

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

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

*Островчук О. О., студентка<sup>1</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 коледж Національного авіаційного університету (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: tserg30@ukr.net

### УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ СОРТУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ НА КОНВЕЄРНІЙ ЛІНІЇ

UDC 621.325.5

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

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

*Ostrovchuk O. A., Student<sup>1</sup>*

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

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

### IMPROVING OF THE FOOD PRODUCTS SORTING PROCESS ON A CONVEYOR LINE

**Мета.** Метою статті є удосконалення процесів сортування яблук у потоці на конвеєрній лінії за допомогою автоматичного супроводження за відеосигналом.

**Методи.** У роботі для вилучення яблук з множини варіантів, які підлягають відбору із загального потоку на конвеєрній лінії, було застосовано методи багатокритеріального вибору: лексикографічний, ідеальної точки, метод аналізу ієрархій, виділення головного критерію, згортки частинних критеріїв.

**Результати.** Розроблено узагальнену схему автоматизованого управління процесом сортування яблук за відеосигналом, яка містить блок вимірювання, що призначений для визначення основних характеристик досліджуємого об'єкта на конвеєрній лінії  $\{d, t, g\}$ , які дозволяють встановити приналежність яблук до певної категорії. Описано процес сортування яблук на основі безконтактного вимірювання таких основних характеристик, як розмір, вага, колір. Зазначено, що отримана інформація щодо характеристик окремих об'єктів передається в блок управління сортуванням, і на основі цієї інформації, а також інформації від блоку супроводу яблук за відеосигналом, автоматизована система управління (АСУ) сортуванням зіставляє час вимірювання характеристик яблук з об'єктами, які зображені на кадрах відеосигналу, і закріплює за кожним візуальним об'єктом відповідні характеристики. Це дозволяє на ділянці, яка контролюється датчиком відеосигналу, отримати інформацію щодо характеристик кожного яблука від моменту попадання його в поле зору датчика відеосигналу і до моменту скидання. Запропоновано здійснювати відбір яблук заданих різновидів із загального потоку на конвеєрній лінії, умовно розділеної на певну кількість поздовжніх смуг, за допомогою застосування групи виконавчих механізмів, кожен з яких здійснює відбір яблук з однієї смуги конвеєрного потоку. Підвищено ефективність управління процесом сортування яблук на конвеєрі за рахунок спостереження за відеосигналом, яке доцільно здійснювати на основі попарного аналізу послідовних кадрів. При цьому відстеження траєкторії переміщення об'єктів у потоці необхідно здійснювати на основі обчислення функції подібності між еталонним зображенням на попередньому і одним із множини фрагментів, що лежать в зоні пошуку на наступному кадрі.

**Ключові слова:** відеосигнал, конвеєрна лінія, сортування яблук, автоматизація, пристрій сортування, вимірювальний пристрій, показник якості.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день досить важко уявити функціонування будь-якого технологічного об'єкта без автоматизованої системи управління, зокрема процеси сортування овочів та фруктів на харових виробництвах. В умовах ринкової конкурентоспроможності підприємства змушені не тільки забезпечувати безпеку проведення виробничих процесів, а й постійно підвищувати їх економічну ефективність, контролювати такі показники, як якість виробленої продукції та екологічність.

О. Терешкін зазначає, що продуктивність праці на вітчизняних підприємствах харчового виробництва у 2–4 рази нижча, ніж на аналогічних підприємствах розвинених країн світу, бо близько 50 % трудомістких операцій виконуються вручну і лише 20 % діючого обладнання працює в автоматичному режимі [1]. Якість продуктів та витрати на їх виробництво багато в чому залежать від ефективності технологій, процесів і апаратів, рівня їх механізації та автоматизації, що забезпечує інтенсифікацію розвитку харчової й переробної промисловості.

Відповідно, актуальним і важливим напрямом, що забезпечує більш раціональне використання ресурсів, є розробка й упровадження нових технологічних процесів. Найбільш значний ефект може бути отриманий за рахунок удосконалення автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) із включенням у структуру системи інтелектуальної складової математичного апарату, який працюватиме на підставі алгоритмів нечіткої логіки, нейронних мереж тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сортування — це складний процес, що потребує аналізу багатьох показників, серед яких проведення оцінки зовнішнього стану яблук. Наприклад, для сортування яблук пошкоджених або з ураженою поверхнею використовуються скануючі прилади, в яких видиме світло від опромінювач освітлює поверхню плода, інтенсивність відбитого світла аналізується інтегратором, у результаті чого формується сигнал, пропорційний площі пошкодження [2]. Залежно від величини цього сигналу виконавчий механізм пропускає або відбраковує яблуко.

О. Гур'янов пропонує підвищення ефективності сортування яблук на основі кольорових телевізійних датчиків [3]. Автором запропоновано методику дослідження координат кольору поверхні плодів, яка полягає у створенні бази зображень з різними показниками якості, визначення зон, угруповань їх координат кольору з подальшим їх використанням для розпізнавання якісного стану поверхні яблук.

Слід зазначити, що здійснення оцінки між групами розташованих щільно яблук, які мають відповідати показникам якості, досить складне. Тому доцільно методами багатокритеріального вибору здійснити вилучення яблук з множини варіантів, які підлягають відбору із загального потоку. Вибір оптимального варіанта потребує розгляду відповідних підходів до вирішення завдання сортування яблук, з-поміж яких є лексикографічний, ідеальної точки, метод аналізу ієрархій, виділення головного критерію, згортки частинних критеріїв тощо.

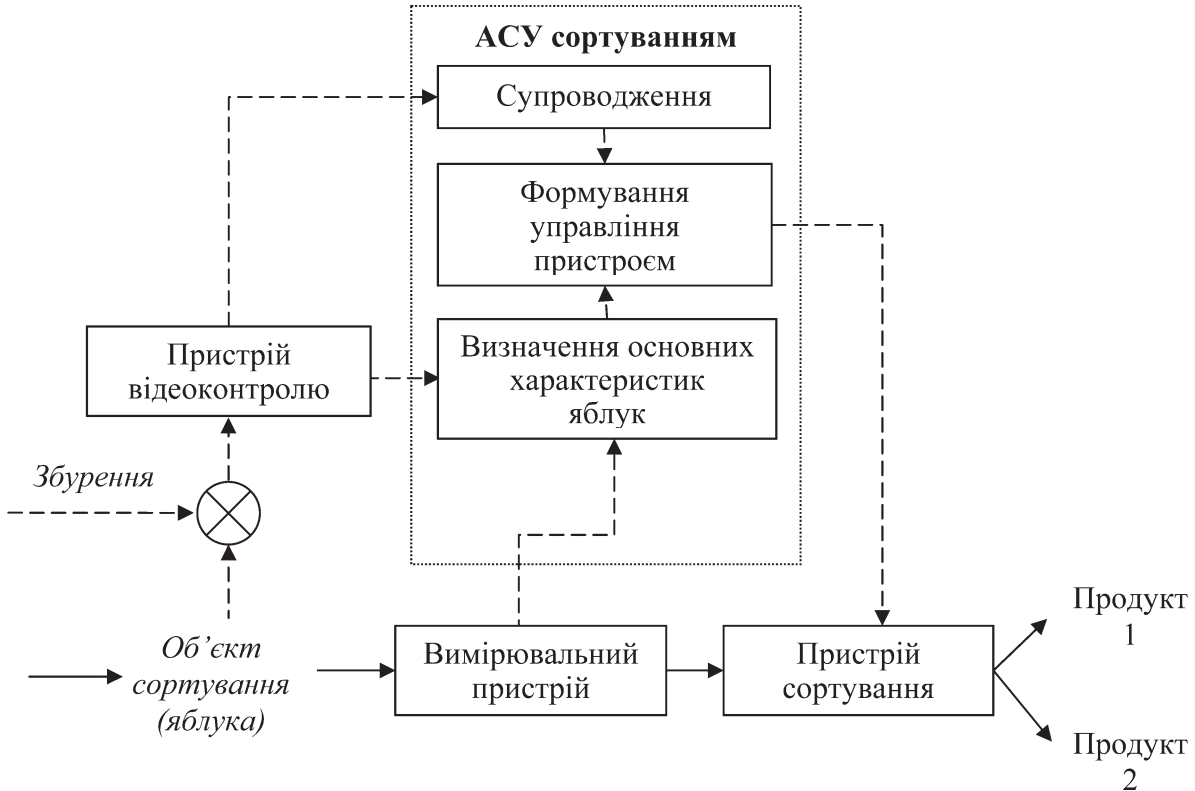
Відповідно до лексикографічного підходу в задачах багатокритеріальної оптимізації, як в чіткій [4], так і в нечіткій [5] постановці, спочатку здійснюють упорядкування частинних критеріїв за ступенем їх важливості, а потім виконують послідовну оптимізацію кожного окремого критерію від найбільш важливого до найменш значущого. Недоліком цієї групи методів є можливість врахування тільки факту переваги одного критерію над іншим, проте ступінь превалювання в даному випадку не враховується, що може привести до невинуватого звуження множини альтернатив.

Застосування методу виділення головного критерію [6] доцільно в разі, коли один із частинних критеріїв за важливістю значно перевершує інші. У такому випадку головний критерій вважають єдиним, а решту перетворюють на обмеження. Використання даного підходу при формуванні управлінням процесу сортуванням яблук не доцільне через відсутність досить істотних переваг частинних критеріїв, а також через необхідність застосування спеціальних методів для обґрунтування граничних значень частинних критеріїв у процесі перетворення їх до виду обмежень.

**Мета статті** — удосконалення процесів сортування яблук у потоці на конвеєрній лінії за допомогою автоматичного супроводження за відеосигналом.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для реалізації автоматизованого управління процесом сортування продуктів у потоці на конвеєрній лінії в умовах харчової промисловості необхідні засоби контролю характеристик окремих одиниць потоку об'єктів, відстеження їх переміщення для своєчасного відкидання виконавчим механізмом [7; 8].

Роботу системи автоматичного виявлення і супроводу на рухомому конвеєрі можна охарактеризувати послідовним переходом від операцій обробки й аналізу послідовних зображень до обробки параметрів об'єктів, а потім до формування сигналів управління. Узагальнена схема автоматизованого управління процесом сортування яблук із супроводженням, що підлягають відбору за відеосигналом наведена на рис. 1.



**Рисунок 1** – Схема автоматизованого управління процесом сортування

Для вирішення завдання виділення із загального потоку ( $\Psi$ ) яблук за певними характеристиками ( $\Omega \in \Psi$ ) (рис. 1) передбачені такі компоненти: блок вимірювання, що призначений для визначення основних характеристик досліджуваного об'єкта на конвеєрній лінії  $\{d, m, g\}$ , які дозволяють встановити приналежність яблук до певного різновиду. У процесі виведення із загального потоку яблук, які можуть бути спрямовані в промисловий переділ, доцільно використовувати такі характеристики, як: розмір ( $d$ ), вага ( $m$ ), колір ( $g$ ).

Слід зазначити, що внаслідок особливостей технічної реалізації вимірювальних пристроїв вагу досить складно визначити для окремих яблук в потоці на конвеєрі. Тому значення цієї характеристики  $\{m\}$  може бути визначено тільки для множини об'єктів, а характеристики розміру і кольору можуть бути визначені візуально для окремих об'єктів.

Інформація щодо характеристик окремих об'єктів передається в блок управління сортуванням. На основі цієї інформації, а також інформації від блоку супроводу яблук за відеосигналом, автоматизована система управління (АСУ) сортуванням зіставляє час вимірювання характеристик яблук з об'єктами, які зображені на кадрах відеосигналу, і закріплює за кожним візуальним об'єктом відповідні характеристики. Це дозволяє на ділянці, яка контролюється датчиком відеосигналу, отримати інформацію щодо характеристик кожного яблука від моменту попадання його в поле зору датчика відеосигналу і до моменту скидання.

На формування автоматизованого управління процесом сортування істотно впливає те, що сортування яблук необхідно проводити в потоці на конвеєрній лінії. Найзручніше

проводити розподіл в місці перевантаження яблук з одного конвеєра на інший. Слід враховувати, що яблука розташовуються на стрічці в кілька рядів, тобто на однаковій відстані від пристрою сортування може перебувати відразу декілька яблук, що підлягають відбору (рис. 2, позиція 2).

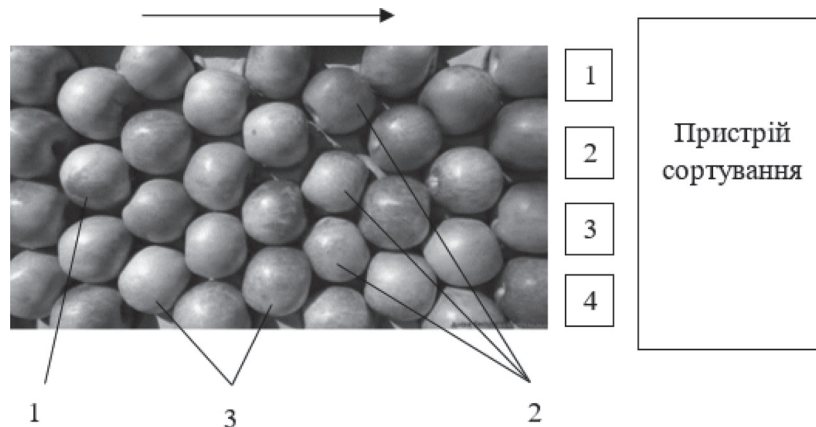


Рисунок 2 — Особливості сортування яблук на конвеєрній лінії:  
1 – яблуко, що підлягає відбору; 2, 3 – варіанти розташування

У зв'язку з цим в пристрої сортування доцільно передбачити можливість скидання продуктів не з усієї ширини стрічки, а з її частини. Наприклад, за допомогою декількох скидаючих пристроїв, кожний з яких відповідає за певну ділянку потоку. Ширину цієї частини доцільно визначати, виходячи з мінімального розміру яблук, що підлягають відбору із загального потоку.

Друга особливість процесу управління пов'язана з інерційністю існуючих виконавчих механізмів сортування продуктів на конвеєрній лінії. Якщо об'єкти розташовуються досить близько один до одного на одній поздовжній лінії відносно точки скидання, їх скидання повинно здійснюватися одним і тим же виконавчим механізмом, в даному випадку (рис. 1 позиція 3) тим, що знаходиться під номером 4. Відповідно, яблука підійдуть до пристрою сортування практично одночасно: при швидкості руху конвеєрної стрічки 2 м/час між моментами надходження об'єктів складе  $\approx 0,1$  с. Внаслідок цього об'єкт, що надійшов другим і, можливо, має кращі якісні характеристики, не буде відібраний внаслідок недостатньої швидкодії виконавчого механізму. Для вирішення даної проблеми доцільно ще на етапі супроводу об'єктів за відеосигналом зробити оцінку відстані між такими, що підлягають відбору, яблуками і при досить тісному їх розташуванні вибрати кращий в певному сенсі зразок, який і буде відібраний із загального потоку.

Під час формування автоматизованого управління процесом сортуванням яблук доцільно вибирати кілька зразків із найкращими характеристиками, якщо їх розташування на конвеєрній лінії не дозволяє відібрати з потоку всі об'єкти. При формуванні управляючого впливу в процесі сортування здійснюють сегментацію кожного кадру відеосигналу [9]. В результаті отримують множину візуальних об'єктів, кожен з яких відповідає зразку на конвеєрній стрічці. Потім визначаються такі характеристики візуальних об'єктів, як розмір і колір (у відтінках сірого). Синхронно проводиться вимір та оцінка фізичних характеристик зовнішнього стану. В результаті у відповідність кожному візуальному об'єкту ставиться множина з трьох названих характеристик, за якими проводиться розпізнавання об'єктів на конвеєрній стрічці.

Обмежена швидкодія виконавчого сортувального механізму не дозволяє скидати плоди, розташовані досить тісно на одній лінії по ходу руху конвеєрної лінії. Тому проводиться оцінка відстані між групами розташованих тісно об'єктів і методом багатокритеріального вибору здійснюється виключення яблук, які мають найгірші показники, з множини варіантів, які підлягають відбору із загального потоку: мінімальний розмір, неналежний зовнішній стан та колір. Таким чином, у процесі виведення із загального потоку яблук, які можуть бути спрямовані в промисловий переділ, доцільно використовувати такі характеристики, як розмір ( $d$ ), вага ( $m$ ), колір ( $g$ ).



За наявності в загальному випадку  $N$  об'єктів  $\bar{\Theta} = \{\Theta_i | 1 \dots N\}$ , із яких здійснюється вибір, маємо такі характеристики:  $\bar{d} = \{d_i | i = 1 \dots N\}$ ,  $\bar{m} = \{m_i | i = 1 \dots N\}$ ,  $\bar{g} = \{g_i | i = 1 \dots N\}$ . До об'єкта з індексом  $i$  відноситься множина характеристик з такими ж індексами  $\Theta_i = \{d_i, m_i, g_i\}$ . У загальному випадку під час вибору одного елемента з множини  $\bar{\Theta} = \{\Theta_i | 1 \dots N\}$  необхідно забезпечити максимальне наближення значень характеристик елемента до деяких заданих значень «ідеального зразка»  $\Theta^* = \{\delta^*, \mu^*, \gamma^*\}$ .

Функцію вибору  $\Theta_k = \Psi(\bar{\Theta}, \Theta^*)$ ,  $k \in [1, N]$ , визначимо наступним виразом:

$$\Psi(\bar{\Theta}, \Theta^*) = \Psi \begin{cases} \arg \min (d_i - d^*) \\ \arg \min (m_i - m^*) \\ \arg \min (g_i - g^*) \end{cases} \quad (1)$$

Аналіз методів багатокритеріального вибору показав, що під час формування автоматизованого управління процесом сортування об'єктів найбільш ефективним є метод парних порівнянь, запропонований в роботі [10]. Згідно із цим методом необхідно сформувати матриці попарних порівнянь варіантів за кожним окремим критерієм для здійснення ранжування варіантів вибору. Відповідно, відстеження траєкторії переміщення яблук у потоці необхідно здійснювати на основі обчислення функції подібності між еталонним зображенням на попередньому і одним із множини фрагментів, що лежать в зоні пошуку на наступному кадрі.

**Висновки.** Отже, під час формування автоматизованого управління процесом сортування яблук доцільно вибирати кілька зразків із найкращими характеристиками, якщо їх розташування на конвеєрній лінії не дозволяє відібрати з потоку всі об'єкти. Процес сортування яблук доцільно здійснювати на основі безконтактного вимірювання таких характеристик, як розмір, вага, колір. Для здійснення відбору яблук заданих різновидів із загального потоку на конвеєрній стрічці, умовно розділеній на певну кількість поздовжніх смуг, доцільно використовувати групу виконавчих механізмів, кожен з яких здійснює відбір об'єктів з однієї смуги конвеєрного потоку.

Визначено, що під час управління процесом сортування об'єктів на конвеєрній лінії в умовах харчової промисловості спостереження за відеосигналом доцільно здійснювати на основі попарного аналізу послідовних кадрів. При цьому відстеження траєкторії переміщення об'єктів у потоці необхідно здійснювати на основі обчислення функції подібності між еталонним зображенням на попередньому і одним із множини фрагментів, що лежать в зоні пошуку на наступному кадрі.

### Список літератури/References

1. Терешкін О. Г. Наукове обґрунтування комбінованих процесів та розробка ресурсозберігаючого устаткування для очищення овочевої сировини : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.2012 р. Харків, 2014. 345 с.

Tereshkin, O. G. (2014). *Naukove obhruntuvannia kombinovanykh protsesiv ta rozrobka resursozberihayuchoho ustatkuvannia dlia ochishchenia ovochevoi syrovyny* [Scientific substantiation of combined processes and development of resourcesaving equipment for the cleaning of vegetable products. Diss. PhD tech. science]. Kharkov, 345 p.

2. Мартиненко, І. І., Головинський Б. Л., Лисенко В. П. Автоматизація технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. Київ : Урожай, 2001. 224 с.

Martynenko, I., Golovynskiy, B., Lysenko, V. (2001). *Avtomatyzatsiya tekhnolohichnikh protsessiv silskohospodarskoho vyrobnytstva* [Automation of technological processes of agricultural production]. Kyiv, Urozhay Publ., 224 p.

3. Гурьянов Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.2002 р. Мичуринск, 2006. 199 с.

Hur'yanov, D. V. (2006). *Povysheniye effektivnosti sortirovki yablok na osnove tsvetnykh televizionnykh datchikov* [Increasing the efficiency of sorting apples based on color television sensors. Diss. PhD tech. science]. Michurinsk, 199 p.

4. Подиновский В. В. Лексикографические задачи оптимизации. Москва : Академия труда и социальных отношений, 2003. 327 с.

Podinovskiy, V. (2003). *Leksikograficheskiye zadachi optimizatsii* [Lexicographic optimization tasks], Moscow, Academy of labor and social relations Publ., 327 p.

5. Подиновский В. В., Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. Москва : Академия труда и социальных отношений, 2016. 194 с.

Podinovskiy, V., Gavrilov, V. (2016). *Optimizatsiya po posledovatel'no primenyayemym kriteriyam* [Optimization by successive criteria]. Moscow, Academy of labor and social relations Publ., 194 p.

6. Батищев Д. И., Шапошников Д. Е. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений. Нижний Новгород : ИПФ РАН, 2001. 92 с.

Batishchev, D., Shaposhnikov, D. (2001). *Mnogokriterialnyy vybor s uchetom individualnykh predpochteniy* [Multiple choice based on individual preferences]. Nizhny Novgorod, IAP RAS Publ., 92 p.

7. Алпатов Б. А., Бабаян П. В., Балашов О. Е. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. Москва : Радиотехника, 2008. 176 с.

Alpatov, B., Babayan, P., Balashov, O. (2008). *Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i so-provozhdeniya obyektov. Obrabotka izobrazheniy i upravleniye* [Methods for automatic detection and tracking of objects. Image Processing and Management]. Moscow, Radio engineering Publ., 176 p.

8. Медведев А. Промышленные видеокамеры для систем машинного зрения // Современные технологии автоматизации. 2013. № 4. С. 26–60.

Medvedev, A. (2013). *Promyshlennyye videokamery dlya sistem mashinnogo zreniya* [Industrial video cameras for machine vision systems]. *Sovremennyye tekhnologii avtomatizatsii* [Modern automation technology], no. 4, pp. 26–60.

9. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. 352 с.

Gruzman, I., Kirichuk, V., Kosykh, V. (2002). *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v informatsionnykh sistemakh* [Digital image processing in information systems]. Novosibirsk, NSTU Publ., 352 p.

10. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений // Теория и системы управления. 2001. № 3. С. 150–154.

Rotshteyn, A., Shtovba, S. (2001). *Nechetkiy mnogokriterialnyy analiz variantov s primeneni- yem parnykh sravneniy* [Fuzzy multi-criteria analysis of options using pairwise comparisons]. *Te- oriya i sistemy upravleniya* [Theory and management systems], no. 3, pp. 150–154.

**Цель.** Целью статьи является усовершенствование процессов сортировки яблок в потоке на конвейерной линии с помощью автоматического сопровождения по видеосигналу.

**Методы.** В работе для извлечения яблок из множества вариантов, которые подлежат отбору из общего потока на конвейерной линии, были применены методы многокритериально- го выбора: лексикографический, идеальной точки, метод анализа иерархий, выделения главного критерия, свертки частных критериев.

**Результаты.** Разработана обобщенная схема автоматизированного управления процес- сом сортировки яблок по видеосигналу, которая содержит блок измерения, предназначенный для определения основных характеристик исследуемого объекта на конвейерной линии  $\{d, m, g\}$ , которые позволяют установить принадлежность яблок к определенной категории. Описан процесс сортировки яблок на основе бесконтактного измерения таких основных характери- стик, как размер, вес, цвет. Отмечено, что полученная информация о характеристиках от- дельных объектов передается в блок управления сортировкой и на основе этой информации, а также информации от блока сопровождения яблок по видеосигналу, автоматизированная система управления (АСУ) сортировкой, сопоставляет время измерения характеристик яблок с объектами, которые отражены на кадрах видеосигнала, и закрепляет за каждым

визуальным объектом соответствующие характеристики. Это позволяет на участке, который контролируется датчиком видеосигнала, получить информацию о характеристиках каждого яблока с момента попадания его в поле зрения датчика видеосигнала и до момента сброса. Предложено осуществлять отбор яблок заданных видов из общего потока на конвейерной линии, условно разделенной на определенное количество продольных полос, с помощью применения группы исполнительных механизмов, каждый из которых осуществляет отбор яблок с одной полосы конвейерного потока. Повышена эффективность управления процессом сортировки яблок на конвейере за счет наблюдения по видеосигналу, которое целесообразно осуществлять на основе парного анализа последовательных кадров. При этом отслеживание траектории перемещения объектов в потоке необходимо осуществлять на основе вычисления функции сходства между эталонным изображением на предыдущем и одним из множества фрагментов, лежащих в зоне поиска на следующем кадре.

**Ключевые слова:** видеосигнал, конвейерная линия, сортировка яблок, автоматизация, устройство сортировки, измерительное устройство, показатель качества.

**Objective.** The purpose of the article is to improve the apples sorting processes in the flow on the conveyor line by means of automatic video tracking.

**Methods.** In the process of extracting apples, methods of multicriteria selection: lexicographic, ideal point, method of analysis of hierarchies, selection of the main criterion, convolution of particular criteria were used from a variety of options that were selected from the general flow on the conveyor line.

**Results.** A generalized scheme of automated control of the apples sorting process by video signal is developed, which contains a measurement unit designed to determine the main characteristics of the investigated object on the conveyor line  $\{d, m, g\}$ , which allow to establish the affiliation of apples to a certain category. The process of sorting apples based on contactless measurement of such basic characteristics as size, weight, color is described. It is noted that the received information about the characteristics of individual objects is transmitted to the sorting control unit and on the basis of this information, as well as information from the block of accompaniment of apples by video signal, the automated control system (ACS) by sorting compares the time of measuring the characteristics of apples with objects that are reflected on video frames and fixes for each visual object the corresponding characteristics. This allows for the area controlled by the video signal sensor to obtain information on the characteristics of each apple from the time it hits the field of view of the video sensor and until the reset. It is proposed to select the selected types of apples from the total flow on the conveyor line, conditionally divided into a certain number of longitudinal bands, using a group of actuators, each of which selects apples from the same band of conveyor flow. The efficiency of controlling the process of sorting apples on the conveyor through the observation of the video signal, which is advisable to carry out on the basis of a pair analysis of successive frames, has been improved. At the same time tracking the trajectory of moving objects in the stream should be carried out on the basis of the calculation of the function of similarity between the reference image in the previous one and one of the set of fragments lying in the search zone on the next frame.

**Key words:** video signal, conveyor line, apples sorting, automation, sorting device, measuring device, quality indicator.