміжного обладнання	0,065	0,065
Середня біологічна врожайність, кг/дерево	60	90
Повнота знімання горіхів, %	90	95
Ціна горіхів, грн/кг	30	30
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	0,15	
Коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту	0,9	

Річний економічний ефект E_p від використання віброударного струшувача порівняно з ручним збиранням відповідно до запропонованої методики [4] становить:

$$E_p = (Z_{звс} - Z_{звт} + E_n) B_{рн} = (E_z + E_n) B_{рн}, \quad (5.1)$$

де $Z_{звс}$, $Z_{звт}$ – зведені затрати, що припадають на одне дерево віком сорок років з 10 скелетними гілками, відповідно для випадків використання віброударного струшувача та ручного збирання, грн./дерево;

E_n – економічний ефект від підвищення повноти знімання волоських горіхів, грн./дерево;

$B_{рн}$ – річне напрацювання працівника-збирача з ручним віброударним струшувачем горіхів, дерев/рік;

E_z – економічний ефект від зниження зведених затрат, грн./дерево.

Зведені затрати визначаються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} Z_{звт} &= Z_{нт} + K_m e_k; \\ Z_{звс} &= Z_{нс} + K_c e_k, \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

де $Z_{нт}$, $Z_{нс}$ – прямі експлуатаційні затрати за ручного збирання та використання ручного струшувача, грн./дерево;

K_m , K_c – питомі капітальні вкладення на придбання садових драбини й ручного віброударного струшувача і уловлювача, грн./дерево;

e_k – коефіцієнт ефективності капіталовкладень [12].

Прямі експлуатаційні затрати дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} Z_{нт} &= Z_{онт} + Z_{ат} + Z_{ртом} + Z_{звт}; \\ Z_{нс} &= Z_{онс} + Z_{ас} + Z_{рточ} + Z_{звс} + Z_{нмс}, \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

де $Z_{онт}$, $Z_{онс}$ – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу за ручного збирання та в разі використання ручного струшувача, грн./дерево;

$Z_{ат}$, $Z_{ртом}$, $Z_{звт}$ – затрати на амортизаційні відрахування, технічне обслуговування і поточний ремонт, зберігання допоміжного обладнання (садова драбина та сумка), грн./дер;

$Z_{ас}$, $Z_{рточ}$, $Z_{звс}$ – затрати на амортизаційні відрахування, технічне обслуговування і поточний ремонт, зберігання ручного струшувача та уловлювача, грн./дерево;

$Z_{нмс}$ – затрати на паливо-мастильні матеріали, грн./дерево.

Затрати на оплату праці:

$$\left. \begin{aligned} z_{ont} &= \frac{k_{zn} f_{збт}}{W_{змзт}}; \\ z_{onc} &= \frac{k_{zn} (f_{збс} + m_{дс} f_{дс})}{W_{змдс}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.4)$$

де $f_{збт}$, $f_{збс}$, $f_{дс}$ – годинні тарифні ставки для оплати працівників-збирачів без та зі струшувачем, допоміжних працівників з уловлювачами, грн./год.;

k_{zn} – коефіцієнт, що враховує доплати до тарифної ставки;

$m_{дс}$ – кількість допоміжних працівників;

$W_{змзт}$, $W_{змдс}$ – продуктивність збирача за години змінного часу під час ручного збирання та з використанням струшувача, грн./год.

Амортизаційні відрахування:

$$\left. \begin{aligned} z_{ат} &= \frac{a_{ад} B_{д}}{T_{пт} W_{змзт}}; \\ z_{ас} &= \frac{a_{аст} B_{ст} + a_{авл} B_{вл}}{T_{рс} W_{змдс}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.5)$$

де $a_{ад}$, $a_{аст}$, $a_{авл}$ – коефіцієнти відрахувань на реновацію допоміжного обладнання, струшувача та уловлювача [12];

$B_{д}$, $B_{ст}$, $B_{вл}$ – балансові ціни допоміжного обладнання, струшувача та уловлювача, грн. [12];

$T_{пт}$, $T_{рс}$ – річне напрацювання працівника-збирача за ручного збирання та зі струшувачем, дер.

Річне напрацювання визначається на основі зональних технологічних карт:

$$T_p = D t_{зм}, \quad (5.6)$$

де D – тривалість збирального сезону, днів;

$t_{зм}$ – час зміни, год.

Затрати на технічне обслуговування і поточний ремонт:

$$\left. \begin{aligned} z_{ptom} &= \frac{a_{pд} B_{д}}{T_{пт} W_{змзт}}; \\ z_{ас} &= \frac{a_{рст} B_{ст} + a_{рвл} B_{вл}}{T_{рс} W_{змдс}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.7)$$

де a_{pd} , a_{pst} , a_{pvl} – коефіцієнти відрахувань на технічне обслуговування і поточний ремонт допоміжного обладнання, струшувача та уловлювача [4].

Затрати на зберігання:

$$\left. \begin{aligned} Z_{збт} &= \frac{a_{зд} a_{pd} B_d}{T_{pm} W_{змгт}}; \\ Z_{збс} &= \frac{a_{зст} a_{pst} B_{ст} + a_{звл} a_{pvl} B_{вл}}{T_{рс} W_{змгс}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.8)$$

де $a_{зд}$, $a_{зст}$, $a_{звл}$ – коефіцієнти затрат на зберігання допоміжного обладнання, струшувача та уловлювача від вартості технічного обслуговування і поточного ремонту.

Затрати на паливо-мастильні матеріали:

$$Z_{пмс} = Q \Pi_{пм}, \quad (5.9)$$

де Q – витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/дерево;

$\Pi_{пм}$ – комплексна ціна паливо-мастильних матеріалів, грн./кг.

Питомі капітальні вкладення:

$$\left. \begin{aligned} K_m &= \frac{B_d}{T_{pm} W_{змгт}}; \\ K_c &= \frac{B_{ст} + B_{вл}}{T_{рс} W_{змгс}}. \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

Економічний ефект від підвищення повноти знімання горіхів:

$$E_n = \frac{(\Pi_c - \Pi_m) Y}{100} \Pi_{гор}, \quad (5.11)$$

де Π_m , Π_c – повнота знімання горіхів з дерева ручним способом та струшувачами, %;

Y – середня біологічна врожайність, кг/дерево [12];

$\Pi_{гор}$ – ціна горіхів, грн./кг [12].

Затрати праці на збирання горіхів:

$$\left. \begin{aligned} Z_{нрт} &= \frac{1}{W_{змгт}}; \\ Z_{нрс} &= \frac{1 + m_{дс}}{W_{змгс}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.12)$$

де $З_{нрт}$, $З_{нрс}$ – затрати праці, відповідно за ручного збирання та з використанням струшувача, люд.-год./дерево.

Річна економія затрат праці:

$$E_{нрр} = (З_{нрс} - З_{нрт}) B_{рн}. \quad (5.13)$$

Лімітна ціна ручного віброударного струшувача горіхів становить [4]:

$$Ц_{см} = \left(\frac{E_p}{a_{асм} + e_k} + B_{см} \right) e_{эф}, \quad (5.14)$$

де $e_{эф}$ – коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту.

Ступінь зміни затрат $C_{см}$ (%) від використання ручного віброударного струшувача горіхів порівняно з ручним збиранням дорівнює:

$$C_{см} = \frac{(З_c - З_m)}{З_{см}} 100, \quad (5.15)$$

де $З_m$, $З_c$ – питомі затрати на одне дерево (праці (люд.-год), прямі експлуатаційні затрати, зведені затрати, капіталовкладення) відповідно за ручного збирання та з використанням струшувача, грн.

За формулою (5.1), враховуючи вирази (5.2) – (5.11), визначається річний економічний ефект від використання ручного віброударного струшувача волоських горіхів порівняно з ручним збиранням.

Результати розрахунків наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності збирання горіхів
ручним віброударним струшувачем

Показники	Збирання	
	ручне	з використанням струшувача
Річне напруцювання, 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

Продовження таблиці 5.2

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
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 напруження 1800 дерев в цінах збирального сезону 2022 року.

Висновки по розділу

Таким чином, в результаті проведених розрахунків визначено, що ручний віброударний струшувач може ефективно використовуватись в садах волоського горіха, в тому числі не підготованих до механізованих плодозбиральних робіт, а також на схилах, терасах, лісосмугах і ділянках індивідуальних господарств. Внаслідок використання струшувача підвищуються продуктивність і повнота збирання горіхів, зменшуються затрати праці.

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.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином на основі проведених досліджень можна зробити висновки про доцільність наукової розробки. Тому, що при використанні ручного віброударного струшувача, значно підвищується ефективність збирання волоських горіхів, забезпечує агротехнічно необхідну повноту знімання без пошкодження скелетних гілок та негативного впливу на працівника-збирача.

Змодельовано процес взаємодії ручного віброударного струшувача волоських горіхів зі скелетними гілками й отримано теоретичні залежності переміщення, швидкості і прискорення гілок в місці захвату від параметрів ручного віброударного струшувача з урахуванням механіко-технологічних властивостей гілок.

Потужність струшування гілок двох розмірних груп не перевищує 667,1 Вт, тому ручні віброударні струшувачі волоських горіхів можна комплектувати двигунами внутрішнього згоряння з ефективною потужністю $N_e = 1$ кВт.

Створений ручний віброударний струшувач додатково оснащено ударним механізмом та вилчастим захватом. Вилчастий захват охоплює гілки діаметром 20–55 мм, і за кута розхилу еластичних подушок захвата 40° унеможлиблюється проковзування подушок по корі в місці передачі збурювальних зусиль. Завдяки ударному механізму, тобто у віброударному режимі, забезпечується агротехнічно необхідна повнота знімання горіхів 95–98% з гілок діаметром D_e в основі 50, 60, 70, 80, 90 мм.

Продуктивність ручного віброударного струшувача волоських горіхів становить 8,57 дерев/год, за семигодинну зміну – 60 дерев/зм, а в разі схеми посадки дерев 10×10 м – 0,6 га/зм. У діапазоні робочих частот знімання горіхів механізм утримання і управління ручного віброударного струшувача забезпечує ефективне гасіння коливань, які передаються на руки працівника-збирача, тобто, коректовані за частотою середні квадратичні прискорення на рукоятках становлять $0,63\text{--}2,47$ м/с² (66,4–78,3 дБ), що не перевищує допустимого нормативу $4,23$ м/с² (83 дБ).

Річний економічний ефект від використання створеного ручного віброударного струшувача плодів складає 176,4 тис. грн і досягається за рахунок зростання продуктивності праці, підвищення повноти знімання та зменшення затрат праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабій П.Т. Механізація виробництва плодів і ягід. 2-е вид., допов. і перероб. Київ : Урожай, 1980. 160 с.
2. 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.
3. Гошко З.О. Дослідження технологічного процесу збирання плодів тросовим струшувачем віброударної дії: дис. ... канд. техн. Луцьк, 1995. 263 с.
4. 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. URL: <http://dspace.tneu.edu.ua/bitstream/316497/477/1/expert.pdf>.
5. Довідник з механізації садівництва / М.О. Демидко, А.Є Бабенко, В.П. Бабій та ін.; за заг. ред. М.О. Демидка. Київ : Урожай, 1988. 233 с.
6. Какауридзе А.А. Ручной стряхиватель плодов. Садоводство. 1987. № 5. С 17–18.
7. Кернасюк Ю.В. Горіхові перспективи. URL: <http://agrobusiness.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/7946-horikhovi-perspektyvy.html>.
8. Крупич Р.О., Шевчук Р.С. Ручний віброударний струшувач плодів. Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву: каталог інноваційних розробок / за заг. ред. В.В. Снітинського. Вип. 13. Львів : Львівський національний аграрний університет, 2013. С. 53.
9. Крупич Р.О., Шевчук Р.С. Технологічні особливості збирання горіхоплідних культур з використанням ручних струшувачів плодів. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: матеріали XXII міжн. наук.-техн. конф. Глеваха : Національний науковий центр „ІМЕСГ“, 2014. С. 119–121.
10. Крупич Р.О., Шевчук Р.С., Крупич О.М. Господарські випробування ручного віброударного струшувача горіхів. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь:

збірник тез IV Всеукраїнської наук.-практ. конф. (Житомир, 29 бер. 2018 р.). Житомир : Житомирський агротехнічний коледж, 2018. С. 204–206.

11. Крупич Р.О., Шевчук Р.С., Крупич О.М. Математична модель ручного віброударного струшувача плодів. Інноваційні технології в АПК: тези VI Всеукраїнської наук.-практ. конф. (травень 2017 р). Луцьк: Луцький нац. техн. ун-т, 2017. С. 31–33.

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. 56

13. Прокопенко Е.В., Лісовий І.О., Лісова Т.С. Моделювання виробничих небезпек та зменшення їх шкідливого впливу під час проведення механізованих робіт. Зб. наук. праць УНУС. Умань, 2015. С. 79–86.

14. Ручний віброударний струшувач плодів: пат. 95453 Україна: МПКА01D 46/26. №u201407346; заявл. 01.07.14; опубл. 25.12.14, Бюл. № 24. 6 с.

15. Шевчук Р. С., Крупич Р. О. Модернізований ручний струшувач плодів. Техніка і технології АПК. 2015.№ 3(66). С. 24–26.

16. Щепотьев Ф.Л., Павленко Ф.А., Ріхтер О.А. Горіхи. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ : Урожай, 1987. 184 с.

17. Shaker SC105. Cifarelli SpA. https://www.cifarelli.it/documenti/depSC105_GB.pdf.

18. Shaker SC800. Cifarelli SpA. URL: https://www.cifarelli.it/documenti/SC800_SP-ING.pdf.