

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-42-1-107-113

УДК 004.896:(681.5:(634+635))(045)

*Цвіркун Л. О., канд. пед. наук<sup>1</sup>*

*Омельченко О. В., канд. техн. наук<sup>1</sup>*

*Цвіркун С. Л., канд. техн. наук<sup>2</sup>*

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

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

**ЗАСТОСУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ  
У СОРТУВАННІ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

UDC 004.896: (681.5: (634+635)) (045)

*Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences<sup>1</sup>*

*Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences<sup>1</sup>*

*Tsvirkun S. L., PhD in Engineering sciences<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Mykhailo Tuhan-Baranovskyi Donetsk National University of Economics and Trade, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

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

**APPLICATION OF ENGINEERING METHODS AND SYSTEMS  
OF AUTOMATED DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES  
IN SORTING OF FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS**

**Мета.** Метою статті є дослідження інженерних методів та застосування систем автоматизованого проектування технологічними процесами у сортуванні плодово-овочевої сировини.

**Методи.** У роботі для сортування плодово-овочевої сировини з метою відбору із загального потоку різновидів, якість яких дозволяє використовувати продукцію в промисловому виробництві без додаткових технологічних операцій, застосовано інженерні методи та метод парних порівнянь.

**Результати.** Зазначено, що в умовах сьогодення автоматизація технологічних процесів є однією з головних умов забезпечення конкурентоспроможності підприємств харчової промисловості. Тому для вирішення завдання контролю якості сировини виробництво повинно бути забезпечене сучасними апаратними та програмними засобами, що в свою чергу потребує постійного професійного саморозвитку фахівців, здатності до удосконалення технологічних процесів, готовності застосовувати інженерні методи проектування, а також вільного орієнтування в наявній на підприємстві документації. Вважається, що до теперішнього часу автоматизація процесів управління, зокрема процес сортування плодово-овочевої сировини недостатньо досліджено як самостійний компонент САПР ТП у харчовій промисловості. Розглянуто методи оптичної сепарації, які широко застосовуються для сортування зернової та плодово-овочевої продукції та які умовно можна розділити на пристрої для сортування різних видів зернових культур та ягід, а також пристрої для сортування овочів та фруктів у вигляді сепараторів та більш складних конвеєрних ліній. Сконцентровано увагу на тому, що методологія побудови автоматизованих систем безперервного технологічного контролю заснована на аналізі множини характеристик досліджуємого об'єкту на конвеєрній лінії. Кожен різновид плодово-овочевої сировини має певні особливі ознаки за якими його завжди можна відрізнити від іншого: певні зразки можна відстежити за деякими характерними властивостями (колір, густина забарвлення, текстура тощо), а інші сорти мають специфічні, тільки їм властиві ознаки, наприклад, вміст цукру та показник крохмалю. Залежно від цих властивостей і ознак відбувається формування системи аналізу та відбору не якісних, дефор-

Надійшла до редакції 02.04.2021 р.

© Л. О. Цвіркун, О. В. Омельченко,  
С. Л. Цвіркун, 2021

мованих зразків. Аналіз властивостей плодово-овочевої сировини та технологічних параметрів засобів оперативного контролю якості продукції дав змогу, з огляду на невизначеність характеристик об'єкту, представити критерії відбору у вигляді функцій приналежності нечітких множин, а саме розмір ( $d$ ), вага ( $m$ ), колір ( $g$ ). Удосконалено методи сортування з метою відбору із загального потоку плодово-овочевої сировини, якість якої дозволяє використовувати продукцію в промисловому виробництві без додаткових технологічних операцій на основі методу парних порівнянь.

**Ключові слова:** інженерні методи, системи автоматизованого проектування, технологічні процеси, технічні засоби, плодово-овочева сировина, сортування, харчове виробництво.

**Постановка проблеми.** Державна політика України спрямована на підвищення рівня інформатизації багатьох галузей, зокрема аграрного сектору. В умовах сьогодення автоматизація технологічних процесів є однією з головних умов забезпечення конкурентоспроможності підприємств харчової промисловості [1, 2]. Відповідно, для вирішення завдання контролю якості сировини виробництво повинно бути забезпечене сучасними апаратними та програмними засобами, що потребує постійного професійного саморозвитку фахівців, здатності до удосконалення технологічних процесів, готовності застосовувати інженерні методи проектування, а також вільного орієнтування в наявній на підприємстві документації.

Проте до теперішнього часу автоматизація процесів управління, зокрема процес сортування плодово-овочевої сировини недостатньо досліджені як самостійний компонент САПР ТП у харчовій промисловості. Тому актуальним є удосконалення існуючих методів сортування з метою відбору із загального потоку різновидів, якість яких дозволяє використовувати продукцію в промисловому виробництві без додаткових технологічних операцій.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасний цех з переробки плодово-овочевої продукції — енергоємне виробництво, основним завданням якого є отримання сировини заданої якості при мінімізації енергетичних витрат [3]. Для забезпечення високих якісних показників харчової сировини необхідно контролювати стан продукції на всіх етапах: збирання, зберігання, калібрування, транспортування.

Одним з головних технологічних процесів на підприємстві є сортування, де особливе місце займає проблема розпізнавання та відбору сировини, що передбачає використання програмних та технічних засобів. Проте існуючі традиційні технології не завжди сприяють рентабельності виробництва, що вимагає удосконалення методів заснованих на розпізнаванні кольорових відмінностей ( $g$ ), а також врахування розміру ( $d$ ) та ваги ( $m$ ) досліджуемого об'єкту.

У контексті окресленої проблеми слід зазначити, що метод оптичної сепарації широко застосовується для сортування зернової та плодовоовочевої продукції. Одним з ключових переваг методу є висока продуктивність та збільшення селективності сепарації продуктів зі складною структурою і кольором поверхні [4, 5]. Сепаратори умовно можна розділити на пристрої для сортування різних видів зернових культур та ягід, а також пристрої для сортування овочів та фруктів у вигляді сепараторів та більш складних конвеєрних ліній (рис. 1).

На сьогоднішній день на ринку багато сортувального обладнання принцип роботи якого полягає у наступному: початкова сировина завантажується в бункер у якому акумулюється і подається на живильник, що передає сировину на вібростіл. Вібростіл формує моношар і подає його на стрічку конвеєра [6, 7]. При переміщенні сировини на транспортері відбувається контроль, фіксація і аналіз параметрів окремих об'єктів. За допомогою програмних засобів здійснюється обробка даних та формується керуючий сигнал для сортувального пристрою. Тобто на виході маємо два потоку: продукт 1 (яблука, що підлягають відбору) та продукт 2 (яблука, які мають дефекти), рис. 2.

**Мета статті** — дослідження інженерних методів та застосування систем автоматизованого проектування технологічними процесами у сортуванні плодово-овочевої сировини.

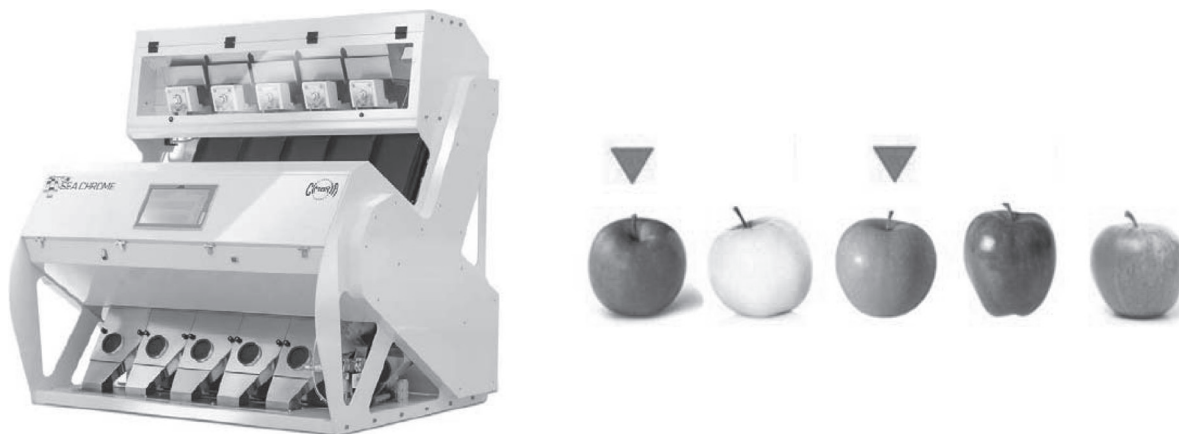


Рисунок 1 — Оптичний сепаратор

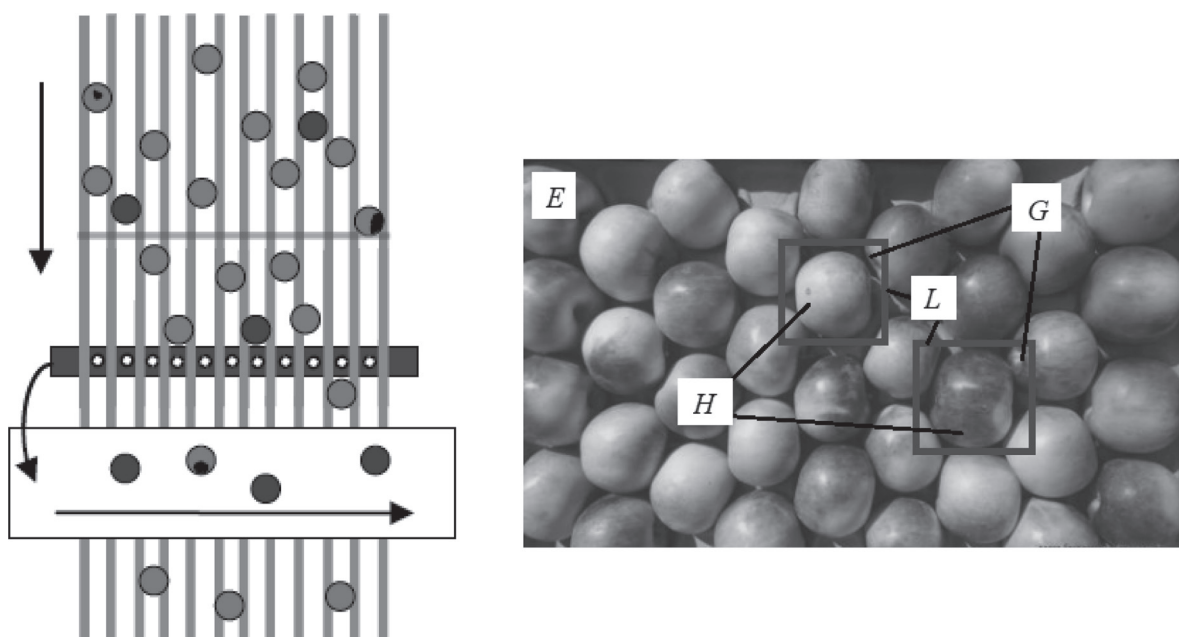


Рисунок 2 — Фрагменти зображення потоку яблук на конвеєрній лінії, які підлягають відбору, де  $E$  — вихідне зображення;  $L_n$  — множина точок спостережуваних фрагментів зображення;  $H_n, G_n$  — безліч точок із потоку яблук.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Методологія побудови автоматизованих систем безперервного технологічного контролю заснована на аналізі множини характеристик досліджуемого об'єкту на конвеєрній лінії. Кожен різновид плодово-овочевої сировини має певні особливі ознаки за якими його завжди можна відрізнити від іншого. Як відомо, певні зразки можна відстежити за деякими характерними властивостями (колір, густина забарвлення, текстура тощо), а інші сорти мають специфічні, тільки їм властиві ознаки, наприклад, вміст цукру та показник крохмалю. Залежно від цих властивостей і ознак відбувається формування системи аналізу та відбору не якісних, деформованих зразків.

Дослідження властивостей плодово-овочевої сировини та технологічних параметрів засобів оперативного контролю якості продукції дає змогу, з огляду на невизначеність характеристик об'єкту представити критерії відбору у вигляді функцій приналежності нечітких множин, а саме розмір ( $d$ ), вага ( $m$ ), колір ( $g$ ).

Нехай  $\mu(\theta_i)$  число в діапазоні  $[0,1]$ , яке характеризує рівень оцінки варіанта вибору  $\theta_i \in \theta$ . При цьому чим більше значення  $\mu(\theta_i)$  тим вище оцінка варіанту вибору. Тоді критерій  $J$  можна представити у вигляді нечіткої множини заданої на універсальній множині  $\bar{\theta}$ :

$$J = \left\{ \frac{\mu(\theta_1)}{\theta_1}, \frac{\mu(\theta_2)}{\theta_2}, \dots, \frac{\mu(\theta_N)}{\theta_N} \right\} \quad (1)$$

де  $\mu(\theta_i)$  — ступінь приналежності елемента  $\theta_i$  до нечіткої множини;  $N$  — кількість альтернативних варіантів вибору плодово-овочевої сировини.

Отже, критерії вибору матимуть наступний вигляд

$$J_d = \left\{ \frac{\mu^d(\theta_1)}{\theta_1}, \frac{\mu^d(\theta_2)}{\theta_2}, \dots, \frac{\mu^d(\theta_N)}{\theta_N} \right\} \quad (2)$$

$$J_m = \left\{ \frac{\mu^m(\theta_1)}{\theta_1}, \frac{\mu^m(\theta_2)}{\theta_2}, \dots, \frac{\mu^m(\theta_N)}{\theta_N} \right\} \quad (3)$$

$$J_g = \left\{ \frac{\mu^g(\theta_1)}{\theta_1}, \frac{\mu^g(\theta_2)}{\theta_2}, \dots, \frac{\mu^g(\theta_N)}{\theta_N} \right\} \quad (4)$$

де  $J_d, J_m, J_g$  — нечіткі безлічі приватних критеріїв;  $\theta_i$  — вибір яблука з номером  $i$ .

Як зазначалося раніше, у процесі формування автоматизованого управління процесом сортування плодово-овочевої сировини найбільш ефективним є метод парних порівнянь [8]. Сформуємо матриці попарних порівнянь варіантів відбору за кожним окремим критерієм

$$A^d = \begin{bmatrix} a_{11}^d & a_{12}^d & \dots & a_{1N}^d \\ a_{21}^d & a_{22}^d & \dots & a_{2N}^d \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}^d & a_{N2}^d & \dots & a_{NN}^d \end{bmatrix}$$

$$A^m = \begin{bmatrix} a_{11}^m & a_{12}^m & \dots & a_{1N}^m \\ a_{21}^m & a_{22}^m & \dots & a_{2N}^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}^m & a_{N2}^m & \dots & a_{NN}^m \end{bmatrix}$$

$$A^g = \begin{bmatrix} a_{11}^g & a_{12}^g & \dots & a_{1N}^g \\ a_{21}^g & a_{22}^g & \dots & a_{2N}^g \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}^g & a_{N2}^g & \dots & a_{NN}^g \end{bmatrix}$$

де елементи  $a_{ij}$  визначають перевагу варіанту  $\theta_i$  над  $\theta_j$  за дев'ятибальною шкалою Сааті.

У зв'язку з досить складними розрахунками доцільно використати спрощений метод [10]. Як відомо, коли матриця є діагональною, симетричною відносно головної діагоналі та транзитивною для розрахунку всіх елементів матриці досить визначити елементи одного з її рядків. Щоб врахувати нерівнозначності характеристик плодово-овочевої сировини необхідно розрахувати коефіцієнти важливості. Для цього на основі експертних оцінок була сформована матриця парних порівнянь відповідних критеріїв

$$A^J = \begin{bmatrix} a^{dd} & a^{dm} & a^{dg} \\ a^{md} & a^{mm} & a^{mg} \\ a^{gd} & a^{gm} & a^{gg} \end{bmatrix}$$

Оскільки в результаті порівняння критерію з самим собою отримаємо  $a^d = a^m = a^g = 1$  тоді матриця прийме наступний вигляд

$$A^J = \begin{bmatrix} 1 & a^{dm} & a^{dg} \\ a^{md} & 1 & a^{mg} \\ a^{gd} & a^{gm} & 1 \end{bmatrix}$$

Розрахунок значень рангів приватних критеріїв на основі матриці парних порівнянь здійснювався на основі твердження, яке ґрунтується на тому, що для кожного елемента матриці дійсне співвідношення [11]. Оскільки ранги  $\alpha_i$  є значеннями відповідних приватних критеріїв, то їх сукупність  $W = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$  відповідає власному вектору матриці  $A^J$ . Вектор  $W$  можна знайти за рівнянням  $A^J W = \lambda W$ , де  $\lambda$  — власне значення матриці  $A^J$ .

Застосовуючи рівняння нормалізації та використовуючи методи знаходження власних векторів було здійснено розрахунок чисельних значень рангів  $\alpha_i$ .

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1. \quad (5)$$

У результаті були отримані наступні значення рангів приватних критеріїв, розрахованих з використанням власного вектору матриці парних порівнянь.

$$\alpha_d = 0,140; \quad \alpha_m = 0,085; \quad \alpha_g = 0,246.$$

На основі дослідження властивостей плодово-овочевої сировини та технологічних параметрів засобів оперативного контролю якості продукції, а також з огляду на невизначеність характеристик об'єкту було обґрунтовано критерії відбору у вигляді функцій приналежності нечітких множин, а саме розмір ( $d$ ), вага ( $m$ ), колір ( $g$ ). Удосконалено методи сортування з метою відбору із загального потоку плодово-овочевої сировини, якість якої дозволяє використовувати продукцію в промисловому виробництві без додаткових технологічних операцій на основі методу парних порівнянь.

**Висновки.** Отже, для вирішення завдання контролю якості сировини виробництво повинно бути забезпечене сучасними апаратними та програмними засобами, що в свою чергу потребує постійного професійного саморозвитку фахівців, здатності до удосконалення технологічних процесів, уміння застосовувати інженерні методи проектування, а також вільного орієнтування в наявній на підприємстві документації.

Зазначено, що методологія побудови автоматизованих систем безперервного технологічного контролю заснована на аналізі множини характеристик досліджуемого об'єкту на конвеєрній лінії. Кожен різновид плодово-овочевої сировини має певні особливі ознаки за якими його завжди можна відрізнити від іншого: певні зразки можна відстежити за деякими характерними властивостями (колір, густина забарвлення, текстура тощо), а інші сорти мають специфічні, тільки їм властиві ознаки, наприклад, вміст цукру та показник крохмалю. Залежно від цих властивостей і ознак відбувається формування системи аналізу та відбору не якісних, деформованих зразків.

Аналіз властивостей плодово-овочевої сировини та технологічних параметрів засобів оперативного контролю якості продукції дав змогу, з огляду на невизначеність характеристик об'єкту представити критерії відбору у вигляді функцій приналежності нечітких множин, а саме розмір ( $d$ ), вага ( $m$ ), колір ( $g$ ). Удосконалено методи сортування з метою відбору із загального потоку плодово-овочевої сировини, якість якої дозволяє використовувати продукцію в промисловому виробництві без додаткових технологічних операцій на основі методу парних порівнянь.

#### Список літератури

1. Про Концепцію Національної програми інформатизації. URL : <https://zakon.rada.gov.ua>.



2. Место компьютерной графики в подготовке специалистов для пищевой промышленности. URL : <https://cyberleninka.ru>.
3. Подпратов Г. И., Рожко В. И., Скалецка Л. Ф. Технология зберігання та переробки продукції рослинництва. К. : Аграрна освіта, 2014. 393 с.
4. Павленко Н. А. Исследование и разработка оптико-электронной системы для сепарации минерального сырья по цвету : дис. ... канд. тех. наук : 05.11.07. Санкт-Петербург, 2016. 150 с.
5. Автоматизація технологічних процесів і САК. URL : <https://atpicak.ucoz.ua>.
6. Мартиненко І. І. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. К. : Урожай. 2015. 224 с.
7. Закон України про систему інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/229-16#Text>.
8. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений. *Теория и системы управления*. 2012. №3. С. 150–154.
9. Rosten E., Drummond T. Fusing points and lines for high performance tracking. *10<sup>th</sup> IEEE International Conference on Computer Vision*. Beijing, China. 2010. Vol. 2. P. 1508–1515.
10. Gustafson, D. E., Kessel, W. C. (2008). Fuzzy clustering with a fuzzy covariance. *IEEE decision making and control conference, including 17th adaptive processes symposium*. San Diego, CA, USA, vol. 7. pp. 773–781.

### References

1. *Pro Kontseptsiyu Natsionalnoyi prohramy informatyzatsiyi* (2020). [About the concept of the national informatization program]. Available at : <https://zakon.rada.gov.ua>.
2. *Mesto komp'yuternoy grafiki v podgotovke spetsialistov dlya pishchevoy promyshlennosti* (2014). [The place of computer graphics in the training of specialists for the food industry]. Available at : <https://cyberleninka.ru>.
3. Podpyatov, G. I., Rozhko, V. I., Skaletskaya, L. F. (2014). *Tekhnolohiya zberihannya ta pererobky produktsiyi roslynnytstva* [Storage and processing technology for crop products]. Kiev, Agricultural education Publ., 393 p.
4. Pavlenko, N. A. (2016). *Issledovaniye i razrabotka optiko-elektronnoy sistemy dlya separatsii mineral'nogo syr'ya po tsvetu* [Research and development of an optoelectronic system for the separation of mineral raw materials by color. Thesis of PhD in Engineering sciences]. St. Petersburg, 150 p.
5. *Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh protsesiv i SAK* (2014). [Automation of technological processes and SAC]. Available at : <https://atpicak.ucoz.ua>.
6. Martynenko, I. I. (2015). *Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh protsesiv silskohospodarskoho vyrobnytstva* [Automation of technological processes of agricultural production]. Kiev, Urozhay Publ., 224 p.
7. *Zakon Ukrayiny pro systemu inzhenerno-tekhnichnoho zabezpechennya ahropromyslovoho kompleksu Ukrayiny* (2006). [Law of Ukraine on the system of engineering and technical support of the agro-industrial complex of Ukraine]. Available at : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/229-16#Text>.
8. Rotshtein, A. P., Shtovba, S. D. (2012). *Nechetkiy mnogokriterial'nyy analiz variantov s primeneniyyem parnykh sravneniy* [Fuzzy multicriteria analysis of options using pairwise comparisons]. *Teoriya i sistemy upravleniya* [Control theory and systems]. vol. 3, pp. 150–154.
9. Rosten, E., Drummond, T. (2010). Fusing points and lines for high performance tracking. *IEEE International Conference on Computer Vision*. Beijing, China, vol. 2, pp. 1508–1515.
10. Gustafson, D. E., Kessel, W. C. (2008). Fuzzy clustering with a fuzzy covariance. *IEEE decision making and control conference, including 17th adaptive processes symposium*. San Diego, CA, USA, vol. 7. pp. 773–781.

**Objective.** *The purpose of the article is to study engineering methods and the use of computer-aided design systems in the implementation of technological processes for sorting fruit and vegetable raw materials.*

**Methods.** *In the work for sorting of fruit and vegetable raw materials for the purpose of selection from the general flow of varieties, the quality of which allows to use products in industrial production without additional technological operations, engineering methods and the method of pairwise comparisons are used.*

**Results.** *It is noted that in today's conditions automation of technological processes is one of the main conditions for ensuring the competitiveness of the food industry. Therefore, to solve the problem of quality control of raw materials, production must be provided with modern hardware and software, in turn requires constant professional development, the ability to improve technological processes, willingness to apply engineering design methods, as well as free orientation in the documentation available at the enterprise. It is believed that at present the automation of management processes, in particular the process of sorting fruit and vegetable raw materials have not been sufficiently studied as an independent component of CAD TP in the food industry. Optical separation methods are considered, which are widely used for sorting grain and fruit and vegetable products and which can be divided into devices for sorting various types of cereals and berries, as well as devices for sorting vegetables and fruits in the form of separators and more complex conveyor lines. Attention is focused on the fact that the methodology of construction of automated systems of continuous technological control is based on the analysis of many characteristics of the studied object on the conveyor line. Each type of fruit and vegetable raw material has certain special features by which it can always be distinguished from another: certain samples can be traced by some characteristic properties (color, color density, texture, etc.), and other varieties have specific, unique to them signs, such as sugar content and starch index. Depending on these properties and features, a system of analysis and selection of low-quality, deformed samples is formed. Analysis of the properties of fruit and vegetable raw materials and technological parameters of means of operational quality control allowed, given the uncertainty of the characteristics of the object to present the selection criteria in the form of functions of fuzzy sets, namely size ( $d$ ), weight ( $m$ ), color ( $g$ ). Sorting methods have been improved in order to select from the total flow of fruit and vegetable raw materials, the quality of which allows the use of products in industrial production without additional technological operations based on the method of pairwise comparisons.*

**Key words:** *engineering methods, computer-aided design systems, technological processes, technical means, fruit and vegetable raw materials, sorting, food production.*