

look at. The technical indicators of the kneading bowl machine of the L4-XTV periodic action are described. The technological indicators of the recipe of white bread «Tavrishesky» were established. During a series of experiments, the relationship between the technical and technological indicators of the dough kneading in the batch mixer L4-HTV of periodic action with a standard and a new kneading organ was assessed. The improvement indicator of the dough mixing machine is in the range from +3.8 % to +11.5 %. The minimum performance indicator for the dough mixer test +3.8 % is due to the fact that in the technological step of its operation it does not constantly carry out the process of mixing the raw materials and dough. The maximum value of the amount of cooked dough +11.5 %, due to the fact that due to the intensification of the preparation the kneading time of the dough is reduced. The indicator of a comprehensive assessment of the operation of the dough mixing machine L4-HTV is generally improved according to 5 data and totals 39.2 %. The indicator of dough mixing machines L4-HTV with various kneading bodies for a technical assessment of its work is 7.84 %.

**Key words:** Mixing machine, technology, dough kneading, mixing organ, energy power.

DOI : 10.33274/2079-4827-2019 -38-1-94-101

УДК 621.325.5

*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

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБІЖНОСТІ МЕТОДІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ВІДБОРУ ЯБЛУК У ПРОЦЕСІ СОРТУВАННЯ 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 A. 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> Krivoy Rog College of National Aviation University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: tserg30@ukr.net

#### STUDY OF CLUSTERING METHODS MATCHING FOR IDENTIFICATION AND SELECTION OF APPLES IN THE CONVENTIONAL LINE SORTING PROCESS

**Мета** — дослідження збіжності методів кластеризації для розпізнавання та відбору яблук у процесі сортування на конвеєрній лінії.

**Методи.** У роботі застосовано методи чіткої та нечіткої кластеризації для первинної налаштування підсистеми розпізнавання різновидів яблук при формуванні автоматизованого управління сортуванням плодів у потоці на конвеєрній лінії.

**Результати.** Зазначено, що методи і засоби алгоритмічного та інформаційного забезпечення автоматизованих систем управління не дозволяють досить ефективно ідентифікувати і відбирати яблука відповідно до їх характеристик. Унаслідок цього доволі складно отримати якісне управління технологічними процесами сортування фруктів. Розглянуто структуру системи управління сортуванням яблук з урахуванням обмеженої швидкодії виконавчого механізму, за допомогою якої вибирається декілька яблук з найкращими характеристиками. Система забезпечує оцінку розміщення об'єктів обраних різновидів з урахуванням швидкодії виконавчо-

го механізму, визначення розміру, кольору і місця розташування візуальних об'єктів у кадрі; на основі цієї інформації здійснюється вибір об'єктів, що підлягають відбору з потоку яблук, сегментація кадру (пошук візуальних об'єктів). Зазначено, що належність яблук до певного різновиду визначається за сукупністю характеристик. Тому для визначення яблук, які підлягають відбору на конвеєрній лінії, необхідно дослідити методи кластеризації найбільш істотних характеристик яблук, оскільки ідентифікація та відбір яблук здійснюються на основі заданих характеристик  $\{d, m, g\}$ . Досліджено можливість застосування методів чіткої і нечіткої кластеризації для первинного налаштування підсистеми розпізнавання різновидів яблук при формуванні автоматизованого управління сортуванням плодів у потоці. Проаналізовано збіжність алгоритмів кластеризації характеристик об'єктів, яка перевірялася при розбитті на близькі до оптимальної кількості кластерів, що дозволило оцінити не тільки показники збіжності, а й додатково перевірити доцільність здійсненого раніше вибору оптимальної кількості кластерів. Було встановлено, що для формування автоматизованого управління сортуванням яблук у потоці первинне налаштування підсистеми розпізнавання різновидів доцільно здійснювати з використанням алгоритму нечіткої кластеризації Густафсона-Кесселя.

**Ключові слова:** кластер, кластеризація, автоматизація, сортування яблук, конвеєрна лінія, показники якості.

**Постановка проблеми.** Якість продуктів та витрати на їх виробництво багато в чому залежать від ефективності технологій, процесів та апаратів, рівня їх механізації та автоматизації, що забезпечує інтенсифікацію розвитку харчової та переробної промисловості. З урахуванням зростаючої конкуренції на світових ринках важливим завданням є удосконалення процесів сортування овочів та фруктів з метою зниження відходів і втрат якості продукції.

Сортування є складним і трудомістким процесом. Однією з головних операцій після збиральної обробки яблук є їх сортування за якістю. Зовнішні пошкодження, наприклад, забиті місця, вдавнення, опіки знижують товарну якість плодів і зменшують термін зберігання. Останнім часом для вирішення цієї проблеми удосконалюються відеодатчики, а також електронні засоби обробки відеосигналів [1, 2]. Системи розпізнавання для сортувальних пристроїв набувають дедалі більш актуального значення. При цьому методи і засоби алгоритмічного та інформаційного забезпечення автоматизованих систем управління не дозволяють досить ефективно ідентифікувати і відбирати яблука відповідно до їх характеристик [3, 4]. Унаслідок цього доволі складно отримати якісне управління технологічними процесами сортування фруктів. Отже, актуальним стає питання розробки методів сортування яблук на конвеєрній лінії на основі оперативного розпізнавання їх характеристик.

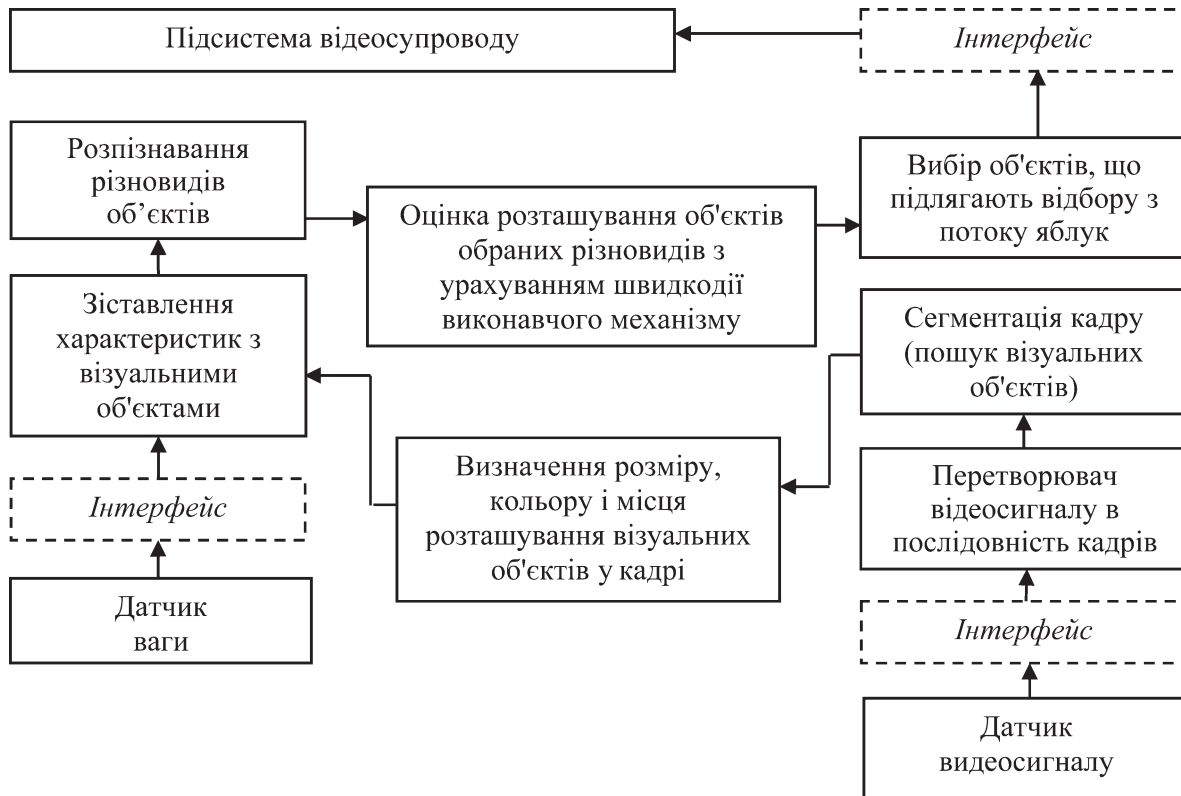
**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Належність яблук до певного різновиду визначається за сукупністю характеристик. Тому для визначення яблук, які підлягають відбору на конвеєрній лінії, необхідно дослідити методи кластеризації найбільш істотних характеристик яблук. Оскільки розпізнавання та відбір яблук здійснюються на основі заданих характеристик  $\{d, m, g\}$ , то для виконання цієї операції доцільно використовувати операцію кластеризації. Більшість алгоритмів кластеризації не спираються на традиційні для статистичних методів допущення; вони можуть використовуватися в умовах майже цілковитої відсутності інформації про закони розподілу даних [5].

Для здійснення кластеризації характеристик яблук були розглянуті методи чіткої і нечіткої кластеризації. З-поміж методів чіткої кластеризації для вирішення завдання розпізнавання різновидів яблук під час сортування на конвеєрній лінії найбільш ефективними є методи K-means та K-medoid, які визначають належність кожного набору характеристик яблук для одного з кластерів, щоб мінімізувати в рамках кластера суму квадратів [5, 6]. Алгоритм кластеризації Fuzzy C-means, заснований на мінімізації функціонала C-means, також використовується для кластеризації характеристик.

Для класифікації характеристик яблук застосовується алгоритм Густафсона-Кесселя (Gustafson-Kessel), який удосконалює Fuzzy C-means алгоритм, використовуючи адаптивну норму відстані для кожного кластера [6, 8]. Так, у праці [7] запропоновано нову функцію відстані на основі нечітких оцінок максимальної правдоподібності.

**Мета статті** — дослідження збіжності методів кластеризації для розпізнавання та відбору яблук у процесі сортування на конвеєрній лінії.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час формування автоматизованого управління сортуванням яблук з урахуванням обмеженої швидкодії виконавчого механізму доцільно вибирати кілька зразків з найкращими характеристиками, якщо їх розташування на стрічці не дозволяє відібрати з потоку всі яблука [9, 10, 11]. Структуру системи управління, що реалізує даний підхід, показано на рис. 1.



**Рисунок 1** — Система управління сортуванням яблук з урахуванням обмеженості швидкодії виконавчого механізму

Методика проведення дослідження полягала у такому. Як вхідні дані для алгоритмів кластеризації взято двовимірний масив характеристик яблук. На першому етапі здійснювалась нормалізація даних у масиві (приведення значень до інтервалу  $[0, 1]$ ). Далі для кожного досліджуваного алгоритму кластеризації виконувалась циклічна процедура розбиття масиву характеристик яблук на кластери. На кожному кроці даної циклічної процедури кількість кластерів змінювалась у діапазоні від 5 до 9 з кроком 1. За результатами кластеризації на певну кількість кластерів одержували значення цільової функції досліджуваного алгоритму кластеризації на кожній ітерації. Слід зазначити, що для кожного значення кількості кластерів кількість ітерацій відрізнялась (менша кількість ітерацій свідчить про швидше завершення процедури кластеризації).

Отже, для оцінювання якості алгоритмів кластеризації використано такі показники: значення цільової функції алгоритму кластеризації ( $c$ ) та кількість необхідних для кластеризації ітерацій ( $i$ ).

Збіжність алгоритмів кластеризації характеристик яблук перевірялася при розбитті на близьку до оптимальної кількість кластерів — від п'яти до дев'яти. Результати оцінювання збіжності алгоритму кластеризації K-means дозволяють зробити такі висновки, що з погляду швидкості збіжності оптимальним є розбиття на дев'ять кластерів (рис. 2).

Найбільш близьким до оптимального є результат розбиття на сім кластерів, за якого досягається найменше середнє значення цільової функції. Оцінки збіжності алгоритму кластеризації K-medoids наведені на рис. 3. Однакові результати за швидкістю отримані в

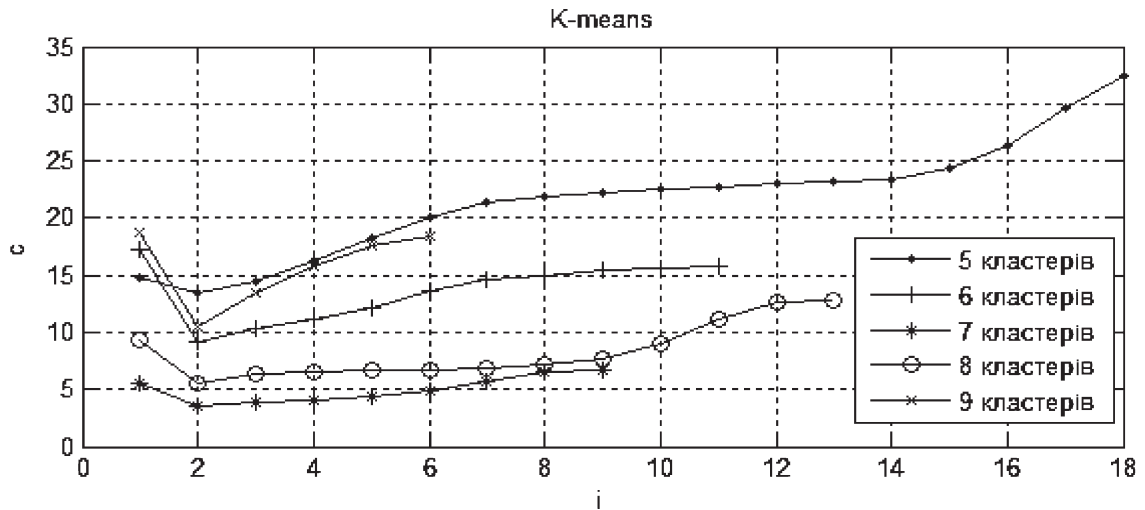


Рисунок 2 — Збіжність алгоритмів чіткої кластеризації K-Means

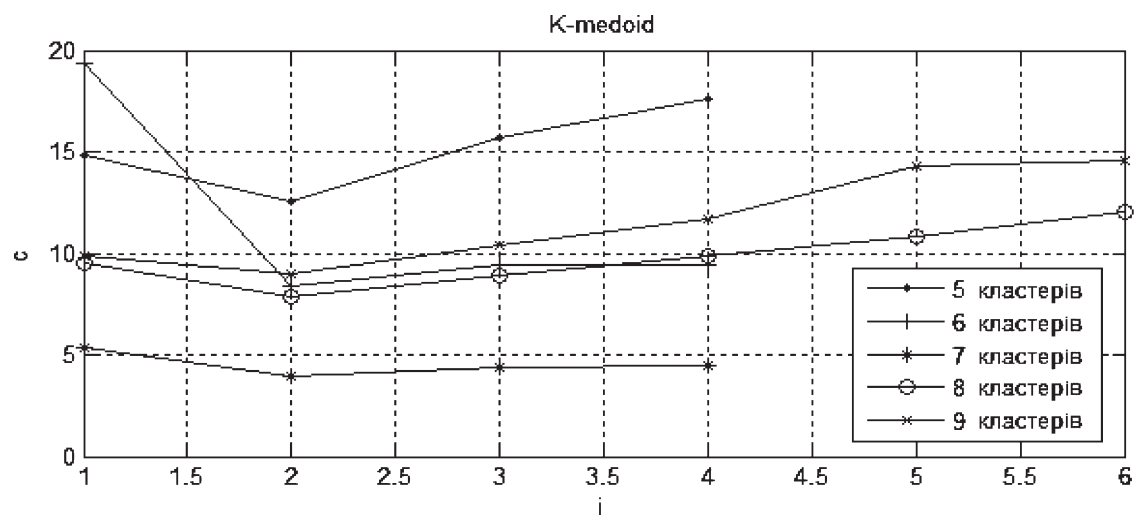


Рисунок 3 — Збіжність алгоритмів чіткої кластеризації K-Medoids

результаті розбиття на п'ять, шість і сім кластерів. Разом з тим, найменшому середньому значенню цільової функції алгоритму відповідає розбиття на сім кластерів.

Результат оцінки збіжності алгоритму кластеризації Fuzzy C-Means наведено на рис. 4. З точки зору швидкості збіжності, оптимальним є розбиття на сім і дев'ять клас-

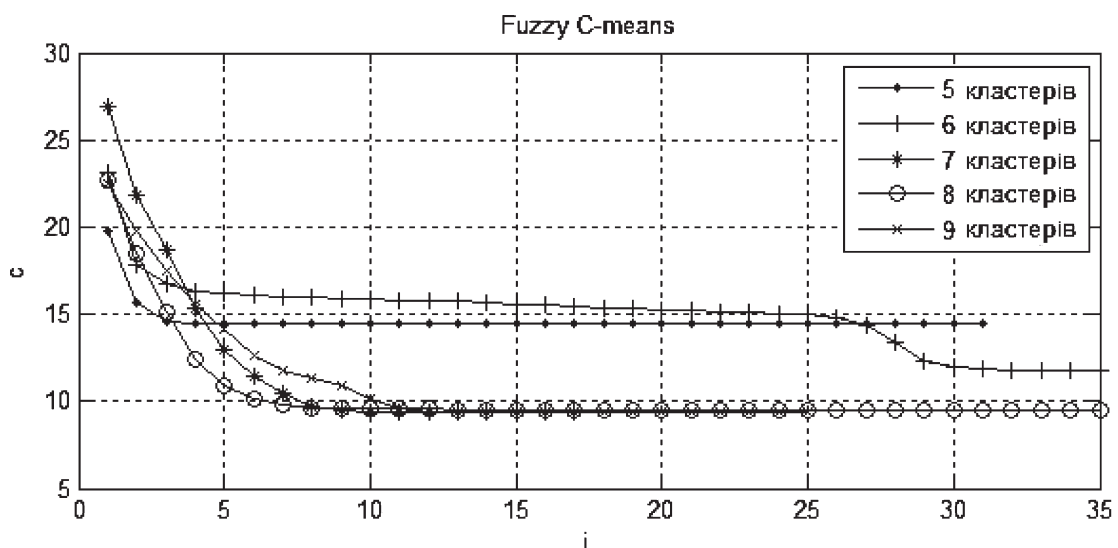


Рисунок 4 — Збіжність алгоритмів нечіткої кластеризації Fuzzy C-means

терів. Найбільш близьким до оптимального є результат розбиття на п'ять кластерів. При цьому найменшому середньому значенню цільової функції алгоритму відповідає розбиття на сім, вісім і дев'ять кластерів.

Оцінку збіжності алгоритму кластеризації Густафсона-Кесселя подано на рис. 5. Найкращі результати за швидкістю збіжності отримані унаслідок розбиття на сім і вісім кластерів.

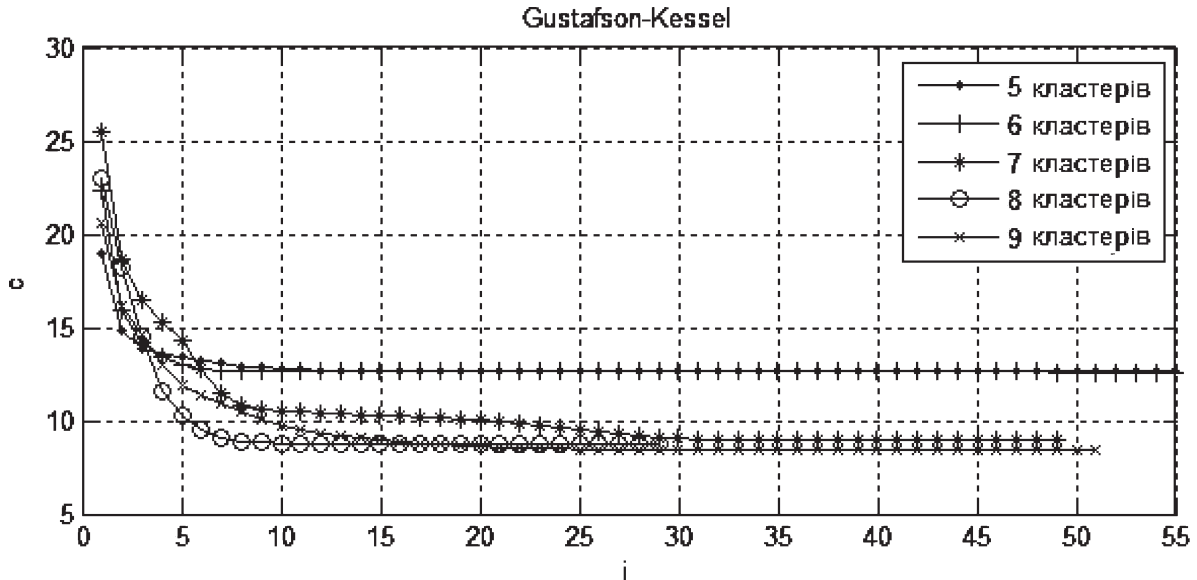


Рисунок 5 — Збіжність алгоритмів нечіткої кластеризації Густафсона-Кесселя

Порівняльне оцінювання результатів дослідження швидкості збіжності алгоритмів кластеризації (рис. 6) показало, що алгоритм Густафсона-Кесселя збігається в середньому за 50–55 ітерацій, що трохи перевищує результати інших алгоритмів. Разом з тим, час на виконання зазначеної кількості ітерацій не перевищує допустимого значення для оброблення в режимі реального часу. Оскільки, згідно з розглянутими вище результатами, за якісними показниками алгоритм Густафсона-Кесселя превалює над іншими, доцільність його використання підтверджується.

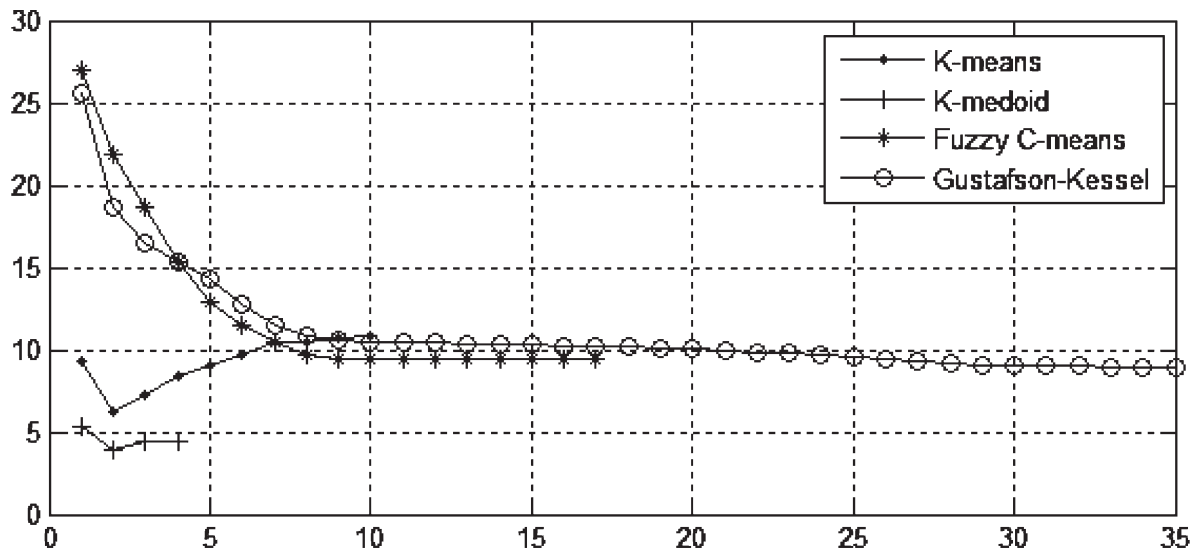


Рисунок 6 — Порівняння збіжності алгоритмів кластеризації

Слід зазначити, що час на виконання зазначеної кількості ітерацій не перевищує допустимого значення для оброблення даних у режимі реального часу. Оскільки, згідно з розглянутими вище результатами, за якісними показниками алгоритм Густафсона-Кесселя превалює над іншими, підтверджується доцільність його використання для первинного на-

лаштування підсистеми розпізнавання яблук у системі автоматизованого сортування плодів у потоці.

**Висновки.** Отже, для формування автоматизованого управління сортуванням яблук в потоці первинне налаштування підсистеми розпізнавання різновидів доцільно здійснювати з використанням алгоритму нечіткої кластеризації Густафсона-Кесселя, який збігається в середньому за 50–55 ітерацій. Отримані результати кластеризації доцільно використовувати для побудови функцій належності в системі нечіткого логічного висновку при реалізації підсистеми розпізнавання різновидів у автоматизованій системі управління сортуванням яблук у потоці на конвеєрній лінії.

#### Список літератури / References

1. Гурьянов Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: дис. ... канд. тех. наук : 05.20.02. 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. PhD in Engineering sciences thesis]. Michurinsk, 199 p.

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

Martynenko, I. I., Holovynskyi, B. L., Lysenko, V. P. (2001). *Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh protsesiv silskohospodarskoho vyrobnytstva*. [Automation of technological processes of agricultural production]. Kyiv, Urozhai Publ., 224 p.

3. 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.

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

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

5. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. URL : <http://matlab/exponenta.ru/fuzzylogic/book1>.

Shtovba, S. D. (2003). *Vvedeniye v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. Retrieved from <http://matlab/exponenta.ru/fuzzylogic/book1>.

6. Gustafson, D. E., Kessel, W. C. (2000). Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix. *Proc. IEEE CDC*, no. 7, pp. 773–781.

7. Gath, I., Geva, A. (2001). Unsupervised optimal fuzzy clustering. *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell*, no. 6, pp. 128–136.

8. Balasko, B., Abonyi, J., Feil, B. (2005). Fuzzy Clustering and Data Analysis Toolbox. *University of Pannonia*, no. 12, pp. 274–286.

9. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д. А. Поспелова. М. : Наука, 1998. 312 с.

Pospelova, D. A. (1998). *Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta* [Fuzzy sets in management models and artificial intelligence]. Moscow, Science Publ., 312 p.

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

Alpatov, B. A., Babayan, P. V., Balashov, O. E. (2008). *Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob»yektov. Obrabotka izobrazheniy i upravleniye* [Methods for automatic detec-

tion and tracking of objects. Image Processing and Management]. Moscow, Radio engineering Publ., 176 p.

11. Моркун В. С., Цвиркун С. Л. Исследование сходимости методов кластеризации характеристик кусков железной руды на конвейере для управления процессом сортировки. *Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві*. 2014. № 6. С. 96–100.

Morkun, V. S., Tsvirkun, S. L. (2014). *Issledovaniye skhodimosti metodov klasterizatsii kharakteristik kuskov zheleznoy rudy na konveyyere dlya upravleniya protsessom sortirovki* [Investigation of the convergence of clustering characteristics of pieces of iron ore on the conveyor to control the sorting process]. *Suchasni tekhnolohiyi v mashynobuduvanni, transporti ta hirnytviv* [Modern technologies in mechanical engineering, transport and mining], no. 6, pp. 96–100.

**Цель.** Целью статьи является исследование сходимости методов кластеризации для распознавания и отбора яблок в процессе сортировки на конвейерной линии.

**Методы.** В работе применены методы четкой и нечеткой кластеризации для первичной настройки подсистемы распознавания разновидностей яблок при формировании автоматизированного управления сортировкой плодов в потоке на конвейерной линии.

**Результаты.** Отмечено, что методы и средства алгоритмического и информационного обеспечения автоматизированных систем управления не позволяют достаточно эффективно идентифицировать и отбирать яблоки в соответствии с их характеристиками. В результате довольно сложно получить качественное управление технологическими процессами сортировки фруктов. Рассмотрена структура системы управления сортировкой яблок с учетом ограниченного быстродействия исполнительного механизма, с помощью которого выбирается несколько яблок с лучшими характеристиками. Система обеспечивает оценку расположения объектов избранных разновидностей с учетом быстродействия исполнительного механизма, определение размера, цвета и места расположения визуальных объектов в кадре; на основе этой информации осуществляется выбор объектов, подлежащих отбору из потока яблок, сегментация кадра (поиск визуальных объектов). Акцентировано, что принадлежность яблок определенного вида определяется по совокупности характеристик. Поэтому для определения яблок, которые подлежат отбору на конвейерной линии, необходимо исследовать методы кластеризации наиболее существенных характеристик яблок, поскольку идентификация и отбор яблок осуществляются на основе заданных характеристик  $\{d, t, g\}$ . Исследована возможность применения методов четкой и нечеткой кластеризации для первичной настройки подсистемы распознавания разновидностей яблок при формировании автоматизированного управления сортировкой плодов в потоке. Проанализированы сходимость алгоритмов кластеризации характеристик объектов, которая проверялась при разбивке на близкие к оптимальному количеству кластеров, что позволило оценить не только, показатели сходимости, но и дополнительно проверить целесообразность произведенного ранее выбора оптимального количества кластеров. Было установлено, что для формирования автоматизированного управления сортировкой яблок в потоке первичную настройку подсистемы распознавания разновидностей целесообразно осуществлять с использованием алгоритма нечеткой кластеризации Густафсона-Кесселя.

**Ключевые слова:** кластер, кластеризация, автоматизация, сортировка яблок, конвейерная линия, показатели качества.

**Objective.** The purpose of the paper is to study clustering methods matching for identifying and selecting apples in the process of sorting on a conveyor line.

**Methods.** In this work, the methods of clear and fuzzy clustering are used for the initial setup of the subsystem recognition of apple varieties when forming the automated control of sorting fruits in a stream on a conveyor line.

**Results.** It is noted that the methods and means of algorithmic and informational provision of automated control systems do not allow to identify and select the apples sufficiently effectively in accordance with their characteristics. As a result, it is quite difficult to get high quality control of the process of sorting fruits. The structure of the system for managing the sorting of apples is considered, taking into

account the limited speed of the actuator, with the help of which several applets with the best characteristics are selected. The system provides an estimation of the location of objects of selected varieties, taking into account the speed of the executive mechanism, determining the size, color and location of the visual objects in the frame; On the basis of this information, the objects to be selected from the stream of apples, the segmentation of the frame (search of visual objects) is selected. It is emphasized that the affiliation of certain types of apples is determined by the aggregate of characteristics. Therefore, for the determination of apples to be selected on the conveyor line, it is necessary to investigate clustering methods for the most essential characteristics of apples, since the identification and selection of apples are carried out on the basis of the specified characteristics  $\{d, m, g\}$ . The possibility of applying clear and fuzzy clustering methods for initial adjustment of the subsystem of the recognition of apple varieties was studied in the formation of the automated control of the sorting of fruits in the stream. The convergence of the clustering algorithms of the characteristics of objects, which was checked by the breakdown into the optimal number of clusters, was analyzed, that allowed to evaluate not only the convergence indices, but also to check the expediency of the choice of the optimal number of clusters previously made. It was found that in order to form an automated control of the sorting of apples in the flow, it is advisable to implement the primary setting of the subsystem of the recognition of varieties using the Gustafson-Kessel fuzzy clustering algorithm.

**Key words:** cluster, clustering, automation, sorting apples, conveyor line, quality indicators.