Тип статьи: научная
УДК 631.362
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-27-37

ОБОСНОВАНИЕ АЛГОРИТМА СОРТИРОВАНИЯ ПЛОДОВ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

***Петр Петрович Казакевич*[1], *Дмитрий Иванович Комлач*[2], *Антон Николаевич Юрин*[3]**
[1]*Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*
[1]oan2011@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-9102-2816
[2,3]*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, Минск, Республика Беларусь*
[2]komlach.d@mail.ru, http://orcid.org/0009-0009-2099-8975
[3]anton-jurin@rambler.ru, http://orcid.org/0000-0001-9348-8110

Автор, ответственный за переписку: Петр Петрович Казакевич, oan2011@mail.ru
Corresponding author: Petr Kazakevich, vitin-10.pet@mail.ru

Реферат. *В Республике Беларусь для яблок, поступающих в розничную торговлю стандарт предусматривает разделение на три сорта: высший, первый и второй. В статье рассмотрена общая схема автоматизированной сортировки плодов как процесса состоящего из их подачи, классификации и механического разделения. Подача плодов призвана решать вопросы формирования потока и транспортирования плодов, классификация – обнаружения и распознавания структуры плода, принятие решения, а механическое разделение потока – удар и смену направления движения плодов. Для исследований использовались яблоки урожая 2021 года сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер». Анализ физических параметров показал, что их размеры подчиняются закону нормального распределения, при этом минимальный размер плода составляет 45 мм, а наибольший – 95 мм, что неизбежно приводит к образованию «двоек» плодов, при формировании потока. Анализ вероятности появления возможных «двоек» плодов с учетом агротехнических требований, позволил обосновать модель автоматизированного процесса, при котором «двойки» плодов относятся к более высокому сорту. Предложена модель сортирования яблок по качеству на 4 класса. Результаты исследований применены при разработке технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 в НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. Анализ приемочных испытаний показал точность сортирования плодов по размеру 75,4 %, по размеру и наличию дефектов – 73,1 %.*

Ключевые слова: *подача, формирование потока, транспортирование, классификация плодов, обнаружение признаков, распознавание структуры, принятие решений, механическое разделение, «двойки» плодов, модель сортирования, исходное состояние, качественный плод, некачественный плод, сорт яблок.*

SUBSTANTIATION OF THE ALGORITHM FOR PERFORMING THE PROCESS OF FRUIT SORTING BY A VISION SYSTEM

***Petr Kazakevich* [1], *Dmitry Komlach* [2], *Anton Yurin* [3]**
[1]*Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*
[1]oan2011@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-9102-2816
[2,3] *Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, Minsk, Republic of Belarus*
[2]komlach.d@mail.ru, http://orcid.org/0009-0009-2099-8975
[3]anton-jurin@rambler.ru, http://orcid.org/0000-0001-9348-8110

Abstract. *The standard for apples entering the retail trade in the Republic of Belarus provides for the division into three grades: the highest, the first and the second. The general scheme of automated sorting of fruits as a process consisting of their supply, classification and mechanical separation is considered in the article. Feeding of fruits is designed to solve the issues of flow formation and transportation of fruits, classification - detection and recognition of the structure of the fruit, decision making, and mechanical separation of the flow - impact and change of direction of fruit movement. Apples from the 2021 harvest of the Imant, Verbnoye, and Gloucester varieties were used for the study. The analysis of physical parameters showed that their sizes obey the law of normal distribution, while the minimum size of the fetus is 45 mm, and the largest is 95 mm, which inevitably leads to the formation of "twos" of fruits during the formation of the flow. An analysis of the probability of the appearance of possible "twos" of fruits, taking into account agrotechnical requirements, made it possible to substantiate a model of an automated process in which "twos" of fruits belong to a higher grade. A model for sorting apples by quality into 4 classes was proposed. The results of the research were applied in the development of a technological line for sorting and packing apples LSP-4 at the Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for agricultural mechanization. The analysis of acceptance tests showed the accuracy of sorting fruits by size 75.4%, by size and the presence of defects - 73.1%.*

Keywords: *feeding, flow formation, transportation, fruit classification, feature detection, structure recognition, decision making, mechanical separation, fruit "twos", sorting model, initial state, quality fruit, poor quality fruit, apple variety.*

Для цитирования: Казакевич П.П., Комлач Д.И., Юрин А.Н. Обоснование алгоритма сортирования плодов системой технического зрения // Наука в центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 27-37. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-27-37.

For citation: Kazakevich P., Komlach D., Yurin A. Substantiation of the algorithm for perfoming the process of fruit sorting by a vision system. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 27-37. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-27-37.

Благодарности: Работа выполнялась в рамках задания 5 «Разработать и освоить производство технологической линии сортировки и фасовки яблок» подпрограммы «Белсельхозмеханизация-2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021-2025 гг.

Acknowledgments: The work was carried out as part of task 5 "Develop and master the production of a technological line for sorting and packing apples" of the subprogram "Belselkhozmekhanizatsiya-2025" of the state scientific and technical program "Innovative agro-industrial and food technologies" 2021-2025.

Введение. Потери плодов от уборки и до момента поступления к конечному потребителю составляют до 30 %. Это вызывает потребность их сортирования. В настоящее время контроль качества плодов – мало механизированный процесс и на его выполнение приходится до 70 % всех трудозатрат товарной их обработки [1-4].

В процессе сортировки учитывается размер плодов, их цвет, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

Качественно данную работу при ручном сортировании может выполнить опытный специалист-сортировщик. Однако производительность работ при ручной сортировке на три товарных сорта составляет 40-70 кг/ч, хотя плоды и подвергаются минимальному механическому травмированию [1].

В 2020 г. в общественном секторе Республики Беларусь произведено более 150 тыс. т яблок. Для осуществления их сортировки требуются трудозатраты в количестве 24 тыс. чел-дней [2]. Учитывая складывающийся дефицит рабочих в сельском хозяйстве, актуально внедрение в производство средств механизации и автоматизации, облегчающих или полностью исключающих ручной труд при сортировке плодов.

Из всех известных средств автоматизации, предназначенных для такой цели, наиболее качественно этот процесс может быть выполнен только оптическими средствами контроля на основе системы технического зрения (в дальнейшем – СТЗ).

В этой связи создание технического средства с СТЗ, позволяющего определить качество поверхности плода без его повреждения, по аналогии как это делает человек [4-8], является важной агроинженерной задачей.

Материалы и методы.

При проведении исследований использовались плоды урожая 2021 г производства ОАО «Остромечево» сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер», а также СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия».

Результаты и их обсуждение.

Обоснование модели сортирования плодов. Первым этапом при создании СТЗ является определение модели функционирования, формирующей в дальнейшем алгоритм её работы и технические возможности.

Так любое устройство для автоматической сортировки плодоовощной продукции должно выполнять процессы подачи плодов, их классификации и разделения. В зависимости от целей сортировки, вида продукции и требований к её выходной части, каждый из этих процессов может иметь свои особенности. Поэтому при анализе разделим их на подпроцессы.

Так подачу плодов рассмотрим, как формирование потока и транспортирование, классификацию – как обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений на основе заложенных в «память» предписаний, а процесс механизированного разделения – как подпроцессы взвода исполнительного механизма, удара и движения объекта после него (рисунок 1).

Тогда сортировка может быть представлена в виде случайных процессов [1].

Рисунок 1 – Функциональная схема системы сортировки плодов по качеству

Процессы, представленные на рисунке 1 могут быть описаны следующим образом с пятью состояниями: S_1 – исходное, S_2 – классификация объекта как качественного, S_3 – классификация объекта как некачественного, S_4 – перемещение объекта к группе качественных плодов, S_5 – перемещение объекта к группе некачественных плодов (рисунок 2).

В то же время при формировании потока из-за большой вариации размерных характеристик плодов в зону контроля могут одновременно попадать два объекта («двойки») в различных сочетаниях: «качественный-некачественный», «качественный-качественный», «некачественный-некачественный».

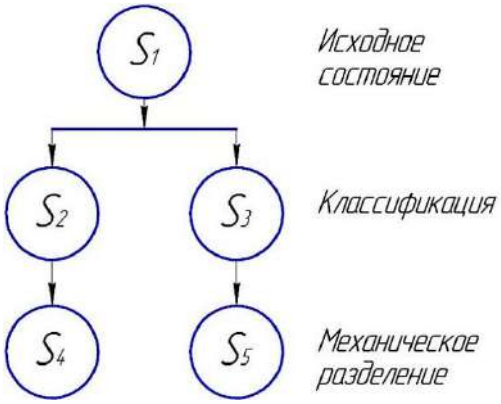

Рисунок 2 – Упрощенная модель процесса сортировки плодов

Тогда модель процесса автоматической сортировки плодов будет включать 18 состояний и может быть представлена следующим образом (рисунок 3).

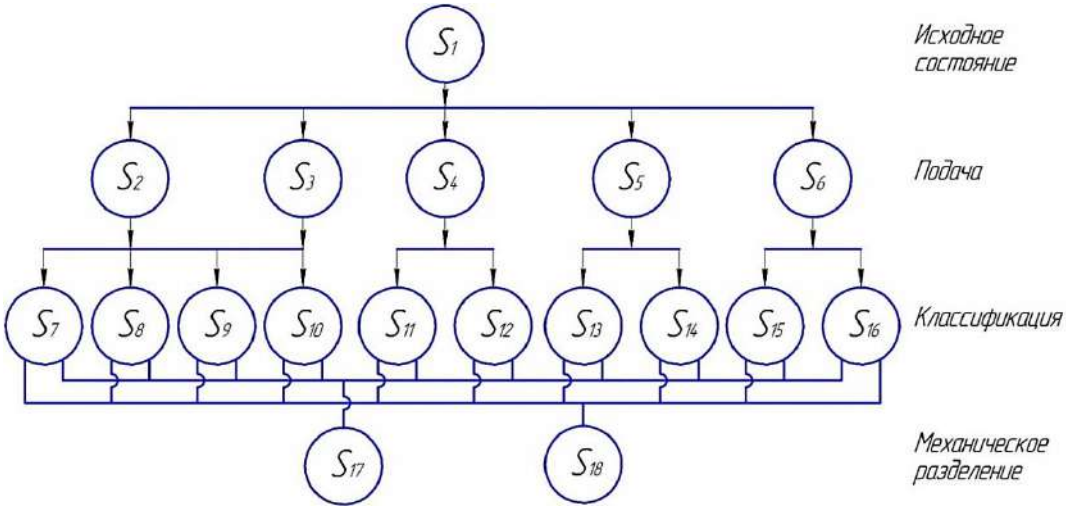

Рисунок 3 – Модель процесса сортировки плодов с учетом появления «двоек»

S_1 – исходное состояние; S_2 – одиночный качественный плод; S_3 – одиночный некачественный плод; S_4 – два качественных плода; S_5 – два некачественных плода; S_6 – качественный-некачественный плод; $S_7 - S_{16}$ – классификация плодов на классы, где четные – некачественные плоды, а нечетные – качественные; S_{17} – перемещение плода в качественные; S_{18} – перемещение плода в некачественные.

В связи с тем, что состояния классификации «качественные плоды» совпадают, их можно объединить. Тогда модель процесса сортировки примет вид (рисунок 4).

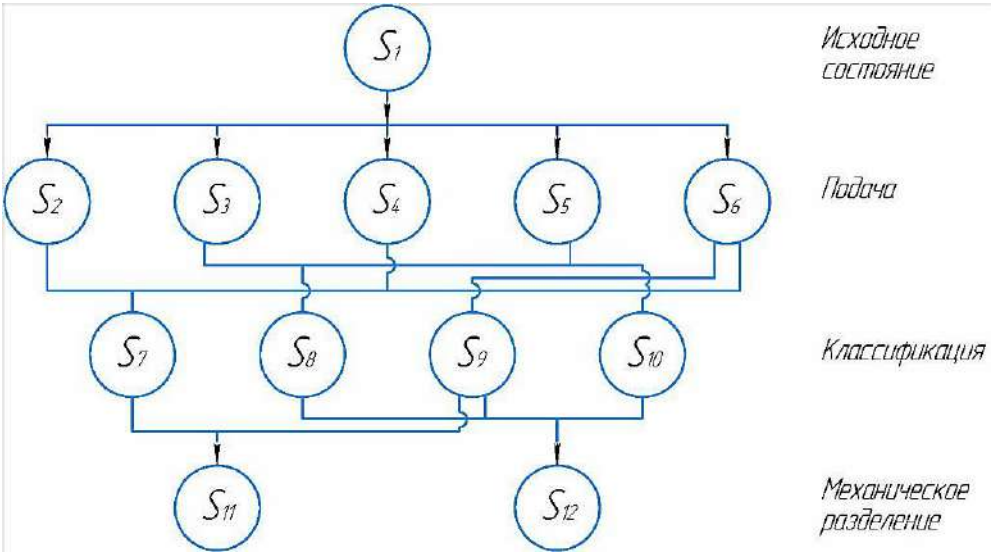

Рисунок 4 – Модель сортирования плодов по качеству на два класса

На рисунках 3 и 4 состояния $S_1 \dots S_6$ одинаковы. Состояние S_7 обозначает «качественные плоды» для одиночных и сдвоенных плодов, S_8 – «некачественные плоды» для одиночных плодов, S_9 – «некачественные» плоды для двоек качественный-некачественный плод, S_{10} – «некачественные плоды» для двоек некачественных плодов. Состояния S_{11} и S_{12} соответствуют разделению плодов на «качественные» и «некачественные».

В Республике Беларусь плоды, поступающие в розничную торговлю должны соответствовать СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие, поздних сроков созревания. Технические условия» [8]. Данный стандарт предусматривает разделение плодов на три сорта: высший, первый и второй. В процессе сортировки же плодов необходимо выделение ещё одного сорта, к которому относятся яблоки, не соответствующие ни одному из ранее указанных сортов – безсортовые (в дальнейшем – б/с).

Тогда модель сортирования яблок по качеству на 4 класса будет выглядеть следующим образом (рисунок 5).

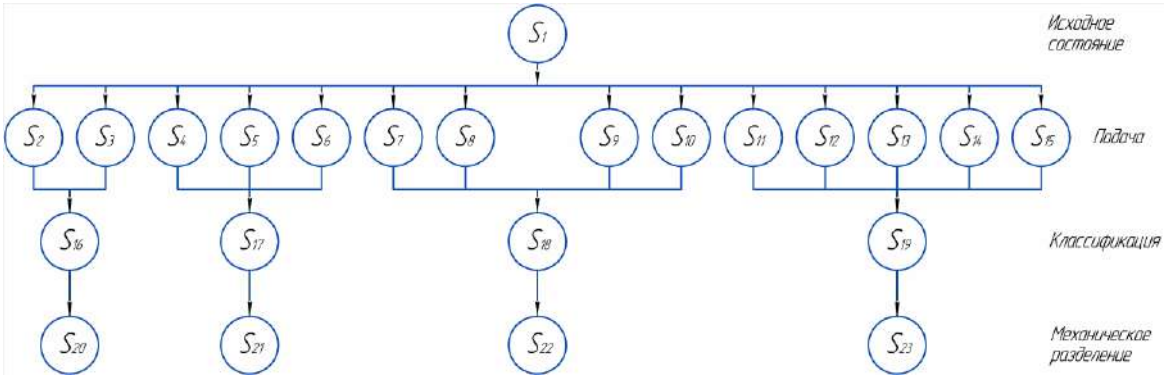

Рисунок 5 – Модель сортирования яблок по качеству на четыре класса с отнесением «двоек» к более низкому сорту

В данной модели S_1 – исходное состояние; S_2 и S_3 – одиночный плод высшего сорта и «двойка» плодов высшего сорта; S_4 и S_5 – одиночный плод первого сорта и «двойка» плодов первого сорта; S_6 – «двойка» плодов первого и второго сортов; S_7 и S_8 – одиночный плод второго сорта и «двойка» плодов второго сорта; S_9 и S_{10} – «двойки» плодов из первого-второго и высшего-второго

сортов; S_{11} и S_{12} – одиночный и парные б/с плоды; S_{13}, S_{14}, S_{15} – «двойки» из пар первый-б/с, второй-б/с и высший-б/с плоды; $S_{16} - S_{19}$ – классификация одиночных и «двоек» плодов на высший, первый, второй сорта и б/с; $S_{20} - S_{23}$ – механическое разделение плодов на высший, первый, второй сорта и б/с.

При внедрении данной модели все «двойки» плодов будут относится к сорту соответствующему более низкому сорту плода из рассматриваемой «двойки». То есть пара «высший- первый» будет отнесена к первому сорту, пара «первый-второй» - ко второму сорту и так далее.

Такой подход позволит получать плоды высшего и первого сорта без «примесей», т.е. более высокого качества. Однако, потери плодов высокого качества при определенных условиях могут быть значительными.

В то же время в СТБ 2288 допускается некоторое количество примесей плодов, не относящихся к данному сорту. Так в яблоках высшего сорта не допускается присутствие яблок второго сорта и без сортовых, а в яблоках первого сорта – только без сортовых. При этом в высшем сорте допускается присутствие яблок первого сорта не более 10% по размеру и не более 5% по остальным показателям качества. Для яблок первого сорта допустимое количество плодов второго сорта – не более 10% по все показателям качества. Для плодов второго сорта количество без сортовых яблок должна быть не более 10% по все показателям качества.

Очевидно, что при соблюдении указанных условий «двойки» плодов могут быть отнесены к более высокому сорту плодов.

С учетом этого модель сортирования яблок по качеству может быть представлена в следующем виде (рисунок 6).

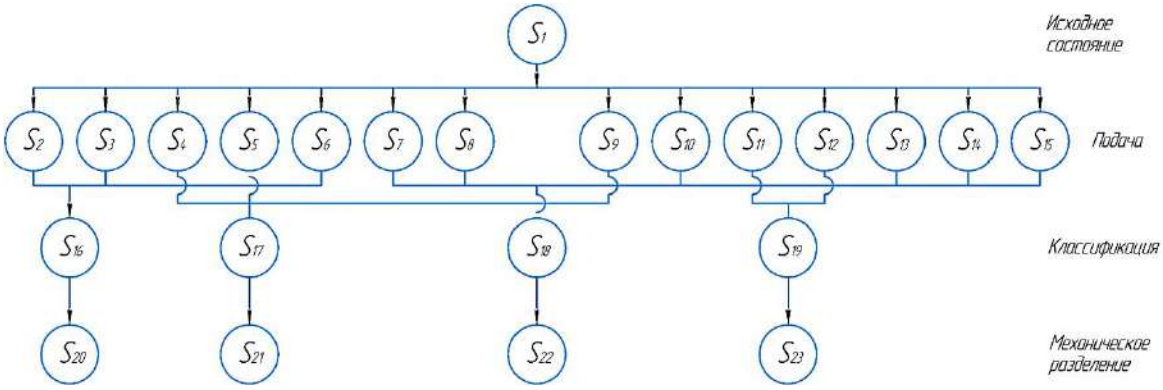

Рисунок 6 – Модель сортирования яблок по качеству на четыре класса с отнесением «двоек» к более высокому сорту

Для определения возможности использования данной модели был выполнен анализ размерных характеристик плодов и определена вероятность появления различных вариантов их «двоек».

Анализ размеров яблок сортов «Имант», «Глостер» и «Вербное» показал (таблица 1), что их величины подчиняются нормальному закону распределения Гаусса, для которого плотность вероятности распределения размеров:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(X-m_x)^2}{2\sigma^2}},$$

где X, m_x, σ – размер, математическое ожидание и разброс размеров плодов.

Таблица 1 – Физические характеристики плодов

Наименование показателей	Значение показателей		
Сорт яблок	«Имант»	«Глостер»	«Вербное»
Содержание плодов в исходном материале (по размеру), %			
– 0–65 мм	22,9	17,5	0
– 65–78 мм	69,5	60,7	27,1
– 78-100 мм	7,6	21,8	72,9
– более 100 мм	0	0	0
Характеристика плодов:			
– средний диаметр, мм	70	75	82
– средняя высота, мм	62	67	71
– средняя масса, г	152	188	227
– максимальный диаметр, мм	85	92	95
– минимальный диаметр, мм	45	45	45

При этом размер плодов изменяется в широких пределах. Так их минимальный размер составляет 45мм, а максимальный – 95 мм.

Для обеспечения автоматической сортировки необходимо решение задачи поштучной подачи плода, которая сводится к прохождению его через заданную ячейку. При этом через нее должен пройти любой плод, два плода одновременно пройти не должны. Такая ячейка может быть описана постоянной плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{1}{h_{\text{в}} - h_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $f(x)$ – плотность распределения вероятности пропускной способности ячейки;

$h_{\text{в}}, h_{\text{н}}$ – верхняя и нижняя границы пропускной способности ячейки.

Плотность распределения вероятности выстраивания плодов по одному в общем случае может быть определена как плотность распределения системы независимых случайных величин $p(x)$ и $f(x)$. Вероятность выстраивания по одному в общем случае может быть определена по формуле:

$$P_{\text{ед}} = \int_{h_{\text{н}}}^{h_{\text{в}}} p(x)\ f(x)dx, \quad (2)$$

Для нормального закона распределения плотности вероятности выстраивания плодов $p(x)$ с учетом выражения 1 вероятность выстраивания плодов имеет вид:

$$P_{\text{ед}} = \frac{1}{2}\left[\Phi\left(\frac{h_{\text{в}} - m_x}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{m_x - h_{\text{н}}}{\sigma}\right)\right],$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$

Из выражения 2 следует, что наложение функции $p(x)$ и $f(x)$ позволяет выявить три области: от 0 до $h_{\text{н}}$ – вероятность выстраивания плодов по два и более, от $h_{\text{н}}$ до $h_{\text{в}}$ – поштучно, от $h_{\text{в}}$ до ∞ – вероятность, что плод не пройдет через ячейку из за большого размера, то есть возможен затор. Плоды небольших размеров, оказываясь одновременно в зоне поштучного формирования, могут образовывать «двойки», то есть проходить по два сразу. Считая, что одновременно можно наблюдать в зоне контроля не более двух плодов, вероятность появления «двоек» можно определить по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \left[k_{\text{дв}} \int_0^{h_{\text{н}}} p(x)\, dx\right]^2, \quad (3)$$

где $k_{\text{дв}}$ – коэффициент появления «двойки».

В расчетах принимаем $k_{\text{дв}} = 1$.

В связи с тем, что плоды размерами, близкими к $h_в$, с трудом проходят через формирующее устройство, получается много «пропусков», то есть интервал между плодами дискретно меняется от Δ до $n\Delta$ (где $n = 2,3, \ldots$). Это снижает плотность потока и производительность. Поэтому целесообразно соблюдать условие:

$$h_в \approx (1,1 \ldots 1,2)x_{max}. \quad (4)$$

Исходя из выражения 4 можно $h_в$ определить с учетом дисперсии:

$$h_в = m + \acute{\varepsilon}\sigma,$$

где $\acute{\varepsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Соответственно

$$h_н = \frac{h_в}{2} = \frac{m + \acute{\varepsilon}\sigma}{2}$$

С другой стороны, для систем поштучной подачи по одному признаку

$$h_н \leq x_{min} = m - \ddot{\varepsilon}\sigma$$

где $\ddot{\varepsilon}$ – число, определяющее доверительный интервал в сторону максимума.

Исходя из изложенного принимаем размер ячейки устройства для формирования потока $h_в = 10,5$ см.

При таком размере ячейки возможно формирование следующих «двоек» плодов (таблица 2), вероятность возникновения которых определялась по зависимости 3:

Таблица 2 – Вероятность возникновения «двоек» плодов

Номер	Диаметры плодов из «двойки», мм	Вероятность возникновения «двоек» для яблок сортов		
		«Имант»	«Глостер»	«Вербное»
1	45 и 60	0,01	0,009	0,009
2	45 и 55	0,003	0,0032	0,0034
3	45 и 50	0,001	0,0085	0,0088
4	45 и 45	0,001	0,0009	0,0009
5	50 и 55	0,003	0,0037	0,0038
6	50 и 50	0,001	0,009	0,009

В соответствии с СТБ 2288 к высшему сорту могут быть отнесены яблоки диаметром более 60 мм, чему удовлетворяет пара №1 с вероятностью появления не более 1%. К первому сорту относятся плоды диаметром 50-60 мм, что соответствует парам №2, 3, 5, 6, что дает суммарную вероятность возникновения данных «двоек» не более 2,5 %.

Таким образом, количество примесей в плодах высшего сорта не превысит 1%, в плодах первого сорта – не более 2,5%, а в плодах второго сорта – не более 1%.

Это подтверждает, что наиболее рациональной для автоматической сортировки является модель с делением плодов на четыре сорта и отнесением «двоек» к более высокому сорту.

Реализация результатов исследований. На основе выполненных исследований в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 [10-11].

Приемочные испытания линии проходили в ОАО «Остромечево» Брестского района в 2020–2021 годах. По результатам приёмочных испытаний технологической линии получен положительный протокол от 25 февраля 2022 года № 004-1/3-2022 [9].

Анализ результатов испытаний показал, что технологическая линия в целом, соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей. При этом точность сортирования плодов по размеру составила 75,4 %, а точность сортирования по размеру и наличию дефектов – 73,1 %. Это подтверждает эффективность выбора модели функционирования автоматизированной системы сортирования яблок.

Выводы:

1. Размерные характеристики яблок сортов «Имант», «Вербное» и «Глостер» подчиняются нормальному закону распределения Гаусса.
2. Вследствие большой вариации размерных характеристик плодов при автоматизированной сортировке яблок неизбежно образование «двоек», при которых в зону контроля одновременно попадают два объекта в различных сочетаниях сортовых качеств.

Анализ вероятности возникновения «двоек» и сортовых требований к качеству плодов позволил обосновать модель процесса автоматической сортировки яблок на четыре класса (высший, первый, второй и безсортовой) с отнесением «двоек» к более высокому сорту.

Список источников

1. Старовойтов, В.И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В.И. Старовойтов, А.М. Башилов, А.Л. Андержанов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 197 с.
2. А.Н. Юрин, Д.А. Жданко. Механизация трудоемких процессов в садоводстве. Механизация трудоемких процессов в садоводстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protsessov-v-sadovodstve/. – Дата доступа: 30.04.2018.
3. Юрин, А. Н. Актуальность проблемы дефицита плодов и ягод в Республике Беларусь и пути ее решения / А. Н. Юрин, А. А. Игнатчик, В. В. Викторович. // Научно–технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.–тех. конф., Минск, 17–18 октября 2019 г. / Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; ред.: П. П. Казакевич, Е. В. Корзун ; рец.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2019. – С .89–95.
4. Лобачевский Я.П. [и др.]. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://belagromech.by/articles/razvitie-tehnicheskih-sredstv-dlya-vozdelyvaniya-mnogoletnih-nasazhdenij-v-sadovodstve-rossii-i-belarusi/ – Дата доступа: 30.04.2018.
5. Балабанов, П.В. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П.В. Балабанов П.В. [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020. / Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов, 2020. – Т.1 – С. 44-47.
6. 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 ноя. 2014. / Мичуринский государственный аграрный университет. – Мичуринск, 2014. – С. 188-191.
7. Использование систем технического зрения для качественной сортировки плодов персика по окраске. (Иран) / Esehaghbeygi A., Ardforoushan M., Monajemi S.A.H., Masoumi A.A. Digital image processing for quality ranking of saffron peach // Intern. Agrophysics. – 2010. – Vol.24. – N 2. – P. 115-120.
8. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2012. – 11 с.
9. Протокол приемочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 : №004 1/3-2022 : введ. 25.02.2022. – п. Привольный : ГУ «Белорусская МИС», 2022. – 99 с.
10. Юрин, А.Н. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при

сортировке яблок /А.Н. Юрин, В.В. Викторович, А.А. Игнатчик // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно–практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; ред.: П. П. Казакевич [и др.] ; рец.: В. В. Азаренко [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2022. – В ып. 55 – С.88–95.

Казакевич, П.П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488-500.

References

1. Starovoitov, V.I. Automation of quality control of potatoes, vegetables and fruits / V.I. Starovoitov, A.M. Bashilov, A.L. Anderzhanov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 197 p.

2. A.N. Yurin, D.A. Zhdanko. Mechanization of labor-intensive processes in horticulture. Mechanization of labor-intensive processes in horticulture [Electronic resource]. – Access mode: https://belagromech.by/articles/mehanizatsiya-trudoemkih-protsessov-v-sadovodstve/. – Access date: 04/30/2018.

3. Yurin, A. A. The relevance of the problem of the shortage of fruits and berries in the Republic of Belarus and ways to solve it / A. N. Yurin, A. A. Ignatchik, V. V. Viktorovich. // Scientific and technical progress in agricultural production: materials of the international. scientific-tech. conf., Minsk, October 17–18, 2019 / Nat. acad. Sciences of Belarus, Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization"; editors: P. P. Kazakevich, E. V. Korzun; rec.: P. P. Kazakevich [and others]. - Minsk: Belarusian Science, 2019. - P. 89–95.

4. Lobachevsky Ya.P. [and etc.]. Development of technical means for the cultivation of perennial plantations in horticulture in Russia and Belarus. Development of technical means for the cultivation of perennial plantings in horticulture in Russia and Belarus [Electronic resource]. – Access mode: https://belagromech.by/articles/razvitie-tehnicheskih-sredstv-dlya-vozdelyvaniya-mnogoletnih-nasazhdenij-v-sadovodstve-rossii-i-belarusi/ – Access date: 04/30/2018.

5. Balabanov, P.V. Robotic complex for sorting apples / P.V. Balabanov P.V. [et al.] // Digitalization of the agro-industrial complex: materials of the Intern. scientific-practical. Conf., Tambov, 21–23 Oct. 2020. / Tambov State Technical University. - Tambov, 2020. - V.1 - S. 44-47.

6. Kirina, M.V. Application of methods of luminescent analysis in technical vision systems when sorting fruits / M.V. Kirina [et al.] // Robotics in agricultural technologies: materials of the Intern. scientific-practical. Conf., Michurinsk, Nov. 10–12. 2014. / Michurinsk State Agrarian University. - Michurinsk, 2014. - S. 188-191.

7. The use of vision systems for high-quality sorting of peach fruits by color. (Iran) / Esehaghbeygi A., Ardforoushan M., Monajemi S.A.H., Masoumi A.A. Digital image processing for quality ranking of saffron peach // Intern. Agrophysics. - 2010. - Vol.24. - N 2. - P. 115-120.

8. Fresh apples of late ripening. Specifications: STB 2288-2012. - Input. 08.11.12. - Minsk: State Standard Belarus. state in-t of standardization and certification, 2012. - 11 p.

9. Acceptance test protocol for the technological line for sorting and packaging apples LSP-4: No. 004 1/3-2022: input. 02/25/2022. - Privolny village: State Institution "Belarusian MIS", 2022. - 99 p.

10. Yurin, A.N. Reducing labor costs by using a vision system when sorting apples / A.N. Yurin, V.V. Viktorovich, A.A. Ignatchik // Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection / National Academy of Sciences of Belarus, Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization"; editor: P. P. Kazakevich [and others]; rec.: V. V. Azarenko [and others]. - Minsk: Belarusian Science, 2022. - In issue. 55 - P.88-95.

Kazakevich, P.P. Kazakevich P.P., Yurin A.N., Prokopovich G.A. Vision system for apple defects recognition: substantiation, development, testing // Ves. National acad. Sciences of Belarus. Ser. agrarian navuk. - 2021. - T. 59, No. 4. - S. 488-500.

Информация об авторах

П.П. Казакевич - член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси; Д.И. Комлач - кандидат технических наук, доцент, генеральный директор РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; А.Н. Юрин - кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Information about the authors

P. Kazakevich - Corresponding Member, Ph. D. (Engineering), professor. Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus; D. Komlach - Ph.D. (Engineerig), Associate Professor. General Director Scientific and Production Center of the NAS of Belarus for Agricultural Mechanization; A. Yurin - Ph. D. (Engineerig), Associate Professor, Scientific and Production Center of the NAS of Belarus for Agricultural Mechanization.

Вклад авторов: П.П. Казакевич – научное руководство; концепция исследования; доработка текста, итоговые выводы; Д.И. Комлач – научное руководство; концепция исследования, итоговые выводы; А.Н. Юрин - реализация исследований; написание исходного текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: P. Kazakevich – scientific leadership; research concept; revision of the text, final conclusions ; D. Komlach – scientific guidance; conceptual studies, final results; A. Yurin - research implementation; writing the original text; final conclusions.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 28.02.2023 Принята к публикации (Accepted): 04.04.2023