

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, 13–14 апр. 2021 г. / Тамб. гос. техн. ун-т ; редкол.: П. В. Монастырев [и др.]. – Тамбов, 2021. – С. 291–296.

13. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П. В. Балабанов [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : сб. науч. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020 г. : в 2 т. / Тамб. гос. техн. ун-т [и др.]. – Тамбов, 2020. – Т. 2. – С. 44–47.

14. 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., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 188–191.

15. Detection of defects on selected apple cultivars using hyperspectral and multispectral image analysis [Разработка и лабораторные испытания простой мультиспектральной системы для обнаружения дефектов на поверхности яблок трех сортов. (США)]. P.M. Mehl [et al.] // Appl. Engineering in Agriculture. – 2002. – Vol. 18, N 2. – P. 219–226.

16 Li, C. Genetic algorithms (GAs) and evolutionary strategy to optimize electronic nose sensor selection [Генетические алгоритмы и стратегия развития выбора оптимальных сенсоров «электронного носа» к определению дефектов яблок. (США)] / C. Li, P. H. Heinemann, P. M. Reed // Trans. of the ASABE. – 2008. – Vol. 51, N 1. – P. 321–330.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022  
Received 19.10.2022

**А. Н. Юрин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ПОТОКА ПЛОДОВ ПРИ СОРТИРОВКЕ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

*Аннотация.* В данной статье приведен анализ способов автоматизированного разделения потока плодов при их сортировке оптическим методом посредством системы технического зрения. Обоснована схема работы исполнительного механизма делителя потока плодов и экспериментально определен алгоритм определения времени запаздывания срабатывания исполнительного механизма в зависимости от скорости движения главного конвейера.

*Ключевые слова:* плоды, поток плодов, разделение потока, исполнительный механизм, схема работы, математическое ожидание, траектория движения плода.

**A. N. Yurin**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **AUTOMATED FRUIT FLOW DIVISION DURING SORTING BY VISION SYSTEM**

*Abstract.* This article provides an analysis of methods for automated separation of the flow of fruits during their sorting by the optical method through a vision system. The operation scheme of the fruit flow divider operating mechanism is substantiated and the algorithm for determining the delay time of the actuator operation depending on the speed of the main conveyor is experimentally determined.

*Keywords:* fruits, fruit flow, flow separation, actuator, scheme of work, mathematical expectation, fetal movement trajectory.

### **Введение**

Повышение производительности труда при сортировании плодов семечковых культур возможно за счет сокращения времени осмотра плода с помощью автоматических сортировочных устройств. Такая сортировка должна осуществляться сканирующим устройством без участия или с частичным участием человека [1–7].

Из всех существующих методов идентификации качества плодов наиболее подходящим для автоматизации является метод оптического контроля посредством системы технического зрения, как метод, обеспечивающий высокую производительность и точность измерения контролируемых параметров.

Технологический процесс такой сортировки состоит из трех основных этапов: формирования потока, классификации и механическое разделение потока плодов на сорта.

При этом параметры устройства для разделения потока плодов определяют производительность машины и точность сортирования плодов в целом.

Поэтому обоснование параметров устройства для разделения потока плодов является важным этапом при создании автоматизированных средств контроля качества плодов.

### Основная часть

**Обоснование типа и схемы работы устройства для разделения потока плодов.** Механическое разделение плодов – завершающий этап всего процесса сортировки. Положение плодов в пространстве может быть определено траекторией движения центров массы.

Исходное положение плодов перед разделением их на классы можно записать в виде вектор-столбца математического ожидания координат траекторий центров плодов:

$$M_p = \begin{pmatrix} \bar{m}_x \\ \bar{m}_y \\ \bar{m}_z \end{pmatrix},$$

где  $\bar{m}_x$ ,  $\bar{m}_y$ ,  $\bar{m}_z$  – математическое ожидание координат траекторий движения в трех измерениях:  $X, Y, Z$ .

Поскольку плоды имеют вероятностные геометрические характеристики, траектории движения центров плодов будут иметь разброс, характеризуемый ковариационной матрицей:

$$\Sigma_p = \begin{pmatrix} \sigma_{xx}^2 & \sigma_{xy}^2 & \sigma_{xz}^2 \\ \sigma_{yx}^2 & \sigma_{yy}^2 & \sigma_{yz}^2 \\ \sigma_{zx}^2 & \sigma_{zy}^2 & \sigma_{zz}^2 \end{pmatrix}.$$

В общем случае задача разделения потоков заключается в перемещении пространственных координат классов один относительно другого в физическом пространстве.

Принципиальная особенность задачи разделения – перемещение координат классов в физическом пространстве, размерность которого ограничена тремя координатами.

Важнейшими критериями качества разделения классов служат вероятность ошибки при выделении каждого класса в трехмерном физическом пространстве, а также средняя ошибка разделения классов, определяемая как взвешенная сумма ошибок выделения каждого класса. При разделении классов используем показатель качества разделения классов яблок – процент правильно выделенных объектов по всем классам, а также для каждого класса в отдельности. Вероятность ошибки – наиболее эффективный априорный критерий – может быть вычислена с использованием обучающей выборки:

$$P_{ош} = 1 - \sum_{i=1}^{A_n} \iiint p\left(x, y, \frac{z}{A_i}\right) P(A_i) dx dy dz,$$

где  $p\left(x, y, \frac{z}{A_i}\right)$  – плотность распределения вероятностей вектора  $X, Y, Z$  при условии, что они принадлежат  $A_i$ ;  $P(A_i)$  – априорная вероятность наличия класса  $A_i$  в исходном массиве плодов.

Вероятность ошибки работы исполнительного механизма зависит от разделяемых потоков плодов и типа потока. Для этого процесса необходимы следующие характеристики: координаты

в пространстве в момент вхождения в зону действия исполнительного механизма, время вхождения, скорость, траектория, расстояние от соседнего плода, размер и форма плода, ориентация, масса. Их можно разделить на группы: физические и пространственные. Если первая группа характеристик задается, то вторая зависит от типа потока, благодаря чему её параметры можно целенаправленно изменять.

Как правило, большинство сортирующих автоматов осуществляет разделение потоков плодов на два класса качества: здоровый – некондиционный, плод – примесь, нормальный (по форме) – уродливый и т.д. При этом в большинстве случаев разделение потоков осуществляется в пространстве контактным взаимодействием рабочего органа исполнительного механизма с каждым в отдельности объектом, классифицированным к отделению. Проконтролированные плоды, отрываясь от несущей рабочей поверхности, на которой каждому из них был установлен логический аналог качества 0 или 1, в свободном падении проходят зону действия исполнительного механизма. По командному сигналу блока управления исполнительный механизм, срабатывая, должен направлять объекты на соответствующие отводящие или технологические транспортеры.

В то же время при сортировке яблок в соответствии с требованиями СТБ 2288-2012 «Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия» [8] необходимо разделение плодов на три сорта (высший, первый и второй). Кроме того, необходимо отделение некондиционных плодов, по своим качествам не относящихся ни к одному из указанных ранее сортов. В данной ситуации рациональным является применение нескольких отводных транспортеров, предназначенных для приема плодов трех сортов, перед которыми будут установлены исполнительные механизмы, осуществляющие сброс плодов соответствующих сортов на предназначенные им выводные транспортеры. Схема работы исполнительных механизмов приведена в таблице. В данном случае 0 – соответствует отсутствию управляющего сигнала на исполнительный механизм; 1 – управляющий сигнал на исполнительный механизм подан.

**Схема работы исполнительного механизма при сортировке плодов на 4 сорта**

Номер исполнительного механизма	Сорт плода			
	высший	первый	второй	бессортовой (Б/С)
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Из таблицы видно, что к моменту достижения транспортера с плодами четвертого исполнительного механизма плоды высшего, первого и второго сортов будут уже отделены от общего потока и все оставшиеся плоды будут соответствовать бессортовым яблокам, в связи с чем необходимость в использовании четвертого исполнительного механизма отпадает.

При этом, для снижения травмирования яблок, в качестве исполнительных механизмов необходимо использовать рабочие органы неударного типа, изменяющие траекторию движения плодов. Причем отклоняющее положение исполнительный механизм должен занимать до момента контакта с плодом. Рациональным для этих целей является использование соленоидов, управляемых путем высокоточной подачи управляющего сигнала блока управления на втягивание сердечника электромагнита.

**Реализация исследований.** На основе проведенных исследований в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 [9–11]. Сортировка плодов на линии осуществляется посредством системы технического зрения (рис. 1), состоящей из оптического модуля, электронного блока управления и конвейера.

В ЛСП-4 для разделения потока плодов использованы управляемые соленоиды (рис. 2), установленные на основном конвейере напротив каждого из четырех конвейеров для выходной продукции.

Управление соленоидами осуществляется из блока управления системой технического зрения линии.

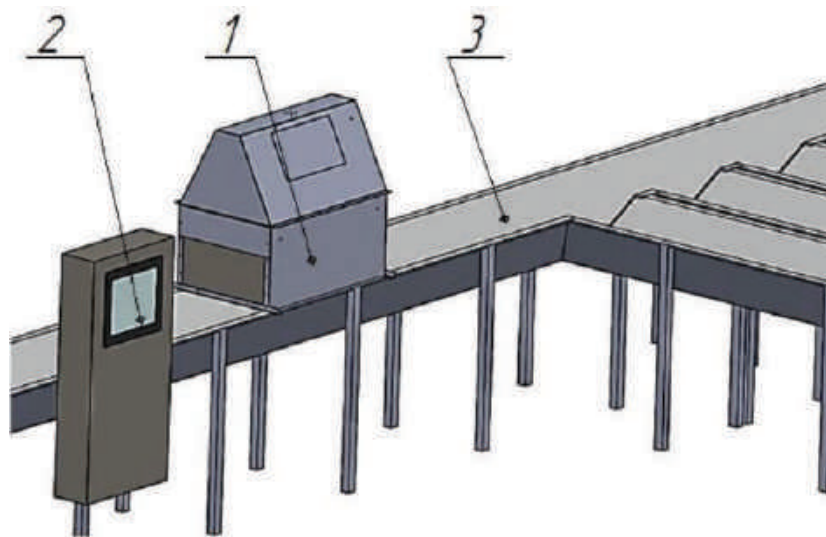


Рис. 1. Общий вид системы технического зрения: 1 – оптический модуль; 2 – электронный блок управления; 3 – конвейер



Рис. 2. Исполнительный механизм сбрасывателя плодов с управляемым соленоидом

Экспериментальным путем установлена зависимость времени начала  $N_i^{\text{вкл}}$  и конца  $N_i^{\text{выкл}}$  подачи управляющего сигнала на соленоид сбрасывателя яблок в зависимости от скорости движения главного конвейера:

$$\begin{cases} N_i^{\text{вкл}} = P_j + \frac{K_1 L - V(t_{\text{обр}} + t_{\text{ср}})}{K_2}, \\ N_i^{\text{выкл}} = N_i^{\text{вкл}} + \frac{V t_{\text{откл}}}{K_2}. \end{cases}$$

где  $i$  – уникальный номер яблока;  $P_j$  – расстояние в импульсах до  $j$ -го механизма сбрасывания, соответствующего распознанному классу качества данного яблока;  $K_1$  – коэффициент пересчёта пикселей в метры;  $K_2$  – коэффициент пересчета длины конвейера из импульсов в метры;  $L$  – расстояние центра распознанного яблока до края кадра в пикселях;  $V$  – скорость конвейера (м/с);  $t_{\text{обр}}$  – время, затраченное на обработку последнего кадра  $i$ -го яблока (с);  $t_{\text{ср}}$  – время срабатывания механизма сброса в секундах и  $t_{\text{откл}}$  – время удерживания механизма сброса (с).

Испытания показали, что данная зависимость позволяет осуществлять сброс яблок на скоростях движения главного конвейера от 0,15 до 0,87 м/с с вероятностью 99,8%.

## Выводы

1. Обоснована схема работы исполнительного устройства для разделения потока плодов при автоматизированной их сортировке на четыре сорта, использованная при разработке технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛПС-4.

2. Установлена зависимость времени начала и конца подачи управляющего сигнала на соленоиды разделения потока плодов, обеспечивающая точность срабатывания плодов 99,8% в диапазоне скоростей главного конвейера от 0,15 до 0,87 м/с.

## Список использованных источников

1. Гурьянов, Д. В. Распознавание качества плодов / Д. В. Гурьянов // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 177–182.
2. 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., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 188–191.
3. Применение систем технического зрения в машинных технологиях в садоводстве / Г. И. Личман [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 6. – С. 10–17.
4. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М. : Колос, 1970. – 247 с.
5. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Д. В. Гурьянов ; Мичур. гос. аграр. ун-т. – Зерноград, 2004. – 19 с.
6. Рудник, Ю. А. Робототехническая система для сортирования яблок / Ю. А. Рудник, С. В. Журавлев // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 10–12 нояб. 2014 г. / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 32–34.
7. 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.
8. Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. – Минск : Госстандарт, 2012. – 11 с.
9. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500.
10. Юрин, А. Н. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок / А. Н. Юрин, В. В. Викторovich, А. А. Игнатчик // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 88–95.
11. Юрин, А. Н. Разработка системы технического зрения для распознавания дефектов плодов различных культур технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛПС-4 / А. Н. Юрин [и др.]. // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 17–18 октября 2019 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2019. – С. 98–103.

УДК 631.362

Поступила в редакцию 19.10.2022  
Received 19.10.2022

**А. Н. Юрин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОТОКА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКЕ ПЛОДОВ

*Аннотация.* В данной статье приведен анализ способов формирования потока плодов при их сортировке оптическим методом посредством системы технического зрения. Обоснован однопризнаковый тип потока с равномерным расстоянием между сортируемыми плодами и обоснован их шаг.

*Ключевые слова:* плоды, поток плодов, однопризнаковый тип потока, математическое ожидание, размер плода, шаг потока.