

Key words: *environmental risks, risk factors, the environment, the concentration of the pollutant, the cannery.*

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук,
проф. Верхівкером Я.Г.*

Дата надходження рукопису 23.10.2013 р.

УДК 665.1

**Поперечний А.М., д-р техн. наук, проф.,
Жданов І.В., канд. техн. наук,
Миронова Н.О.**

Донецький національний університет економіки
і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського,
м. Донецьк, Україна, e-mail: lateralius2@mail.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КІСТОЧОК АБРИКОСУ

**Poperechnyi A.M., Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
Zhdanov I.V., Cand. Sc. (Tech.),
Myronova N.O.**

Donetsk National University of Economics and
Trade named after Mykhayilo Tugan-Baranovsky,
Donetsk, Ukraine, e-mail: lateralius2@mail.ru

THE STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL FEATURES OF APRICOT PITS

Метою статті є визначення фізико-механічних характеристик кісточок абрикосу та їх ядер, аналіз закономірностей їх варіації та розподілу у випадковій вибірці, кількісна оцінка тісноти зв'язків між окремими характеристиками та створення відповідних математичних моделей.

Методика. Дослідження здійснювалися за допомогою методів математичної статистики. Перевірка гіпотези про нормальний розподіл лінійних розмірів і маси кісточок та ядер здійснювалася за критерієм Пірсона, показників асиметрії та ексцесу. Тіснота зв'язків між окремими характеристиками оцінювалася за допомогою коефіцієнта кореляції. Кількісні залежності між окремими характеристиками отримані за допомогою методу найменших квадратів. Їх адекватність перевірена критерієм Фішера, тіснота зв'язку експериментальних і розрахункових даних – коефіцієнтом кореляції, значущість коефіцієнтів регресії – критерієм Стьюдента.

Результати. Визначено ряд фізико-механічних характеристик кісточок абрикосу та їх ядер, зокрема фізичну щільність оболонки і ядра, щільність і порізність шарів кісточок і ядер, вибіркові середні лінійних розмірів, маси, площі поверхні, питомої поверхні, фактора форми, еквівалентного діаметра тощо. Складено мультиплікативні моделі, які описують зв'язок між лінійними розмірами кісточок і ядер та їх об'ємом. На основі аналізу статистичних оцінок зроблено висновки про характер розподілу окремих характеристик і тісноту зв'язку між ними.

Наукова новизна. Уперше для кісточок абрикосу та їх ядер визначено ряд фізико-механічних характеристик і зроблено їх системний аналіз. Отримані залежності, які описують зв'язок між лінійними розмірами кісточок і ядер та їх об'ємом.

Практична значущість отриманих результатів полягає у використанні їх у розробці технологічного обладнання для переробки кісточок абрикосу та подібних до них плодів, моделюванні процесів їх сушіння, подрібнення, вібропереміщення тощо.

Ключові слова: *кісточки і ядра абрикосу, розподіл, статистична оцінка, кореляція.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. Кісточки плодів є цінним джерелом для вторинної переробки, адже компоненти, з яких вони складаються, застосовують у фармакологічній, парфумерній, харчовій та інших галузях промисловості [1]. Особливу цінність мають ядра кісточок, які містять цінні масла.

До основних кісточкових плодів, які у великих масштабах вирощують і переробляють в Україні та пострадянських країнах, відносять абрикос, сливу, вишню, черешню, персик і т. ін. Однією зі стадій переробки кісточкових плодів є їх сушіння, адже після їх утворення як вторинної сировини під час виробництва плодових соків, джемів, пюре тощо вони швидко псуються внаслідок надмірного вмісту вологи. Як правило, переробка плодових кісточок здійснюється на спеціалізованих підприємствах, тобто не на підприємствах, які виробляють свою продукцію безпосередньо з плодів. Тому на кісточкопереробні підприємства сировина повинна надходити вже висушеною.

Моделювання сушіння, вібропереміщення, подрібнення плодових кісточок та інших процесів технологічного циклу їх переробки потребує визначення фізико-механічних характеристик, зокрема лінійних розмірів, насипної щільності шару, фізичної щільності оболонки і ядра, питомої поверхні шару тощо. Під час визначення деяких з цих характеристик доцільно застосовувати методи математичної статистики, адже форма більшості кісточок є досить складною та не може бути з великою точністю описана однією з простих форм (наприклад, насіння рапсу, має форму подібну до кулі).

Метою статті є визначення деяких фізико-механічних характеристик кісточок абрикосу, аналіз закономірностей їх варіації та розподілу у випадковій вибірці, кількісна оцінка тісноти зв'язків між окремими характеристиками та створення відповідних математичних моделей.

Виклад основного матеріалу. Об'єкт досліджень – випадкова вибірка в кількості 100 кісточок абрикосу сорту «Ранній Марусича» врожаю 2013 р. Для вимірювання лінійних розмірів кісточок та ядер використовувався штангенциркуль із цифровим відліковим пристроєм типу ШЦЦ-1-150-0,01-МЗ (дискретність відліку – 0,01 мм, межа допустимої похибки становить $\pm 0,04$). Для визначення маси кісточок та ядер, їх насипної та фізичної щільності використовували електронні ваги SNUG II-300 з дискретністю відліку 0,01 г і мірний циліндр 2 кл ТУ 3 України 14307481.005-95 з ціною ділення 5 мл.

Результати вимірювання довжини, ширини і товщини кісточок та їх ядер подані у вигляді варіаційних кривих випадкової вибірки на рисунках 1 і 2 відповідно. Для побудови кривих діапазони лінійних розмірів ділили на сім однакових часткових інтервалів, для яких визначали частоту потрапляння розміру в межі кожного інтервалу.

Отримані варіаційні криві перевіряли на закон нормального розподілу, що спостерігається, наприклад, для насіння соняшнику сорту «Титанік» і насіння тикви [2; 3]. Для експериментальних варіаційних кривих визначено вибіркові середня $\bar{\sigma}^*$ і середньоквадратичне відхилення σ^* [4-6]:

$$\bar{\sigma}^* = \frac{\sum n_i x_i}{i}, \quad \sigma^* = \sqrt{\frac{\sum n_i (x_i - \bar{x}^*)^2}{n}}, \quad (1)$$

де x_i – i -те середнє значення часткового інтервалу відповідного лінійного розміру;

n – обсяг вибірки;

n_i – частота, що відповідає i -му середньому значенню часткового інтервалу.

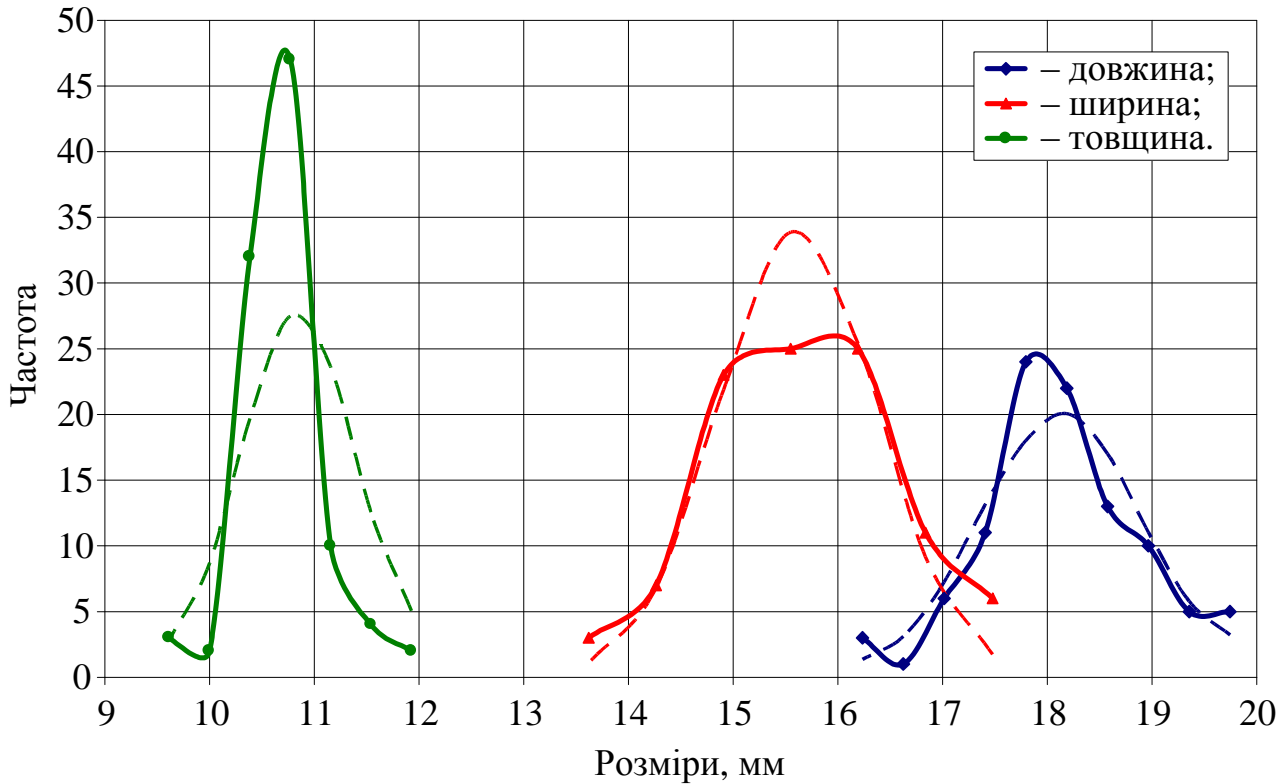


Рисунок 1 – Варіаційні криві лінійних розмірів кісточок абрикосу сорту «Ранній Марусича»

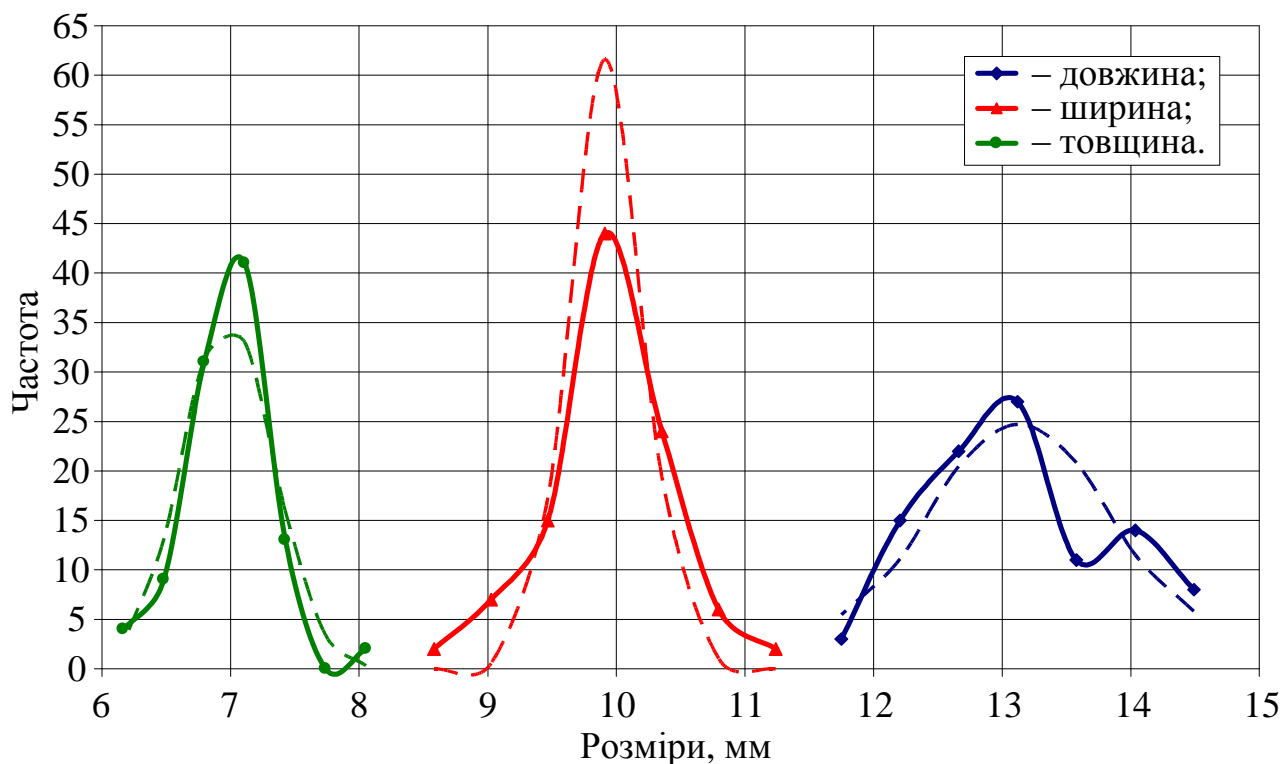


Рисунок 2 – Варіаційні криві лінійних розмірів ядер кісточок абрикосу сорту «Ранній Марусича»

Обчислені статистичні дані наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Статистична оцінка експериментальної вибірки лінійних розмірів кісточок абрикосу та їх ядер

Лінійний розмір	Вибіркова середня, мм		Вибіркове середньоквадратичне відхилення	
	кісточки	ядра	кісточки	ядра
Довжина	18,1	13,13	0,78	0,72
Ширина	15,61	9,94	0,73	0,28
Товщина	10,69	6,98	0,40	0,34

За визначеними статистичними даними побудовано теоретичні варіаційні криві за законом нормального розподілу (штрихові криві на рисунках 1 і 2):

$$i = \frac{1}{\pi\sigma^*} \dot{a} \frac{(i - \bar{\sigma}^*)^2}{2\sigma^*} \quad (2)$$

Перевірку генеральної сукупності кісточок абрикосу та їх ядер на закон нормального розподілу за наявності рівні значущості 0,05 здійснювали за критерієм Пірсона та показниками асиметрії та ексцесу [4-6]. Їх значення наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Показники випадкової вибірки лінійних розмірів кісточок абрикосу та їх ядер, які визначають їх відхилення від нормального розподілу

Лінійний розмір	Критерій Пірсона		Показник асиметрії		Показник ексцесу	
	кісточки	ядра	кісточки	ядра	кісточки	ядра
Довжина	1,57	8,80	0,006	0,259	-0,380	-0,750
Ширина	3,49	2560,85	0,254	-1,067	0,169	35,551
Товщина	21,90	16,0	0,319	0,079	1,789	1,170

Критичне значення критерію Пірсона для числа ступенів свободи 4, що відповідає семи частковим інтервалам варіаційних кривих, становить $\chi_{\text{ед}}^2(0,05;4) = 9,5$.

Середньоквадратичні похибки асиметрії та ексцесу, що відповідають обсягу вибірки 100, дорівнюють відповідно $\sigma_{As} = 0,239$ і $\sigma_{Ex} = 0,464$.

Порівняння значень критерію Пірсона з критичним значенням дозволяє з вірогідністю 95% зробити висновок про те, що для довжини та ширини кісточок абрикосу та довжини їх ядер відхилення від нормального розподілу не суттєве.

Максимальне відхилення від нормального розподілу спостерігається для ширини ядер кісточок.

Суттєві асиметрія та ексцес, які відповідають нерівностям

$$\frac{|As|}{\sigma_{As}} > 3 \text{ та } \frac{|Ex|}{\sigma_{Ex}} > 3, \quad (3)$$

де As – показник асиметрії;

Ex – показник ексцесу,

спостерігаються для товщини кісточок (суттєвий гостровершинний ексцес) і ширини ядер кісточок (суттєві лівостороння асиметрія та гостровершинний ексцес).

Для цієї ж вибірки побудовано варіаційні криві маси кісточок та їх ядер, що відображено на рисунку 3. Відповідні статистичні дані наведені в таблиці 3.

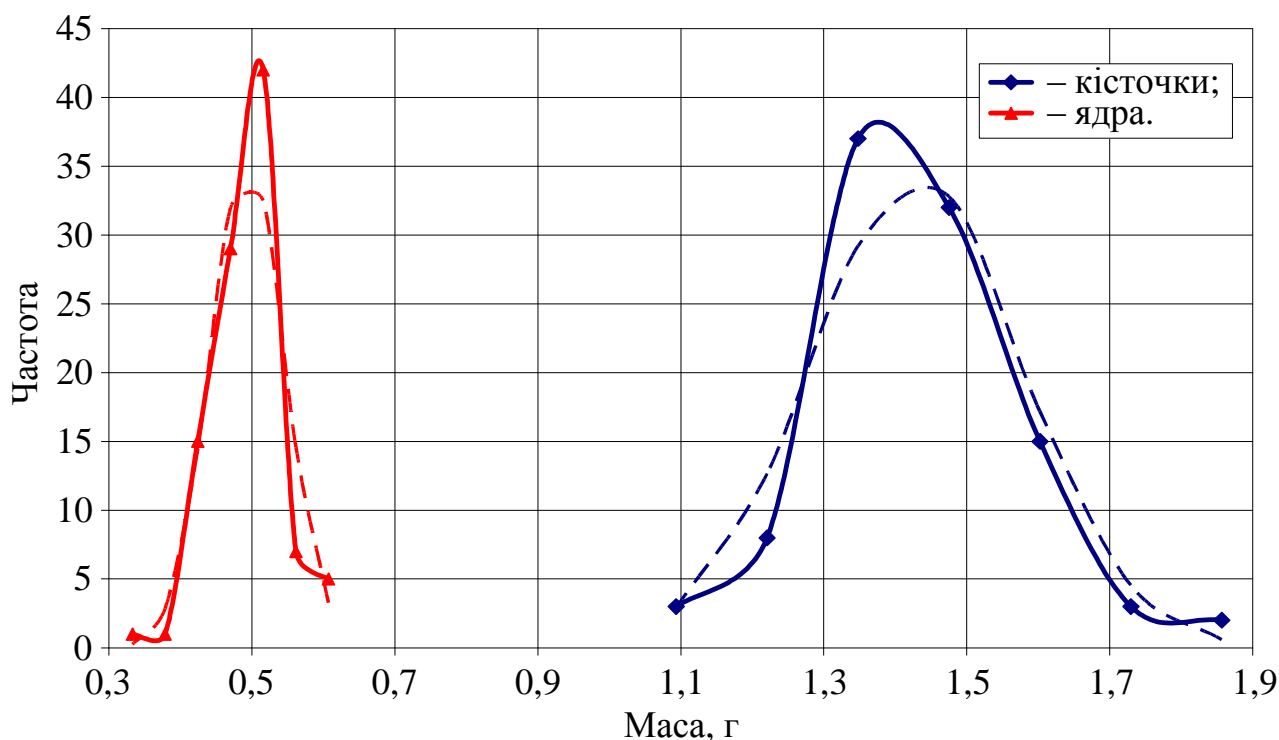


Рисунок 3 – Варіаційні криві маси кісточок абрикосу сорту «Ранній Марусича» та їх ядер

Таблиця 3 – Статистичні дані та показники випадкової вибірки маси кісточок абрикосу та їх ядер, які визначають їх відхилення від нормального розподілу

Маса	Вибіркова середня, г	Вибіркове середньо-квадратичне відхилення	Критерій Пірсона	Показник асиметрії	Показник ексцесу
Кісточки	1,43	0,14	7,85	0,346	0,665
Ядра	0,49	0,05	11,09	-0,072	0,657

Їх аналіз показує, що з 95% вірогідністю можна стверджувати про несуттєве відхилення від нормального розподілу маси кісточок, на відміну від розподілу маси їх ядер. Асиметрія та ексцес для обох розподілів є несуттєвими.

Отже, усі варіаційні криві свідчать про більшу схильність до нормального закону розподілу характеристик кісточок абрикосу, ніж їх ядер.

Аналіз кореляційних зв'язків між розглянутими вибірками, дані якого наведені в таблиці 4, також свідчить про відмінність у характері цих зв'язків для кісточок абрикосу та їх ядер. Для кісточок характерні більш тісні кореляційні зв'язки, особливо між масою та лінійними розмірами (для маси і ширини коефіцієнт кореляції складає 0,90). Для ядер характерні досить слабкі зв'язки між лінійними розмірами та площею поверхні, що свідчить про значну варіацію їх форми. Хоча наявна і спільна тенденція – з лінійних розмірів мінімальний вплив на масу і площу поверхні становить товщина.

Таблиця 4 – Кореляційні зв'язки між лінійними розмірами, масою та площею поверхні кісточок абрикосу та їх ядер

Кісточки					
	Довжина	Ширина	Товщина	Маса	Площа
Довжина	1				
Ширина	0,81	1			
Товщина	0,57	0,69	1		
Маса	0,83	0,90	0,80	1	
Площа	0,70	0,73	0,55	0,74	1
Ядра					
	Довжина	Ширина	Товщина	Маса	Площа
Довжина	1				
Ширина	0,63	1			
Товщина	0,30	0,21	1		
Маса	0,71	0,79	0,63	1	
Площа	0,44	0,28	0,21	0,40	1

Максимальний вплив на масу і площу поверхні кісточок складає ширина, для ядер – ширина на масу і довжина на площу поверхні. Це, на наш погляд, є свідченням істотної відмінності у геометричній формі цих об'єктів.

За вибірковими середніми випадкової вибірки лінійних розмірів, маси та площі поверхні визначено ряд фізико-механічних характеристик [7], наведених у таблиці 5.

Для отримання кількісних зв'язків між лінійними розмірами вибірки та об'ємом кісточок абрикосу та їх ядер були отримані рівняння у вигляді мультиплікативної моделі:

$$V = \tilde{N}_0 l^{\tilde{N}_1} a^{\tilde{N}_2} b^{\tilde{N}_3}, \quad (4)$$

де відповідно V, l, a, b – об'єм, довжина, ширина та товщина кісточка або ядра;

C_0, C_1, C_2, C_3 – константи рівняння, які визначаються під час математичної обробки.

Таблиця 5 – Фізико-механічні характеристики випадкової вибірки кісточок абрикосу

Показники	Складові		
	Кісточка	Ядро	Оболонка
Насипна щільність, кг/м ³	568,28	600,17	–
Фізична щільність, кг/м ³	1019,49	1114,25	1247,56
Порізність	0,44	0,46	–
Об'єм повітряного прошарку між оболонкою і ядром, що припадає на 1 кг продукту, м ³ /кг	0,15 · 10 ⁻³		
Вибіркова середня об'єму, мм ³	1404,92	436,26	–

Вибіркова середня питомої поверхні, 1/мм	0,498	0,772	–
Вибіркова середня еквівалентного діаметра, мм	13,88	9,40	–
Вибіркова середня фактора форми	0,871	0,836	–
Вибіркова середня відносної маси оболонки	0,66		

У результаті апроксимації експериментальних даних за допомогою методу найменших квадратів отримані значення коефіцієнтів рівняння (4), які наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Результати визначення констант мультиплікативних моделей та їх статистична оцінка

		C_0	C_1	C_2	C_3	Коефіцієнт кореляції
Кісточки	Значення	1,45	0,698	0,899	1,007	0,95
	Критерій Стьюдента	1,50	5,31	6,62	8,20	
Ядра	Значення	1,807	0,477	1,137	0,846	0,93
	Критерій Стьюдента	2,89	4,96	11,36	10,95	

Адекватність отриманих рівнянь регресії підтверджується значеннями критерію Фішера, які менші за критичне значення. Значущість коефіцієнтів регресії підтверджується значеннями критерію Стьюдента, які більші за критичне значення $t_{0,05}^{ed}(96) = 1,98$ [5-7].

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті експериментальних досліджень і статистичних обчислень визначено ряд фізико-механічних характеристик кісточок абрикосу сорту «Ранній Марусича» та їх ядер. Усі варіаційні криві свідчать про більшу схильність до нормального розподілу характеристик кісточок абрикосу, ніж їх ядер. Треба відзначити також більш тісні кореляційні зв'язки між лінійними розмірами, масою та площею поверхні у кісточок, ніж у їх ядер. Перспективи подальших досліджень полягають у використанні отриманих результатів для математичного моделювання технологічних процесів переробки кісточок абрикосу, а також для конструювання відповідного обладнання.

Список літератури / References:

1. Поперечний А.М. Основні геометричні і фізичні параметри плодкових кісточок / А.М. Поперечний [та ін.] // Обладнання та технології харчових виробництв, 2010. – Вип. 23. – С. 28-33.
Poperechnyi, A.M., Varvarina, N.M, Korniiichuk, V.H. and Myronova, N.O. (2010), “Main geometric and physical properties of fruit pits”, *Obladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv*, no. 23, pp. 28-33.
2. Деревинко В.В. Физико-механические и аэродинамические характеристики семян тыквы. – [Электронный ресурс] // Процессы и аппараты пищевых производств, 2010. – Вип. 2. – Режим доступа: <www.processes.open-mechanics.com>.

- Derevinko, V.V., Korobchenko, A.S. and Alenkina, I.N. (2010), "Physical, geometrical and aerodynamic features of pumpkin seeds", *Protsesy i aparaty pishchevykh proizvodstv*, no. 2, available at: www.processes.open-mechanics.com (accessed July, 2011).
3. Жданов І.В. Дослідження фізико-механічних характеристик насіння соняшнику / І.В. Жданов, А.В. Шульга, Ю.О. Волков // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі, 2012. – Вип. 1(15). – С. 484-489.
Zhdanov, I.V., Shulga, A.V. and Volkov, Yu.O. (2012), "The study of physical and mechanical properties of sunflower seeds", *Progresyvni tekhnika ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli*, no. 1(15), pp. 484-489.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.
Gmurman, V.Ye. (2003), *Teoriia veroiatnosti i matematicheskaia statistika* [Theory of probability and mathematical statistics], Vyssh. shk., Moscow, Russia, 479 p.
5. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика: для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
Kobzar, A.I. (2006), *Prikladnaia matematicheskaia statistika* [Applied mathematical statistics], FIZMATLIT, Moscow, Russia, 816 p.
6. Шашков В.Б. Обработка экспериментальных данных и построение эмпирических формул: учеб. пособие / В.Б. Шашков. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 150 с.
Shashkov, V.B. (2005), *Obrabotka eksperimentalnykh dannykh i postroiieniie empirichieskikh formul* [The experimental data and the construction of empirical formulas], GOU OGU, Orenburg, Russia, 150 p.
7. Черевко О.І. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О.І. Черевко, А.М. Поперечний. – Х.: ХДАТОХ, 2002. – 420 с.
Cherevko, O.I. and Poperechnyi, A.M. (2002), *Protsesy i aparaty kharchovykh vyrobnytstv* [Processes and apparatus of food production], KhDATOKh, Kharkiv, Ukrain, 420 p.

Цель статьи – определение физико-механических характеристик косточек абрикоса и их ядер, анализ закономерностей их вариации и распределения в случайной выборке, количественная оценка тесноты связей между отдельными характеристиками и создание соответствующих математических моделей.

Методика. Исследования проводились с помощью методов математической статистики. Проверка гипотезы о нормальном распределении линейных размеров и массы косточек и ядер проводилась по критерию Пирсона, показателям асимметрии и эксцесса. Теснота связей между отдельными характеристиками оценивалась с помощью коэффициента корреляции. Количественные зависимости между отдельными характеристиками получены с помощью метода наименьших квадратов. Их адекватность проверена по критерию Фишера, теснота связи экспериментальных и расчетных данных – коэффициентом корреляции, значимость коэффициентов регрессии – критерием Стьюдента.

Результаты. Определен ряд физико-механических характеристик косточек абрикоса и их ядер, в частности физическая плотность оболочки и ядра, плотность и порозность слоев косточек и ядер, выборочные средние линейных размеров, массы, площади поверхнос-

ти, удельной поверхности, фактора формы, эквивалентного диаметра и т.д. Составлены мультипликативные модели, которые описывают связь между линейными размерами косточек и ядер и их объемом. На основе анализа статистических оценок сделаны выводы про характер распределения отдельных характеристик и тесноту связи между ними.

Научная новизна. Впервые для косточек абрикоса и их ядер определен ряд физико-механических характеристик и проведен их системный анализ. Получены зависимости, которые описывают связь между линейными размерами косточек и ядер с их объемом.

Практическая значимость полученных результатов заключается в использовании их при разработке технологического оборудования для переработки косточек абрикоса, моделировании процессов их сушки, измельчения, виброперемещения и т.д.

Ключевые слова: косточки и ядра абрикоса, распределение, статистическая оценка, корреляция.

Objective. The purpose of article – determination of physical and mechanical features of apricot pits and kernels, the analysis of regularities of variation and the distribution of a random sample, the quantitative estimation of tightness of connections between the main features and the creation of appropriate mathematical models.

Methods. The studies were conducted by the methods of mathematical statistics. Testing the hypothesis of normal distribution of the linear dimensions and weight of pits and kernels was conducted by Pearson test, indicators of asymmetry and excess. Tightness of the connection between the main features was estimated using the correlation coefficient. We obtained quantitative dependences between the main features by the method of least squares. Adequacy of mathematical models tested using the F-test, tightness of connection experimental and numerical data – correlation coefficient, the significance of the regression coefficients – t-test.

Results. Identified a number of physical and mechanical properties of apricot pits and kernels, in particular, the physical density of the shell and kernel, density and porosity of the pits and kernels beds, the sample means of linear dimensions, mass, surface area, shape factor, equivalent diameter, etc. We obtained the multiplicative model describing the connections between the linear dimensions of the pits and kernels and its volume. Based on the analysis of statistical estimates conclusions are drawn about the nature of the distribution of the main features and tightness of the connection between them.

Scientific novelty. For apricot pits we have identified a number of physical and mechanical features. We have also carried out their systematic analysis and obtained the dependences that describe the connections between the linear dimensions of the pits and kernels and its volume.

Practical value. The practical significance of the results is to use them in the design of process equipment for the processing of apricot pits, modeling of their drying, crushing, vibration displacement, etc.

Key words: apricot pits and kernels, distribution, statistical estimation, correlation.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук,
проф. Потаповим В.О.

Дата надходження рукопису 06.11.2013 р.

УДК 664.668

Романенко Р.П., канд. техн. наук

Київський національний торговельно-економічний університет, Київ, Україна,
e-mail: romanco@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІН ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПІСОЧНОГО ТІСТА В ПРОЦЕСІ ВИПІКАННЯ

Romanenko R.P., Cand. Sc. (Tech.)

Kyiv national university of trade and economics,