

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

УДК 631.358

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛОДІВ ЯБЛУК
СОРТУ ГАЛА**

*Зіновій Гошко, к. т. н., Володимир Буртак, к. т. н., Мирон Магац, к. т. н.,
Олександр Левчук, к. т. н., Тетяна Кохана, к. е. н.
Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
e-mail: zdenuk@gmail.com, vburtak-78@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.009>

Гошко З., Буртак В., Магац М., Левчук О., Кохана Т. Дослідження фізико-механічних властивостей плодів яблук сорту Гала

Стаття присвячена дослідженню фізико-механічних властивостей плодів яблук, які слід враховувати в їх післязбиральному обробітку, адже надалі всі плоди піддаються механічній дії: очищенню, транспортуванню, сортуванню, зберіганню, переробці тощо. Проектування та розрахунок обладнання для здійснення механічних операцій неможливі без знання технологічних властивостей плоду (розмірно-масових показників, міцності, зусилля різання). Значення зусилля різання плодів необхідно знати для встановлення оптимальних та раціональних параметрів робочих органів, що забезпечують подрібнення плодів, а також у проектуванні машин та апаратів переробної промисловості.

Виконання поставлених завдань передбачає розробку програми експериментальних досліджень, зокрема з визначення фізико-механічних властивостей плодів яблук сорту Гала, що добре зарекомендували себе в Україні і добре культивуються в західних областях:

- масових і розмірних показників;
- щільності плодів;
- зусилля різання плодів.

Були проведені дослідження, здійснено аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень та побудовано на їх основі експериментальні криві. Можна зробити такі висновки щодо плодів яблук сорту Гала:

- діаметр $d_{\min} = 57$ мм, $d_{\max} = 80$ мм, $d_{\text{ср}} = 63$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 7$ %;
- маса $m_{\min} = 95$ г, $m_{\max} = 150$ г, $m_{\text{ср}} = 115$ г, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 6,7$ %;
- об'єм $V_{\min} = 100$ см³, $V_{\max} = 165$ см³, $V_{\text{ср}} = 129$ см³, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 4,6$ %;
- щільність $g_{\min} = 0,39$ г/см³, $g_{\max} = 0,54$ г/см³, $g_{\text{ср}} = 0,46$ г/см³, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 4,7$ %;
- зусилля різання $P_{\min} = 125$ Н, $P_{\max} = 210$ Н, $P_{\text{ср}} = 163$ Н, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 4,3$ %;
- питомий опір різанню $q_{\min} = 1,31$ Н/см, $q_{\max} = 2,09$ Н/см, $q_{\text{ср}} = 1,69$ Н/см, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 5,6$ %.

Отримані результати свідчать, що діапазон коливань значень за розмірно-масовими показниками плодів яблук сорту Гала незначний, а значення коефіцієнта варіації не перевищує 10 %.

Ключові слова: плоди, яблука, фізико-механічні властивості, розмірні показники, зусилля різання.

Hoshko Z., Burtak V., Mahats M., Levchuk O., Kohana T. Study of physical and mechanical properties of Gala apple fruits

This article focuses on the physical and mechanical properties of apple fruits that must be considered during post-harvest processing. Apples undergo various mechanical actions such as cleaning, transportation, sorting, storage, and processing. Therefore, designing and calculating equipment for these mechanical operations requires a thorough understanding of the fruit's technological properties, including size, weight, strength, and cutting force. Understanding the cutting force of fruit is essential for determining optimal and efficient parameters for the working components that crush the fruit. This knowledge is also vital for designing machines and equipment for the processing industry.

To address these needs, a program for experimental research has been developed, specifically aimed at determining the physical and mechanical properties of Gala apples. This variety is well-established in Ukraine and thrives in the Western regions. The research will focus on the following aspects:

- mass and dimensional parameters
- fruit density
- fruit cutting force

By analyzing the results of the experimental studies and the resulting curves, the authors can draw meaningful conclusions about the Gala apple variety.

- diameter $d_{\min} = 57$ mm, $d_{\max} = 80$ mm, $d_{\text{average}} = 63$ mm, $V_{\text{coefficient of variation}} = 7$ %;

- weight $m_{\min} = 95 \text{ g}$, $m_{\max} = 150 \text{ g}$, $m_{\text{average}} = 115 \text{ g}$, $V_{\text{coeff. variation}} = 6.7 \%$;
- volume $V_{\min} = 100 \text{ cm}^3$, $V_{\max} = 165 \text{ cm}^3$, $V_{\text{average}} = 129 \text{ cm}^3$, $V_{\text{coefficient of variation}} = 4.6 \%$;
- density $\rho_{\min} = 0.39 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\max} = 0.54 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{average}} = 0.46 \text{ g/cm}^3$, $V_{\text{coeff. variation}} = 4.7 \%$;
- cutting force $P_{\min} = 125 \text{ N}$, $P_{\max} = 210 \text{ N}$, $P_{\text{average}} = 163 \text{ N}$, $V_{\text{coeff. variation}} = 4.3 \%$;
- specific cutting resistance $q_{\min} = 1.31 \text{ N/cm}$, $q_{\max} = 2.09 \text{ N/cm}$, $q_{\text{average}} = 1.69 \text{ N/cm}$, $V_{\text{coeff. variation}} = 5.6 \%$.

The obtained results indicate that the range of fluctuations in the size and weight of Gala apple fruits is insignificant, and the value of the coefficient of variation does not exceed 10 %.

Keywords: fruits, apples, physical and mechanical properties, dimensional indicators, cutting force.

Постановка проблеми. Фізико-механічні властивості плодів яблук є важливими показниками, які слід враховувати в їх післязбиральному обробітку, адже надалі всі плоди піддаються механічній дії: очищенню, транспортуванню, сортуванню, зберіганню, переробці тощо. Проектування та розрахунок обладнання для здійснення механічних операцій неможливі без знання технологічних властивостей плодів (зусилля перерізання). Значення зусилля руйнування шкірки та м'якоті необхідно знати для встановлення оптимальних та раціональних параметрів робочих органів, що забезпечують процес подрібнення, а також у проектуванні машин та апаратів харчової промисловості. Значення щільності м'якоті плодів дає змогу встановити залежність зусилля їх різання [5–9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Яблуко – це плід яблуні, рослини з родини трояндових. Воно має круглий або яйцеподібний вигляд і зазвичай має діаметр від 5 до 10 сантиметрів. Його шкірка може бути різного кольору – від зеленого до жовтого, червоного і навіть темно-фіолетового. М'якоть яблука зазвичай біла або жовта, соковита і має солодкий або кисло-солодкий смак. У центрі плоду зазвичай розташоване насіння, яке буває білого або коричневого кольору.

Сорти яблук поділяють за вмістом цукрів, твердістю, придатністю до зберігання тощо. За швидкістю визрівання сорти поділяються на такі:

- літні (Мелба (Лазурне), Білий налив, Донешта тощо);
- осінні (Антонівка, Апорт, Гала, Жигулівське, Слава переможцям, Безсім'янка нова, Боровинка, тощо);
- зимові (Антонівка звичайна, Аніс новий, Айдаред, Богатир, Голд, Пепін шафранний, Пам'ять Мічуріна, Спартан, Ренет Симиренко, Кортланд тощо).

Яблуко належить до фруктів із високими показниками поживної цінності та насиченістю вітамінами, макро- та мікроелементами. Серед вітамінів у яблуках найбільше вітаміну С – 14 % від добової потреби людини, вітаміну К – 5 % добової норми, у меншій кількості містяться вітаміни А, Е, В1, В2, В6. Згідно з офіційним ресурсом Міністерства сільського господарства США одне середнє яблуко вагою

182 г містить 25 г вуглеводів, 4 г клітковини, 6 % від добової потреби калію, марганцю та міді [1; 4–9].

Яблука містять клітковину, завдяки чому ефективно нормалізують мікрофлору кишечника, що, своєю чергою, захищає організм від різних хвороб. Регулярне споживання яблук допомагає знизити ризики діабету завдяки високому вмісту поліфенолів та клітковини в їхньому складі. Вони здатні регулювати рівень цукру в крові. Антиоксидант, що називається кверцетин, який міститься в яблуках, має вплив на наш вуглеводний обмін та дозволяє попередити різкі стрибки рівня цукру в крові [10].

Яблука сорту Гала є одним із найпопулярніших сортів у світі і США. У молодих дерев урожайність помірна й щорічна, дорослі формують по 55–80 кг плодів. Сорт схильний до перевантаження врожаєм, при цьому плоди формуються дрібні.

Плоди середніх розмірів (115–145 г) досить одномірні, округлі або округло-зрізано-конічні зі слабкою ребристістю на верхівці, жовті зі смугасторозмитим оранжево-червоним рум'янком на більшій частині поверхні (рис. 1). Шкірочка тонка, щільна, суха. М'якуш світло-жовтий, щільний, соковитий, ламкий, відмінного кисло-солодкого смаку (4,6 бала).

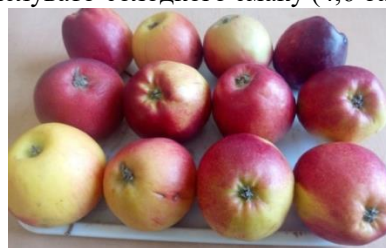


Рис. 1. Плоди яблук сорту Гала
Fig. 1. Gala apple fruits

Знімна стиглість настає в другій декаді вересня, споживча – у листопаді. У сховищі з природним охолодженням плоди зберігаються 2–2,5, а у холодильнику – 5–6 місяців. Транспортабельність середня. Використовуються у свіжому вигляді та достатньо добре піддаються переробці [2; 10].

Постановка завдання. Наше завдання – визначення фізико-механічних властивостей

плодів яблук сорту Гала, як об'єкта збирання і післязбирального обробітку, з метою подальшого використання отриманих результатів у проектуванні подрібнювальних машин.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставлених завдань була розроблена програма експериментальних досліджень, яка передбачала визначення таких фізико-механіч-

них властивостей плодів яблук сорту Гала, що позитивно зарекомендував себе і активно культивується в західних областях України:

- розмірні показники (d – діаметр) (рис. 2, а);
- маса (m), об'єм (v) (рис. 2, б, в), щільність (g);
- зусилля подрібнення плодів (P) (рис. 3).



Рис. 2. Вимірювання розмірних і масових показників яблук сорту Гала
Fig. 2. Measurement of dimensional and mass indicators of apples of the Gala variety

Для проведення досліджень здійснювалась вибірка з 30 здорових повноцінних плодів яблук сорту Гала. Дослідження проводились у лабораторних умовах з допомогою перерахованого вимірювального обладнання.

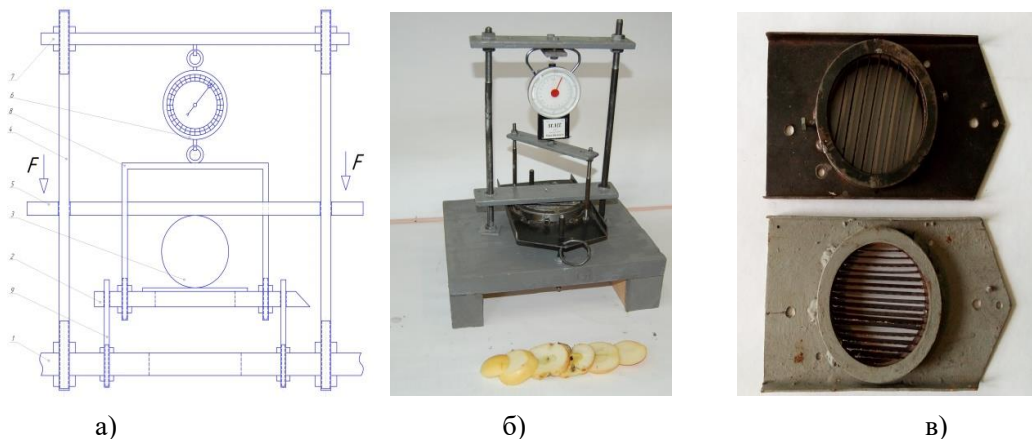


Рис. 3. Лабораторна установка для визначення зусилля розрізання (яблука) на пластинки:
 а) загальна схема; б) загальний вигляд; в) блоки різальних пластин
Fig. 3. Laboratory setup for determining the force of cutting (apples) into plates;
 а) general scheme; б) general view; в) blocks of cutting inserts

Зусилля різання плодів можна визначити дослідним шляхом, за допомогою приладу (див. рис. 3).

Прилад (див. рис. 3) для дослідження зусилля різання плодоовочевої продукції складається з плити 1, на якій закріплена ножова касета 2 із змінним блоком пластинчастих ножів, двох головних напрямних стрижнів 4, натискної пластини 5, цифрового динамометра 6 із ціною поділки 0,01 кг та опорної плити 7.

Лабораторна установка працює таким чином: при прикладенні зусилля на натискну пластину 5 вона тисне на досліджуваний мате-

ріал 3 і притискає його до ножової касети 2, аж до моменту розрізання плоду на пластівці. Ножова касета 2 за допомогою вилки 8 шарнірно приєднана до механічного динамометра 6, який у верхній частині кріпиться до нерухомої опорної плити 7.

Ножова касета 2 під дією навантаження здійснює плоско-паралельний рух у вертикальній площині по допоміжних напрямних стрижнях 9. Зусилля, що діє на натискну плиту 5, через ножову касету 2 і вилку 8 передається на механічний динамометр 6, який фіксує макси-

мальне зусилля під час розрізання плодово-овочевої продукції.

У процесі випробувань визначали максимальне зусилля P , яке необхідне для розрізання зразка. На основі результату експериментальних досліджень визначаємо питома навантаження по довжині леза q , яке розрахуємо за формулою [3]:

$$q = \frac{4 \cdot P}{3 \cdot \sum_{i=1}^n l_i}, \quad (1)$$

де P – максимальне прикладене зусилля до натискної пластини, Н;

l_i – робоча довжина i -го леза, см.

Щільність досліджуваного зразка:

$$g = m/V, \quad (2)$$

де m – маса досліджуваного зразка, г;

V – об'єм досліджуваного зразка, см^3 .

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

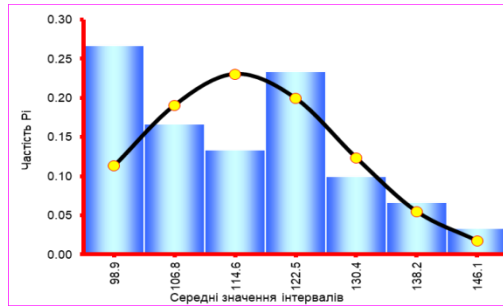


Рис. 4. Гістограма розподілу плодів яблук сорту Гала за масою m , г
Fig. 4. Histogram of the distribution of Gala apple fruits by mass m , g

Таблиця 1. Результати статистичних досліджень за масою плодів
Table 1. Results of statistical studies by fruit weight

Мінімальне значення	Умін	95
Максимальне значення	Умакс	150
Величина вибірки	N	30
Кількість інтервалів	k	7
Крок інтервалу	deltaY	7.9
Математичне сподівання	Ус	115.167
Серед.-квадр. відхилення	sigma	13.599
Коефіцієнт варіації	niu	0.674

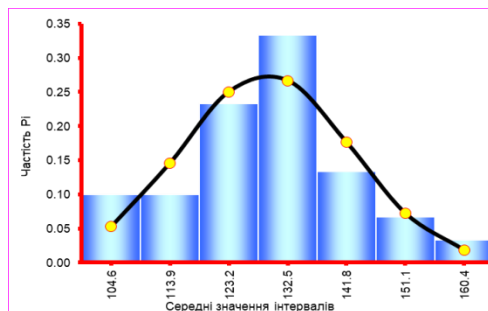


Рис. 5. Гістограма розподілу плодів яблук сорту Гала за об'ємом V , см^3
Fig. 5. Histogram of the distribution of Gala apple fruits by volume V , см^3

Таблиця 2. Результати статистичних досліджень за об'ємом плодів
Table 2. Results of statistical studies on fruit volume

Мінімальне значення	Умін	100
Максимальне значення	Умакс	165
Величина вибірки	N	30
Кількість інтервалів	k	7
Крок інтервалу	deltaY	9.3
Математичне сподівання	Ус	129,095
Серед.-квадр. Відхилення	sigma	13,453
Коефіцієнт варіації	niu	0,462

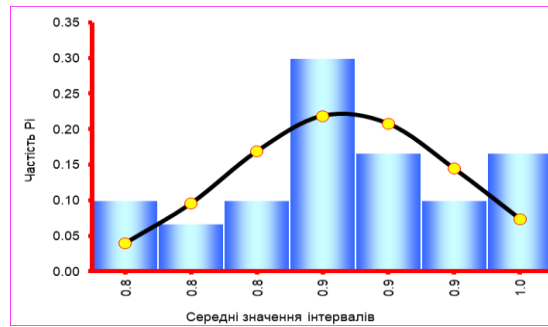


Рис. 6. Гістограма розподілу плодів яблук сорту Гала за щільністю $g, \text{г/см}^3$
Fig. 6. Histogram of the distribution of Gala apple fruits by density $g, \text{g/cm}^3$

Таблиця 3. Результати статистичних досліджень за щільністю плодів
Table 3. Results of statistical studies on fruit density

Мінімальне значення	Умін	0,76
Максимальне значення	Умакс	0,99
Величина вибірки	N	30
Кількість інтервалів	k	7
Крок інтервалу	deltaY	0,0
Математичне сподівання	Ус	0,886
Серед.-квадр. відхилення	sigma	0,059
Коефіцієнт варіації	niu	0,468

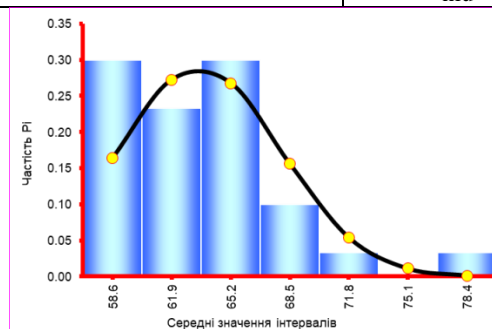


Рис. 7. Гістограма розподілу плодів яблук сорту Гала за діаметром плодів, $d, \text{мм}$
Fig. 7. Histogram of the distribution of Gala apple fruits by fruit diameter, d, mm

Таблиця 4. Результати статистичних досліджень за діаметром плодів
Table 4. Results of statistical studies on fruit diameter

Мінімальне значення	Умін	57
Максимальне значення	Умакс	80
Величина вибірки	N	30
Кількість інтервалів	k	7
Крок інтервалу	deltaY	3,3
Математичне сподівання	Ус	63,462
Серед.-квадр. відхилення	sigma	4,548
Коефіцієнт варіації	niu	0,704

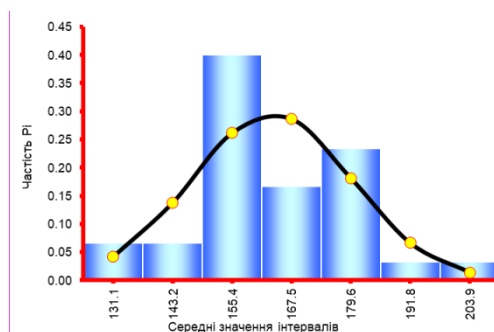


Рис. 8. Гістограма розподілу плодів яблук сорту Гала за зусиллям різання, P, H
Fig. 8. Histogram of the distribution of Gala apple fruits according to the cutting effort, R, N

Таблиця 5. Результати статистичних досліджень за зусиллям різання плодів
Table 5. Results of statistical research on fruit cutting effort

Мінімальне значення	У _{мін}	125
Максимальне значення	У _{макс}	210
Величина вибірки	N	30
Кількість інтервалів	k	7
Крок інтервалу	deltaY	12,1
Математичне сподівання	У _с	163,452
Серед.-квадр. відхилення	sigma	16,392
Коефіцієнт варіації	niu	0,426

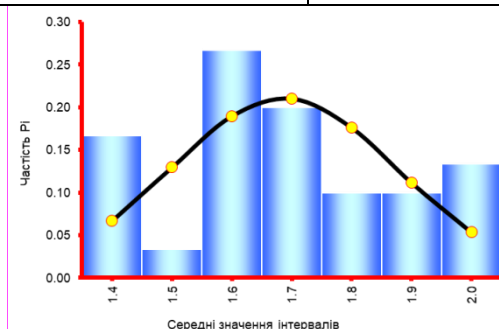


Рис. 9. Гістограма розподілу плодів яблук сорту Гала за питомим навантаженням по довжині леза, q , Н/см

Fig. 9. Histogram of the distribution of Gala apple fruits according to the specific load along the length of the blade, q , N/cm

Таблиця 6. Результати статистичних досліджень за питомим навантаженням по довжині леза
Table 6. Results of statistical studies on the specific load along the length of the blade

Мінімальне значення	У _{мін}	1,31
Максимальне значення	У _{макс}	2,09
Величина вибірки	N	30
Кількість інтервалів	k	7
Крок інтервалу	deltaY	0,1
Математичне сподівання	У _с	1,685
Серед.-квадр. відхилення	sigma	0,211
Коефіцієнт варіації	niu	0,562

Висновки. Аналізуючи отримані результати експериментальних досліджень та побудовані на їх основі експериментальні криві, можна зробити такі висновки щодо плодів яблук сорту Гала:

- діаметр d $_{мін} = 57$ мм, d $_{макс} = 80$ мм, d $_{ср} = 63$ мм, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 7\%$;
- маса m $_{мін} = 95$ г, m $_{макс} = 150$ г, m $_{ср} = 115$ г, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 6,7\%$;
- об'єм V $_{мін} = 100$ см³, V $_{макс} = 165$ см³, V $_{ср} = 129$ см³, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 4,6\%$;
- щільність $g_{мін} = 0,39$ г/см³, $g_{макс} = 0,54$ г/см³, $g_{ср} = 0,46$ г/см³, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 4,7\%$;
- зусилля перерізання P $_{мін} = 125$ Н, P $_{макс} = 210$ Н, P $_{ср} = 163$ Н, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 4,3\%$;
- питомий опір різанню q $_{мін} = 1,31$ Н/см, q $_{макс} = 2,09$ Н/см, q $_{ср} = 1,69$ Н/см, $V_{\text{коэф. варіац.}} = 5,6\%$.

Отримані результати свідчать, що діапазон коливань значень за розмірно-масовими показниками плодів яблук сорту Гала незначний, а значення коефіцієнта варіації не перевищує

10%. Отже, у процесі проєктування сортувальних та калібрувальних машин суттєвих проблем під час розділення плодів виникати не буде. Досліджуваний сорт добре подрібнюється, формуючи дольки однакової товщини при невеликому зусиллі. Отримана продукція не кришиться і добре зберігає свою форму, що можна використати для виробництва сухофруктів та фруктових чіпсів.

Бібліографічний список

1. Головченко Г. С., Калнагуз О. М., Сіренко Ю. В. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: конспект лекцій. Суми: РВВ СНАУ, 2012. 59 с.
2. Кондратенко П. В., Шевчук Л. М., Левчук Л. М. Методика оцінки якості плодово-ягідної продукції. Київ, 2008. 80 с.
3. Крунич О. М., Левко С. І., Крунич Р. О. Спосіб визначення об'єму тіл неправильної форми. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництва: каталог інноваційних розробок*. Львів 2014. № 14. С. 63.

4. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навч. посіб. / А. С. Кобець, Т. Д. Іщенко, Б. А. Волик, О. А. Демидов. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. 84 с.
5. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: практикум / М. В. Бакум, О. М. Горбатовський, В. Ю. Манчинський, Ю. О. Манчинський, А. В. Сергеева. Харків: РВВ ХНТУСГ, 2005. 193 с.
6. Петак Г. М. Практикум з технології зберігання та переробки плодів і овочів. Ужгород, 1998. 98 с.
7. Подпрятів Г. І., Рожко В. І., Скалецька Л. Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2014. 393 с.
8. Хайліс Г. А., Гошко З. О. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навч. посіб. Луцьк: РВВ ЛДТУ, 1998. 268 с.
9. Царенко О. М., Войтюк Д. Г. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Київ: РВВ «Мета», 2003. 441 с.
10. Min B., Lim J., Ko S. Environmental friendly preparation of pectins from agricultural byproducts and their structural. Bioresource Technology. 2011. Vol. 102, No 4. P. 3855-3860.

Стаття надійшла 07.05.2024