

**А. Н. Юрин, В. В. Викторovich, А. А. Игнатчик**

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

## **СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ТРУДА ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПРИ СОРТИРОВКЕ ЯБЛОК**

*Аннотация.* В данной статье приведено описание конструкции и принципа действия технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, а также результаты ее предварительных испытаний.

*Ключевые слова:* сортировка плодов, яблоки, повреждения плодов, оптический сортировщик, конвейер, испытания.

**A. N. Yurin, V. V. Viktorovich, A. A. Ignatchik**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **REDUCING LABOR COSTS BY USING THE VISION SYSTEM WHEN SORTING APPLES**

*Abstract.* This article describes the design and principle of operation of the technological line for sorting and packing apples LSP-4, as well as the results of its preliminary tests.

*Keywords:* sorting of fruits, apples, fruit damage, optical sorter, conveyor, testing.

### **Введение**

Известно, что потери плодов от момента их уборки и до поступления к конечному потребителю составляют до 30 %, что вызывает потребность в их сортировании.

В настоящее время контроль качества является мало механизированным процессом, на выполнение которого приходится до 70 % всех трудозатрат товарной обработки плодов в садоводстве [1].

Сортировка плодов имеет целью разделение плодов на фракции, относящиеся по характеристикам к высшему, первому и второму сорту, а также отделение нестандартных плодов.

В процессе осуществления этой задачи учитываются размер плодов, их цвет, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

В настоящее время качественное выполнение данной работы возможно лишь вручную специалистом-сортировщиком.

Ручная сортировка предполагает выполнение следующих операций.

1. Рабочий берет из тары в руки плод и визуально его осматривает.

2. По результату осмотра рабочий принимает решение о сорте плода.

3. В соответствии со сделанным выводом рабочий кладет плод в один из ящиков, в котором находятся плоды только одного сорта.

Плоды при ручной сортировке квалифицированными рабочими подвергаются минимальному механическому травмированию. Однако производительность при ручной сортировке на три товарных сорта составляет лишь 40–70 кг/ч [1].

В 2019 г. в общественном секторе Республики Беларусь произведено более 157,3 тыс. т яблок. Для осуществления сортировки данного объема яблок необходимы трудозатраты в количестве 24,5 тыс. чел.-дн. [2–5]. Учитывая складывающийся дефицит рабочих в сельском хозяйстве, очевидно, что в республике необходимо внедрение в производство средств механизации, облегчающих или полностью исключаящих ручной труд при сортировке плодов.

В настоящее время осуществляется также механизированная сортировка плодов по показателям качества поверхности с участием механизмов и машин. Последние осуществляют доставку продукции к оператору и ее отвод после сортировки. Осмотр продукции, частичная манипуляция и принятие решения о качестве плодов осуществляется оператором. Производительность оператора при механизированной сортировке составляет до 300 кг/ч [6–10].

Дальнейшее повышение производительности труда на операции сортирования возможно за счет сокращения времени осмотра плода автоматическими сортировочными устройствами. Автоматизированная сортировка осуществляется автоматическим устройством без участия или с частичным участием оператора. Для этого в настоящее время используют автоматическое оптическое устройство, позволяющее определить качество поверхности плода без его повреждения, по аналогии, как это делает человек [11–15].

При этом автоматическое оптическое устройство должно обеспечивать:

- съем оптической информации с поверхности плода в определенных диапазонах спектра оптического излучения;
- определенное быстродействие, зависящее от производительности сортировочного устройства;
- соответствие количества одновременно осматриваемых плодов производительности сортировочного устройства, размерам плодов и скорости их перемещения в процессе сортирования.
- «бережное» отношение к плоду – сканирующее устройство не должно наносить плодам дополнительных повреждений.

К лидирующим фирмам, производящим оборудование для автоматизированной сортировки плодов, относятся фирмы Giro (Испания), Aweta и Greefa (Голландия), SEA (Италия), которые производят сортировальные линии для яблок [16–18].

В сортировальных линиях этих фирм осуществляется автоматизированная выгрузка плодов из контейнеров, их транспортировка к камере оптического сортировщика, фотографирование плодов, обработка изображений и разделение плодов на фракции согласно управляющим сигналам блока управления оптического сортировщика.

Однако в таких линиях автоматизированная сортировка плодов осуществляется только по размеру и цвету плода. Причем сортировка по цвету зачастую не используется, так как при уборке в одном контейнере оказываются плоды одного сорта и срока созревания, имеющие характерную окраску для данного сорта.

Сортировка же по наличию повреждений от вредителей, болезней и механического повреждения не осуществляется вовсе, что снижает качество конечного продукта и требует дополнительных затрат труда операторов-сортировщиков, которым необходимо осуществлять повторный контроль качества выходной продукции.

В то же время производительность таких машин составляет 1,0–3,0 т/ч, что делает их применение рентабельным.

Для решения данной проблемы в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований, была разработана технологическая линия сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (в дальнейшем – линия).

### Основная часть

**Устройство и работа технологической линии.** В соответствии с рис. 1 и 2 линия состоит из транспортера приемного 1, модуля разгрузочного 2, ролинга 3, лотка 4, опоры 5, ванны 6, горки 7, сушики 8, водовода 9, опоры 10, линии сортировки 11, конвейеров 12 и 13, каретки 14, стола 15, системы технического зрения (СТЗ) 16.

Рабочим органом, осуществляющим непосредственную сортировку плодов, является СТЗ (рис. 3), расположенная на основном конвейере (см. рис. 2: 11).

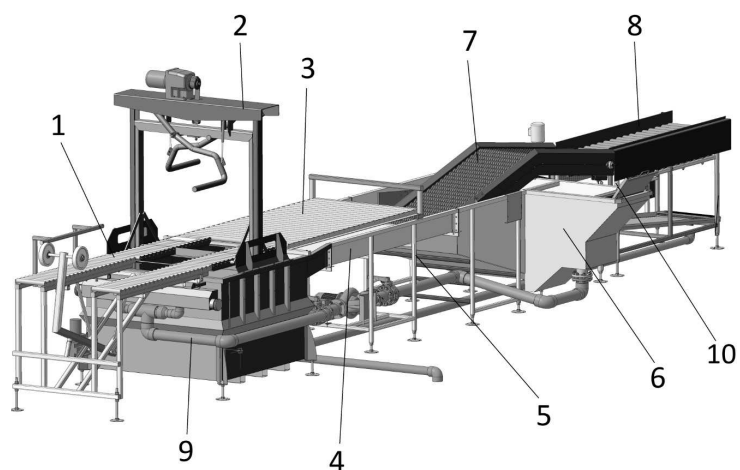


Рис. 1. Линия технологическая сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (приемная часть): 1 – транспортер приемный; 2 – модуль разгрузочный; 3 – ролинг; 4 – лоток; 5 – опора; 6 – ванна; 7 – горка; 8 – сушка; 9 – водовод; 10 – опора

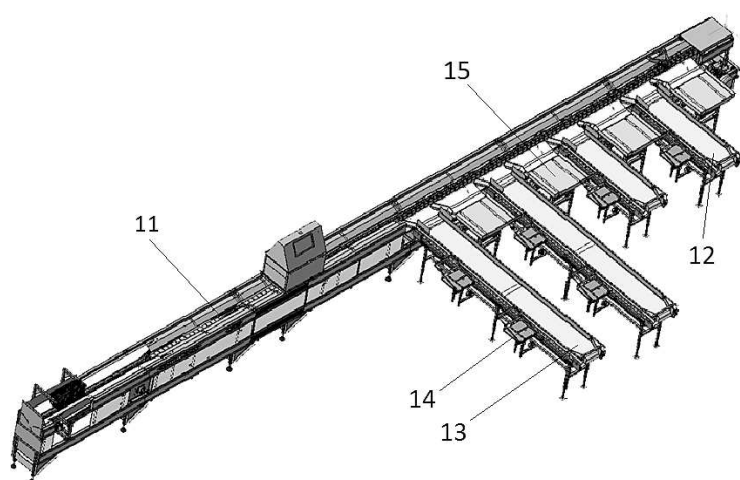


Рис. 2. Линия технологическая сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (сортирующая часть): 11 – основной конвейер; 12, 13 – конвейеры; 14 – каретка; 15 – стол; 16 – оптический сортировщик

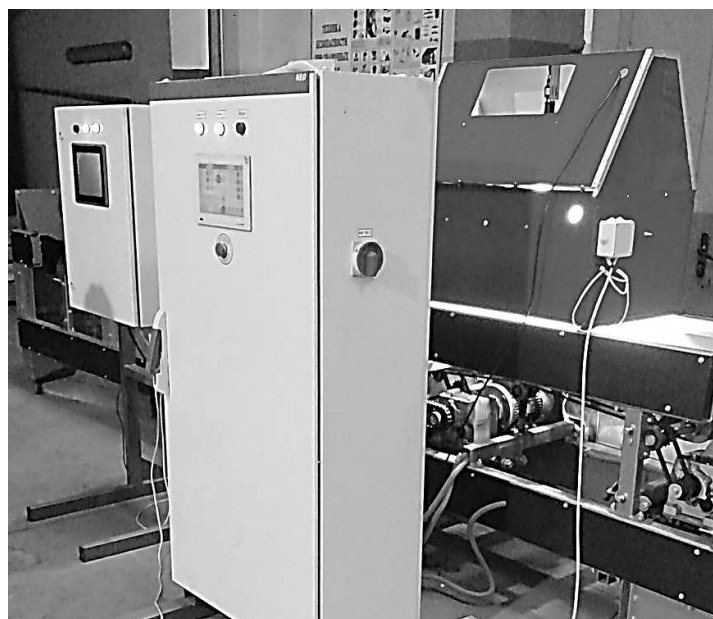


Рис. 3. Система технического зрения СТЗ линии сортировки ЛСП-4

СТЗ представляет собой сложное распределенное техническое устройство, состоящее из двух основных корпусных элементов, задающих внешние габариты всего изделия:

- механического защищенного корпуса с установленными в него видеокамерой машинного зрения и структурированной подсветкой;

- электрического шкафа управления, в котором устанавливаются вычислительный модуль и сенсорный монитор.

В основу работы системы классификации СТЗ положен принцип визуального анализа данных, согласно которому полученные с видеокамеры изображения движущихся по конвейеру плодов обрабатываются и формируются в образы с последующей классификацией и выдачей соответствующего управляющего сигнала блоку управления технологической линией сортировки и фасовки яблок. Последний активизирует исполнительное устройство, которым является приводимый в движение электричеством рабочий орган, установленный на транспортере и не включаемый в состав данной СТЗ. Таким образом, исполнительное устройство воздействует на ложемент транспортера, в котором находится соответствующий плод, для подачи его на поперечный (упаковочный) конвейер соответствующего сорта. Алгоритм функционирования СТЗ представлен на рис. 4.

Технологический процесс линии осуществляется следующим образом.

Перед началом сортировки оператор линии включает электропитание линии и через графическую панель управления СТЗ заполняет паспортные данные сортируемых плодов (рис. 5, а), устанавливает параметры сортируемых плодов (рис. 5, б) и задает конвейеры, которые будут принимать отсортированные плоды высшего, первого и второго сорта (рис. 5, в).

Далее оператор линии включает привод толкателя (переключатель «толкатель»), который перемещает контейнер в модуль разгрузочный (рис. 6). Затем оператор включает лифтовое устройство модуля разгрузочного и притапливает контейнер с плодами в ванне с водой (переключатель «лифт»). Когда плоды всплывают на поверхность воды, оператор включает насос водовода (переключатель «насос»), горку (переключатель «горка») и сушку (переключатель «сушка»). Поток воды, поступающий из передней стенки модуля разгрузочного, транспортирует яблоки к горке и сушке, где они высушиваются при контакте с фетровыми барабанами машины.

После завершения подготовительных работ контейнер с плодами подается автопогрузчиком на транспортер приемный (см. рис. 1: 1) и устанавливается на роликовые направляющие.

Далее оператор с графической панели управления (рис. 7) включает привод линии сортировки, плоды поступают на линию сортировки, где попадают в индивидуальные каретки, закрепленные на приводной цепи. Проходя через СТЗ, плоды фотографируются. Затем изображение передается в вычислительный модуль СТЗ, где программное обеспечение классифицирует поступающие плоды согласно заданным параметрам.

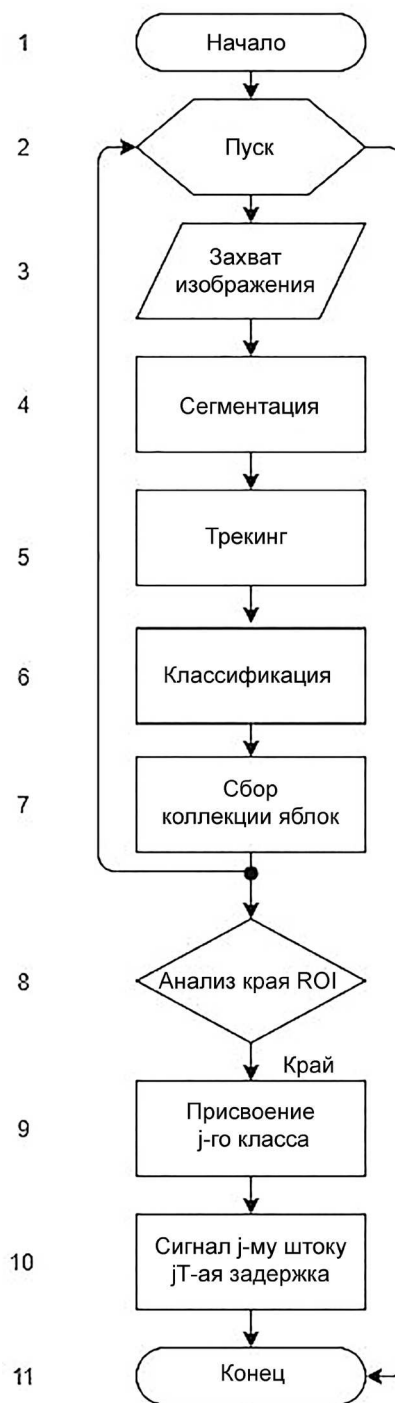
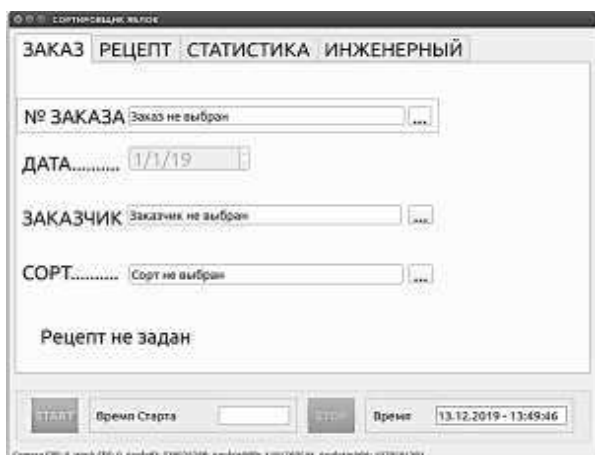
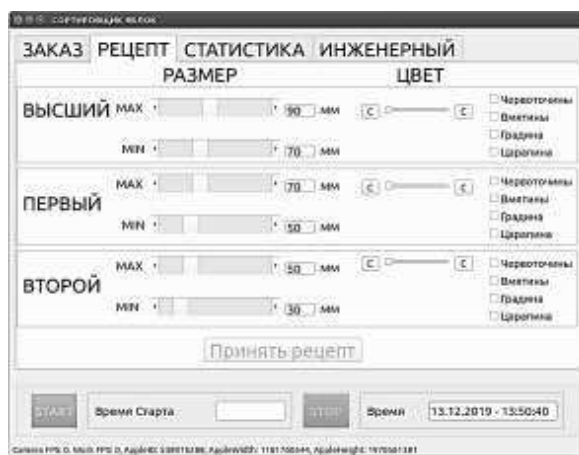


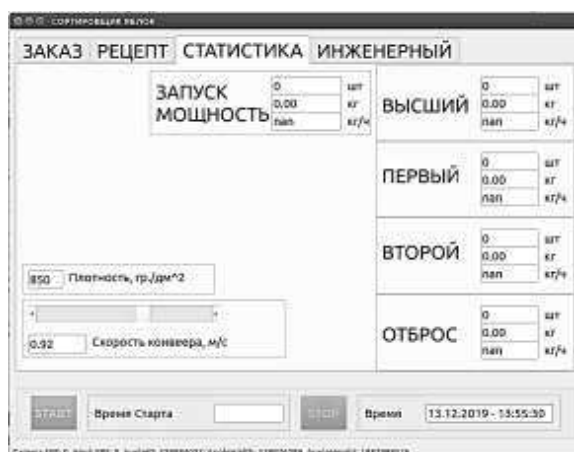
Рис. 4. Алгоритм функционирования программного обеспечения установки автоматической сортировки яблок с помощью СТЗ



*a*



*б*



*в*

Рис. 5. Графическая панель управления оптического сортировщика: *a* – заполнение паспортных данных сортируемых плодов; *б* – установка параметров сортируемых плодов; *в* – программирование конвейеров приема отсортированных плодов высшего, первого и второго сорта

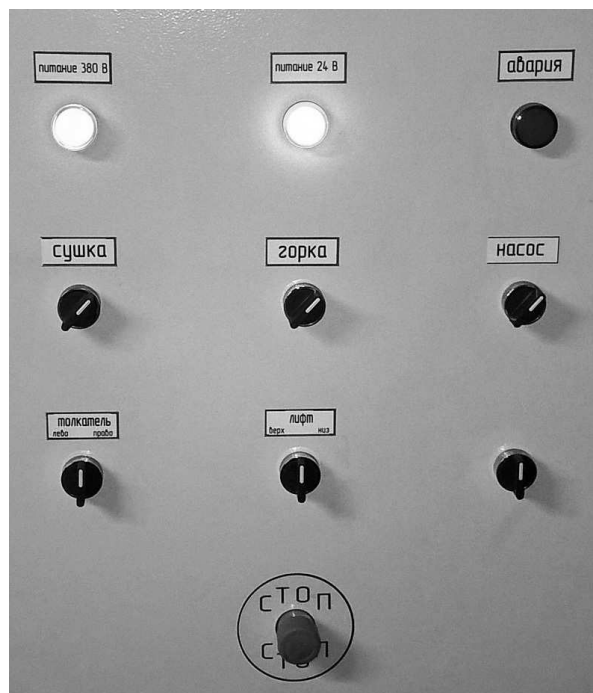


Рис. 6. Шкаф управления приемной частью линии



Рис. 7. Графическая панель управления сортирующей частью линии

СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу исполнительному управляющему сигналу сбрасывателям, осуществляющим опорожнение кареток линии напротив конвейеров соответствующих сортов.

По мере сортировки плодов автопогрузчиком на приемный транспортер устанавливается новый контейнер с плодами. После освобождения контейнера от плодов оператор поднимает его лифтовым устройством модуля разгрузочного и перемещая новый контейнер с плодами в модуль разгрузочный сталкивает опорожненный ролинг, где с него стекает вода. Далее пустой контейнер снимается автопогрузчиком с ролинга и транспортируется на место сушки и хранения.

Основные технические характеристики технологической линии на примере ЛСП-4:

Производительность, т, не более. . . . .	2,5
Обслуживающий персонал, человек. . . . .	8
Параметры сортировки . . . . .	Размер, механические повреждения, повреждения от вредителей

Вид сортируемой продукции. . . . .	Яблоки
Точность сортирования, %, не менее . . . . .	80
Допустимое отклонение по наибольшему диаметру яблок, находящихся в одной и той же таре, мм, не более . . . . .	10

При этом производительность зависит от физических и структурно-механических свойств подаваемых на линию плодов.

Показатели экономической эффективности линии определяли в соответствии с ТКП 151-2008 и ГОСТ 24055-2016.

Базовый аналог для сравнения – линия сортировки яблок Rollerstar CV-C3 1-7+1 фирмы Aweta (Голландия).

Показатели экономической эффективности линии на примере ЛСП-4:

Годовой приведенный экономический эффект, руб. . . . .	97 175,92
Годовая экономия себестоимости механизированных работ, руб. . . . .	54 475,92
Степень снижения себестоимости механизированных работ, % . . . . .	45,40
Срок окупаемости абсолютных капитальных вложений, лет . . . . .	4,59

Предварительные испытания линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 проводили на испытательном полигоне РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в аг. Ждановичи Минского района (рис. 8).

В результате проведенных испытаний установлено, что линия обеспечивает распознавание плодов и определение их диаметра с вероятностью не менее 95 %.



Рис. 8. Предварительные испытания опытного образца технологической линии сортировки и фасовки яблок

При этом в процессе испытаний были выявлены следующие недостатки:

- плоды диаметром менее 40 мм не вращаются в каретках, что не позволяет осуществлять их фотосъемку со всех сторон;
- соленоиды сбрасывателей, осуществляющие опорожнение отсортированных плодов не обеспечивают достаточное быстродействие, в результате чего скорость цепи с каретками линии сортировки не может быть увеличена более 0,4 м/с, что снижает общую производительность линии;
- выборки дефектов плодов недостаточно для их гарантированного распознавания оптическим сортировщиком, что потребует дополнительных работ по отработке дефектов плодов в сезон уборки 2021 г.

После доработки приведенных дефектов линия сортировки яблок была установлена в ОАО «Остромечеве» Брестского района, для прохождения приемочных испытаний (рис. 9) в агротехнические сроки 2021 г.

Испытания, проведенные в сентябре – ноябре 2021 г., показали, что технологическая линия ЛСП-4 обеспечивает определение диаметра плода и распознавание дефектов с вероятностью не менее 95 %. При этом производительность труда за 1 ч основного времени составляет 2,5 т/ч.



Рис. 9. Приемочные испытания опытного образца технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 в ОАО «Остромечеве» Брестского района

## Выводы

1. В настоящее время известно, что контроль качества – мало механизированный процесс, на выполнение которого приходится до 70 % всех трудозатрат товарной обработки плодов в садоводстве.

2. Решение задачи механизации процесса сортировки плодов семечковых культур возможно только посредством применения систем технического зрения.

3. Применяемые в настоящее время технологические линии сортировки и фасовки яблок в Беларуси осуществляют сортировку плодов только по размеру и цвету, что не дает полного эффекта от применения механизированных линий и требует дополнительных затрат ручного труда для отделения плодов с дефектами, полученными от болезней и вредителей.

4. Технологическая линия ЛСП-4 обеспечивает определение диаметра плода и распознавание дефектов с вероятностью не менее 95 %. При этом производительность труда за 1 ч основного времени составляет 2,5 т/ч.

### Список использованных источников

1. Гурьянов, Д. В. Повышение эффективности сортирования яблок на основе цветных телевизионных датчиков : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Д. В. Гурьянов. – Мичуринск, 2004. – 37 с.
2. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси / Я. П. Лобачевский [и др.] / Техника и оборудование для села. – 2016. – № 10 (232). – С. 16–20.
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2019. – 235 с.
4. Валовый сбор и урожайность фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2019. – 14 с.
5. Юрин, А. Н. Основные тенденции развития садоводства в Беларуси / А. Н. Юрин / Наука и инновации. – 2016. – № 2. – С. 62–64.
6. Новые технологии и технические средства для механизации работы в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.] ; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Федерал. гос. бюджет. науч. учреждение «Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-эконом. исслед. по инж.-техн. обеспечению агропром. комплекса» ; [подгот. под рук. М. И. Куликова и др.]. – М. : Росинформагротех, 2012. – 164 с.
7. Будаговская, О. Н. Универсальная полуавтоматическая установка для сортирования фруктов и овощей по качеству / О. Н. Будаговская // Перспективы отечественного садоводства. – Киев, 1991. – С. 138.
8. Будаговская, О. Н. Оптикоэлектронный контроль качества яблок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / О. Н. Будаговская. – М., 1993. – 16 с.
9. Гордеев, А. С. Автоматизация товарной обработки плодов / А. С. Гордеев, В. И. Горшенин // Плодоовощное хозяйство. – 1985. – № 2. – С. 48–51.
10. Гордеев, А. С. Автоматизированная обработка яблок : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / А. С. Гордеев. – М., 1996. – 42 с.
11. Silwal, Abhisesh. Machine vision system for robotic apple harvesting in fruiting wall orchards : dis. of the Doctor of Sciences / Abhisesh Silwal ; Washington state University department of biological systems engineering. – Washington, 2016. – 317 с.
12. Bouget, J. Y. Camera calibration toolbox for MATLAB [Electronic resource] / J. Y. Bouget. – 2020. – Mode of access: [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc). – Date of access: 14.06.2021.
13. Бобров, В. П. Применение систем технического зрения / В. П. Бобров // Механизация и автоматизация производства. – 1989. – № 9. – С. 23.
14. Бусаров, Н. А. Сбор и товарная обработка плодов и ягод / Н. А. Бусаров. – М. : Колос, 1970. – 247 с.
15. Цифровая обработка сигналов : справочник / Л. М. Гольденберг [и др.]. – М. : Радио и связь, 1985. – 312 с.
16. GREEFA – Vissers – CombiSort 6 lane for grading pears and apples in the Netherlands [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://www.greefa.com/project/vissers-netherlands/>. – Date of access: 14.06.2021.
17. Equipment, plants and machines for Apples processing, sorting, grading and packing [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://en.unitec-group.com/fruit-vegetables-technology/apple-processing-sorting-grading-machines/>. – Date of access: 14.06.2021.
18. Turnkey Sorting & Packing solutions [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://www.aweta.com/en/>. – Date of access: 14.06.2021.