

УДК 631.358; 634.51

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВЕДЕНОГО КОЕФІЦІЄНТА ЖОРСТКОСТІ ПЛОДОВИХ ГІЛОК ДЕРЕВ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА

Роман Крунич, к. т. н., Роман Шевчук, д. с.-г. н.,

Олег Крунич, Степан Левко, Ярослав Сало

Львівський національний аграрний університет,

вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський р-н, Львівська обл., Україна,

e-mail: krupych.robota@gmail.com

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2018.01.014>

Постановка проблеми. Найбільш трудомісткою операцією під час вирощування волоських горіхів є збирання плодів [2; 3]. Зростання площ горіхових насаджень вимагає часткової або повної механізації цієї операції [8; 17]. Для повної механізації збирання горіхів використовують плодозбиральні машини чи начіпні струшувачі, які передають збурювальні зусилля штамбу чи стовбуру дерева [1; 4; 11]. Знімання горіхів можна здійснити безпосередньо зі скелетної гілки ручними струшувачами [7; 9], які доцільно оснащувати ударним механізмом для генерування віброударних збурювальних коливань [15; 18–21]. Для обґрунтування робочих режимів струшувачів, у тому числі місця захвату гілки, необхідно визначити фізико-механічні властивості скелетних гілок волоського горіха. До основних показників належить зведений коефіцієнт жорсткості, від якого залежать характер коливань гілки та зусилля на її струшування, а також затрати потужності на робочий процес. Для дослідження процесу знімання горіхів зі скелетних гілок різних розмірних груп необхідно визначити її зведений коефіцієнт жорсткості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці плодозбиральної техніки передували дослідження фізико-механічних властивостей плодкових дерев [3]. Основні прилади та методики запропоновані професором Г.П. Варламовим, який досліджував жорсткісні параметри штаблів, центральних провідників та скелетних гілок через визначення модуля пружності плодової деревини [3]. Модуль пружності плодової деревини визначається як статичним, так і динамічним способами. Модуль пружності за статичного згину визначався на універсальній машині для дослідження зразків на розтяг, стиск і згин. Для цього з деревини виготовляються зразки квадратного перерізу розміром 20×20 мм і завдовжки 300 мм. Деформація (прогин f_n) вимірювалась

індикатором. Відстань між центрами опор дорівнює 240 мм, а між центрами опор ножів – 80 мм. Вологість зразків була доведена до 15 %.

Модуль пружності, кгс/см², становить [3]:

$$E = \frac{23Pl}{108bh^3 f_n}, \quad (1)$$

де P – навантаження на середину зразка між опорами, кгс; l – відстань між опорами, см; b , h – ширина та висота зразка, см; f_n – стріла прогину, см.

За цією ж методикою розраховується модуль пружності для круглих зразків (плодкових гілок) [3; 11]:

$$E = \frac{0,355Pl^3}{f_n d_2^4}, \quad (2)$$

де d_2 – діаметр зразка плодової гілки, см.

У період збиральних робіт вологість живої плодової деревини коливається в межах 45–55 %, тому отримані результати необхідно перерахувати за формулою [3]:

$$E_w = \frac{E_{15}}{1 + \alpha(w - 15)}, \quad (3)$$

де E_w – модуль пружності за статичного згину для будь-якої вологості зразка, Па; E_{15} – модуль пружності за статичного згину для зразка вологістю 15 %, Па; α – поправковий коефіцієнт на вологість, який може становити для всіх порід плодкових дерев 0,02; w – вологість зразка під час проведення замірів, %.

Динамічний модуль пружності плодової деревини можна визначити резонансним методом. Використовуючи цей метод, А. А. Какаурідзе визначив динамічний модуль пружності скелетних гілок дерев яблуні та груші [3; 6]. Дослідження проводили на стенді. У збиральний період відбирались зразки скелетних гілок квадратного перерізу аналогічно, як для дослідження модуля пружності на згин. Недоліком цих способів визначення модуля пружності є відбір зразків, а не проведення замірів безпосередньо на деревах.

Жорсткість плодкових гілок можна охарактеризувати коефіцієнтом жорсткості, тобто зусиллям, яке необхідно прикласти до гілки, щоб відхилити її на певну відстань [5]. Під час проведення досліджень використовувався пружинний динамометр з інтервалом вимірювання 0 – 200 Н, точністю 0,5 Н. У центрі ваги гілки прикладалося зусилля F , яке фіксувалось динамометром, а переміщення гілки – лінійкою. Коефіцієнт жорсткості плодової гілки визначався за формулою $c_z = F/x$, Н/м.

Для визначення коефіцієнта жорсткості штабів та центрального провідника плодкових дерев розроблені спеціальні установки, які використовують у польових умовах і навішують на трактор [16]. Для відхилення штабів та центральних провідників дерев необхідно прикладати значні зусилля. Запропонована установка складається з натяжного пристрою та пристосування для вимірювання відхилення штаба від положення рівноваги. Натяжний пристрій містить захват, що виконаний у вигляді петлі, з'єднаної тросом через динамометр із гідроциліндром, підключеним до роздільно-агрегатної гідравлічної системи трактора. Плавне переміщення штока гідроциліндра забезпечується сповільнювальними клапанами, якими оснащені штуцери шлангів гідросистеми. Циліндр шарнірно змонтований на жорсткій рамці, з'єднаний за триточковою схемою з механізмом начіпки трактора. За допомогою стяжки відносно рамки фіксується опорна площина, з якою через нерухомий упор контактує гідроциліндр, а через опори кочення – динамометр [16].

Пристосування для вимірювання відхилення штабів містить вертикальну стійку, уздовж якої переміщується штанга, фіксована гвинтом; на штанзі кріпиться кронштейн зі штангенциркулем.

Установка для визначення зведеного коефіцієнта жорсткості центральних провідників відрзнялася від описаного обладнання кріпленням на механізмі начіпки трактора натяжного пристрою та подовженою вертикальною стійкою, що дали змогу досліджувати центральні провідники на висотах до 2 м [16].

Під час дослідів біля дерева зупинявся трактор; натяжний пристрій встановлювався в положення, в якому лінія, що з'єднувала задану точку досліджуваного стовбура дерева та точку шарнірного кріплення гідроциліндра, спрямовувалась горизонтально. Петля-захват, встановлена в заданому місці, з'єднувалась із натяжним пристроєм. До кори в зоні вирізу на захваті підводився глибиномір штангенциркуля, розташованого вздовж лінії прикладання збурювальної

сили. Внаслідок втягування штока гідроциліндра дерево відхилялося від положення рівноваги, збурювальна сила фіксувалась динамометром, а зміщення стовбура – штангенциркулем [16].

У перелічених публікаціях досліджувались жорсткісні показники штабів, центральних провідників та плодкових гілок дерев зерняткових та кісточкових плодкових культур і не було приділено уваги деревам волоського горіха.

Постановка завдання. Збільшення площ горіхових насаджень вимагає механізації збиральних робіт. На початках можна частково механізувати ручні збиральні роботи використанням ручних струшувачів, що передають збурювальні зусилля скелетним гілкам. На теперішній час існують ручні струшувачі плодів, що приводяться в дію від двигунів внутрішнього згоряння і в основному призначені для збирання оливок. Для збирання волоських горіхів необхідно визначити основні режими роботи та регулювання струшувачів, що залежать від фізико-механічних властивостей скелетних гілок. До основних показників належить зведений коефіцієнт жорсткості.

Тому метою досліджень є визначення зведеного коефіцієнта жорсткості плодкових гілок волоського горіха залежно від діаметра гілок в основі та місця прикладання зусилля, з розробкою спеціального стенда для проведення експериментів.

Виклад основного матеріалу. Опір гілки зміщенню від природного початкового положення характеризується зведеним до місця прикладання збурювальної сили коефіцієнтом жорсткості, що залежить від багатьох чинників, визначальними серед яких є розміри гілок і механічні показники деревини, а узагальнювальними критеріями оцінки жорсткості виступають діаметр гілки в основі D_z і відстань ℓ_z від основи гілки до місця її захвату.

Зведений коефіцієнт жорсткості плодкових гілок волоського горіха визначався на скелетних гілках першого порядку нижніх ярусів дерев різних вікових груп та сортів, діаметри яких в основі змінювалися в межах від 50 до 90 мм. Для проведення замірів використовувався натяжний пристрій (рис. 1), що забезпечував перпендикулярне прикладання сили до гілки зі зміною місця прикладання, тобто зміною висоти над поверхнею міжряддя та відстані до центрального провідника [10].

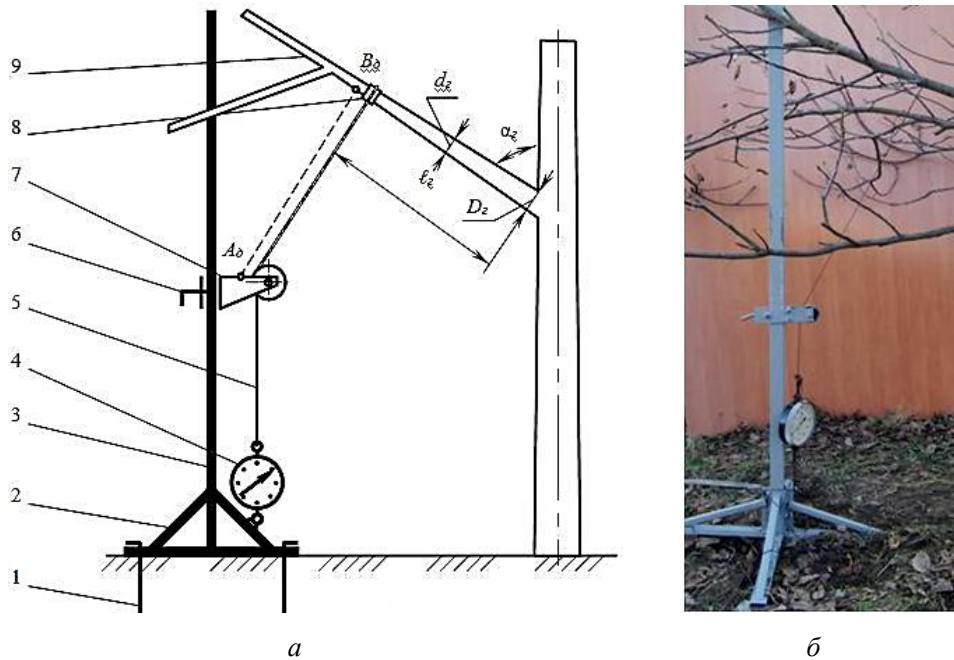


Рис. 1. Натяжний пристрій для дослідження зведеного коефіцієнта жорсткості скелетних гілок:
а – схема; б – загальний вигляд;

1 – штирі; 2 – опора; 3 – стійка; 4 – динамометр; 5 – линва; 6 – затискний гвинт; 7 – рухомий кронштейн із роликком; 8 – проставка; 9 – скелетна гілка першого порядку;
 A_0, B_0 – точки базування і спрямування променя далекоміра

Fig. 1. Strainer for studying the aggregate coefficient of rigidity of the skeletal branches:
а – scheme; б – general view;

1 – dowels; 2 – support; 3 – post; 4 – dynamometer; 5 – cable; 6 – cap screw; 7 – movable pulley bracket; 8 – spacer ring; 9 – skeletal branch of the first order;
 A_0, B_0 – points of location and beam direction of distance meter

Пристрій складається зі стійки 3 з опорою 2 та штирями 1 для встановлення й фіксації стійки біля гілки. На стійці 3 за допомогою затискного гвинта 6 кріпиться рухомий кронштейн з роликком 7, що дозволяє кріпити один кінець линви 5 через проставку 8 перпендикулярно до гілки залежно від місця прикладання сили. Другий кінець линви 5 через динамометр 4 кріпиться до опори 2.

Відхилення гілки від положення рівноваги визначалось за допомогою лазерного далекоміра фірми DeWALT [12] як різниця значень відстані від опорної площини кронштейна 7 біля стійки 3 до нижньої частини перерізу гілки, вимірюваної вздовж линви 5 у початковому і відхиленому після прикладання сили положеннях гілки (див. рис. 1, б).

Під час дослідів стійка 3 встановлювалась під гілкою, на якій в місцях прикладання сили відхилення на заданій відстані від центрального провідника дерева наносились мітки, причому відстань вимірювалась лазерним далекоміром. Один кінець линви 5 через проставку 8 кріпився до місця прикладання сили відхилення, а другий

кінець через блок кронштейна 7 і динамометр 4 з'єднувався з основою 2 стійки 3. Під час кріплення до гілки линви 5 переміщався кронштейн 7 і фіксувався затискним гвинтом 6 у положенні, що відповідало прямому куту між гілкою і линвою.

Гілку навантажували за допомогою ступінчастого натягу линви, тобто, забезпечивши певний натяг, фіксувалось її положення. Сила відхилення гілки реєструвалась динамометром, а лінійне відхилення – далекоміром. Потім послідовно реалізовувались наступні ступені натягу линви, на кожному з яких реєструвались сила та відхилення гілки. Зі завершенням вимірювань гілка звільнялась і здійснювалась підготовка до експериментів на іншій гілці.

Закономірність зміни сили відхилення P_z , Н, що дорівнює натягу линви, має лінійний характер:

$$P_z = c_z x_{l_z}, \quad (4)$$

де c_z – зведений коефіцієнт жорсткості гілки, Н/м; x_{l_z} – лінійне відхилення гілки від положення рівноваги на відстані захвату l_z , м.

Зведений коефіцієнт жорсткості становить [22]:

$$c_z = \left(\sum_{i=1}^n P_{zi} x_{1zi} \right) / \left(\sum_{i=1}^n x_{1zi}^2 \right), \quad (5)$$

де i – індекс вимірювання в досліді, що відповідає ступеню натягу ливви; n – число ступенів вимірювань.

Пружна відновлювальна сила, яка виникає під час відхилення гілки від положення рівноваги, зумовлюється пружним деформуванням деревини.

Дослідження зведеного коефіцієнта жорсткості скелетних гілок першого порядку ґрунтувалися на методиці планування двофакторного експерименту на трьох рівнях [13; 14]. Незалежні змінні – діаметр гілок в основі D_z і відстань захвату ℓ_z ; кодовані значення змінних X_1, X_2 на трьох рівнях становили $-1, 0, +1$. Функція відгуку, або вихідний параметр Y_{cz} , – зведений коефіцієнт c_z жорсткості скелетних гілок.

Жорсткість скелетних гілок досліджувалась на гілках першого порядку з діаметром в основі D_z , що відповідав двом розмірним групам: 50 ... 70 мм та 70 ... 90 мм.

Точки матриць планованих експериментів з визначення зведеного коефіцієнта жорсткості (табл. 1, 2) для гілок двох розмірних груп відповідали різним рівням кодованих змінних, тобто факторів X_1 (діаметр гілок D_z в основі) та X_2 (відстань захвату ℓ_z).

Для гілок першої розмірної групи рівням $-1, 0, +1$ чинника X_1 відповідали значення діаметра гілок D_z в основі – 50, 60 і 70 мм, а вказаним рівням чинника X_2 – значення відстані ℓ_z захвату 1,25, 1,50, 1,75 мм. Відповідно для гілок другої розмірної групи $X_1 (D_z)$: -1 – 70 мм; 0 – 80 мм; $+1$ – 90 мм; $X_2 (\ell_z)$: -1 – 1,75 м; 0 – 2 м; $+1$ – 2,25 мм.

Після обробки даних методом регресійного аналізу отримано для крон волоського горіха залежності зведеного коефіцієнта жорсткості скелетних гілок першого порядку. Залежності коефіцієнта жорсткості $Y_{cz} (c_z)$, Н/м, гілок першої розмірної групи (див. табл. 1) у разі:

а) кодованих значень змінних –

$$Y_{cz} = 1095,79 + 682,5 X_1 - 708,33 X_2 + 167,03 X_1^2 + 174,53 X_2^2 - 382,5 X_1 X_2; \quad (6)$$

б) дійсних значень –

$$c_z = -223,07 + 97,31 D_z - 2030,76 \mathbf{1}_z + 1,67 D_z^2 + 2792,48 \mathbf{1}_z^2 - 153 D_z \mathbf{1}_z. \quad (7)$$

Для гілок другої розмірної групи (див. табл. 2) такі залежності $Y_{cz} (c_z)$, Н/м, відповідно за умов:

а) кодованих значень змінних –

$$Y_{cz} = 975,47 + 392,17 X_1 - 500,83 X_2 + 44,82 X_1^2 + 147,82 X_2^2 - 199,5 X_1 X_2; \quad (8)$$

б) дійсних значень –

$$c_z = 1405,71 + 127,105 D_z - 5079,8 \mathbf{1}_z + 0,448 D_z^2 + 2365,12 \mathbf{1}_z^2 - 79,8 D_z \mathbf{1}_z. \quad (9)$$

Таблиця 1. Результати планованого експерименту з визначення зведеного коефіцієнта жорсткості $Y_{cz} (c_z)$ гілок першої розмірної групи

Table 1. The results of the planned experiment as to determine of the $Y_{cz} (c_z)$ aggregate coefficient of rigidity of first size branch group

Точка плану	Матриця планування		Вихідний параметр Y_{cz} , Н/м		
	X_1	X_2	Повторність		
			1	2	3
1	+1	+1	1017	1005	1016
2	+1	-1	3061	3188	3010
3	-1	+1	428	467	439
4	-1	-1	1061	1068	1086
5	+1	0	1905	1936	1924
6	-1	0	599	590	591
7	0	+1	541	552	572
8	0	-1	2188	2190	1883
9	0	0	1086	1297	1198
10	0	0	1107	1296	1028
11	0	0	1095	1245	1095

Таблиця 2. Результати планованого експерименту з визначення зведеного коефіцієнта жорсткості Y_{c_2} (c_2) гілок другої розмірної групи

Table 2. The results of the planned experiment as to determine of the Y_{c_2} (c_2) aggregate coefficient of rigidity of second size branch group

Точка плану	Матриця планування		Вихідний параметр Y_{c_2} , Н/м		
			Повторність		
	X_1	X_2	1	2	3
1	+1	+1	874	868	880
2	+1	-1	2289	2273	2317
3	-1	+1	442	451	445
4	-1	-1	1058	1073	1070
5	+1	0	1365	1357	1376
6	-1	0	669	661	671
7	0	+1	629	637	645
8	0	-1	1652	1604	1550
9	0	0	886	962	1001
10	0	0	984	994	887
11	0	0	991	1065	981

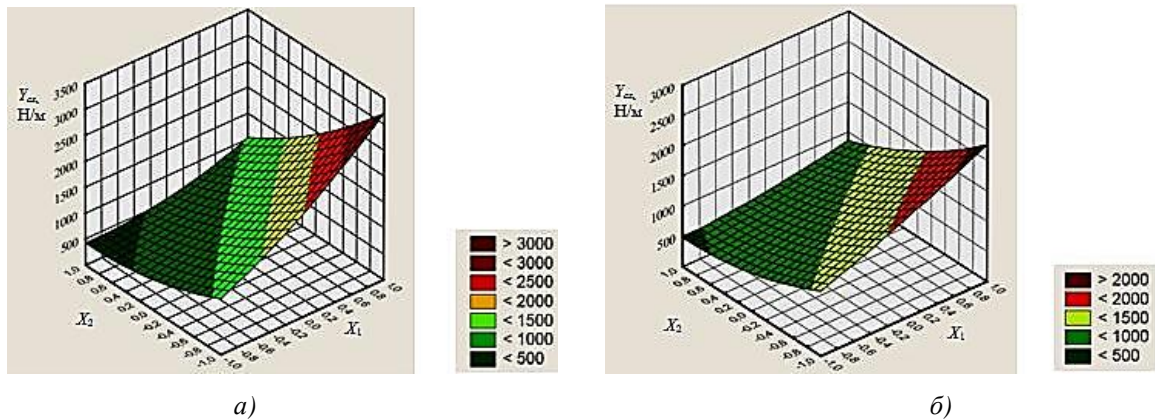


Рис. 2. Поверхні відгуку зведеного коефіцієнта жорсткості $Y_{c_2}(c_2)$ гілок першої (а) і другої (б) розмірних груп від діаметра гілок X_1 (D_2) в основі та відстані X_2 (ℓ_2) захвату

Fig. 2. Response surfaces of the Y_{c_2} (c_2) aggregate coefficient of rigidity of branches accordingly the (a) first and the (b) size groups concerning to X_1 (D_2) branch diameter in the base and at the X_2 (ℓ_2) distance of capture

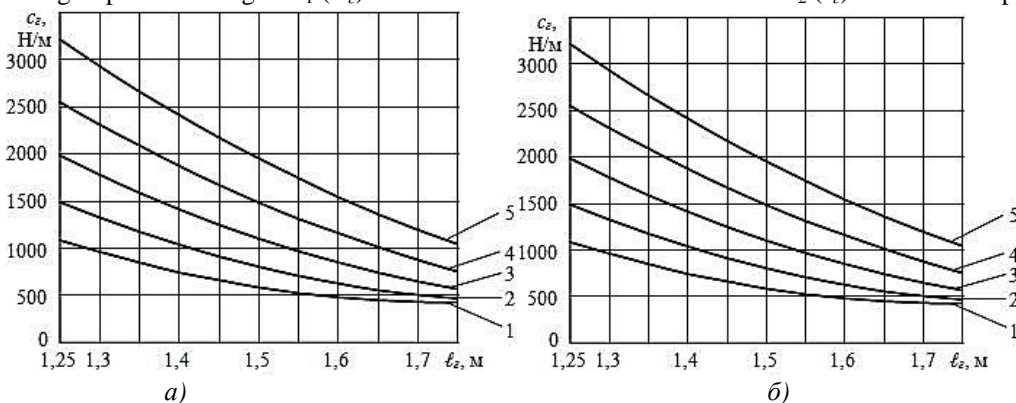


Рис. 3. Залежності зведеного коефіцієнта жорсткості c_2 гілок від відстані захвату ℓ_2 гілок розмірних груп:

a – першої (діаметр D_2 в основі: 1, 2, 3, 4, 5 відповідно – 50, 55, 60, 65, 70 мм);

б – другої (діаметр D_2 : 1, 2, 3, 4, 5 відповідно – 70, 75, 80, 85, 90 мм)

Fig. 3. Dependences of the c_2 aggregate coefficient of rigidity of branches concerning to the ℓ_2 branches distance capture of dimensional groups:

a – the first (D_2 diameter in the base: 1, 2, 3, 4, 5 accordingly – 50, 55, 60, 65, 70 мм);

б – the second (D_2 diameter: 1, 2, 3, 4, 5 accordingly – 70, 75, 80, 85, 90 мм)

На основі отриманих рівнянь регресії (6), (8) побудовані поверхні відгуку (рис. 2), що відображають залежність зведеного коефіцієнта жорсткості Y_{cz} гілок від відстані X_2 захвату ℓ_2 і діаметра X_1 в основі гілок першої (див. рис. 2, а) і другої (див. рис. 2, б) розмірних груп.

Виходячи з рівнянь (7) і (9) встановлено залежності зведеного коефіцієнта жорсткості c_2 скелетних гілок першого порядку волоського горіха за умови дійсних значень змінних: перша розмірна група – $D_2 = 50 \dots 70$ мм, $\ell_2 = 1,25 \dots 1,75$ м (див. рис. 3, а); друга – $D_2 = 70 \dots 90$ мм, $\ell_2 = 1,75 \dots 2,25$ м (див. рис. 3, б).

Для рівняння (6) розраховане значення критерію Кохрена становить $G_p = 0,3984$, що менше від табличного $G_T(0,05; 11; 2) = 0,7341$. Значення критерію Фішера – розраховане $F_p = 1,505$, яке менше від табличного $F_T(0,05; 8; 22) = 2,4$.

Відповідно для другої розмірної групи (рівняння 8): значення критерію Кохрена – розраховане $G_p = 0,2812$, яке менше від табличного $G_T(0,05; 11; 2) = 0,7341$; значення критерію Фішера – розраховане $F_p = 0,9946$, яке менше від табличного $F_T(0,05; 8; 22) = 2,4$.

Порівняння розрахованих критеріїв Кохрена і Фішера з їх табличними значеннями підтверджує відтворюваність дослідів і адекватність отриманих математичних моделей.

Висновки. 1. Зведений коефіцієнт жорсткості c_2 скелетних гілок першого порядку дерев волоського горіха зростає зі збільшенням діаметра гілок D_2 в основі й зменшенням відстані їх захвату ℓ_2 .

2. Для гілок першої розмірної групи діаметром в основі від 50 до 70 мм на відстані захвату 1,25 ... 1,75 м зведений коефіцієнт жорсткості змінюється в інтервалі 429,0 ... 3210,7 Н/м. Найменше значення цього інтервалу 429,0 Н/м відповідає $D_2 = 50$ мм і $\ell_2 = 1,75$ м, а найбільше – 3210,7 Н/м – досягається, якщо $D_2 = 70$ мм, $\ell_2 = 1,25$ м. Для гілок другої розмірної групи ($D_2 = 70 \dots 90$ мм, $\ell_2 = 1,75 \dots 2,25$ м) коефіцієнт жорсткості гілок змінюється від 474,6 Н/м, якщо $D_2 = 70$ мм і $\ell_2 = 2,25$ м, до 2260,6 Н/м у разі, коли $D_2 = 90$ мм і $\ell_2 = 1,75$ м.

3. Від зведеного коефіцієнта жорсткості скелетних гілок залежить процес роботи ручного вібраційного чи віброударного струшувача горіхів. Для струшування скелетних гілок першої розмірної групи доцільно вибирати відстань захвату ℓ_2 в межах 1,25 ... 1,75 м, а другої розмірної групи – 1,75 ... 2,25 м.

Бібліографічний список

1. Аниферов Ф. Е., Ерошенко Л. И., Теплинский И. З. Машины для садоводства. 2-е изд., перераб. и дополн. Ленинград: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. 304 с.
2. Бабій П. Т. Механізація виробництва плодів і ягід. 2-е вид., допов. і перероб. Київ: Урожай, 1980. 160 с.
3. Варламов Г. П. Машины для уборки фруктов. Москва: Машиностроение, 1978. 216 с.
4. Демидко М. Е., Беренштейн И. Б. Механизация интенсивного садоводства. Киев: Урожай, 1970. 144 с.
5. Иванченков В. А. Изыскание и исследование энергосберегающей установки для уборки плодов с деревьев в крестьянских (фермерских) хозяйствах: дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2006. 187 с.
6. Какауридзе А. А. Разработка и обоснование устройств для уборки плодов на тракторонедоступных участках: дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 1988. 241 с.
7. Крупич Р. О. Розширення технологічних можливостей ручних струшувачів плодів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2014. № 18. С. 61–68.
8. Крупич Р. О., Шевчук Р. С., Крупич О. М. Методика вибору способу збирання плодів. *Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій*: матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму (18–21 вер. 2012 р.). Львів, 2012. С. 483–487.
9. Крупич Р. О., Шевчук Р. С. Технологічні особливості збирання горіхоплідних культур з використанням ручних струшувачів плодів. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві*: матеріали ХХІІ Міжнар. наук.-техн. конф. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2014. С. 119–121.
10. Крупич Р. О., Шевчук Р. С., Крупич О. М., Левко С. І. Пристрій для визначення зведеного коефіцієнта жорсткості гілок плодівих дерев. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву*: каталог інноваційних розробок / за заг. ред. В. В. Снітинського. Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2017. Вип. 17. С. 61.
11. Кулибеков Г. М. Уборка грецких орехов с крупноштабмовых деревьев машиной с импульсным вибровозбудителем: дисс. ... канд. техн. наук. Кировобад, 1984. 234 с.
12. Лазерний вимірвач відстаней DW040. Технічна характеристика. Інструкція по експлуатації. URL: <http://www.dewalt.ua/siteequipment/productdetails/catno/DW040/info/specifications/> (дата звернення: 10.05.2017).
13. Математическая теория планирования эксперимента / под. ред. С. М. Ермакова. Москва: Наука, 1983. 392 с.
14. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 168 с.

15. Ручний віброударний струшувач плодів: пат. 95453 Україна: МПК А01D 46/26. № u201407346; заявл. 01.07.14; опубл. 25.12.14, Бюл. № 24. 6 с.
16. Шевчук Р. С. Процессы и средства механизации съема плодов: дисс. ... д-ра с.-х. наук. Москва, 2000. 532 с.
17. Шевчук Р. С., Крупиц О. М., Крупиц Р. О. Засоби механізації для збирання горіхоплідних культур. *Науково-технічні та енергетичні засади агропромислового виробництва*: колективна монографія / за ред. В. М. Боярчука та ін. Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2012. С. 4–15.
18. Шевчук Р. С., Крупиц Р. О. Модернізований ручний струшувач плодів. *Техніка і технології АПК*. 2015. № 3(66). С. 24–26.
19. Шевчук Р. С., Крупиц Р. О. Ручний віброударний струшувач плодів. *Сільськогосподарські машини*: зб. наук. статей. Луцьк, 2011. Вип. 21, т. 2. С. 238–243.
20. Шевчук Р. С., Крупиц Р. О. Ручной виброударный стряхиватель плодов. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin, 2015. Vol. 17, No. 4. P. 101–107.
21. Шевчук Р. С., Крупиц Р. О. Ручной виброударный стряхиватель плодов. *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. № 1. С. 21–25.
22. Хайлис Г. А., Ковалев М. М. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных. Москва: Колос, 1994. 169 с.

Крупиц Р., Шевчук Р., Крупиц О., Левко С., Сало Я.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВЕДЕНОГО КОЕФІЦІЄНТА ЖОРСТКОСТІ ПЛОДОВИХ ГІЛОК ДЕРЕВ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА

У статті розглянуто наукову проблему з визначення фізико-механічних властивостей дерев волоського горіха, тобто зведеного коефіцієнта жорсткості плодкових гілок, що дозволяє обґрунтувати параметри ручних струшувачів вібраційної та віброударної дії, а також описати фізичну та математичну моделі плодової гілки в системі «людина – ручний струшувач – плодова гілка».

Встановлено, що зведений коефіцієнт жорсткості гілок залежить від породи дерева, діаметра гілки в основі та відстані від основи гілки до місця прикладання зусилля. У наведених дослідженнях розглянуто скелетні гілки волоського горіха з діаметром в основі від 50 до 90 мм, що розбиті на дві розмірні групи. Перша група мала діаметр в основі 50...70 мм, для якої відстань прикладання зусилля становила 1,25 ... 1,75 м, друга група – гілки з діаметром в основі 70...90 мм, а відстань прикладання зусилля – 1,75 ... 2,25 м. Зі зростанням діаметра гілки в основі та зменшенням відстані від основи гілки до місця прикладання зусилля зведений коефіцієнт жорсткості зростає.

Для проведення замірів розроблено натяжний пристрій, що забезпечував перпендикулярне прикладання сили до гілки зі зміною місця прикладання, тобто зміною висоти над поверхнею міжряддя та відстані до центрального провідника. Пристрій складається зі стійки з опорою та штирями для встановлення й фіксації стійки біля гілки. На стійці монтується рухомий кронштейн з роликом, що дає змогу кріпити один кінець лінви перпендикулярно до гілки залежно від місця прикладання сили. Другий кінець лінви через динамометр кріпиться до опори. Відхилення гілки від положення рівноваги після прикладання сили визначали за допомогою лазерного далекоміра, а силу – динамометром.

Для гілок першої розмірної групи діаметром в основі від 50 до 70 мм на відстані захвату 1,25 ... 1,75 м зведений коефіцієнт жорсткості змінюється в інтервалі 429,0 ... 3210,7 Н/м. Найменше значення цього інтервалу 429,0 Н/м відповідає $D_2 = 50$ мм і $\ell_2 = 1,75$ м, а найбільше – 3210,7 Н/м – досягається, якщо $D_2 = 70$ мм, $\ell_2 = 1,25$ м. Для гілок другої розмірної групи ($D_2 = 70 ... 90$ мм, $\ell_2 = 1,75 ... 2,25$ м) коефіцієнт жорсткості гілок змінюється від 474,6 Н/м, якщо $D_2 = 70$ мм і $\ell_2 = 2,25$ м, до 2260,6 Н/м у разі, коли $D_2 = 90$ мм і $\ell_2 = 1,75$ м.

Ключові слова: волоські горіхи, скелетна гілка, зведений коефіцієнт жорсткості, натяжний пристрій.

Krupych R., Shevchuk R., Krupych O., Levko S., Salo Ya.

RESEARCH OF THE AGGREGATE COEFFICIENT OF RIGIDITY OF THE WALNUT FRUIT BRANCHES

The article deals with the scientific problem of determining the physical and mechanical properties of walnut trees and particularly the aggregate coefficient of rigidity of the fruit branches. This allows to ground the parameters of manual shakers of vibration and vibration and impacts action, as well as to describe the physical and mathematical models of the fruit branch in the system «man – manual shaker – fruit branch».

A tensioning device (strainer) was developed for measurements of the perpendicular force applied to a branch with a change of the point of application. This unit consists of a post with a support and pins or dowels for mounting and fixing of the post near the branch. On the post, a movable bracket with a roller is mounted, which

allows one end of the line (cable) to be fixed perpendicular to the branch, depending on the point of force application. The second end of the line through the dynamometer is attached to the support. The deviation of the branch from the equilibrium position after the application of force was determined using a laser range finder, and force by the dynamometer.

It is defined that the aggregate coefficient of rigidity of the branches depends on the tree species, the diameter of the branch at the base and at the distance from the base of the branch to the place of application of the force. In the resulted studies the skeletal branches of a walnut with a diameter in the basis from 50 to 90 mm, which are divided into two dimensional groups are considered. The first group had a diameter of 50...70 mm for which the distance of the force application was 1,25...1,75 m, the second group – the branches with a diameter of 70...90 mm, and the distance of the force application was 1,75...2,25 m. The aggregate coefficient of rigidity was increased with the growth of the diameter of the branch at the base and with the reduction of distance from the base of the branch to the place of force application.

For branches of the first dimensional group with a diameter in the basis of 50 to 70 mm at a holding distance of 1,25...1,75 m, the aggregate coefficient of rigidity varies in the range of 429,0...3210,7 N/m. The smallest value of 429,0 N/m at this interval corresponds to $D_c = 50$ mm and $\ell_c = 1,75$ m, and most of all – 3210,7 N/m is achieved if $D_c = 70$ mm, $\ell_c = 1,25$ m. For the branches of the second dimension group of ($D_c = 70...90$ mm, $\ell_c = 1,75...2,25$ m), the rigidity of the branches varies from 474,6 N/m, if $D_c = 70$ mm and $\ell_c = 2,25$ m, to 2260,6 N/m in the case of $D_c = 90$ mm and $\ell_c = 1,75$ m.

Key words: walnuts, skeletal branch, aggregate coefficient of rigidity, tensioning device.

Стаття надійшла 22.10.2018