

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*На правах рукопису*

ГАВРИЛОВ ОЛЕКСАНДР ВІКТОРОВИЧ

УДК 664.8.022.1

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ М'ЯКОТІ  
КІСТОЧКОВИХ ПЛОДІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЙОГО  
РЕАЛІЗАЦІЇ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних  
та фармацевтичних виробництв

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій  
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Гуртовой Микола Володимирович**,  
Одеська національна академія харчових технологій,  
професор кафедри технологічного обладнання  
харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Чумак Ігор Григорович**, Одеська академія  
холоду, радник ректора, президент Українського  
відділення МАХ

кандидат технічних наук, доцент  
**Бандура Валентина Миколаївна**, Вінницький  
державний аграрний університет, доцент кафедри  
автоматизації і комплексної механізації  
технологічних процесів

Провідна установа: Харківський державний університет харчування та  
торгівлі, кафедра устаткування підприємств  
харчування Міністерства освіти і науки України  
(м. Харків)

Захист відбудеться 24 лютого 2006 р. о 10:30 годині на засіданні  
спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській національній академії  
харчових технологій, за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської національної  
академії харчових технологій: 65039, Україна, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розісланий 14 січня 2006 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, д. т. н., проф.

Моргун В. О

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В Україні щорічно вирощується більше мільйона тонн кісточкових сільськогосподарських культур. Біля половини цієї кількості піддається промисловій переробці.

Типова технологія первинної переробки овочів та зерняткових фруктів включає технологічні операції подрібнення вимитих та проінспектованих плодів, теплову обробку мезги (нагрівання та витримання при заданій температурі) та протирання. У результаті отримують оброблений напівфабрикат, який використовують для виготовлення готового продукту, та відходи, які являються вторинною сировиною.

Спроба застосувати таку технологію до перероблення кісточкових плодів стикається з проблемою вибору дробарки. Використання існуючих дробарок, які було розроблено для подрібнення овочів та зерняткових культур (валкової, ножової, барабанної), призводить до подрібнення кісточок. У зв'язку з цим небажані компоненти ядер кісточок попадають у напівфабрикат і негативно впливають на якість харчового продукту; фрагменти кісточок закупорюють отвори перфорації протиральної машини і зменшують її продуктивність. Руйнування кісточок робить неможливим використовувати їх як вторинну сировину.

Якщо піддавати тепловій обробці цілі фрукти, тоді доводиться збільшувати тривалість теплової обробки. Досліди показують, що при цьому втрачається до 70 % вітаміну С та інших корисних речовин, а харчова цінність кінцевого продукту знижується.

Сьогодні для подрібнення кісточкових плодів застосовують валкову плющильну машину. При цьому велика частка плодів залишається без руйнування шкірочки, тому не вдається суттєво пом'якшити режим теплової обробки.

Ефективним напрямком розв'язання цієї проблеми є удосконалення та використання у технологічній лінії протирання кісточкових плодів роторної дробарки. Бракує наукового обґрунтування конструкції, режимів роботи та методів розрахунку такої дробарки.

**Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності до держбюджетної науково-дослідної роботи кафедри технологічного обладнання харчових виробництв за напрямком наукової діяльності „Створення нового вискоєфективного обладнання, автоматизація виробничих процесів харчових і зернопереробних виробництв”.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи – обґрунтування конструкції, конструктивно-режимних параметрів та продуктивності дробарки, яка подрібнює м'якоть плодів та відокремлює кісточку без їх пошкодження.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- скласти фізичну модель подрібнення м'якоті, пошкодження кісточок, а також руху плодів і продуктів подрібнення в робочій зоні дробарки;
- розробити методику експериментального дослідження;

- дослідити механічні властивості плодів та кісточок;
- встановити у явному вигляді залежність показників якості подрібненого напівфабрикату від параметрів дробарки та властивостей подрібнених плодів;
- обґрунтувати критерій оптимізації процесу подрібнення плодів з добре відокремлюваною кісточкою і визначити конструктивні та кінематичні параметри дробарки, які забезпечують повне подрібнення м'якоті та цілісність шкаралупи кісточок;
- встановити у явному вигляді залежність часу перебування плодів та продуктів подрібнення у робочій зоні дробарки;
- обґрунтувати оптимальні конструктивно-режимні параметри та продуктивність дробарки для плодів абрикоса, сливи і персика з добре відокремлюваною кісточкою.

*Об'єкт дослідження* – процес подрібнення кісточкових плодів.

*Предмет дослідження* – кісточкові плоди абрикоса, персика та сливи з добре відокремлюваною кісточкою, роторна дробарка для кісточкових плодів.

*Методи дослідження.* Аналітичне моделювання процесу подрібнення кісточкових плодів проводили з використанням теорії подібності.

Експериментальні дослідження виконували методами планування багатофакторного експерименту. Обробку та узагальнення експериментальних даних здійснювали стандартними статистичними методами з використанням ЕОМ.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні конструкції, режимів роботи і продуктивності роторної дробарки для подрібнення плодів з добре відокремлюваною кісточкою.

У результаті аналітичних і експериментальних досліджень в роботі вперше отримані наступні результати:

- модель плода з добре відокремлюваною кісточкою;
- безрозмірні змінні та параметричні моделі, які забезпечують геометричну, енергетичну та кінематичну подібність явищ подрібнення плодів, пошкодження кісточок та руху плодів і продуктів подрібнення у робочій зоні машини;
- нові дані про механічні властивості кісточкових плодів та їх кісточок при статичному навантаженні.

Для обґрунтування режиму дробарки запропоновано та використано комплексний показник якості – вміст кондиційного продукту в подрібненому напівфабрикаті. Розроблено нові алгоритми визначення показників якості процесу подрібнення та продуктивності роторної дробарки.

**Практичне значення отриманих в дисертації результатів** полягає в практичному використанні режиму та конструкції робочих органів дробарки для кісточкових плодів, які дозволяють отримати високу якість подрібненого напівфабрикату, використовувати кісточку як вторинну сировину.

Використання результатів на ВАТ “Сімферопольський консервний завод

ім. 1 Травня” дає економічний ефект 1000 грн. на рік.

Розроблено рекомендації до удосконалення відомої дробарки А9-КЮУ Одеського СКТБ Продмаш та проведено виробничі випробування модернізованої дробарки. Модернізована дробарка подрібнює м'якоть 100 % плодів без пошкодження кісточок та має на 30...60 % більшу продуктивність. Очікуваний економічний ефект від впровадження модернізованої дробарки А9-КЮУ становить 24,818 тис. грн. на рік.

**Особистий внесок здобувача** полягає у налагоджуванні експериментальної установки, організації та проведенні експерименту, узагальненні результатів дослідження, формулюванні і доведенні наукових положень дисертації, у впровадженні результатів роботи у виробництво.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали основних положень дисертаційної роботи доповідались і одержали схвалення на 64-ій та 65-ій наукових конференціях Одеської національної академії харчових технологій у 2004 і 2005 рр.; на міжвузівській науково-практичній конференції “Проблеми техніки і технології харчових виробництв” (м. Полтава, 2004 р.), на міжнародній науково-практичній конференції “Актуальні проблеми харчування: технологія і обладнання, організація і економіка” (м. Донецьк, 2005 р.), на наукових конференціях у м. Сімферополі, та м. Києві (2005 р.).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 10 робіт, у тому числі 7 у фахових виданнях, 1 стаття в збірнику наукових праць та 2 тези доповідей.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків (46 сторінки). Загальний обсяг дисертації складає 196 сторінок машинописного тексту, із них 105 сторінок основного тексту, містить 45 рисунків (20 сторінок), 17 таблиць (9 сторінок), список використаних джерел з 162 найменувань (16 сторінок).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** наведено загальну характеристику роботи, яка розкриває її актуальність, наукову новизну і практичне значення; визначено об'єкт дослідження, сформульовано мету і завдання роботи.

**У першому розділі** розглянуто кісточкові плоди як об'єкт промислової переробки. Наведено аналіз відомих технологій перероблення овочів та фруктів. Показано, що кісточкові плоди у консервній промисловості переробляють переважно з використанням протиральних машин.

Типова технологія первинної переробки овочів та фруктів включає технологічні операції миття, інспекцію, подрібнення, теплову обробку (нагрівання та витримування при заданій температурі), протирання подрібненої маси. Показано, що проблема подрібнення кісточкових плодів полягає у протиріччі між вимогою забезпечити повне подрібнення м'якоті плодів та необхідністю зберегти непошкодженою шкаралупу кісточок. Якісне подрібнення м'якоті приводить до пошкодження кісточок та навпаки.

Наведено аналіз існуючих машин для руйнування м'якоті та

можливостей їх використання для подрібнення кісточкових плодів.

На евристичному рівні обґрунтовано робочу гіпотезу, що проблему якісного подрібнення кісточкових плодів можна розв'язати шляхом удосконалення робочих органів та вибору конструктивно-режимних параметрів роторної дробарки за авторським свідоцтвом № 544420.

На основі аналізу літературних даних та робочої гіпотези сформульовано мету та завдання дослідження.

**У другому розділі** виконано аналітичне дослідження процесу подрібнення м'якоті кісточкових плодів у роторній дробарці, схему якої наведено на рис. 1 а.

Дробарка має ротор 1, встановлений у корпусі 2. На поверхні ротора закріплені ребра 3, а на корпусі – ребра 4. Ротор обертається з коловою швидкістю  $v$ . Щоб уникнути пошкодження шкаралупи кісточок, у цій роботі використовували плоскі ребра у вигляді прямих пластин із заокругленими робочими кромками.

Плоди 5 завантажують в корпус 2, вони поступають у зазор між ротором та корпусом, попадають під удари ребер, розсікаються рухомими та нерухомими ребрами і піддаються подрібненню. Під дією сили тяжіння плоди та продукти подрібнення проходять через робочу зону машини і вивантажуються.

Основне припущення щодо властивостей плодів полягає у тому, що силами тяжіння та механічного зв'язку кісточка з м'якоттю можна нехтувати у порівнянні з іншими силами, що діють на плоди. Сили, необхідні для руйнування кісточок, в багато разів більші за сили, які необхідні для подрібнення м'якоті.

Розмір плода описано ефективним діаметром, який дорівнює діаметру сфери, що має масу плода<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Умовні позначення дивись на стор. 16.

$$d_n = \sqrt[3]{\frac{6m_n}{\pi\rho_n}} \quad (1)$$

Кісточку характеризуємо її основними розмірами: довжиною  $l_k$ , шириною  $b_k$  та висотою  $h_k$ .

Якість роботи дробарки оцінювали за показниками якості подрібненого напівфабрикату:

- масовою часткою подрібнених плодів, яка показує частку плодів  $C_{подр.}$  м'якоті яких розділилась на кілька фрагментів, а кісточка відокремилась від м'якоті;
- вмістом пошкоджених кісточок  $C_{пошк.}$ . Ця величина показує масову частку кісточок, шкаралупу яких пошкоджено або зруйновано.

В роботі показано, що існує два основних механізми руйнування м'якоті плодів або кісточок у роторній дробарці:

- защемлення плода або кісточки між ребрами на роторі й корпусі машини;
- зіткнення плода або кісточки з робочими органами, при якому кінетична енергія рухомої частинки переходить у енергію руйнування м'якоті або кісточки.

При малих швидкостях ротора переважає механізм защемлення плодів або кісточок. Вміст подрібнених плодів та пошкоджених кісточок у подрібненому напівфабрикаті визначається при цьому конструктивно-режимними параметрами у зоні мінімальних зазорів між ротором та корпусом (рис.1 б).

При великих колових швидкостях ротора зростає частка плодів та кісточок, які подрібнюються внаслідок зіткнення з робочими органами.

Для аналізу ударного подрібнення частинок виходили із наступної моделі. При зіткненні частинки з робочим органом її кінетична енергія у відносному русі переходить у енергію пружної деформації. Якщо кінетична енергія частинки менша за граничну величину пружної деформації, то частинка відскакує від робочого органа, якщо перевершує цю величину, то відбувається незворотна деформація або руйнування частинки. У світлі таких уявлень набуває значення характерна швидкість плоду  $v_{En}$  та кісточки  $v_{Ek}$ , які запропоновано визначати за формулами

$$v_{E_n} = \sqrt{\frac{2E_{np.n}}{m_n}} \quad v_{E_k} = \sqrt{\frac{2E_{np.k}}{m_k}}, \quad (2)$$

де  $E_{np.n}$ ,  $E_{np.k}$  – гранична енергія пружної деформації плода та кісточки;  
 $m_n$ ,  $m_k$  – маса плода або кісточки.

Має значення осьова швидкість, з якою плоди під дією сил тяжіння падають у зазорі між ротором та корпусом

$$v_g = \sqrt{2gH} \quad (3)$$

Математичні моделі для визначення показників якості продуктів подрібнення у неявному вигляді покажемо як функції шести конструктивно-режимних параметрів

$$C_{подр.} = \Phi_1 (d_n, v_{En}, v, v_g, e_p, l_p), \quad (4)$$

$$C_{пошк.} = \Phi_2 (b_k, v, v_{Ek}, H, e_p, l_p). \quad (5)$$

На основі аналізу процесів, що відбуваються у робочій зоні дробарки, утворено узагальнені безрозмірні змінні, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

### Узагальнені безрозмірні змінні

Явище	Узагальнена змінна	Фізичний зміст змінної
Подрібнення м'якоті плодів	$C_{подр.}$	Масова частка подрібнених плодів у обробленому напівфабрикаті
	$d^* = d / e_p$	Забезпечити геометричну подібність явища защемлення плодів між ребрами машини
	$l_e^* = l / e_p$	
	$v_{En}^* = v / v_{En}$	Забезпечити енергетичну подібність явища удару плодів об робочі органи
	$v_g^* = v / v_g$	Забезпечити кінематичну подібність руху частинок під дією сил тяжіння
Пошкодження шкаралупи кісточок	$C_{пошк.}$	Масова частка пошкоджених кісточок у подрібненому напівфабрикаті
	$b_k^* = b_k / e_p$	Забезпечити геометричну подібність явища защемлення кісточок між ребрами машини
	$l_e^* = l / e_p$	
	$v_{Ek}^* = v / v_{Ek}$	Забезпечити енергетичну подібність явища удару кісточок о робочі органи
	$v_g^* = v / v_g$	Забезпечити кінематичну подібність руху частинок під дією сил тяжіння
Рух плодів та продуктів подрібнення через робочу зону машини	$t^*$	Відносний час перебування плодів і продуктів подрібнення у робочій зоні дробарки
	$l_H^* = l / H$	Забезпечити геометричну подібність явища руху частинок у зазорі між ротором та корпусом
	$e_{p-k}^* = e_{p-k} / H$	

	$d_H^* = d / H$	
	$v_g^* = v / v_g$	Забезпечити кінематичну подібність руху частинок під дією сил тяжіння

У безрозмірному вигляді залежності (4, 5) можна подати як залежність між п'ятьма узагальненими безрозмірними параметрами

$$C_{подр.} = f_1 (d^*, v_{En}^*, v_g^*, l_e^*), \quad (6)$$

$$C_{пошк.} = f_2 (b_k^*, v_{Ek}^*, v_g^*, l_e^*), \quad (7)$$

які забезпечують геометричну, енергетичну та кінематичну подібність явищ що досліджуються, та однакові показники якості подрібненого напівфабрикату при постійних параметрах

$$\partial_p = 2,0 \text{ мм}, \quad \min e_{p-k} \approx e_p + 4 \partial_p, \quad \bar{b} = 10 \text{ }^\circ \pm 1^\circ, \quad (8)$$

де  $\partial_p$  – товщина ребер;

$\min e_{p-k}$  – мінімальний зазор між поверхньою ротора і корпусу машини;

$\bar{b}$  – половина кута при вершині ротора.

Продуктивність дробарки запропоновано визначати за формулою

$$Q = \varphi_1 \varphi_2 \rho_n \pi (R_k^2 - R_2^2) H / t, \quad (9)$$

де  $\varphi_1, \varphi_2$  – коефіцієнти технічного використання та завантаження робочого простору дробарки;

$\rho_n$  – насипна маса плодів;

$t$  – час перебування плодів і продуктів подрібнення в робочій зоні машини.

Аналіз руху плодів і продуктів подрібнення в робочій зоні машини показав, що останню величину можна визначити як функцію семи конструктивно-режимних параметрів машини та прискорення сили тяжіння  $g$

$$t = \Phi_3 (m_n, \rho_n, v, e_{p-k}, l, H, g).$$

З урахуванням узагальнених змінних з цього виразу отримуємо залежність між п'ятьма узагальненими безрозмірними змінними, які забезпечують часову, геометричну та кінематичну подібність руху плодів і продуктів подрібнення у зазорі між ротором та корпусом дробарки при умові (8)

$$t^* = f_3 (d_H^*, v_g^*, e_{p-k}^*, l_H^*), \quad (10)$$

де  $t^* = \frac{t}{\sqrt{2gH}}$  – відношення часу перебування плодів і продуктів подрібнення у робочій зоні до часу вільного падіння частинок на висоту ротора,

інші позначення дивись в табл. 1.

**У третьому розділі** описано експериментальні установки та методику дослідження.

Механічні властивості плодів та кісточок досліджували на установці, яка дозволяла вимірювати деформацію плоду в залежності від зусилля стискування (рис. 2). Деформацію плоду вимірювали лінійкою з точністю до 0,5 мм, зусилля стискування – зразковим механічним динамометром ДОСМ-3-0,2 з ціною поділок 3,1 Н.

Аналогічно випробовували кісточки. Деформацію кісточок вимірювали індикатором часового типу з точністю 0,01 мм.

Випробовуванням піддавали плоди персика, абрикоси та сливи у технічній стадії зрілості, властивості яких наведено в табл. 2 (після знака „±” дається стандартне відхилення параметрів).

Експериментальна дробарка дозволяла регулювати частоту обертання ротора і за рахунок цього змінювати колову швидкість  $v$  ребер на шести рівнях, регулювати ширину зазору між ребрами на

роторі та нерухомими ребрами на корпусі, знімати та установлювати на роторі та корпусі ребра.

Таблиця 2

**Характеристика досліджених плодів**

Культура	Сорт	Маса, г	Основні розміри, мм		
			довжина	ширина	висота
Персик	Успіх	80 ± 11	63 ± 3,0	61 ± 2,5	62 ± 2,4
Абрикос	Червонощокий	30 ± 6,5	40 ± 3,7	38 ± 3,6	36 ± 3,1
Слива	Венгерка домашня	27 ± 2,9	42 ± 2,7	31 ± 1,0	28 ± 1

Дослідження процесу подрібнення кісточкових плодів проведено за планом трифакторного експерименту. Швидкість ротора варіювали на шести рівнях від 3 м/с до 24 м/с. Кількість ребер при переробці абрикоса та сливи становила 6 та 12, а при переробці персика – 3 та 6. Ширину зазору варіювали на трьох рівнях і виставляли на 5...15 % більшими за відповідні розміри кісточок. На нижчому рівні ширину ставили більшу за товщину кісточок, на верхньому – більшу за довжину, на середньому вибирали середній арифметичний від двох попередніх.

Випробування у кожній точці експерименту проводили наступним чином. Параметри роботи дробарки встановлювали на запланованому рівні, потім завантажували в машину порцію плодів. Час проходження порції плодів та продуктів подрібнення через робочу зону машини вимірювали секундоміром з точністю до 0,2 с. У результаті проходження плодів через дробарку отримували порцію обробленого напівфабрикату. У обробленому напівфабрикаті лічили плоди, які пройшли через робочу зону з подрібненням м'якоті і розраховували вміст подрібнених плодів за формулою

$$C_{\text{подр.}} = 100 z_{\text{подр.}} / z, \% \quad (11)$$

де  $z_{\text{подр.}}$  – кількість плодів, м'якоть яких було подрібнено;  
 $z$  – кількість плодів, завантажених у машину.

Від маси, яка пройшла через дробарку, відбирали кісточки та їх фрагменти, піддавали їх ретельному аналізу і розраховували вміст пошкодження кісточок за формулою

$$C_{\text{пошк.}} = 100 z_{\text{пошк.}} / z, \% \quad (12)$$

де  $z_{\text{пошк.}}$  – кількість пошкоджених кісточок.

Одна порція абрикоса та сливи складалась з п'яти плодів, персика – з чотирьох плодів, повторність випробувань – п'ятикратна.

**У четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень.

Дослідження *опору плодів* статичному навантаженню показало, що на кривих деформації можна виділити ділянки пружної та пластичної деформації. Поки зусилля  $F$  не перевершує граничної величини  $F_{np}$  залежність деформації у від прикладеного зусилля описується рівнянням виду

$$y = k F, \quad (13)$$

де  $k$  – емпіричний коефіцієнт, який характеризує здатність плоду до

деформування.

У межах ділянки пружної деформації плід не пошкоджується і після зняття навантаження відновлює свою форму і розміри. За діаграмою деформацій визначено енергію пружної деформації плодів

$$E_{np. n} = \int_0^{F_{np}} F dy, \quad (14)$$

де  $F_{np}$  – верхня межа ділянки пружної деформації.

При навантаженнях, більших за  $F_{np}$ , спостерігаються пластичні деформації, які супроводжуються незворотнім руйнуванням м'якоті плода. Енергію плющення плоду розраховували за рівнянням

$$E_{\text{плющ.}} = \int_0^{y_{\text{гран}}} F dy \quad (15)$$

де  $y_{\text{гран}}$  – найбільша деформація, при якій між плитою 1 та упором 3 дослідної установки затискується кісточка (рис. 2).

Характер *деформації кісточок* залежить від культури плодів. Персикова кісточка має ділянку нестабільних деформацій при зусиллях від 0 до 95 Н, при зусиллях від 95 Н до  $1740 \pm 44$  Н залежність деформацій кісточок від прикладеного зусилля описується лінійним рівнянням (13), а при навантаженні, більшому за  $1740 \pm 44$  Н, спостерігається локальне руйнування шкаралупи, яке закінчується руйнуванням кісточки при навантаженні  $1900 \pm 91$  Н.

Деформації сливових та абрикосових кісточок пропорційні прикладеній силі від нуля до зусилля руйнування кісточки. Результати обробки експериментальних діаграм наведено в табл. 3, 4.

Таблиця 3

### Результати дослідження механічних властивостей плодів

Культура	Сорт	$k$ , мм /Н	Межі ділянки пружної деформації		$E_{\text{пр}}$ , Дж	$E_{\text{плющ}}$ , Дж
			$y_{\text{пр}}$ , мм	$F_{\text{пр}}$ , Н		
Персик	Успіх	$0,37 \pm 0,08$	$11 \pm 1,7$	$28 \pm 2,8$	$0,15 \pm 0,02$	$1,0 \pm 0,16$
Абрикос	Червонощокій	$0,25 \pm 0,06$	$8,4 \pm 1,1$	$34 \pm 7,8$	$0,14 \pm 0,03$	$0,6 \pm 0,19$
Слива	Мірабель	$0,22 \pm 0,04$	$6,3 \pm 1,0$	$31 \pm 5$	$0,10 \pm 0,02$	$0,5 \pm 0,07$
	Венгерка домашня	$0,53 \pm 0,13$	$8,2 \pm 2,0$	$15 \pm 5$	$0,06 \pm 0,02$	$0,2 \pm 0,05$

За отриманими даними проведено аналіз сил, які діють на плоди та кісточку у робочій зоні дробарки. За одиницю вибрано найменшу серед сил – силу тяжіння сливової кісточку, яка становить  $0,02$  Н. На рис. 3 у логарифмічному масштабі показано, у скільки разів інші сили перевершують мінімальну силу. З діаграми видно, що сили пружності плодів та кісточок приблизно 10 000 та 100 000 разів більші за мінімальну силу. Результати дослідження підтверджують гіпотезу про те, що силами тяжіння кісточок та плодів можна нехтувати.

Таблиця 4

### Результати дослідження механічних властивостей кісточок

Культура	Сорт	$k$ , мм /Н	Умови руйнування кісточок		$E_{\text{руйн.}}$ , Дж
			$y_{\text{руйн.}}$ , мм	$F_{\text{руйн.}}$ , Н	

Абрикос	Червонощокий	0,0019	$0,89 \pm 0,15$	$410 \pm 42$	$0,17 \pm 0,04$
Слива	Мірабель	0,0021	$0,81 \pm 0,11$	$377 \pm 30$	$0,18 \pm 0,02$
	Ренклод зелений	0,0012	$0,58 \pm 0,07$	$425 \pm 72$	$0,13 \pm 0,04$
	Венгерка домашня	0,0015	$0,83 \pm 0,13$	$507 \pm 46$	$0,21 \pm 0,04$

За експериментальними даними розраховано характерні швидкості для досліджених плодів (рис. 4). З діаграми видно, що робочий діапазон колової швидкості ротора, при якій м'якоть подрібнюється, а кісточка залишається непошкодженою, лежить у діапазоні від 4 м/с до 11 м/с.

На другій стадії експерименту шукали емпіричне рівняння для вихідних параметрів  $C_{подр}$ ,  $C_{пошк}$ ,  $t^*$ . Для цього застосовували наступний алгоритм. Спочатку висували гіпотезу про вид рівняння регресії. Потім методом найменших квадратів знаходили коефіцієнти в рівнянні регресії. Адекватність отриманого рівняння перевіряли за допомогою критерію Фішера. Потім приступали до процедури вилучення з рівняння регресії незначущих коефіцієнтів. У результаті отримували адекватне рівняння з мінімальною кількістю коефіцієнтів.

Аналіз експериментальних даних показав, що у 68 % досліджених режимів спостерігалось подрібнення м'якоті всіх плодів, які пройшли крізь робочу зону машини, тобто  $C_{подр} = 100$  %. У 32 % режимів (29 дослідів) спостерігалось явище проходження окремих плодів без подрібнення. За цими дослідями розраховано стандартне відхилення частки подрібнених плодів  $S(P_{подр}) = 8,1$  %. Перевірка за критерієм Кохрена показала, що вимірювання є однорідними і можуть вважатися вибірками однієї генеральної сукупності. Всі експериментальні дані вдалося адекватно описати єдиним рівнянням

$$C_{\text{нодр.}} = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ якщо } y_1^* < 0 \\ y_1^*, \text{ якщо } 0 \leq y_1^* \leq 100 \\ 100, \text{ якщо } y_1^* > 100 \end{array} \right\}, \% \quad (16)$$

де  $y_1^*$  – функція параметрів  $d_p^*$ ,  $v_{En}^*$ ,  $v_g^*$ ,  $l_e^*$ .

Методом найменших квадратів знайдено

$$y_1 = 1018 - 124 d^* - 76 v_g^* - 1274 v_{En}^* + 2 l_e^* v_g^* - 35 l_e^* v_{En}^* + \\ + 33 d^* v_g^* + 111 d_p^* e_p^* v_{En}^* + 37 v_g^* v_{En}^* + 372 v_E^* v_{En}^* + 4 l_e^* l_e^*, \%$$

Результати експериментів та графіки, побудовані за рівнянням (16), наведено на рис. 5.

Пошкодження шкаралупи кісточок спостерігалось у 81 % досліджених режимів роботи машини, які відрізнялися великими швидкостями обертання ротора та малими зазорами між ребрами. Стандартне відхилення масової частки пошкодженої шкаралупи у подрібненому напівфабрикаті, розраховане за цими дослідями, становить  $S(P_{\text{пошк.}}) = 9,5 \%$ . Вимірювання є однорідними, усі експериментальні дані адекватно описуються рівнянням

$$C_{\text{пошк.}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } y_2^* < 0 \\ y_2^*, & \text{якщо } 0 \leq y_2^* \leq 100 \\ 100, & \text{якщо } y_2^* > 100 \end{cases}, \% \quad (17)$$

де  $y_2^*$  – функція параметрів  $b_k^*$ ,  $v_{Ek}^*$ ,  $v_g^*$ ,  $l_e^*$ .

Методом найменших квадратів знайдено  
 $y_2 = -1996 + 3,8 v_g^* + 551 v_{Ek}^* + 42 b_k^* - 0,5 l_e^* v_g^* - 2,6 l_e^* b_k^* + 10,6 v_g^* b_k^* - 39 v_{Ek}^* v_{Ek}^*$ , %

Час перебування плодів та продуктів подрібнення варіювався від 0,6 с до 30 с і більше. Статистичній обробці піддано результати 93 дослідів. Аналіз показав, що абсолютні відхилення вимірів не є однорідними. Гіпотеза про те, що величина  $\ln t^*$  однорідна підтвердилась. Похибка вимірювання величини  $\ln t^*$  у точці експерименту становить  $S(\ln t^*) = 0,152$ .

Експериментальні дані не вдалося описати єдиною залежністю для всього дослідженого діапазону. У масиві даних залишили лише ті, для яких час  $t$  був меншим певної граничної величини. У результаті отримали залежність

$$\begin{aligned} \ln t^* = & 4,01 + 2,91 \ln l_H^* - 8,53 \ln v_g^* - 8,7 \ln l_H^* \ln v_g^* + 2,66 \ln l_H^* \ln d_H^* - \\ & - 5,46 \ln e_{p-k}^* \ln v_g^* + 1,6 \ln e_{p-k}^* \ln d_H^* - 6,75 \ln v_g^* \ln d_H^* - \\ & - 6,39 \ln l_H^* \ln e_{p-k}^* \ln v_g^* - 6,97 \ln l_H^* \ln v_g^* \ln d_H^* - 4,45 \ln e_{p-k}^* \ln v_g^* \ln d_H^* - \\ & - 5,09 \ln l_H^* \ln e_{p-k}^* \ln v_g^* \ln d_H^* - 2,46 \ln d_H^* \ln d_H^*, \end{aligned} \quad (18)$$

яка адекватно описує досліди, що задовольняють умові

$$3 \leq t^* \leq 20 \quad (19)$$

і охоплює 75 % експериментальних даних. Результати дослідів та теоретичні криві, побудовані за рівнянням (18), наведено на рис. 6.

У п'ятому розділі розглянуто практичне використання результатів дослідження.

Для обґрунтування конструктивно-режимних параметрів дробарки запропоновано критерій оптимізації – *вміст кондиційного продукту в подрібненому напівфабрикаті*. Цей показник показує вміст у подрібненому напівфабрикаті подрібнених плодів та частку кісточок, які залишились після проходження через машину непошкодженими

$$C_{\text{конд}} = C_{\text{подр.}} (100 - C_{\text{пошк.}}) / 100 \%. \quad (20)$$

Дослідження показали, що існує область параметрів, при яких  $C_{\text{конд}} = 100$  %. Такі режими для плодів досліджених культур у фізичних параметрах та в формі узагальнених безрозмірних змінних наведені в табл. 5.

Продуктивність дробарки пропонується визначати за алгоритмом, який засновано на використанні залежності (9) та емпіричному рівнянні (18). Експериментально встановлено  $\varphi_2 = 0,5 \dots 0,6$ . Питомі витрати енергії на

подрібнення абрикосових плодів становлять  $420 \pm 60$  Дж / кг.

Для розрахунку ребер дробарки на міцність та жорсткість рекомендовано використовувати розрахункове зусилля 2080 Н.

Економічний ефект від впровадження результатів дослідження за даними ВАТ “Сімферопольський консервний завод ім. 1 Травня” становить 1000 гривень за рік.

За даними дослідження запропоновано модернізацію дробарки для кісточкових плодів А9-КЮУ та проведено виробничі випробування модернізованої дробарки. Модернізована дробарка забезпечує подрібнення 100 % плодів, при цьому вміст пошкоджених кісточок у подрібненому напівфабрикаті знижується з 50 % до 5 %, що дозволяє реалізувати кісточку як вторинну сировину стороннім організаціям. Продуктивність модернізованої машини на 30...60 % більша. Очікуваний економічний ефект від впровадження модернізованої дробарки А9-КЮУ становить 24,818 тис. грн. за рік.

Таблиця 5

### Рекомендовані режими експлуатації роторної дробарки

Параметри	Культура		
	Слива	Абрикос	Персик
Фізичні параметри процесу			
Зазор між ребрами, мм	13...20	25...30	30...40
Окружна швидкість ротора, м/с	4...8	4...6	4...5
Окружний крок ребер мм	50...80	40...55	120...170
Узагальнені змінні			
$v_{En}^*$	1,20	2,05	0,87
$v_{Ek}^*$	7,98	6,63	7,06
$b_k^*$	0,78...1,50	0,63...0,76	0,69...0,84
$d^*$	1,85...3,70	1,15...1,38	1,36...1,68
$l_e^*$	2,65...7,95	1,32...2,12	1,99...4,89
$v_g^*$	2,26...4,52	2,26...3,39	2,26...2,96

### ВИСНОВКИ

1. Доведено, що роторна дробарка з прямими ребрами, яка працює при розроблених конструктивно-режимних параметрах, забезпечує якісне подрібнення плодів кісточкових культур з добре відокремлюваною кісточкою.
2. Отримано нові експериментальні дані про механічні властивості плодів і кісточок абрикоса, сливи та персика, які використано для інтерпретації результатів дослідження та визначення режимів експлуатації дробарки.
3. Доведено, що подрібнення м'якоті плодів та пошкодження кісточок у роторній дробарці відбувається внаслідок защемлення частинок між

ребрами машини та ударного руйнування при зіткненні з ребрами. При малих швидкостях ротора переважає механізм защемлення плодів або кісточок. Вміст подрібнених плодів та пошкоджених кісточок у подрібненому напівфабрикаті визначається при цьому конструктивно-режимними параметрами у зоні мінімальних зазорів між ротором та корпусом.

4. Обґрунтовано узагальнені безрозмірні змінні та параметричні моделі, які забезпечують геометричну, енергетичну та кінематичну подібність процесу подрібнення плодів та пошкодження кісточок у роторній дробарці. Отримано нові аналітичні рівняння, які визначають вміст подрібнених плодів та пошкоджених кісточок в обробленому напівфабрикаті.
5. Запропоновано комплексний показник якості подрібнення кісточкових плодів з добре відокремлюваною кісточкою – вміст кондиційного продукту у подрібненому напівфабрикаті, який визначається як добуток вмісту подрібнених плодів на частку кісточок, шкаралупа яких не пошкоджена. Розроблено методику розрахунку цього показника.
6. Установлено фізичні конструктивно-режимні параметри та узагальнені змінні, при яких вміст кондиційного продукту в подрібненому напівфабрикаті сягає 100 %. При переробці досліджених плодів оптимальними є наступні параметри: для абрикоса  $25 < e_p < 30$  мм,  $4 < v < 6$  м/с  $l = 40 \dots 55$  мм; сливи –  $13 < e_p < 20$  мм,  $4 < v < 8$  м/с  $l = 40 \dots 80$  мм; персика –  $30 < e_p < 40$  мм,  $4 < v < 5$  м/с  $l = 120 \dots 170$  мм.
7. Обґрунтовано параметричну модель та отримано у безрозмірному вигляді аналітичне рівняння для визначення часу перебування плодів та продуктів подрібнення в робочій зоні дробарки. Модель адекватно описує 75 % експериментальних даних при умові, що відносний час знаходиться у межах  $3 \leq t^* \leq 20$ . Відносне стандартне відхилення часу від рівняння від –14 % до +16 %.
8. Запропоновано алгоритм визначення продуктивності роторної дробарки, що базується на результатах експериментального дослідження часу перебування плодів і продуктів подрібнення в робочій зоні дробарки.
9. Економічний ефект від впровадження рекомендацій дисертаційної роботи на ВАТ “Сімферопольський консервний завод ім. 1 Травня” становить 1000 грн. на рік. Запропоновано модернізацію дробарки А9-КЮУ, яка забезпечує 100 % подрібнення плодів та зменшує вміст пошкоджених кісточок у подрібненому напівфабрикаті до 5 %. Технічну продуктивність машини збільшено на 30...60 % її при незмінній потужності приводу. Очікуваний економічний ефект від

використання модернізованої дробарки А9-КЮУ становить 24,818 тис. грн. за рік.

### Список опублікованих наукових праць

1. Гаврилов А. В. Определение времени пребывания плодов и продуктов дробления в роторной дробилке // Холодильна техніка і технологія. – 2005. – № 4. – С. 101-106.
2. Гаврилов О. В. Дослідження якості подрібнення кісточкових плодів у роторній дробарці // Энергосберегающие технологии переработки с/х продукции (технич. науки) ЮФ “Крымский агротехнологический ун-тет” НАУ. Научн. труды. Вип. 93 – Сімферополь, 2005. – С. 120-128.
3. Гаврилов О. В. Обґрунтування режиму подрібнення плодів кісточкових культур // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції “Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи”, 17–19 жовтня 2005 р. – У 2 ч. – К.: НУХТ, 2005. – Ч. І. – С. 41.
4. Гаврилов О. В. Проблема вдосконалення технології первинної переробки кісточкових плодів / О. В. Гаврилов, М. В. Гуртовой // Тези допов. міжвузівської науково – практичної конференції “Проблеми техніки і технології харчових виробництв”. – Полтава: ПУСКУ, 2004. – С. 71-72.
5. Гуртовой М. В. Дослідження опору плодів кісточкових культур стискувачу навантаженню / М. В. Гуртовой, М. І. Кепін, О. В. Гаврилов // Дон ДУЕТ. Наук. праці. Вип. 13. – Донецьк, 2005. – С. 241-247. (здобувач виконав експериментальне дослідження, прийняв участь в обробці результатів).
6. Гуртовой М. В. Обґрунтування режиму подрібнення плодів абрикоса у роторній дробарці / М. В. Гуртовой, О. В. Гаврилов // ХДУХТ. Наук. праці. Вип. 1. – Харків, 2005. – С. 230-236. (здобувач прийняв участь в експериментальному дослідженні та обробці результатів, запропонував критерій оптимізації).
7. Гуртовой М. В. Стан сливової кісточкі після зіткнення з жорстким билем / М. В. Гуртовой, М. І. Кепін, О. В. Гаврилов // Холодильна техніка і технологія. – 2004. – № 5. – С. 79-81. (здобувач прийняв участь в експериментальному дослідженні та обробці результатів).
8. Гуртовой Н. В. Сопротивление плодовых косточек сжимающим нагрузкам // Н. В. Гуртовой, Н. И. Кепин, А. В. Гаврилов / Холодильная техника и технология. – 2005. – № 2. С. 70-73. (здобувач виконав експериментальне дослідження).
9. Дослідження стану персикових кісточок після зіткнення з билами / М. В. Гуртовой, О. К. Гладушняк, М. І. Кепін, О. В. Гаврилов // ОНАХТ. Наук. праці. Вип. 27. – Одеса, 2004. – С. 182-185. (здобувач прийняв участь в експериментальному дослідженні та обробці результатів).
10. Гуртовой М. В. Шляхи поліпшення якості подрібнення кісточкових

плодів / М. В. Гуртовой, О. В. Гаврилов // Холодильна техніка і технологія. – 2005. – № 5. – С. 93-96. (здобувач прийняв участь в експериментальному дослідженні, інтерпретації та обробці результатів).

### Основні умовні позначення

$H$  – висота ротора,  $m$ ;  $R$  – радіус ротора, виміряний по робочій кромці ребер,  $m$ ;  $R_1, R_2$  – менший та більший радіуси ротора,  $m$ ;  $Z$  – кількість ребер на роторі;  $v$  – колова швидкість ребер на роторі,  $m/c$ ;  $e_p, e_{p-k}$  – зазор між ребрами та між ротором і корпусом,  $m$ ;  $l$  – колова відстань між ребрами,  $m$ ;  $C_{подр}, C_{пошк}$  – вміст подрібнених плодів та пошкоджених кісточок у подрібненому напівфабрикаті, %;  $C_{конд}$  – вміст кондиційного продукту в подрібненому напівфабрикаті (11, 12), %;  $Q$  – продуктивність дробарки (9),  $kg/c$ ;  $t$  – час перебування плодів та продуктів подрібнення у робочій зоні машини,  $c$ ;  $m_n, m_k$  – маса плода та кісточка,  $kg$ ;  $d_n$  – ефективний діаметр плода,  $m$  (1);  $\rho_n$  – густина плода,  $kg/m^3$ ;  $b_k$  – ширина кісточка,  $m$ ;  $E_{пр. n}, E_{пр. k}, E_{руйн. k}$  – гранична енергія пружної деформації плода та кісточка,  $Дж$  (14);  $t^*$  – відносний час перебування плодів та продуктів подрібнення у робочій зоні машини (10);  $v_g$  – характерна швидкість падіння,  $m/c$  (3);  $v_{En}, v_{Ek}$  – характерна швидкість плода та кісточка,  $m/c$  (2);  $d^*, d_n^*, b_k^*, l_e^*, l_n^*, e_{p-k}^*, v_g^*, v_{En}^*, v_{Ek}^*$  – узагальнені безрозмірні змінні (табл. 1).

### Анотація

Гаврилов О. В. Удосконалення процесу подрібнення м'якоті кісточкових плодів і обладнання для його реалізації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. – Одеська національна академія харчових технологій. – Одеса. – 2006.

Показано, що існуючі дробарки та плющильні машини не дозволяють якісно подрібнювати м'якоть кісточкових плодів і зберегти цілісність шкаралупи кісточок. Обґрунтовано доцільність подрібнення кісточкових плодів у роторній дробарці з гладкими прямими ребрами.

Отримано нові дані про вплив конструктивно-режимних параметрів дробарки на показники якості подрібненого напівфабрикату та час перебування плодів у дробарці. Запропоновано узагальнені перемінні, обґрунтовано оптимальні конструктивно-режимні параметри, методику визначення якості подрібненого напівфабрикату та продуктивності роторної дробарки.

Економічна ефективність від впровадження результатів роботи на ВАТ “Сімферопольський консервний завод ім. 1 Травня” становить 1000 гривень щорічно. Запропоновано модернізацію та проведено виробничі випробування модернізованої дробарки А9-КЮУ, яка дозволила отримати високу якість подрібненого напівфабрикату та збільшити продуктивність на 30...60 %.

Очікуваний економічний ефект становить 24,818 тис. грн. на рік.

**Ключові слова:** кісточкові плоди; подрібнення; роторна дробарка; якість подрібнення.

### Аннотация

Гаврилов А. В. Усовершенствование процесса измельчения мякоти косточковых плодов и оборудования для его реализации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Одесская национальная академия пищевых технологий. – Одесса. – 2006.

Диссертация посвящена усовершенствованию дробилки для измельчения косточковых плодов с хорошо отделяющейся косточкой. Дробилка устанавливается в составе технологической линии переработки плодоовощного сырья с использованием протирочных машин. Рассмотрены вопросы анализа и оптимизации конструктивно-режимных параметров дробилок роторного типа с целью улучшения качества измельченного полуфабриката. Обоснована методика определения показателей качества, производительности дробилки. Предлагаются обобщенные переменные и конструктивно-режимные параметры, обеспечивающие высокое качество измельченного полуфабриката.

В разделе 1 рассмотрена роль процесса измельчения в технологической линии переработки растительного сырья, показано, что этот процесс позволяет улучшить пищевую ценность готового продукта, использовать косточки в качестве вторичного сырья. Существующие дробилки приводят к повреждению косточек, плющильные машины – не обеспечивают качественное измельчение мякоти. Решение задачи качественного измельчения косточковых плодов возможно путем усовершенствования и оптимизации конструктивно-режимных параметров роторной дробилки с гладкими прямыми ребрами.

В разделе 2 выполнено аналитическое исследование процесса измельчения косточковых плодов с хорошо отделяющейся косточкой в роторной дробилке. Получены условия работоспособности машины, предложена формула для определения производительности. Обоснованы зависимости для описания содержания измельченной мякоти и поврежденных косточек в обработанном полуфабрикате, а также времени пребывания плодов и продуктов измельчения в рабочей зоне дробилки.

В разделе 3 описана экспериментальная установка, методика экспериментальных исследований механических свойств плодов и косточек. Разработана методика многофакторного исследования процесса измельчения.

В разделе 4 представлены новые экспериментальные данные о механических свойствах плодов и косточек при статических нагрузках, о влиянии конструктивно-режимных параметров дробилки на содержание измельченных плодов, содержание косточек с поврежденной скорлупой в измельченном полуфабрикате, а также время пребывания плодов и продуктов измельчения в рабочей зоне машины. Выведены уравнения, которые описывают эксперимен-

тальные данные, полученные при измельчении плодов абрикоса, сливы и персика.

В разделе 5 для обоснования конструктивно-режимных параметров дробилки предложен новый критерий оптимизации – содержание кондиционного продукта в измельченном полуфабрикате. Этот критерий представляет собой произведение двух показателей – содержания измельченных плодов на содержание неповрежденных косточек в измельченном полуфабрикате.

Экспериментально доказано, что существуют конструктивно-режимные параметры роторной дробилки с гладкими ребрами, при которых содержание кондиционного продукта в обработанном полуфабрикате достигает 100 %.

Предложена методика определения показателей качества измельченного полуфабриката и производительности роторной дробилки в зависимости от конструктивно-режимных параметров машины и обобщенных переменных.

Экономический эффект от использования рекомендаций в условиях ОАО “Симферопольский консервный завод им. 1 Мая” составляет 1000 грн. в год. Предложена модернизация дробилки А9-КЮУ. Производственные испытания показали, что модернизированная дробилка обеспечивает измельчение мякоти 100 % перерабатываемых плодов и снижает содержание поврежденных косточек в измельченном полуфабрикате до 5 %. Производительность машины увеличивается на 30...60 % при сохранении мощности привода. Ожидаемый экономический эффект от использования модернизированной дробилки А9-КЮУ составляет 24,818 тыс. грн. в год.

**Ключевые слова:** косточковые плоды; измельчение; роторная дробилка; качество измельчения.

## Summary

Gavrilov, O.V. Improving the Process of Crushing the Pulp of Drupes and Equipment Necessary for Its Implementation. – A manuscript.

A Cand. Sc. (Technical Sciences) Dissertation in major 05.18.12, Processes and Equipment in Food, Microbiological and Pharmaceutical Productions. – Odessa National Academy for Food Technologies. – Odessa. – 2005.

It is made evident that the existing crushers and upsetters do not permit quality crushing of drupes' pulp and preserve intact the stone shell. The expediency of crushing of the pulp of drupes in the rotary smooth-ribbed crusher is substantiated.

New data on the influence of the crusher's structure and mode parameters on the quality indices of the crushed semi-finished product and the time of fruits staying in the crusher. Optimum structure and mode parameters and methods of determining of quality of the semi-finished product and productivity of the rotary crusher are specified.

The А9-КЮУ crusher's updating is proposed as it permitted to obtain a good quality of the crushed semi-finished product and raise productivity by 30...60 pc. The annual cost efficiency of application of the results of work to the production

makes up 24,818 UAH.

***Key words:*** drupes; crushing; rotary crusher; crushing quality.