

УДК 664.8/.85.03

JEL Classification: L66, Q13, O31

DOI: <http://doi.org/10.34025/2310-8185-2025-4.100.14>

Олег Терешкін, д. т. н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-5265-4087>

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
м. Харків

Володимир Дуб, к. т. н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-2078-4426>

Центральноукраїнський національний технічний університет,
м. Кропивницький

Дмитро Горєлков, к. т. н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-9315-9322>

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
м. Харків

Олена Горєлкова, інженер-технолог,

<https://orcid.org/0000-0001-8788-650X>

ТОВ «ГРУПА ТФ», м. Харків

КРАФТОВІ ТЕХНОЛОГІЇ: ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

Анотація

Актуальність. Постановка проблеми. Крафтові технології для переробки та виробництва харчових продуктів набули широкого розповсюдження в нашій країні. Проте спостерігається низка обмежуючих чинників, що впливають на розвиток крафтових підприємств. Основною проблемою сьогодення для них є невідповідність технологічних параметрів існуючого обладнання виробничим потребам. Здебільшого це або обладнання переробних підприємств, які характеризуються продуктивністю тони за добу, або устаткування закладів ресторанної індустрії, які також неповною мірою задовольняють виробничі потреби. У зв'язку з цим значна кількість технологічних операцій, яка пов'язана з механічною кулінарною обробкою, виконується вручну. Іноземні зразки обладнання, які потенційно здатні механізувати процеси, внаслідок логістики і митних зборів стають нерентабельними для використання. Таким чином механізація процесів крафтових виробництв можлива за рахунок розробки вітчизняних зразків обладнання. З метою реалізації поставленого завдання необхідно провести низку комплексних досліджень процесів очищення різних видів плодовоовочевої сировини як сукупності методів обробки, виготовлення та зміни властивостей під час виробництва крафтових харчових продуктів.

Мета статті – розробка математичної моделі процесу обробки цибулі під час її очищення для теоретичного обґрунтування оптимального режиму руху продукту в



барабанному пристрої з урахуванням коефіцієнта тертя, кута природного скосу шару продукту та величини завантаження барабана.

Методологія. У статті обґрунтовано раціональні технічні характеристики апарату для очищення цибулі з використанням нової методики розрахунку необхідної потужності приводу відцентрового барабана і граничних частот його обертання в оптимальному режимі залежно від коефіцієнта заповнення.

Результати. Вперше отримано рівняння для розрахунку граничних режимів руху при русі в барабані, які явно враховують коефіцієнт тертя, кут природного скосу шару продукту та величину завантаження барабана. Розроблено методику визначення оптимальної швидкості обертання барабана. **Практичне значення.** Розроблено та обґрунтовано конструкцію апарату для комбінованого лущення цибулі, визначено основні режими його роботи. Запропоновано нову методику розрахунку необхідної потужності приводу відцентрового барабана та граничних частот його обертання в оптимальному режимі залежно від коефіцієнта заповнення. Визначено підвищення технологічних параметрів комбінованих процесів лущення овочів з використанням інноваційного обладнання та його економічну ефективність.

Ключові слова: цибуля ріпчаста, якість очищення, ресурсозбереження, математична модель.

Кількість джерел: 10, кількість рисунків: 6.

Oleh Tereshkin, Doctor of Technical Sciences, Professor,
<https://orcid.org/0000-0002-5265-4087>

Kharkiv National University named after V.N. Karazin, Kharkiv

Volodymyr Dub, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
<https://orcid.org/0000-0002-2078-4426>

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi

Dmytro Horielkov, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-9315-9322>

Kharkiv National University named after V.N. Karazin, Kharkiv

Olena Horielkova, Process Engineer,
<https://orcid.org/0000-0001-8788-650X>

TF Group LLC, Kharkiv

CRAFT TECHNOLOGIES: MODELING OF AN INNOVATIVE PROCESS OF ONION PEELING

Summary

Craft technologies for food processing and production have become widespread in our country. It is necessary to conduct a number of comprehensive studies of the processes of purification of various types of fruit and vegetable raw materials as a set of methods of processing, manufacturing, and changing properties during the production of craft food

products. The article is devoted to the development of a mathematical model of the process of processing onions during their cleaning for the theoretical substantiation of the optimal mode of product movement in a drum device, taking into account the coefficient of friction, the angle of natural bevel of the product layer and the size of the drum load. The article substantiates the rational technical characteristics of the apparatus for cleaning onions using a new methodology for calculating the required drive power of the centrifugal drum and the limit frequencies of its rotation in the optimal mode depending on the filling factor.

For the first time, equations for calculating the boundary modes of motion when moving in a drum were obtained, which explicitly took into account the friction coefficient, the angle of natural bevel of the product layer, and the amount of drum loading. A methodology for determining the optimal drum speed has been developed.

The design of an apparatus for combined onion peeling has been developed and substantiated, and the main modes of its operation have been determined. A new methodology for calculating the required power of the centrifugal drum drive and the limit frequencies of its rotation in the optimal mode depending on the filling factor is proposed. The increase of technological parameters of the combined processes of peeling vegetables with the use of innovative equipment and its economic effectiveness is determined.

Keywords: onion, cleaning quality, resource saving, mathematical model.

Number of sources – 10, number of figures – 6.

Постановка проблеми. Останнім часом приділяють велику увагу натуральним харчовим продуктам з рослинної сировини. Особливо це актуально через несприятливу екологічну ситуацію в Україні, тому якість і безпечність цієї групи харчових продуктів повинна бути гарантована виробниками. Зменшення відходів сировини також залежить від ефективності роботи обладнання для переробки плодово-овочевої сировини, методів обробки й екологічних аспектів процесів [10].

У нашій державі відчувається значний розвиток крафтових технологій з виробництва харчової продукції. Впроваджуються новітні технології, а ось в напрямку удосконалення обладнання та його серійного виробництва є певні проблеми. Вітчизняні виробники знайшли для себе гарний вихід, який полягає в тому, що двічі на рік в центрах в Німеччині, Франції та Польщі проводяться великі виставки з продажу устаткування, що було у вжитку, де сьогодні харчова галузь та підприємства ресторанного господарства переоснащуються за посильну ціну. Це призводить до того, що вітчизняні пропозиції відсутні і не впроваджуються. Необхідно, щоб наука з бізнесом працювала в необхідному напрямку [5-7].

Перспективним напрямом ресурсозбереження процесу очищення плодово-овочевої сировини є проектування та розробка устаткування, принцип дії якого ґрунтується на застосуванні синтезу регульованих термічних і баричних середовищ із фізичним впливом ріжучих елементів на об'єкти переробки. Проведення низки комплексних досліджень процесів очищення різних видів плодово-овочевої сировини, як сукупність методів обробки, виготовлення, зміни властивостей під час виробництва крафтової харчової продукції, дозволяє принципово змінити підхід до основ проектування та виробництва інноваційного устаткування. Реалізація в одній конструкції апарата декількох процесів дає можливість підвищити якість очищення поверхні напівфабрикатів та знизити втрати сировини, сприяючи більш ощадливому використанню ресурсів і забезпечити вимоги ХАССП під час виробництва крафтової харчової продукції [3; 4; 9; 10].

Створення та формування екологічного і виключно безпечного обладнання нового покоління, із забезпеченням критерію ресурсозбереження, яке було б конкурентоспроможним на внутрішньому та зовнішньому ринках, є актуальним завданням національної стратегії забезпечення продовольчої безпеки у післявоєнний період.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченню процесів очищення плодово-овочевої сировини приділяли увагу такі вчені, як P. Ravichandran, Н. С. Фещенко, А. Vochat, R. Hegazy, Z. Pieniak, P. Woźniak. Автори спробували розв'язати дослідницьке завдання, пов'язане з удосконаленням традиційних процесів очищення плодово-овочевої сировини. Основним напрямом цих робіт є покращення якості очищення за рахунок визначення раціональних режимів проведення процесу та створення відповідного обладнання для його реалізації [1; 8]. Щоб вирішити проблему очищення рослинної сировини, необхідно розробляти оригінальні технічні рішення для відповідних крафтових харчових виробництв [2–4; 9–10].

На думку низки авторів [9-10], на теперішній час розробка основних наукових положень аналізу й синтезу механічних і термічних процесів, які є підґрунтям для реалізації

ресурсозберігаючих способів очищення плодово-овочевої сировини та конструювання обладнання, важливим є отримання синергетичного ефекту поєднання фундаментальних і прикладних наук з подальшим практичним впровадженням технічних ідей.

Метою статті є розробка теоретичної моделі процесу комбінованого очищення цибулі ріпчастої, яка є основою проектування нового ресурсозберігаючого ефективного обладнання для комплексного її очищення.

Виклад основного матеріалу. З метою реалізації ресурсозберігаючого способу очищення цибулі ріпчастої нами пропонується конструкція поліфункціонального пристрою, в основу роботи якого покладено систему послідовних операцій, яка передбачає процес попередньої обробки паром та наступного механічного доочищення під час її обертального руху в робочій камері [4]. У теоретичному моделюванні комбінованого процесу очищення цибулі ріпчастої для даного пристрою барабанного типу ми використали загальну робочу теорію барабаних млинів. Існує три робочі режими руху шару цибулин залежно від частоти обертання барабана.

Кожен етап визначається відношенням частоти обертання барабану до критичної частоти. Згідно з модельованою схемою руху (рис. 2) оптимальним буде режим б), з частотою обертання в діапазоні $0,6...0,8n_{кр}$.

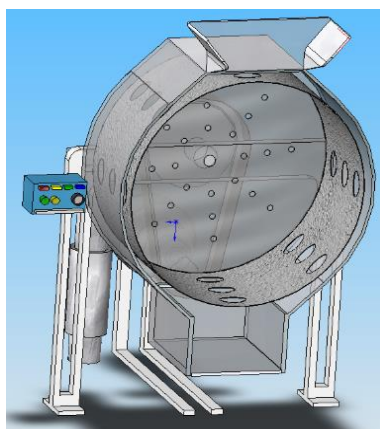


Рис. 1. Принципова конструкція апарата для очищення цибулі ріпчастої

У цьому діапазоні спостерігається поява сил ковзання та тертя, які і формують граничне значення зусилля зрізання денця та шийки цибулини. Одночасно відбувається видалення луски за рахунок тертя між цибулинами.

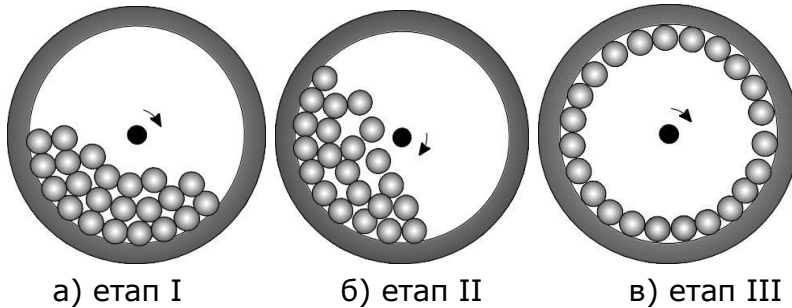


Рис. 2. Схематична модель руху цибулин у барабані (циліндричної форми) залежно від частоти обертання:
 а) $n=0,4...0,6n_{кр}$; б) $n=0,6...0,8n_{кр}$; в) $n \geq n_{кр}$

Для визначення теоретичних умов роботи пристрою для очищення цибулі в оптимальному режимі скористаємось новою методикою. Спочатку отримуємо значення коефіцієнта заповнення барабана шаром цибулин (1).

$$\beta = \frac{1}{2\pi}(\gamma - \sin(\gamma)), \quad (1)$$

де γ – кут сегмента зайнятого продуктом, рад.

Використовуючи коефіцієнт заповнення барабана та насипну густину продукту, знаходимо масу цибулин у пристрої:

$$m_n = \rho_{nn} S_n b = \frac{1}{2} \rho_{nn} R^2 b (\gamma - \sin(\gamma)), \quad (2)$$

де b – ширина барабана, м; ρ_{nn} – насипна густина продукту, кг/м³.

Відстань до осередку сегмента продукту визначаємо за формулою:

$$r_{ц} = \frac{4}{3} R \frac{\sin^3(\gamma/2)}{\gamma - \sin \gamma}, \quad (3)$$

де $r_{ц}$ – відстань від осі обертання барабана до осередку сегмента продукту[1].

Важливим кроком є визначення наявних граничних умов першого режиму руху шару продукту, коли він зберігає свою форму та переміщується як єдиний сегмент. Саме за таких умов визначається мінімальне значення частоти обертання циліндра, вище значення якої настає наступний – оптимальний режим роботи апарата. Визначаємо залежність куту підйому шару цибулин α_1 , на який можна його повернути відносно горизонтальної вісі барабана без порушення його структури (рис. 3).

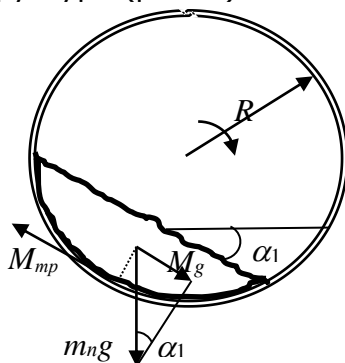


Рис. 3. Перший режим роботи барабана: розташування сил, які визначають кут нахилу шару цибулин α_{1y}

За умов рівності протилежно спрямованих моментів сил – тертя M_{TP} і рушійної складової M_g , момент сили ваги $M_g = m_n g \sin(\alpha_1)$ визначається рівноважний стан сегмента продукту масою m_n . Сила тертя цибулини F_{TP} залежить від коефіцієнта зовнішнього тертя f_{TP} і сили нормального тиску. В цій складовій сили нормального тиску є сума відцентрової сили, яка діє на осередок тяжіння сегмента $F_{\omega} = m_n r_{\omega} \omega^2$ і радіальної сили тяжіння $m_n g \cos(\alpha_1)$. Таким чином вираз для визначення сили тертя цибулини матиме вираз:

$$F_{mp} = f_{TP} (m_n r_{\omega} \omega^2 + m_n g \cos \alpha_1). \quad (4)$$

Умові рівноваги суцільного сегмента продукту відповідає рівність відповідних моментів, а саме коли плече сил тертя є рівним радіусу барабана R , плече рушійної сили тяжіння дорівнює відстані до осередку мас сегмента r_{ω} .

$$f_{mp} (m_n r_{\omega} \omega^2 + m_n g \cos \alpha_1) R = m_n g \sin \alpha_1 \cdot r_{\omega}. \quad (5)$$

Отримане рівняння представляємо для аналізу у безрозмірному вигляді. Після нескладних перетворень отримуємо

$$Fr = \frac{1}{f_{mp}} \sin \alpha_1 - \frac{3}{4} \frac{\gamma - \sin \gamma}{\sin^3(\gamma/2)} \cos \alpha_1, \quad (6)$$

де $Fr = \frac{\omega^2 R}{g}$ – число Фруда;

R – радіус моделі барабана, м;

ω – частота обертання моделі барабана, рад/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Вочевидь, що кут природного нахилу шару цибулин дорівнює максимальному куту підйому сегмента продукту $\max(\alpha_1) = \alpha_y$, при цьому максимальний центральний кут сегмента з продуктом буде дорівнювати 180°. При досягненні більших значень кутів α_1 та γ суцільний сегмент продукту буде руйнуватись. Спостерігається переміщення верхніх цибулин сегмента по його зовнішній поверхні. Виходячи з цих міркувань, граничне значення числа Фруда для першого режиму руху дорівнюватиме:

$$Fr_{\min} = \frac{1}{f_{mp}} \sin \alpha_y - \frac{3}{4} \frac{\pi - \sin \pi}{\sin^3(\pi/2)} \cos \alpha_y. \quad (7)$$

З метою визначення мінімального значення частоти обертання барабана апарата приймаємо значення кута нахилу сегмента на рівні $\alpha_y = 40^\circ$ та коефіцієнт тертя цибулини по сталі $f_{TP} = 0,29$ у виразі (7):

$$Fr_{\min} = 0,41, \quad (8)$$

тобто

$$\omega_{\min} = \sqrt{\frac{Fr_{\min} g}{R}}, \quad (9)$$

враховуючи зв'язок між частотою обертання та циклічною частотою

$$n_{\min} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{0,41g}{R}} = \frac{19,19}{\sqrt{R}}, \quad (10)$$

де n_{\min} – мінімальне значення частоти обертання моделі барабана, хв⁻¹;

R – радіус барабана, м.

Цей вираз буде справедливий для першого режиму руху за умов максимально припустимого завантаження барабана, яке можна розрахувати, підставляючи у формулу (1) значення $\gamma = \pi$, тоді $\beta_{\max} = 0,5$. Перший режим руху продукту в модельованому барабані буде відбуватися за більших частот обертання. Ця залежність для цибулі, незалежно від розмірів, становитиме $\alpha_{\gamma} = 40^{\circ}$ і $f_{\text{тр}} = 0,29$. Таким чином вираз набуде вигляду:

$$Fr_{\min} = 2,22 - 0,58 \frac{\gamma - \sin \gamma}{\sin^3(\gamma/2)}. \quad (11)$$

За формулою центральний кут сегмента з цибулею змінюється в межах $0 < \gamma \leq \pi$, що відповідає коефіцієнту завантаження згідно виразу (1) в межах $0 < \beta \leq 0,5$. Для переходу в оптимальний режим руху шару цибулі формули (11) та (10) на відміну від (8) дозволяють розрахувати мінімальне значення частоти обертання барабана апарата. Таким чином, оптимальні умови для очищення цибулі в барабані апарата виникають в другому режимі руху (рис. 2, б), верхньою межею якого є критична частота обертання (див. вище) [5-6]. Для третього режиму руху товщина шару цибулин в барабані буде також пов'язана з коефіцієнтом завантаження:

$$\beta = \frac{\pi R^2 - \pi R_1^2}{\pi R^2}, \quad (12)$$

де R_1 – радіус шару продукту, м.

Отже

$$R_1 = R \sqrt{1 - \beta}. \quad (13)$$

У третьому режимі руху умови рівноваги шару продукту визначаємо

$$m \omega_{\max}^2 R_1 = mg, \quad (14)$$

Звідки визначаємо граничну умову для максимальної частоти обертання барабана:

$$Fr_{\max} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta}}. \quad (15)$$

Оптимальний режим роботи апарата для механічного очищення цибулі визначається наступним чином:

$$Fr_{\min} < Fr < Fr_{\max}, \quad (16)$$

Враховуючи (11), (15) і (1) отримуємо

$$2,22 - 0,58 \frac{\gamma - \sin \gamma}{\sin^3(\gamma/2)} < Fr < \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{2\pi}(\gamma - \sin(\gamma))}}. \quad (17)$$

З практичної точки зору зручніше використовувати як робочий параметр коефіцієнт заповнення барабана β , але виразити зв'язок $\gamma(\beta)$ з рівняння (1) неможливо, тому за допомогою методу регресійного аналізу ми пропонуємо рівняння, яке описує рішення з похибкою 4...5% у межах $\beta=0,2...0,8$ (рис. 4).

$$\gamma(\beta) = 3,04 \left(\frac{0,99\beta}{1-\beta} \right)^{0,22}. \quad (18)$$

Використовуючи коефіцієнт завантаження робочої камери барабана, рівняння (18) можна оформити так:

$$2,22 - 0,58 \frac{\gamma(\beta) - \sin[\gamma(\beta)]}{\sin^3[\gamma(\beta)/2]} < Fr < \frac{1}{\sqrt{1-\beta}}. \quad (19)$$

На рис. 5 побудовані залежності області оптимальних режимів пристрою для очищення цибулі, які знаходяться між лініями максимального та мінімального чисел Фруда, і відповідають режиму II.

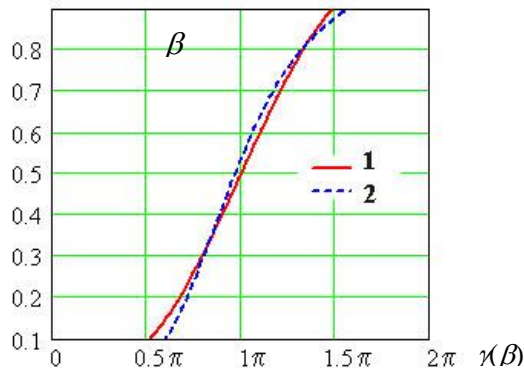


Рис. 4. Залежність між кутом сегмента з продуктом і коефіцієнтом завантаження робочої камери: 1 – вираз (1); 2 – вираз (18)

Отримані дані будуть використані при подальшому плануванні експериментальних досліджень з метою пошуку оптимальних параметрів роботи апарата для механічного очищення цибулі [6].

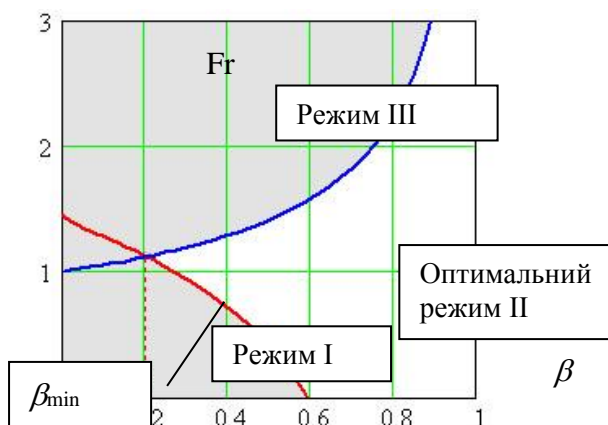


Рис. 5. Залежності критерію Fr від коефіцієнта завантаження барабана β

Графічна залежність (рис. 6) віддзеркалює результати регресійного аналізу залежності ступеня очищення цибулин від частоти обертання барабана.

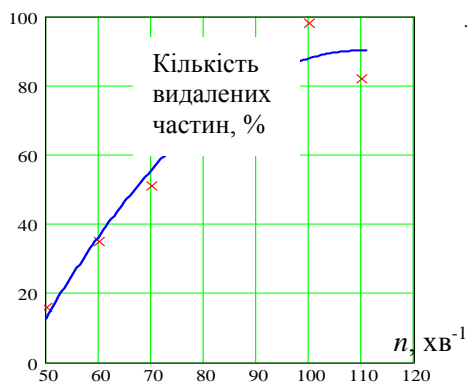


Рис. 6. Залежність частоти обертання барабана за показником кількості видаленого лушпиння після очищення

З виразу видно, що оптимальним значенням частоти обертання за показником кількості видаленого лушпиння є значення 100 хв^{-1} . Відповідно, із збільшенням частоти обертання не виникають зусилля на зрізання цибулин, внаслідок дії відцентрованої сили, і відповідно, настає неробочий режим барабана, коли шар притиснутий до поверхні барабана.

Таким чином регресійне рівняння матиме такий вигляд:

$$K = -168 + 4,68 \cdot n - 0,021 \cdot n^2, \quad (20)$$

де K – кількість видаленого лушпиння, %;

n – частота обертання барабана апарата, хв^{-1} .

За допомогою математичної моделі процесу очищення отримуємо оптимальну частоту обертання $n=100 \text{ хв}^{-1}$ барабанного пристрою, за якої з'являються сили ковзання відносно внутрішньої поверхні барабана, які разом із силою тертя визначають зусилля зрізання шийки та денця цибулини.

Підґрунтям для впровадження наукових розробок у практичну площину є обґрунтування доцільності їх використання у складі виробництва, що обумовлюється показником економічної ефективності. Очищення цибулі з використанням розробленого апарату АЦР-10/160 дозволяє знизити рівень фізичного навантаження працівників, що відображає соціальне значення розробки. Застосування розробки у практичній площині забезпечує поточні економічні вигоди у вигляді щорічного приросту прибутку, що свідчить про економічний ефект.

Для обґрунтування економічної ефективності поданих науково-технічних розробок визначено собівартість та здійснено порівняння цін на овочеві напівфабрикати, що виготовлені за використання базових і розробленого апарату, розраховано приріст прибутку за реалізації продукції, що виготовлена за використання розробленого апарату, а також визначено потенціал поданої розробки з точки зору комерціалізації. Розрахунок собівартості продукції, що виготовлена за використання базових і нового апарату, здійснено за урахуванням основних витрат.

За розрахунками собівартість одиниці продукції, що вироблена за використання дослідних апаратів, є меншою, ніж за умов виробництва з використанням базових апаратів. Різниця у собівартості дозволяє підприємству отримувати значний економічний ефект у вигляді приросту прибутку. Результати розрахунку загального економічного ефекту, що може отримати підприємство за використання нових апаратів порівняно з базовими, подано у таблицях 1, 2.

Таблиця 1

Розрахунок собівартості та ціни очищеної цибулі ріпчастої за використання базового і нового обладнання, грн на 1000 кг

Показники	Базові апарати					Новий апарат
	SP-10	ВК-КЧК	A1	LJ	USM - X60	АЦР-10/160
Сировина та матеріали	2782,5	2835,5	2809,0	2729,5	3127,0	2676,5
Паливо та енергія на технологічні цілі	0,6	1,4	0,8	3,1	10,4	6,1
Основна заробітна плата	19,8	11,4	4,4	58,9	69,3	46,4
Додаткова заробітна плата	5,9	3,4	1,3	17,7	20,8	13,9
Єдиний внесок	9,6	5,5	2,1	28,5	33,5	22,4
Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	13,4	5,4	1,8	21,3	16,9	22,5
Загальновиробничі витрати	31,7	18,3	7,0	94,3	110,9	74,2
Втрати від браку	417,4	283,6	224,7	136,5	93,8	26,8
Інші виробничі витрати	119,0	114,8	110,7	112,1	126,3	104,8
Виробнича собівартість	3399,9	3279,2	3161,9	3201,8	3608,8	2993,6
Адміністративні витрати	2,6	1,5	0,6	7,7	9,0	6,0
Витрати на збут	3,9	2,2	0,9	11,5	13,5	9,0
Інші операційні витрати	1,3	0,7	0,3	3,8	4,5	3,0
Повна собівартість	13407,6	13283,7	13163,6	13224,7	13635,9	13011,7
Собівартість 1 кг продукції	13,41	13,28	13,16	13,22	13,64	13,01
Прибуток	0,68	0,66	0,63	0,64	0,73	0,60
Ціна без ПДВ 1 кг	14,09	13,94	13,80	13,87	14,36	13,61
ПДВ	0,82	0,79	0,76	0,77	0,87	0,72
Ціна 1 кг продукції з урахуванням ПДВ	14,91	14,73	14,56	14,64	15,24	14,34

Джерелами ефекту від використання АЦР-10/160 є такі показники: зниження собівартості виробництва овочевої продукції за рахунок скорочення втрат сировини та підвищення продуктивності; зниження трудомісткості очищення за рахунок виключення ручних операцій; зниження енергомісткості за рахунок використання комбінованого способу очищення.

**Економічний ефект від реалізації цибулі очищеної,
що виготовлена за використання АЦР-10/160**

Показник	SP-10	ВК-КЧК	A1	Л	USM - X60	АЦР-10/160
Обсяг виробництва, кг	144576,0	144576,0	144576,0	144576,0	144576,0	144576,0
Собівартість виробництва 1 кг продукції, грн/кг	13,41	13,28	13,16	13,22	13,64	13,01
Ціна без ПДВ 1 кг продукції, грн/кг	14,36	14,36	14,36	14,36	14,36	14,36
Прибуток на 1 кг продукції, грн	0,95	1,08	1,20	1,14	0,72	1,35
Прибуток на весь випуск продукції, тис. грн	137,7	155,6	173,0	164,1	104,7	194,9
Додатковий прибуток, тис. грн						
SP-10						57,2
ВК-КЧК						39,3
A1						22,0
Л						30,8
USM - X60						90,2

Згідно з отриманими даними, застосування нового апарату дозволяє підприємству знизити собівартість 1 кг продукції та щорічно отримати додатковий прибуток у розмірі 22,0 ...90,2 тис. гривень – за використання АЦР-10/160. Додатковий прибуток для підприємства-виробника на кожні 10 т готового продукту складатиме 1,52 ...6,23 тис. грн – за використання АЦР-10/160.

Висновки. З метою забезпечення реалізації ресурсозберігаючого комбінованого процесу очищення цибулі ріпчастої та забезпечення стабільних показників якості підготовки напівфабрикатів розроблено теоретичну модель процесу. Вона обґрунтовує оптимальний режим руху продукту у барабанному пристрої апарата, а запропоноване рівняння дозволяє визначити

відсоток сировини за масою. На основі отриманої моделі розроблено методику визначення оптимальної частоти обертів барабана апарата, яка дозволяє провести подальші інженерно-конструкторські розрахунки для реалізації конструкції.

На підставі запропонованих рішень розроблено конструкцію пристрою для комбінованого очищення цибулі ріпчастої та визначено основні режими його роботи. З метою оцінки економічної ефективності розробки проведено розрахунок собівартості та ціни очищеної цибулі ріпчастої за використання базового і нового обладнання, а також проведено оцінку економічного ефекту від реалізації цибулі очищеної.

Список використаних джерел:

1. Bochat, A.; Zastempowski, M.; Wachowicz, M. Cutting Tests of the Outer Layer of Material Using Onion as an Example. *Materials*. 2021, 14, 2360. DOI: 10.3390/ma14092360
2. Rosli, M. F., Effendi, M. S. M.; Shayfull, Z.; Nasir, S. M.; Irfan, A. R. (2020) Analysis of onion peeler machine using ansys simulation analysis. *AIP Conf. Proc.* 2291, 020107. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0027900> (Scopus)
3. Unal, H. Guran (2024) Design and Performance Analysis of a Pneumatic Garlic Peeling Machine. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2790839 DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/2790839> (Scopus)
4. Tulka, A., Ishak A., Abu R., Vijendran, K., Sakri M. I. I. M., Roslee Z. F. (2024) Dual-Functional Onion Processor. *Lecture Notes in Mechanical Engineering Intelligent Manufacturing and Mechatronics*, Springer Nature, p. 605-619. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-0169-8_50 (Scopus)
5. Tereshkin O., Horielkov D., Dmytrevskiy D., Chervonyi V. Modeling of mechanical treatment of napiform onion to determine the rational parameters of its cleaning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016, 6/11 (84), 30–39. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86472>
6. Tereshkin, O., Horielkov, D., Dmytrevskiy, D., Chervonyi, V. The study of influence of the process of mechanical additional peeling on the surface onion layer at combined process of peeling. *EUREKA Life Sci*, 2016, no. 6, pp. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2016.00239>
7. Tereshkin O., Horielkov D., Dub V. Technical and technological aspects of heat processing of eggplants. *Збірник наукових праць Харківського державного університету харчування та торгівлі. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі*. 2020. Вип. 1(31). С. 98-107. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3937773>
8. Woźniak, P.; Bieńczyk, A.; Nosal, S.; Piepiórka-Stepuk, J.; Sterczyńska, M. Analysis and Modeling of the Onion Peeling Process in the Blowing Compressed Air Method. *Processes* 2023, 11, 3138. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11113138>
9. Woźniak, P., Nosal, S., Bieńczyk, A. Analysis of Technology and Machining Devices for Cleaning Onion in the Food Industry. *MATEC Web Conf.* 2021, 343, 01006. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134301006>
10. Zastempowski, M., Bochat, A., Wachowicz, M., & Tanaś, W. (2023). Studies on the Energy Consumption of Material Cutting in the Onion Peeling Process. *Applied Sciences*, 13(22), 12276. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132212276>.

References:

1. Bochat, A., Zastempowski, M., Wachowicz, M. (2021). Cutting Tests of the Outer Layer of Material Using Onion as an Example. *Materials*, 14, 2360. DOI: 10.3390/ma14092360
2. Rosli, M.F., Effendi, M.S.M., Shayfull, Z., Nasir, S.M., Irfan, A.R. (2020). Analysis of onion peeler machine using ansys simulation analysis. *AIP Conf. Proc.* 2291, 020107. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0027900> (Scopus)
3. Unal, H. Guran (2024). Design and Performance Analysis of a Pneumatic Garlic Peeling Machine. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2790839. DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/2790839> (Scopus)
4. Tulka, A., Ishak, A., Abu, R., Vijendran, K., Sakri, M.I.I.M., Roslee, Z.F. (2024). Dual-Functional Onion Processor. *Lecture Notes in Mechanical Engineering Intelligent Manufacturing and Mechatronics*, Springer Nature, pp. 605-619. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-0169-8_50 (Scopus)
5. Tereshkin, O., Horielkov, D., Dmytrevskiy, D., Chervonyi, V. (2016). Modeling of mechanical treatment of napiform onion to determine the rational parameters of its cleaning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/11 (84), 30–39. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86472>
6. Tereshkin, O., Horielkov, D., Dmytrevskiy, D., Chervonyi, V. (2016). The study of influence of the process of mechanical additional peeling on the surface onion layer at combined process of peeling. *EUREKA Life Sci.*, 6, 24–30. DOI: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2016.00239>.
7. Tereshkin, O., Horielkov, D., Dub, V. (2020). Technical and technological aspects of heat processing of eggplants. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli [Collection of scientific works of the Kharkiv State University of Food and Trade. Progressive equipment and technologies of food production, restaurant management and trade]*, no. 1(31), pp. 98-107. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3937773>.
8. Woźniak, P., Bieńczak, A., Nosal, S., Piepiórka-Stepuk, J., Sterczyńska, M. (2023). Analysis and Modeling of the Onion Peeling Process in the Blowing Compressed Air Method. *Processes*, no. 11, 3138. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11113138>
9. Woźniak, P., Nosal, S., Bieńczak, A. (2021). Analysis of Technology and Machining Devices for Cleaning Onion in the Food Industry. *MATEC Web Conf.*, 343, 01006. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134301006>.
10. Zastempowski, M., Bochat, A., Wachowicz, M., & Tanaś, W. (2023). Studies on the Energy Consumption of Material Cutting in the Onion Peeling Process. *Applied Sciences*, 13(22), 12276. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132212276>.

Надійшла до редакції 27.11.2025

Прийнято до друку 01.12.2025

Публікація онлайн 22.12.2025