

А. Н. Юрин¹, А. В. Захаров², Е. Ю. Тодоров²

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

²УО «Белорусский национальный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: tvak-tov_80@gmail.ru

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ ПРИ ИХ СОРТИРОВКЕ

Аннотация. В данной статье рассмотрены различные методы идентификации качества плодов с целью их сортировки. На ряду с идентификацией качества органолептическим методом с использованием органов чувств человека рассмотрены способы идентификации на основе механических, физических, химических и электромагнитных свойств плодов с помощью технических средств.

Ключевые слова: эталонные образы, реальные образы, идентификация качества, объекты контроля, статическая идентификация, динамическая идентификация, система технического зрения.

A. N. Yurin¹, A. V. Zakharov², E. Yu. Todorov²

¹RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

²UE “Belarusian National Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: tvak-tov_80@gmail.ru

JUSTIFICATION OF THE METHOD FOR DETERMINING THE QUALITY OF FRUITS DURING THEIR SORTING

Abstract. This article discusses various methods for identifying the quality of fruits in order to sort them. Along with the identification of quality by the organoleptic method using the human senses, methods of identification based on the mechanical, physical, chemical and electromagnetic properties of fruits by means of technical means are considered.

Keywords: reference images, real images, quality identification, control objects, static identification, dynamic identification, vision system.

Введение

Наиболее трудоемкий процесс в производстве плодов – контроль их качества, включающий сортировку с целью удаления нестандартной продукции и примесей. На эти операции приходится до 70 % всех трудозатрат, они ведутся вручную при визуальном контроле [1–3]. Контроль качества и сортировка, направленные на сокращение потерь продукции это сложная задача, решить которую можно только созданием быстродействующих автоматических средств контроля и сортировки. Однако отсутствие теоретических исследований, системно излагающих принципы построения средств контроля и сортировки плодов, – одна из основных причин неразрешенности проблемы.

Основная часть

В настоящее время известен ряд методов и методик, позволяющих контролировать качество плодовой продукции [4–15]. Их можно разделить на субъективные (органолептические) и объективные (технические) методы. Органолептические методы основаны на восприятии человеком (экспертом) внешнего вида, вкуса, запаха, осязания текстуры, а также звука в ответ на воздействие.

Органолептическая идентификация качества (ИК) построена на сопоставлении эталонного образа (ЭО), сформированного человеком на основе предварительных обучающих процедур, с образом контролируемого объекта:

$$ИК = \begin{matrix} ЭО_1 \\ ЭО_2 \\ \dots \\ ЭО_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} РО_1 & РО_2 & \dots & РО_n \\ & A & & \end{matrix} \right|,$$

где ИК – идентификация качества; ЭО – эталонные образы (внешнего вида, вкуса, запаха и т. д.) воспринятых эталонных объектов; РО – реальные образы воспринятых контролируемых объектов; A – некоторое множество соотношений идентифицируемых образов.

Эталонные образы – результат представления некоторых эталонных объектов идентификации качества, восприятия их органами чувств человека и запоминания их человеком:

$$ЭО = \begin{matrix} Э_1 \\ Э_2 \\ \dots \\ Э_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} Ч_1 & Ч_2 & \dots & Ч_n \\ & A_{\Pi} & & \end{matrix} \right|,$$

где Э – эталонные объекты контроля (стандартные образы, объекты высшей категории качества, эталоны качества и др.); Ч – восприятие органами чувств человека; A_{Π} – множество представлений.

Реальные образы формируются, как и эталонные, при экспертизе реальных объектов контроля:

$$ЭО = \begin{matrix} Э_1 \\ Э_2 \\ \dots \\ Э_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} Ч_1 & Ч_2 & \dots & Ч_n \\ & A_{\Sigma} & & \end{matrix} \right|,$$

где ОК – объекты контроля; Ч – восприятие органами чувств человека; A_{Σ} – множество экспертиз.

На рисунке 1 представлена схема процесса идентификации качества плодов органолептическим методом.

Объекты контроля имеют пространственные и временные области ограничения, которые можно классифицировать как *годная* продукция и *дефектная*:

$$ОК = \begin{matrix} ГП_1 \\ ГП_2 \\ \dots \\ ГП_n \end{matrix} \left| \begin{matrix} Д_1 & Д_2 & \dots & Д_n \\ & A_0 & & \end{matrix} \right|,$$

где ГП – области годной продукции (кожица, мякоть, сердцевина и др.); Д – области дефектов (болезни, механические повреждения, загрязненность и др.); A_0 – множество соотношений (пересекаются, объединяются, взаимоисключаются и т. д.).

Эти области могут восприниматься и как единое целое, и по частям.

При оценке качества контролируемый объект представляется несколькими изображениями (копиями). Восприятие копии верное, если оно равнозначно отражает хотя бы некоторые параметры оригинала.

Восприятие органами зрения человека намного информативнее, чем другими органами чувств. Это обеспечивается за счет дистанционности, оперативности, селективности, целенаправленности, чувствительности, гибкости восприятия. Эти достоинства могут служить эталонными критериями при разработке любых технических методов с пожеланием устранения существенного недостатка – неидентичности восприятия разными людьми и нестабильности (за счет утомляемости) восприятия во времени.

Другой принципиальный недостаток органолептических методов – малая функциональная возможность обеспечения всех уровней контроля и управления качеством продукции из-за от-

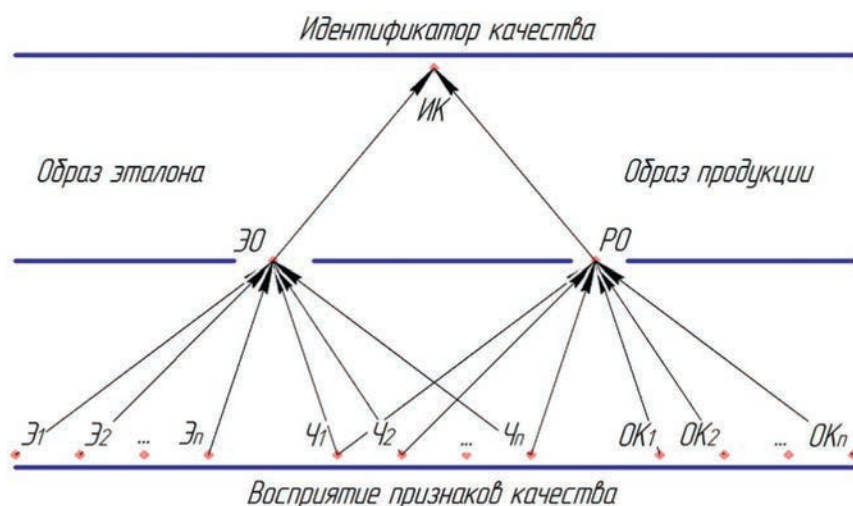


Рисунок 1 – Схема процесса идентификации качества плодовой продукции органолептическим методом:
 Э – эталонные объекты; Ч – человек; ОК – объекты контроля; ЭО – эталонные образы; РО – реальные образы;
 ИК – идентификация качества

сутствия средств построения в требуемых масштабах четких и взаимосвязанных систем обеспечения качества.

Указанные недостатки возможно устранить при разработке технических методов идентификации качества.

Технические методы контроля продукции позволяют значительно расширить структуру идентификации качества за счет иерархического образования дополнительных уровней (статической и динамической идентификации):

$$ИК = \begin{matrix} СИ \\ ДИ \end{matrix} \begin{vmatrix} СИ & ДИ \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix},$$

где ИК – идентификация качества; СИ – статическая идентификация качества; ДИ – динамическая идентификация качества.

Возможности статической идентификации расширяются путем накопления результатов идентификации в зависимости от числа элементов продукции (компонентов, участков плодов, единиц, групп и объемов плодов):

$$СИ = \begin{matrix} ИК_1 \\ ИК_2 \\ \dots \\ ИК_n \end{matrix} \begin{vmatrix} N_1 & N_2 & \dots & N_n \\ & A & & \end{vmatrix},$$

где ИК – идентификация качества единичного элемента продукции; N – число элементов продукции; A – множество реализаций.

Возможности динамической идентификации расширяются за счет накопления результатов идентификации в зависимости от динамических факторов (времени, температуры, окружающей среды и т. п.):

$$ДИ = \begin{matrix} ИК_1 \\ ИК_2 \\ \dots \\ ИК_n \end{matrix} \begin{vmatrix} T_1 & T_2 & \dots & T_n \\ & A & & \end{vmatrix},$$

где T – динамический фактор; A – множество реализаций.

Динамический и статический приемы в совокупности могут образовывать кинетический способ идентификации, учитывающий динамические и статические факторы изменения качества. На рисунке 2 изображена схема процесса идентификации качества плодовой продукции на основе технических методов контроля.

Применение статических, динамических и кинематических (комбинированных) способов идентификации позволяет осуществлять систематизацию и стандартизацию качества плодовой продукции на основе накопления и интерпретации прошлой и текущей информации о качестве, прогнозировать и определять тенденции изменения качества, получать данные для управления качеством.

Статическая идентификация качества основана на сопоставлении некоторых статических параметров, определенных для совокупности контролируемых объектов, например, таких, как математическое ожидание, дисперсия, функция распределения, корреляционные и спектральные функции.

Динамическая идентификация качества предусматривает сопоставление аналогичных параметров, изменяющихся за вегетацию, время хранения и переработки.

Кинетические методы идентификации основаны на представлении качества в виде совокупностей статической идентификации и последовательности динамической идентификации процессов изменения качества, учитывающих их эргодичность и солидарность:

$$КИ = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{Э} & \text{ЛЭ} & \text{НЭ} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{С} \\ \text{ЛС} \\ \text{НС} \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix},$$

где С – стационарный процесс изменения качества; ЛС – локально-стационарный; НС – нестационарный; Э – эргодический; ЛЭ – локально-эргодический; НЭ – неэргодический процесс изменения качества.

Выбор лучших технических методов идентификации качества (таблица) целесообразнее осуществлять в соответствии их уровням качества продукции. Выделим некоторые из них по глубине

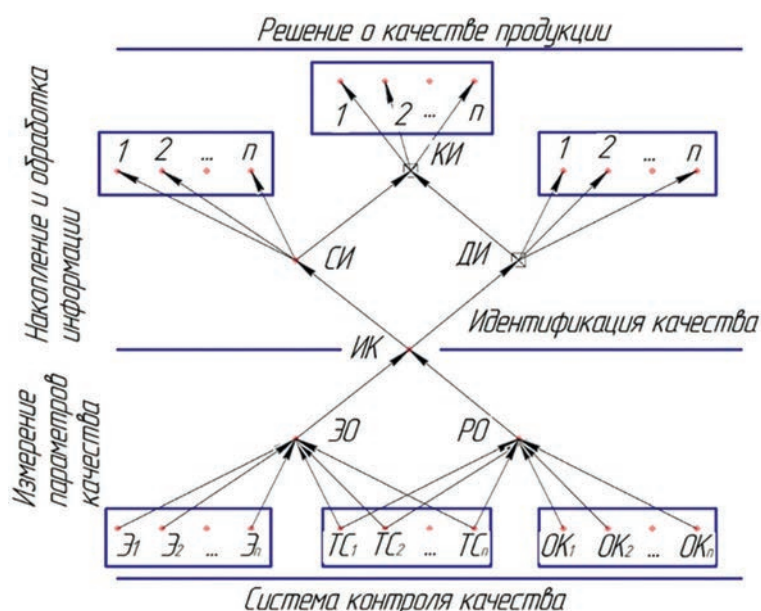


Рисунок 2 – Схема процесса идентификации качества плодовой продукции на основе технических методов контроля: ТС – технические средства контроля; ОК – объекты контроля; Э – эталоны; ЭО и РО – эталонные и реальные образы качества; ИК – идентификация качества; СИ, ДИ, КИ – статическая, динамическая и кинематическая идентификации

интеграции или дифференциации элементов продукции (плодов): 1 – объемный (плоды нескольких видов), 2 – групповой (плоды одного вида); 3 – единичный (плод); 4 – макроструктурный (участок плода); 5 – микроструктурный (компонент участка плода). Обозначим их соответственно $Y_1, Y_2, \dots, Y_5$.

Для этих уровней качества возможна разработка тождественных им технических средств контроля. Обозначим их аналогично уровням качества $TC_1, TC_2, \dots, TC_5$ и определим следующую матрицу соответствия «уровни качества – средство контроля»:

$$M = \begin{matrix} & Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 & Y_5 \\ \begin{matrix} TC_1 \\ TC_2 \\ TC_3 \\ TC_4 \\ TC_5 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & A & \\ & & 1 & & \\ & A & & 1 & \\ & & & & 1 \end{vmatrix} \end{matrix},$$

где 1 – соответствие; A – множество других связей и соответствий.

Лучшим является тот метод, который позволяет контролировать наибольшее число уровней качества при наименьшем числе технических средств (минимальной себестоимости).

Классификация технических методов идентификации качества

Методы идентификации качества	Информативные параметры метода
Механические	Плотность, удельная масса, удельный объем, коэффициенты: трения, качения, скольжения; парусность, размеры, форма
Химические	Термохимия, электрохимия, осаждение осадка, промывание, растворение, экстрагирование, фильтрация
Физические	Удельная теплота, теплопроводность, проводимость, диэлектрическая проницаемость, объемный заряд, потенциал
Электромагнитные	Электрические и магнитные поля, рентгеновские лучи, ультрафиолетовые лучи, инфракрасные лучи, лазерное излучение

Механические методы измерения параметров качества, основанные на использовании средств измерения массы, объема и плотности, линейных размеров, не позволяют полностью отказаться от участия человека в работе, обладают низкой производительностью и информативностью, вследствие чего непригодны для макро- и микроструктурных оценок.

Физические методы контроля основаны на измерении электрических, диэлектрических, акустических параметров и позволяют увеличить количество контролируемых характеристик качества. Однако и они не отличаются высокой производительностью, информативностью и к тому же ограничиваются измерением одних макроструктурных свойств.

Химические методы позволяют оценивать микроструктурные показатели качества, такие как содержание белка, углеводов, липидов, витаминов, аминокислот, микроэлементов.

Однако такие методы слишком сложные, дорогостоящие и неоперативные, вследствие чего применяются только в качестве лабораторных.

При этом оценка качества плодов нуждается в оперативном методе контроля во время перемещения продукции или преобразования ее из одного вида в другой без нарушения целостности продукта, т. е. контроль должен быть неразрушающим, дистанционным.

В то же время *электромагнитные методы*, такие как радиоволновые, СВЧ, оптические, рентгеновские и изотопные, в полной мере соответствуют современным требованиям. Из них *оптические* выделяются высокой точностью измерения качества и большим соответствием условиям технологии. Наиболее важные из них: технологический процесс не должен прерываться или менять скорость, оптическое излучение не должно сказываться на свойствах продукции.

Реализация идентификации качества плодов посредством оптических свойств может быть реализована с помощью системы технического зрения (СТЗ).

СТЗ должна состоять из оптического модуля с установленной структурной подсветкой и видеокамерой, электронного блока управления с интерфейсом и исполнительными механизмами сортировщика и конвейера для плодов.

Оптический модуль располагается над конвейером, по которому транспортируются яблоки. При такой схеме размещения оборудования для обеспечения многосторонней видеосъемки плодов необходимо обеспечить их равномерное вращение вокруг своей оси во время прохождения модуля оптического сортировщика.

Заключение

Повышение качества выполнения технологического процесса сортировки плодов возможно только внедрением в сельскохозяйственное производство автоматизированных средств идентификации качества без участия человека. Наиболее рациональным методом идентификации качества плодов является оптический метод с использованием СТЗ, как обладающий точностью и стабильностью измерения, а также дистанционностью и высокой производительностью.

Список использованных источников

1. Казакевич, П. П. Садоводство Республики Беларусь: проблемы и перспективы развития / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин // Земледелие и растениеводство. – 2020. – № 6. – С. 3–7.
2. Механизация трудоемких процессов в садоводстве : офиц. сайт РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» / А. Н. Юрин, Д. А. Жданко. – Мн., 2018–2025. – URL: <https://belagromech.by/articles/mechanizatsiya-trudoemkih-protsessov-v-sadovodstve/> (дата обращения: 30.04.2024).
3. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2021. – Т. 59. – № 4. – С. 488–500.
4. Кирина, М. В. Применение методов люминесцентного анализа в системах технического зрения при сортировании плодов / М. В. Кирина [и др.] // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Мичуринск, 10–12 ноября 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 188–191.
5. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация производства. – 1989. – № 9. – С. 23–25.
6. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Гурьянов Дмитрий Валерьевич ; Мичуринский ГАУ. – Мичуринск, 2004. – 199 л.
7. Рудник, Ю. А. Робототехническая система для сортирования яблок / Ю. А. Рудник, С. В. Журавлев // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Мичуринск, 10–12 ноября 2014 г. / Мичуринский гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 32–34.
8. Хорт, Д. О. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д. О. Хорт [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – № 1 (38). – С. 133–141.
9. Ganganagowdar, N. V. An intelligent computer vision system for vegetables and fruits quality inspection using soft computing techniques/ N. V. Ganganagowdar, A. V. Gundad // Agricultural Engineering International. CIGR J. – 2019. – Vol. 21. – № 3. – P. 171–178.
10. Lu, Y. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples/ Y. Lu; R. Lu // Transactions of the ASABE. – 2017. – Vol. 60. – № 4. – P. 1379–1389.
11. Kortylewski, A. Training deep face recognition systems with synthetic data / A. Kortylewski [et al.] // Cornell University Library. – 2018. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1802.05891.pdf> (date of access: 16. 04. 2018).
12. Жиркова, А. А. Автоматизированная система гиперспектрального контроля дефектов яблок / А. А. Жиркова, П. В. Балабанов, А. Г. Дивин // Современная наука: теория, методология, практика : материалы III Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., Тамбов, 12–14 апреля 2021 г. / Тамб. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. П. Монастырев [и др.]. – Тамбов, 2021. – С. 291–296.
13. Балабанов, П. В. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П. В. Балабанов [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : сб. матер. II Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 октября 2020 г. : в 2 т. / Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2020. – Т. 2. – С. 44–47.
14. Mehl P. M. Detection of defects on selected apple cultivars using hyperspectral and multispectral image analysis/ P. M. Mehl [et al.] // Appl. Engineering in Agricultural. – 2002. – Vol. 18. – № 2. – P. 219–226.
15. Li, C. Genetic algorithms (GAs) and evolutionary strategy to optimize electronic nose sensor selection / C. Li, P. H. Heinemann, P.M. Reed // Transactions of the ASABE. – 2008. – Vol. 51. – № 1. – P. 321–330.