

## Розділ 1

# ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ, СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ І СИРОВИНИ

УДК 631.358

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛОДІВ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

**Зіновій Гошко, к. т. н., Володимир Буртак, к. т. н.,  
Роман Шевчук, д. с.-г. н., Мирон Магац, к. т. н., Руслан Барабаш, к. т. н.**

*Львівський національний університет природокористування,  
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н,  
Львівська обл., Україна,  
e-mail: zdenuk@gmail.com*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.005>

### **Гошко З., Буртак В., Шевчук Р., Магац М., Барабаш Р. Дослідження фізико-механічних властивостей плодів волоських горіхів**

Стаття присвячена дослідженню фізико-механічних властивостей плодів волоських горіхів, які слід враховувати в їх післязбиральному обробітку, адже надалі всі плоди піддаються механічній дії: руйнуванню оболонки, відділенню ядра, очищенню, транспортуванню, зберіганню, переробці тощо. Проектування та розрахунок обладнання для здійснення механічних операцій неможливі без знання технологічних властивостей складових плоду (шкаралупи, ядра). Значення зусилля руйнування шкаралупи горіха необхідно знати для встановлення оптимальних і раціональних параметрів робочих органів, що забезпечують руйнування шкаралупи й відділення її від ядра, а також у проектуванні машин та апаратів харчової промисловості. Значення об'ємного й масового коефіцієнтів дають змогу встановити співвідношення виходу очищеного ядра до загальної маси та об'єму плоду.

Для виконання поставлених завдань була розроблена програма експериментальних досліджень, яка передбачала визначення таких фізико-механічних властивостей горіхів сорту Чернівецький та Буковинський, які добре зарекомендували себе в європейських країнах і добре культивуються в західних областях України: масові і розмірні показники; масовий коефіцієнт; об'ємний коефіцієнт; робота, що витрачається на руйнування шкаралупи горіха.

У процесі досліджень були отримані результати, які свідчать, що діапазон коливань значень за розмірними показниками плодів горіха незначний, а значення коефіцієнта варіації не перевищує 10 %. Отже, у процесі проектування сортувальних та калібрувальних машин суттєвих проблем під час розділення плодів горіха виникати не буде. Досліджувані сорти дають значний вихід продукції вищого (50 %) та першого (45 %) сортів, що відповідає масовим коефіцієнтам  $\mu_{\text{маск}}=0,5$  і  $\mu_{\text{ср}}=0,45$  відповідно.

Плоди цих сортів можна віднести до середньостінних із товщиною шкаралупи 1,1–1,3 мм, а значення роботи її руйнування необхідно враховувати під час проектування подрібнювальних машин.

**Ключові слова:** волоські горіхи, фізико-механічні властивості, розмірні показники, жири, білки, вуглеводи, маса, довжина, товщина, ширина, енергія руйнування.

### **Hoshko Z., Burtak V., Shevchuk R., Mahats M., Barabash R. Study of the physical and mechanical properties of walnuts**

This article is devoted to studying the physical and mechanical properties of walnuts, which should be considered in their post-harvest treatment, because afterwards all nuts undergo mechanical actions, in particular destruction of shell, separation of kernel, cleaning, transporting, storage, processing, etc. Projecting and calculation of equipment for realization of mechanical operations are impossible without knowing the technological properties of constituents of fruit (shells, kernels). The effort of nut shell destruction should be known to set the optimal and rational parameters of operating parts which perform the functions of shell destruction and kernel separation, as well as to design machines and vehicles of food industry. Values of the volume and mass coefficients make it possible to establish the ratio of the yield of the purified kernel to the total weight and volume nuts.

To fulfill the set tasks, a program of experimental studies was developed. It involved studying the physical and mechanical properties of such walnut varieties as Chernivetskyi and Bukovynskyi which are highly appreciated in European countries and are successfully cultivated in the western regions of Ukraine. The studied properties included indices characterizing mass and size; mass coefficient; volume coefficient; work spent for shell destruction.

In the course of the research, the obtained results confirm that the range of fluctuations of the values for the dimensional indicators of walnut is insignificant, and the value of the variation coefficient does not exceed 10 %. Therefore, in the process of designing some sorting and calibrating machines, there will be no significant problems when separating walnut ker-

nels. The studied varieties give a significant output of products of the highest (50 %) and first (45 %) varieties, which corresponds to the mass coefficients  $\mu_{\max}=0.5$  and  $\mu_{\text{sr}}=0.45$ , respectively.

The nut of these varieties can be classified as medium-walled with a shell thickness of 1.11–1.3 mm, and the value of the work spent for its destruction must be taken into account when designing crushing machines.

**Key words:** walnuts, physical and mechanical properties, size indices, fats, proteins, sugars, mass, length, thickness, width, energy of destruction.

**Постановка проблеми.** Фізико-механічні властивості плодів волоських горіхів є важливими показниками, які потрібно враховувати під час їх післязбирального обробітку, адже надалі всі плоди піддаються механічній дії: руйнуванню оболонки, відділенню ядра, очищенню, транспортуванню, зберіганню, переробці тощо [16; 17]. Проектування та розрахунок обладнання для здійснення механічних операцій неможливі без знання технологічних властивостей складових плоду (шкаралупи, ядра). Значення зусилля руйнування шкаралупи горіха необхідно знати для встановлення оптимальних та раціональних параметрів робочих органів, що забезпечують руйнування шкаралупи та відділення її від ядра, а також під час проектування машин та апаратів харчової промисловості [6–14]. Значення об'ємного та масового коефіцієнтів дають змогу встановити співвідношення виходу очищеного ядра до загальної маси та об'єму плоду [15].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Горіх волоський – одне з чудес, створених природою. За властивостями він не має собі рівних серед рослин. Греки називали його «святим мозку». У харчовій промисловості використовують ядра горіхів, енергетична цінність 100 г горіхів становить понад 850 кал. Ядро горіха містить 65–70 % жирів, 12–17 % білків, 7–13 % вуглеводів. Продукти, отримані на основі волоського горіха, мають високі органолептичні властивості. Наявність в ядрі горіхів поліненасичених жирних кислот та комплексних сполук йоду дозволяє поставити їх у ряд продуктів, призначених для населення, що проживає в екологічно несприятливих зонах, завдяки їх захисту від шкідливих чинників. За калорійністю волоський горіх перевершує свинину в 1,5 раза, мед – у 2,5, хліб – у 3, рибу – у 7,8, молоко і картоплю – у 10 разів. Саме тому ядра горіха рекомендують вживати при фізичній та розумовій перевтомі, втраті ваги, після важкої хвороби. Крім того, у плодах горіха містяться каротин, вітаміни групи В, Е, Р, солі магнію, кальцію, йоду, калію, заліза, кобальту, фітонциди, рослинна олія (58–

75 %). Білок горіхового ядра містить близько 16 вільних амінокислот, майже половина з них незамінні: вони не синтезуються в організмі людини, а мають надходити з їжею.

Середня врожайність волоського горіха в промислових садах залежно від сорту, віку, регіону та особливостей вирощування коливається в межах 30–80 кг плодів з дерева. Маса плодів коливається в межах 10–20 г. Від маси плодів залежить і їх діаметр [1–5].

За якістю їх поділяють на три сорти (ГОСТ 16832-71) [15] залежно від розміру горіхів. До вищого сорту належать горіхи з поперечним діаметром не менше 28 мм, першого – не менше 25 мм, другого – не менше 20 мм. Вихід зерна з горіхів становить: вищого сорту – не менше 50 %, першого – не менше 45 %, другого – не менше 35 %. Вологість ядра не має перевищувати 10 % [18].

За товщиною шкаралупи горіхи поділяють на тонкостінні (0,8–1,1 мм), середньостінні (1,11–1,3 мм) і товстостінні (1,31 мм і більше).

Згідно з літературними даними, вихід ядра від тонкостінних горіхів становить близько 50 % від маси плоду, товстостінних – 30–35 % [4].

**Постановка завдання.** Наше завдання – визначення фізико-механічних властивостей горіхів волоських сортів Чернівецький та Буковинський як об'єктів збирання і післязбирального обробітку.

**Виклад основного матеріалу.** Для вирішення поставлених завдань була розроблена програма експериментальних досліджень, яка передбачала визначення таких фізико-механічних властивостей волоських горіхів сортів Чернівецький та Буковинський, що позитивно зарекомендували себе і активно культивуються в західних областях України:

- розмірні показники ( $a$  – висота,  $b$  – товщина,  $c$  – ширина) (рис. 1, а);
- об'ємний ( $\eta = V_{\text{я}}/V_{\text{т}}$ ) (рис. 2) та масовий ( $\mu = m_{\text{я}}/m_{\text{т}}$ ) коефіцієнти (див. рис. 1, б, в) [2];
- робота, що затрачається на руйнування шкаралупи горіха (рис. 3).

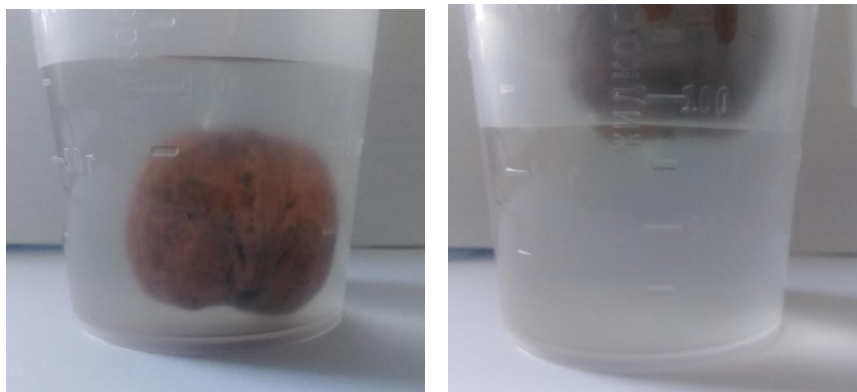


а)

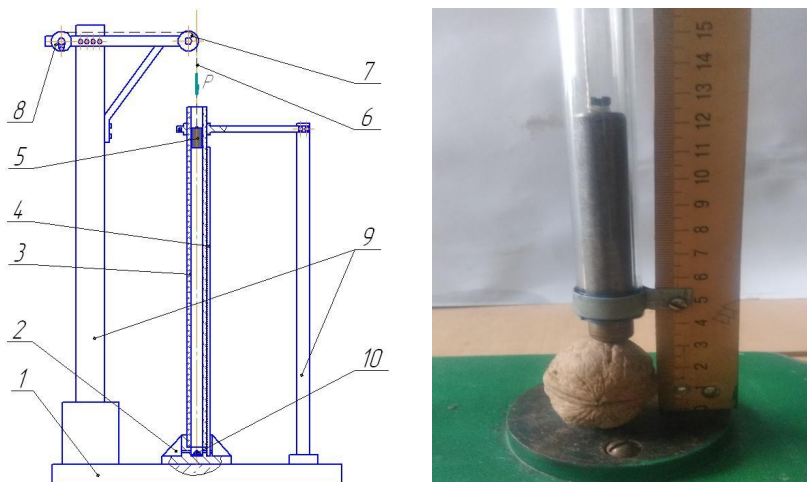
б)

в)

**Рис. 1.** Вимірювання розмірних і масових показників горіха і ядра  
**Fig. 1.** Measurement of dimensional and mass parameters of the nut and kernel



**Рис. 2.** Визначення об'єму плоду горіха  
**Fig. 2.** Determination of the volume of the nut fruit



**Рис. 3.** Стенд для визначення роботи, що затрачається на руйнування шкаралупи горіха:  
 1 – станина; 2 – підставка; 3 – колба; 4 – лінійка; 5 – тягарець; 6 – лінва; 7 – поліпаст;  
 8 – котушка з фіксатором; 9 – штатив; 10 – дослідний зразок

**Fig. 3.** Stand for determining the work spent on destroying the nut shell:  
 1 – bed; 2 – stand; 3 – bulb; 4 – ruler; 5 – burden; 6 – linva; 7 – polypast; 8 – coil with a lock;  
 9 – tripod; 10 – test sample

Для проведення досліджень здійснювали вибірку з 50 здорових повноцінних плодів волоських горіхів сортів Чернівецький та Буковинський. Дослідження проводили в лабораторних умовах з допомогою перерахованого вимірювального обладнання.

Енергію руйнування шкаралупи горіха можна визначити дослідним шляхом за допомогою приладу копрного типу.

Прилад (див. рис. 3) складається зі станини 1, яка встановлюється на горизонтальній площині, підставки 2 (кріпиться до станини), в якій кріплять колбу 3, що виконує функцію напрямної для тягарця 5, на стінці колби також наклеєна мірна лінійка 4, досліджуваний зразок 10 встановлюється на дні підставки 2. Тягарець 5 кріпиться, у підвищеному стані, з допомогою линви 6 через поліспаст у котушці з фіксатором 8. Усі складові елементи приладу закріплені у штативі 9.

Енергію руйнування шкаралупи горіха визначають з допомогою тягарця, положення якого періодично змінюють за висотою. У кожному випадку ударного руйнування частина потенціальної енергії тягарця витрачається на виконання роботи руйнування (деформації) шкаралупи горіха, а також на подолання тертя між тертьовими поверхнями напрямної колби.

У нашому випадку приймаємо, що робота, яка затрачається на подолання сил тертя, є настільки малою порівняно з роботою удару, що ми нею нехтуємо.

На копр, який використаний у наших дослідженнях, діють дві сили: вага тягарця і сила тертя линви в котушці (її значення настільки мале, що в подальших розрахунках не враховується). Унаслідок удару тягарця по шкаралупі горіха відбувається її руйнування, наше завдання – визначити роботу удару (енергію руйнування).

Відповідно до закону збереження енергії, повна енергія копра дорівнює:

$$E = E_n + E_k = mgh + \frac{mV^2}{2} = const. \quad (1)$$

Потенціальна енергія  $mgh$  початкового положення копра переходить у кінетичну енергію  $\frac{mV^2}{2}$ . Проходячи нижню точку, тягарець має кінетичну енергію, яка, будемо вважати, повністю затрачається на виконання роботи руйнування:

$$E_n = E_k \quad \text{або} \quad \frac{mV^2}{2} = mgh.$$

Робота, що затрачається на руйнування, рівна зміні енергії, її можна записати:

$$A = \Delta E = RS, \quad (2)$$

де  $\Delta E$  – зміна енергії;  $R$  – зусилля руйнування, Н;  $S$  – шлях, на якому відбулося руйнування (шлях руйнування відповідає товщині шкаралупи горіха), мм. У нашому випадку  $\Delta E_k = A$ , отже, ми маємо право записати:

$$R = \frac{mgh}{S}, \quad (3)$$

де  $m$  – маса тягарця, г;  $h$  – висота встановлення тягарця, мм.

Це і є остаточна формула розрахунку зусилля руйнування шкаралупи горіха.

На основі отриманих експериментальних даних було побудовано гістограми, полігони та криві накопичених дослідних ймовірностей (рис. 4–9).

Під час проектування подрібнювальних машин, їхніх вузлів і механізмів необхідно знати фізико-механічні властивості оброблюваних матеріалів, у нашому випадку плодів горіхів сортів Чернівецький та Буковинський, а саме роботу руйнування шкаралупи.

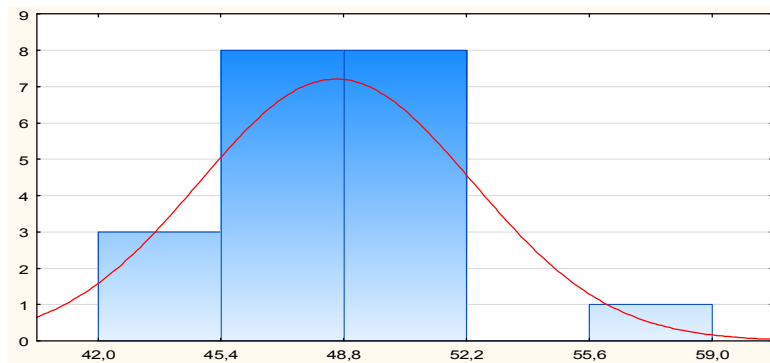
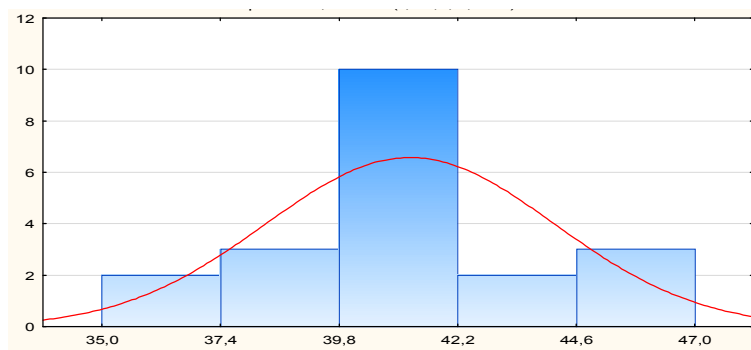
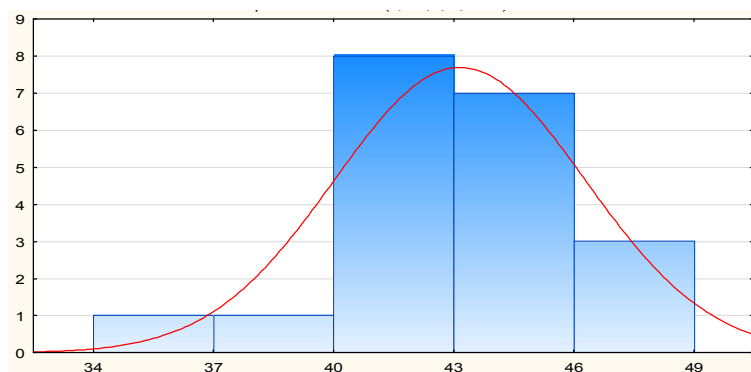


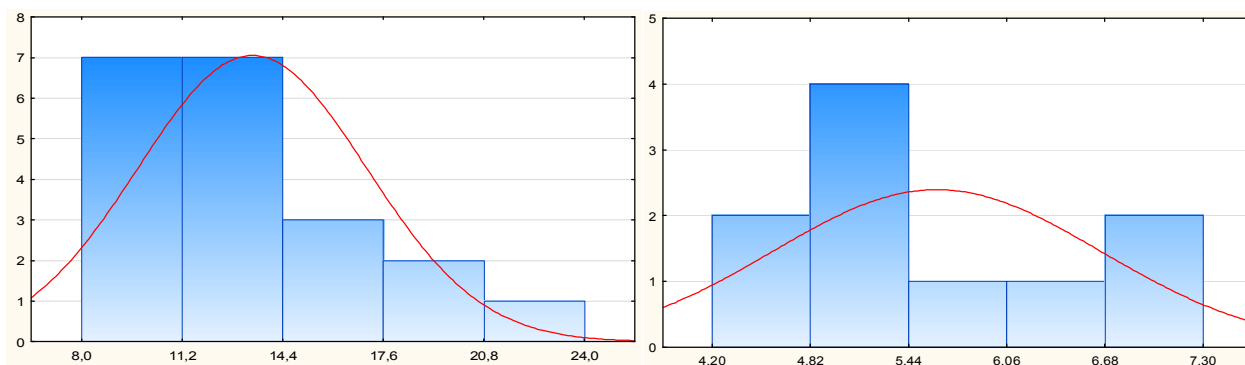
Рис. 4. Гістограма розподілу плодів горіха за висотою  $a$ , мм  
Fig. 4. Histogram of the distribution of walnut fruits by height  $a$ , mm



**Рис. 5.** Гістограма розподілу плодів горіха за товщиною  $b$ , мм  
**Fig. 5.** Histogram of the distribution of walnut fruits by thickness  $b$ , mm



**Рис. 6.** Гістограма розподілу плодів горіха за шириною  $c$ , мм  
**Fig. 6.** Histogram of the distribution of walnut fruits by width  $c$ , mm



**Рис. 7.** Гістограма розподілу плодів та ядра горіха за масою  $m$ , г

**Fig. 7.** Histogram of the distribution of fruits and nut kern  $E_k = \frac{mV^2}{2}$  els by mass  $m$ , g

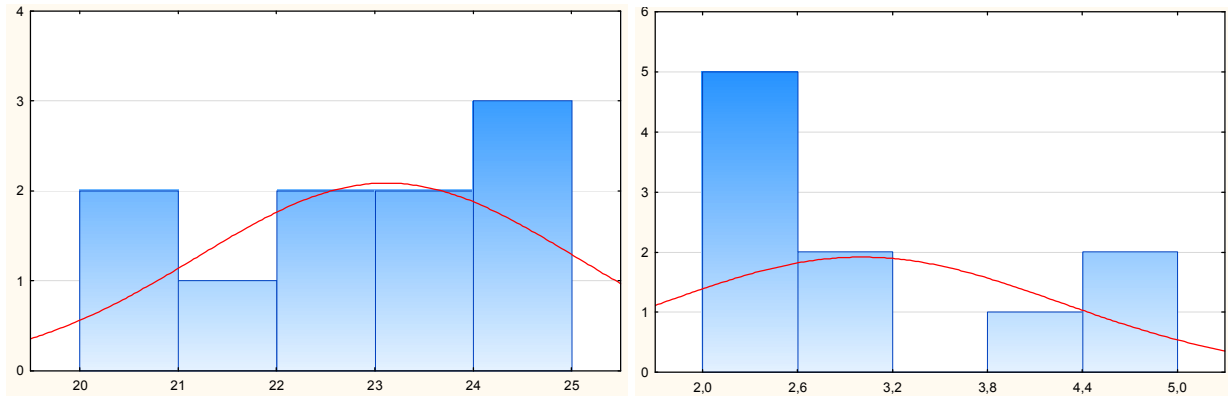
Для визначення міцності зразка використовували розроблений нами прилад (рис. 10).

Визначаємо роботу, затрачену на руйнування, за формулою

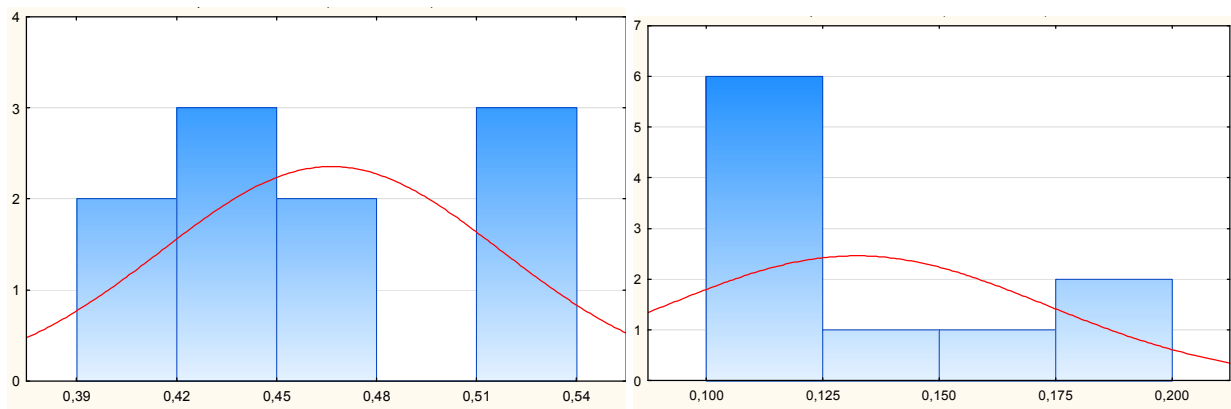
$$A = mgh,$$

де  $m$  – маса тягарця, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;  $h$  – висота падіння тягарця, м.

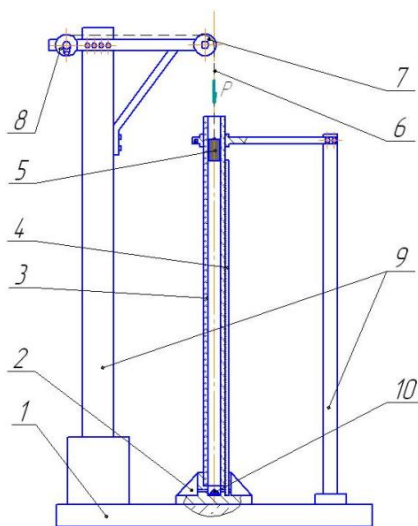
Прилад (див. рис. 10) складається зі станини 1, яка встановлена на горизонтальній площині, підставки 2 (кріпиться до станини), в якій закріплюють скляну трубку 3, що виконує функцію напрямної для тягарця 5, до стінки трубки закріплена мірна лінійка 4, досліджуваний зразок матеріалу 10 встановлюється на підставку 2. Тягарець 5 кріпиться в підвішеному стані з допомогою лінви 6 через блок у катушці з фіксатором 8. Усі складові елементи приладу закріплені у штативі 9.



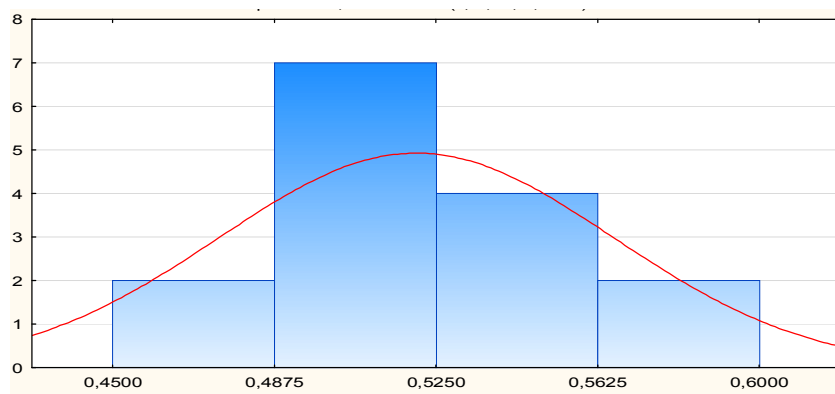
**Рис. 8.** Гістограма розподілу за об'ємом плодів  $V_f$  та ядра  $V_k$  горіха,  $\text{mg}^3$   
**Fig. 8.** Histogram of distribution by volume of fruit  $V_f$  and kernel  $V_k$  of a nut,  $\text{mg}^3$



**Рис. 9.** Гістограма розподілу плодів та ядра горіха за масовим  $\mu$  та об'ємним  $\eta$  коефіцієнтами  
**Fig. 9.** Histogram of the distribution of fruits and nut kernels by mass  $\mu$  and volume  $\eta$  coefficients



**Рис. 10.** Стенд для дослідження міцності шкаралупи горіхів і початку їх руйнування:  
 1 – станина; 2 – підставка; 3 – напрямна трубка; 4 – лінійка; 5 – тягарець; 6 – линва; 7 – поліспаст;  
 8 – котушка з фіксатором; 9 – штатив; 10 – дослідний зразок  
**Fig. 10.** Stand for researching the strength of the shells of nuts and the beginning of their destruction:  
 1 – bed; 2 – stand; 3 – guide tube; 4 – ruler; 5 – burden; 6 – polyspast; 7 – polyspast; 8 – a coil with a lock;  
 9 – tripod; 10 – test sample



**Рис. 11.** Гістограма розподілу плодів горіха за роботою руйнування шкаралупи  $A_0$ , Дж  
**Fig. 11.** Histogram of the distribution of walnut fruits according to the work of destruction of the shell  $A_0$ , J

Енергію руйнування горіхів визначали за допомогою тягарця, положення якого періодично змінювали за висотою. Під час ударного руйнування частина потенціальної енергії тягарця витрачається на виконання роботи руйнування (деформації) шкаралупи горіха, а також на подолання тертя між третьовою поверхнею напрямної трубки.

У нашому випадку приймаємо, що робота, яка витрачається на подолання сил тертя, є настільки малою порівняно з роботою удару, що ми нею нехтуємо.

На ударник, який використаний у нашій роботі, діють дві сили: вага тягарця і сила тертя лінви в котушці (її значення настільки мале, що в подальших розрахунках не враховується). Унаслідок удару тягарця об шкаралупу горіха відбувається її руйнування, наше завдання – визначити роботу удару (зусилля руйнування шкаралупи) (рис. 11).

**Висновки.** Аналізуючи отримані результати експериментальних досліджень та побудовані на їхній основі експериментальні криві, можна зробити такі висновки щодо плодів грецьких горіхів сортів Чернівецький та Буковинський:

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

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

Плоди цих сортів можна віднести до середньостінних із товщиною шкаралупи 1,11–1,3 мм, а значення роботи її руйнування необхідно враховувати під час проєктування подрібнювальних машин.

#### Бібліографічний список

1. Божок О. П., Божок В. О. Про перспективи вирощування горіха грецького на території України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27 (3). С. 25-29.
2. Буряк В., Пахно В. Сучасний стан та перспективи виробництва й споживання горіхів в Україні. *Сад, виноград і вино України*. 2014. № 1/3. С. 16-19.
3. Волков В., Волкова Н. Что скрывает скорлупа. *Огородник*. 2013. № 1. С. 20-21.
4. Гошко З. О., Крулич О. М., Крулич Р. О. Дослідження фізико-механічних властивостей плодів лісових горіхів. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2017. № 21. С. 30-37.
5. Гошко З. О., Магац М. И. Исследование физико-механических свойств плодов фундука. *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности А = mgh и:* Междунар. науч.-техн. конф. (г. Могилев, 24–25 окт. 2019 г.). Могилев, 2019. С. 49.
6. Орлова О. Использование грецкого ореха молочно-восковой спелости для разработки функциональных продуктов питания. *Процессы и аппараты пищевых производств*. 2014. № 1. С. 60-69.
7. Полевода Ю. А. Особенности реализации процесса лущения шкаралупы горіха між пластиною та сфе-

- ричною вставкою. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2019. № 4 (95). С. 69-75.
8. Полевода Ю. А. Дослідження процесу лущення волоських горіхів між двома паралельними пластинами. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2019. № 3 (94). С. 110-117.
9. Полевода Ю. А. Дослідження процесу сколювання шкаралупи горіхів в результаті силової дії на півсферичних поверхнях. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 3 (98). С. 111-119.
10. Представники роду *Juglans* як джерело одержання біологічно активних речовин / Б. Я. Литвин, Н. Є. Стадницька, Р. Т. Конечна, А. С. Кравич. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2011. № 700. С. 117-120.
11. Розробка комплексу технологічних машин для глибокої переробки волоського горіха: звіт про науково-дослідну роботу. / В. П. Янович та ін.; Вінницьк. нац. аграр. ун-т. № ДР 0118U001421. Вінниця, 2018. 82 с.
12. Сатіна Г. М. Формування внутрішнього і зовнішнього ринку волоських горіхів. *Матеріали шостих річних зборів Всеукраїнського конгресу вчених економістів-аграрників*. Київ: ННЦ ІАЕ, 2004. С. 299-303.
13. Статистичний щорічник України за 2016 рік. Київ: Знання, 2017. 650 с.
14. Стрела Т. Е. Орех грецкий. Киев: Наук. думка, 1990. 192 с.
15. Крунич О. М., Левко С. І., Крунич Р. О. Спосіб визначення об'єму тіл неправильної форми. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву: каталог інноваційних розробок*. Львів, 2014. № 14. С. 63.
16. Литовченко О. М., Павлюк В. В., Омельченко І. К. Кращі сорти плодкових і горіхоплідних культур української селекції. Київ: Преса України, 2011. 144 с.
17. Шестопаль О. М., Сатіна Г. М. Природно-економічні передумови промислового вирощування горіха грецького в Україні. *Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету*. 2002. № 14 (26). С. 392-396.
18. Щепотьєв Ф. Л., Павленко Ф. А., Ріхтер О. А. Горіхи. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ: Урожай, 1987. 184 с.

Стаття надійшла 20.09.2022