

DOI : 10.33274/2079-4827-2022-44-1-37-43

УДК (681.5+62-521):(634.1+635.1/.8)

Цвіркун Л. О., канд. пед. наук¹

Омельченко О. В., канд. техн. наук¹

Цвіркун С. Л., канд. техн. наук²

Хлівна О. А., здобувач ОС бакалавр¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

² Криворізький національний університет (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: tserg30@ukr.net.

**АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ МЕХАНІКИ
ПІД ЧАС РУХУ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ НА СОРТУВАЛЬНОМУ
ПРИСТРОЇ**

УДК (681.5+62-521):(634.1+635.1/.8)

Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences¹

Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹

Tsvirkun S. L., PhD in Engineering sciences²

Khlivna O. A., a graduate of a bachelor degree¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

² Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: tserg30@ukr.net.

**AUTOMATED CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES USING
THE METHODS OF MECHANICS DURING THE MOVEMENT OF FRUIT
AND VEGETABLE RAW AT THE SORTING DEVICE**

Мета. Метою статті є автоматизоване управління технологічними процесами із застосуванням методів механіки під час руху плодовоовочевої сировини на сортувальному пристрої.

Методи. У роботі для автоматизованого сортування яблук різного різновиду за кольором, розміром і вагою, а саме сортів яблук Golden і Granny Smith застосовано методи парних порівнянь, методи теоретичної механіки та закони статистики.

Результати. Зазначено, що плодовоовочева сировина має відповідати певним стандартам якості: бути свіжою, достатньої зрілості, для певного сорту відповідної форми і кольору, без ознак гнилі та механічних пошкоджень. Для забезпечення виконання, деяких з цих умов, використовуються машини для сортування та калібрування. Вважається, що зниження пошкоджень овочів та фруктів за рахунок мінімального числа переходів та одиниць технологічного обладнання, сприятиме підвищенню ефективності процесу сортування та функціонування обладнання, підвищенню конкурентоспроможності та якості продукції. Як відомо, плоди яблуні мають дуже широкий асортимент сортів, тому вони мають різний колір і розмір. Запропоновано автоматичну систему сортування яблук певного різновиду за кольором, розміром і вагою, а саме сортів яблук Golden і Granny Smith. Дана система автоматизованого управління складається з пристрою сортування; пристрою відеоконтролю для забезпечення розпізнавання різновидів за отриманими зображеннями; вимірювального пристрою задля можливості визначення розміру (d) та ваги (m) плодовоовочевої сировини. Для аналізу візуальних властивостей яблук запропоновано встановити промислову кольорову відеокамеру. Отримані зображення будь-якого яблука, що переміщуються на сорту-

Надійшла до редакції 25.03.2022 р.

© Л. О. Цвіркун, О. В. Омельченко, С. Л. Цвіркун,
О. А. Хлівна, 2022

вальному пристрою, можна отримати та обробити за допомогою програмного забезпечення. Сконцентровано увагу на тому, що зі збільшенням початкової швидкості об'єкта на сортувальному пристрої V_0 та часу руху об'єкта скатною поверхнею t , інтервал між яблуками на S_{int} збільшується. Якщо кут установки до горизонту α більше кута тертя об'єкта скатною поверхнею то швидкість об'єктів на скатному лотку V та інтервал між частинками S_{int} збільшуються з часом. Максимальну продуктивність одношарової подачі яблук можна забезпечити лише суцільною подачею плодовоовочевої сировини. Якщо оброблюваний матеріал подавати на сортувальний пристрій суцільним (безперервним) одношаровим потоком, то шлях St_0 , який попередній об'єкт пройде скатною поверхнею до попадання на скатний лоток наступного за нею об'єкта дорівнюватиме її розміру.

Ключові слова: сортування, автоматизація, пристрій сортування, технологічні процеси, плодовоовочева сировина, яблука, методи теоретичної механіки.

Постановка проблеми. Плодовоовочева сировина має відповідати певним стандартам якості: бути свіжою, достатньої зрілості, для певного сорту відповідної форми і кольору, без ознак гнилі та механічних пошкоджень [1]. Для забезпечення виконання, деяких з цих умов, використовуються машини для сортування та калібрування. Для підвищення ефективності сортування плодовоовочевої сировини важливим є застосування універсальних машин з низькою матеріало-енергоємністю та доступною вартістю.

Вирішення зазначених питань можливе шляхом створення надійних робочих сортувальних поверхонь з високою технологічною ефективністю. Сортувальні машини та реалізовані ними процеси повинні бути функціонально адаптовані до різних умов, мати високу технічну і технологічну надійність, ефективність у застосуванні. Перспективним напрямком у створенні та удосконаленні техніки для сортування плодовоовочевої сировини є розробка універсальних пристроїв, які поєднують послідовну комбінацію робочих органів [2]. Зниження пошкоджень овочів та фруктів за рахунок мінімального числа переходів та одиниць технологічного обладнання, сприятиме підвищенню ефективності процесу сортування та функціонування обладнання, підвищенню конкурентоспроможності та якості продукції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як відомо, плоди яблуні мають дуже широкий асортимент сортів, тому вони мають різний колір і розмір. Плоди необхідно класифікувати, щоб продаватися на ринку як продукт кращої якості. Для цього застосовується сортувальне обладнання яке уможливує здійснення процесу сортування за кольором, вагою, розміром та визначення дефектів. Автоматична система сортування яблук складається в основному з машинного зору, конвеєрної стрічки, сепаратора та класифікатора: має механічні, електричні, електронні та програмні частини [3, 4].

На підприємствах широко застосовується обладнання з наявністю вібраційного впливу, бо вібрація призводить у багатьох випадках до того, що різні технологічні процеси з механічною дією відбуваються інакше, ніж у звичайних умовах. До переваг такого сортування можна віднести: рівномірний розподіл сировини на робочій поверхні; транспортування вздовж робочого каналу для безперервності технологічного процесу; інтенсифікація та підвищення якісних показників процесу калібрування шляхом спрямованого орієнтування об'єктів, щодо калібруючих отворів.

Яблука, що надходять на сортувальний пристрій, представляють собою суміш об'єктів різного розміру (d), ваги (m) та кольору (g). Завдання сортування полягає у розділенні яблук за різними характеристиками згідно до вимог оброблюваної продукції. Процес сортування плодовоовочевої сировини різними механічними пристроями характеризується такими основними показниками: точність поділу на фракції, питома продуктивність та ступінь пошкодження оброблюваної сировини.

На рис. 1 показана система сортування яблук за розмірно-масовими характеристиками та кольором. Діаметр плодів вимірюють за допомогою ПЗС-камер; програмне забез-

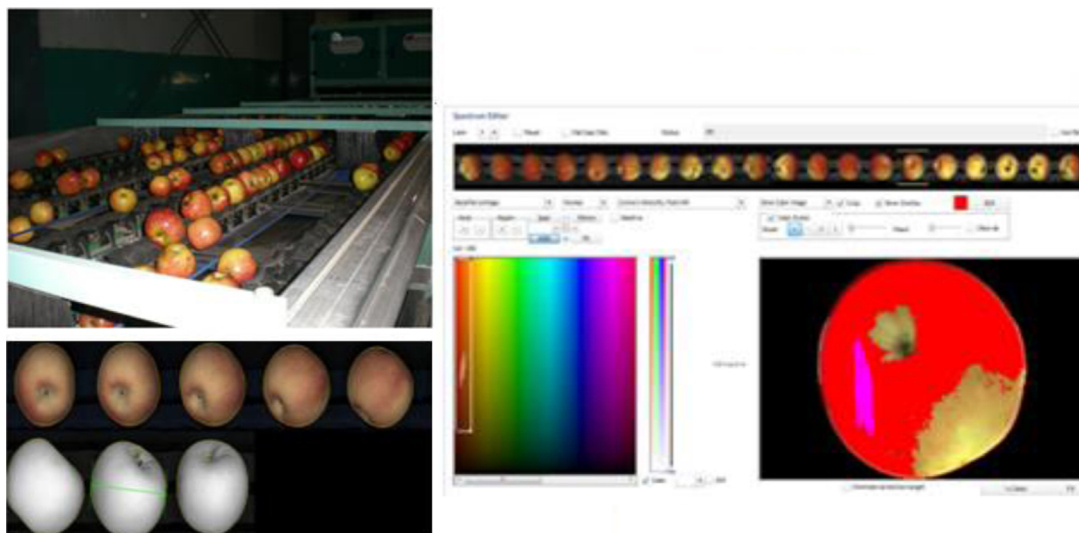


Рисунок 1 — Система сортування яблук за розмірно-масовими характеристиками та кольором

печення вимірює діаметр на основі даних, що передаються. Вимірювання кольору проводиться з усіх боків плодів в той час як конвеєри рухаються. Кілька алгоритмів програмного забезпечення швидко оцінюють колір, що дає змогу точно контролювати почервоніння або позеленіння плодів [5]. На ефективність процесу сортування впливають умови роботи та особливості конструкції робочих органів та сортуючих пристроїв у цілому.

Сортування плодовоовочевої сировини у механічних пристроях може відбуватися лише за розмірною ознакою. Тоді при розробці робочих органів і конструкції сортування урахуються залежність розміру плодовоовочевої сировини (d), ваги (m) від розмірів фракцій. Означені статистичні величини знаходяться в тісній кореляційній залежності між собою і показують, що маса плодовоовочевої сировини і кожен з її розмірів, варіюються біля певного середнього значення [6]. Важливим показником, що характеризує якість роботи сортуючих пристроїв при є точність поділу сировини. У процесі сортування за розмірними ознаками якість роботи сортуючої поверхні визначається теоретично можливою точністю сортування, яка залежить від сорту яблук, розмірної ознаки для поділу, фракційного складу, а також конструктивних особливостей робочих органів.

Мета статті — автоматизоване управління технологічними процесами із застосуванням методів механіки під час руху плодовоовочевої сировини на сортувальному пристрої.

Виклад основного матеріалу дослідження. У роботі пропонується автоматична система сортування [7, 8] яблук певного різновиду за кольором, розміром і вагою, а саме сортів яблук *Golden* і *Granny Smith*. Запропонована система автоматизованого управління складається з пристрою сортування; пристрою відеоконтролю для забезпечення розпізнавання різновидів за отриманими зображеннями; вимірювального пристрою задля можливості визначення розміру (d) та ваги (m) плодовоовочевої сировини, рис. 2.

Для аналізу візуальних властивостей яблук запропоновано встановити промислову кольорову відеокамеру. Отримані зображення будь-якого яблука, що переміщуються на сортувальному пристрої, можна отримати та обробити за допомогою програмного забезпечення.

Переміщення об'єктів (яблук) на сортувальному пристрої можна розглянути, як рух частини похилою площиною, рис. 3.

Скористаємося диференціальним рівнянням руху об'єкта похилою площиною [9, 10].

$$m \cdot \frac{d^2 S}{dt^2} = m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

де m — маса оброблюваного матеріалу, кг; S — шлях пройдений об'єктом похилою площиною, м; V — швидкість руху оброблюваного матеріалу похилою площиною, м/с; t — час руху об'єкту похилою площиною, с; f — коефіцієнт тертя.

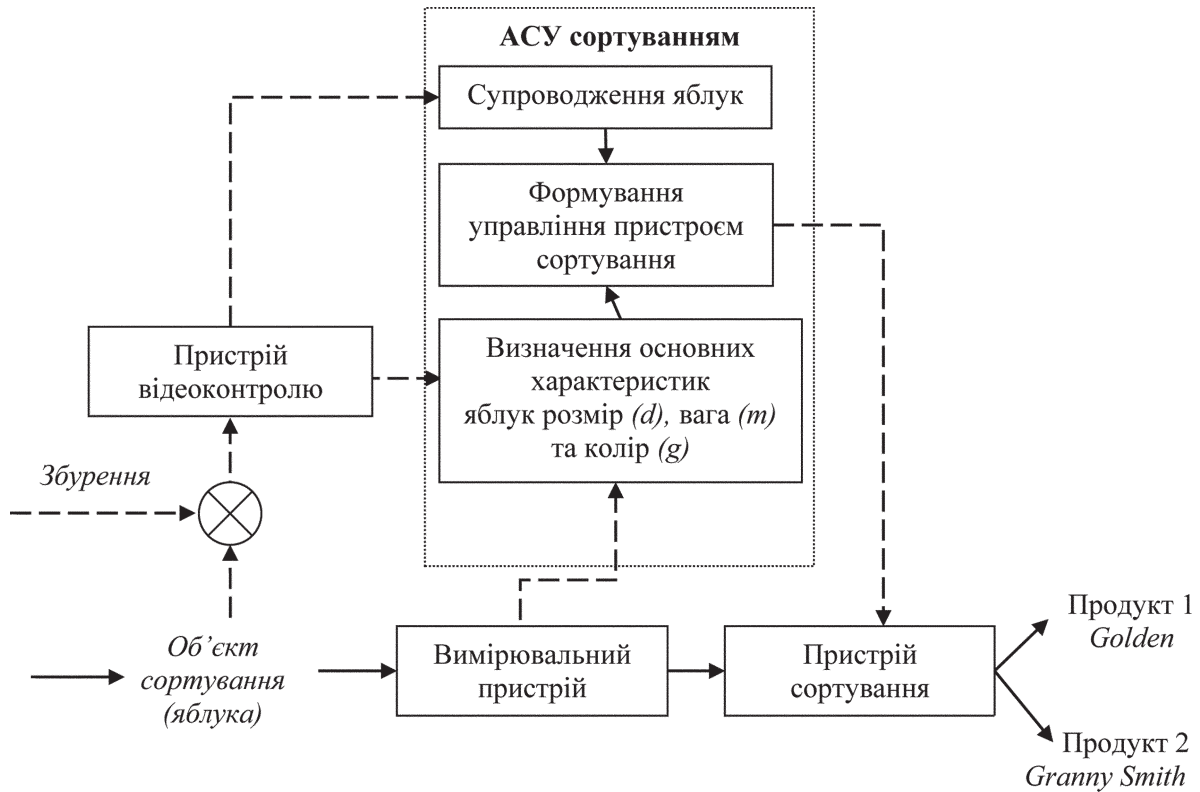


Рисунок 2 – Схема автоматизованого управління процесом сортування яблук

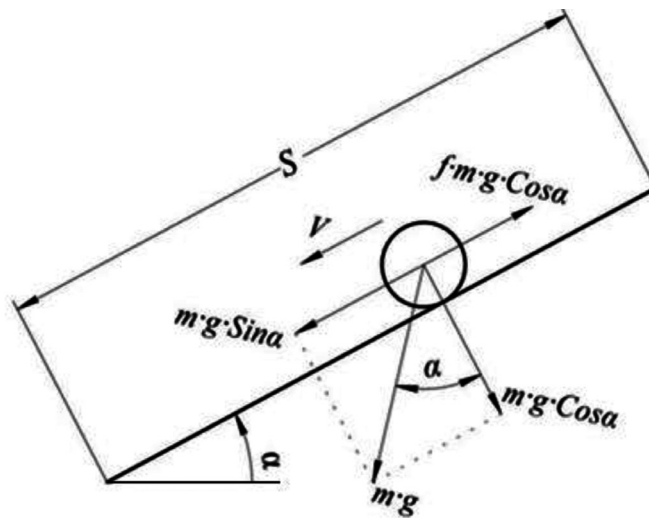


Рисунок 3 – Рух яблука похилою площиною:
 m – маса оброблюваного матеріалу, кг; S – шлях пройдений об'єктом похилою площиною, м; V – швидкість руху оброблюваного матеріалу похилою площиною, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; α – кут нахилу площини до горизонту, °; f – коефіцієнт тертя.

Отримаємо рівняння

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \sin \alpha - f \cdot g \cdot \cos \alpha = g \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) . \quad (2)$$

Коефіцієнт тертя можна визначити використовуючи рівняння

$$f = \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} , \quad (3)$$

де φ — кут тертя частинки по скатній поверхні, °.

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \left(\sin \alpha - \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cdot \cos \varphi \right) = g \cdot \left(\frac{\sin \alpha \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \alpha}{\cos \varphi} \right); \quad (4)$$

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (5)$$

Рівняння швидкості руху об'єкта у будь-якому момент часу

$$V = V_0 + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g \cdot t. \quad (6)$$

Рівняння пройденого шляху об'єкту за певний проміжок часу

$$S = V_0 \cdot t + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{2 \cos \varphi} \cdot g \cdot t^2. \quad (7)$$

Отримаємо рівняння

$$\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g = z \quad (8)$$

Скатні лотки встановлюють під невеликим кутом до горизонтальної поверхні, який перевищує кут тертя частинок скатною поверхнею ($\alpha > \varphi$), тому оброблюваний матеріал прискорюється, рухаючись на сортувальному пристрою. Ця умова дозволяє в кінці скатного лотка об'єктам рухатися більш розрідженим потоком, що забезпечує високу якість сортування. На сортувальний пристрій яблука подаються послідовно, через деякий проміжок часу, який дорівнює t_0 . Тоді шлях S_{t-t_0} , котрий пройде наступний об'єкт за деякий проміжок часу, згідно з рівнянням буде дорівнює

$$S_{t-t_0} = V_0 \cdot (t - t_0) + \frac{g \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{2 \cos \varphi} \cdot (t - t_0)^2 \quad (9)$$

де S_{t-t_0} — шлях наступного об'єкту, пройдений скатною поверхнею, м; t_0 — час, через який кожний наступний об'єкт потрапляє на скатний лоток, с; $t - t_0$ — час руху наступного об'єкту скатним лотком, с.

Отже, зі збільшенням початкової швидкості об'єкта на сортувальному пристрої V_0 та часу руху об'єкта скатною поверхнею t , інтервал між яблуками на S_{int} збільшується. Якщо кут установки до горизонту α більше кута тертя об'єкта скатною поверхнею то швидкість об'єктів на скатному лотку V та інтервал між частинками S_{int} збільшуються з часом. Максимальну продуктивність одношарової подачі яблук на сортувальний пристрій можна забезпечити лише суцільною подачею плодовоовочевої сировини. Якщо оброблюваний матеріал подавати суцільним (безперервним) одношаровим потоком, то шлях S_{t_0} , який попередній об'єкт пройде скатною поверхнею до попадання на скатний лоток наступного за нею об'єкта дорівнюватиме її розміру.

Висновки. Пропонується автоматична система сортування яблук різного різновиду, на прикладі, сортів яблук Golden і Granny Smith, які поділяються на різні класи за кольором, розміром і вагою. Запропонована система автоматизованого управління складається з пристрою сортування; пристрою відеоконтролю для забезпечення розпізнавання різновидів за отриманими зображеннями; вимірювального пристрою задля можливості визначення розміру (d) та ваги (m) плодовоовочевої сировини. Для аналізу візуальних властивостей яблук запропоновано встановити промислову кольорову відеокамеру. Отримані зображення будь-якого яблука, що переміщуються на сортувальному пристрою, можна отримати та обробити за допомогою програмного забезпечення.

Зазначено, що зі збільшенням початкової швидкості об'єкта на сортувальному пристрої V_0 та часу руху об'єкта скатною поверхнею t , інтервал між яблуками на S_{int} збільшується. Якщо кут установки до горизонту α більше кута тертя об'єкта скатною поверхнею то швидкість об'єктів на скатному лотку V та інтервал між частинками S_{int} збільшуються з часом. Максимальну продуктивність одношарової подачі яблук на сортувальний пристрій можна забезпечити лише суцільною подачею плодовоовочевої сировини. Якщо оброблюваний матеріал подавати суцільним (безперервним) одношаровим потоком, то шлях S_{i0} , який попередній об'єкт пройде скатною поверхнею до попадання на скатний лоток наступного за нею об'єкта дорівнюватиме її розміру.

Список літератури

1. Технічні (якісні) вимоги «Овочі, фрукти та горіхи». URL: <https://dpsu.gov.ua/ua/Tehnichni-%20yakisni%20vimogi-Ovochi-frukti-ta-gorih>.
2. Дзюба О. А. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів сортувальки бульб картоплі: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.11. Харків, 2011. 216 с.
3. Sofu M.M., Kayacana M.C. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and electronics in agriculture*. 2016. Vol. 127. P. 395–405.
4. Оптичне сортування: як досягти максимальної вартості зібраного врожаю. URL: <https://agri-gator.com.ua/2021/04/07/optychne-sortuvannia-iaak-dosiahty-maksymalnoi-vartosti-zibrano-ho-vrozha-iu>.
5. Ramesh Babu D., Gayatri N., Issac Prasad P. Automatic systems for controlling fruit movement, grading and storing under low temperature controlled atmosphere storage. *International journal of mechanical and production engineering research and development*. 2020. Vol. 10. P. 4541–4556.
6. Дзюба О.А. Аналіз пристроїв для післязбирального сортування картоплі. *Вісник ХДПУ*. 2000. Вип. 123. С. 99–106.
7. Мартиненко І.І., Головинський Б.Л. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. К. : Урожай, 2001. 224 с.
8. Автоматизація технологічних процесів і САК. URL : <https://atpicak.ucoz.ua>.
9. Павловський М.А. Теоретична механіка. К.: Техніка, 2016. 400 с.
10. Шульга. О.Ю. Теоретична механіка. Харків: Ранок, 2017. 208 с.

References

1. *Tekhnichni (yakisni) vymohy «Ovochi, frukty ta horikhy»* (2018). [Technical (quality) requirements «Vegetables, fruits and nuts»]. Access mode: <https://dpsu.gov.ua/ua/Tehnichni-%20yakisni%20vimogi-Ovochi-frukti-ta-gorih>.
2. Dzyuba, O.A. (2011). *Obgruntuvannya konstruktyvno-rezhymnykh parametriv sortuvalky bul'b kartopli* [Substantiation of constructive-mode parameters of potato tuber sorting. PhD in Engineering sciences thesis]. Kharkov, 216 p.
3. Sofu, M.M., Kayacana, M.C. (2016). *Proektuvannya avtomatychnoyi systemy sortuvannya yabluka za dopomohoyu mashynnoho ohlyadu* [Design of an automatic apple sorting system using machine vision]. *Komp'yutery i elektronika v sel'skom khozyaystve* [Computers and electronics in agriculture], vol. 127, pp. 395–405.
4. *Opticheskaya sortirovka: yak dosyagti maksimal'noi vartosti zibrano-ho vrozha-yu* [Optical sorting: how to achieve the maximum cost of the harvest]. Access mode: <https://agri-gator.com.ua/2021/04/07/optychne-sortuvannia-iaak-dosiahty-maksymalnoi-vartosti-zibrano-ho-vrozha-iu>.
5. Ramesh Babu, D., Gayatri, N., Issac Prasad, P. (2020). *Avtomaticheskkiye sistemy dlya kontrolya dvizheniya fruktov, sortirovki i khraneniya v nizkotemperaturnom khranilishche s kontroliruyemoy atmosferoy* [Automatic systems for controlling fruit movement, grading and storing under low temperature controlled atmosphere storage]. *Mezhdunarodnyy zhurnal issledovaniy i razrabotok v oblasti mashinostroyeniya i proizvodstva*. [International journal of mechanical and production engineering research and development], vol. 10, pp. 4541–4556.

6. Dzyuba, O. A. (2000). *Analiz ustroystv dlya posleuborochnoy sortirovki kartofelya* [Analysis of devices for post-harvest sorting of potatoes]. *Visnyk KHDPU* [HGPU Bulletin], vol. 123, pp. 99–106.
7. Martinenko, I., Golovinsky, B., Lysenko, V. (2001). *Avtomatizatsiya tekhnologichnikh protsessov sil's'kogospodars'kogo virobnitstva* [Automation of technological processes of agricultural production]. Kyiv, Harvest Publ., 224 p.
8. *Avtomatyzatsiya tekhnologichnykh protsesiv i SAK* (2014). [Automation of technological processes and SAC]. Access mode: <https://atpicak.ucoz.ua>.
9. Pavlovs'kyi, M. A. (2016). *Teoretychna mekhanika* [Theoretical mechanics]. Kyiv, Machinery Publ., 400 p.
10. Shulga, O. Yu. *Teoretychna mekhanika* [Theoretical mechanics]. Kharkiv, Morning Publ., 208 c.

Objective. *The purpose of the article is the automated control of technological processes using the methods of mechanics during the movement of fruit and vegetable raw materials on a sorting device.*

Methods. *In this paper, for automated sorting of apples of different varieties by color, size and weight, namely the varieties of apples Golden and Granny Smith, methods of paired comparisons, methods of theoretical mechanics and the laws of statics were used.*

Results. *It is noted that fruit and vegetable raw materials must meet certain quality standards: be fresh, of sufficient maturity, for a certain variety of the appropriate shape and color, without signs of rot and mechanical damage. To ensure that some of these conditions are met, various automatic sorting and grading machines are used. It is believed that the reduction of damage to vegetables and fruits due to the minimum number of transitions and units of technological equipment will help improve the efficiency of the sorting process and the operation of equipment, increase competitiveness and product quality. As you know, apple fruits have a very wide range of varieties, so they have different colors and sizes. An automatic system for sorting apples of a certain variety by color, size and weight, namely the Golden and Granny Smith apple varieties, is proposed. This automated control system consists of a sorting device; video monitoring devices to ensure recognition of varieties from the received images; a measuring device for determining the size (d) and weight (m) of fruit and vegetable raw materials. To analyze the visual properties of apples, it is proposed to install an industrial color video camera. The received images of any apple transferred to the sorting device can be obtained and processed using the software. Attention is focused on the fact that with an increase in the initial speed of the object on the sorting device V_0 and the time of movement of the object along the sloped surface t , the interval between apples increases by S_{int} . If the angle of installation to the horizon α is greater than the angle of friction of the object by the sloping surface, then the speed of objects on the sloping tray V and the interval between particles S_{int} increase with time. The maximum productivity of a single-layer supply of apples can be ensured by a continuous supply of fruit and vegetable raw materials. If the processed material is fed to the sorting device in a continuous (continuous) single-layer flow, then the path S_{10} that the previous object will pass through the sloping surface until the object following it hits the chute will be equal to its size.*

Key words: *sorting, automation, sorting device, technological processes, fruit and vegetable raw materials, apples, methods of theoretical mechanics.*