

УДК 631.362.3:004.8

UDC 631.362.3:004.8

4.3.1 Технологии машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

4.3.1 Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ СОРТИРОВКИ ПЛОДОВ

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF FRUIT SORTING METHODS

Филиппов Ростислав Александрович
кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории машинных технологий для возделывания и уборки плодово-ягодных культур
SPIN-код: 4742-7353
AuthorID: 682584
Web of Science ResearcherID: Q-2722-2017
Scopus ID: 57206783036
ORCID: 0000-0003-3586-3634
E-mail: rostislav-filippov@yandex.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Filippov Rostislav Alexandrovich
Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the laboratory of machine technologies for cultivation and harvesting of fruit and berry crops
Author SPIN: 4742-7353
AuthorID: 682584
Web of Science ResearcherID: Q-2722-2017
Scopus ID: 57206783036
ORCID: 0000-0003-3586-3634
E-mail: rostislav-filippov@yandex.ru
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Кутырёв Алексей Игоревич
кандидат технических наук, заведующий лабораторией интеллектуальных цифровых систем мониторинга, диагностики и управления процессами в сельскохозяйственном производстве
SPIN-код: 9793-5074
AuthorID: 822733
Web of Science ResearcherID: I-3699-2018
Scopus ID:
ORCID: 0000-0001-7643-775X
E-mail: alexeykutyrev@gmail.com
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Kutyrev Alexey Igorevich
Candidate of technical sciences, Head of the Laboratory of Intelligent Digital Systems for Monitoring, Diagnostics and Process Control in Agricultural Production
RSCI SPIN-code: 9793-5074
AuthorID: 822733
Web of Science ResearcherID: I-3699-2018
Scopus ID: 57206770758
ORCID: 0000-0001-7643-775X
E-mail: alexeykutyrev@gmail.com
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Потапенков Никита Александрович
магистрант, инженер лаборатории интеллектуальных цифровых систем мониторинга, диагностики и управления процессами в сельскохозяйственном производстве
SPIN-код: 6112-4416
AuthorID: 1303101
ORCID: 0009-0006-3713-205X
E-mail: potapson64@yandex.ru
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Potapenkov Nikita Alexandrovich
Master's student, Engineer of the Laboratory of Intelligent Digital Systems for Monitoring, Diagnostics and Process Control in Agricultural Production
RSCI SPIN-code: 6112-4416
AuthorID: 1303101
ORCID: 0009-0006-3713-205X
E-mail: potapson64@yandex.ru
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Статья посвящена анализу современного состояния и перспектив развития методов сортировки плодов семечковых культур, преимущественно яблок. Актуальность работы обусловлена высоким уровнем потерь плодов (до 30 %) и значительной долей ручного труда (до 70 % трудозатрат при товарной обработке). В статью предложена классификация из четырёх типов сортировальных линий: ручные, механические,

The article is devoted to the analysis of the current state and development prospects of sorting methods for pome fruits, primarily apples. The relevance of the work is due to the high level of fruit losses (up to 30%) and a significant share of manual labor (up to 70% of labor costs during commercial processing). The article proposes a classification of four types of sorting lines: manual, mechanical, electronic (optical), and hybrid. Mechanical systems use size-based (slotted, screw, belt

электронные (оптические) и гибридные. Механические системы используют размерный (щелевые, винтовые, ременные устройства) и весовой принципы калибрования. Их достоинства – высокая производительность и надёжность, недостатки – оценка только по размеру и массе, риск повреждения плодов и низкая адаптивность к плодам неправильной формы. Оптические системы включают монохромные, RGB и мультиспектральные решения. Они оценивают внешние дефекты, цвет, размер, а также внутреннее качество, включая сахаристость и скрытые повреждения. Точность электронных систем достигает 99,5%, но внедрение сдерживает высокая стоимость, требования к освещению и квалификации персонала. Гибридные системы сочетают механическую базу с оптическими модулями и ручными постами контроля, обеспечивая баланс между производительностью, качеством и стоимостью модернизации. Определены направления дальнейшего развития: нейросетевые алгоритмы для самообучаемого распознавания дефектов, мультиспектральный неразрушающий контроль, компактные мобильные системы для полевой сортировки, цифровизация с полной прослеживаемостью продукции и роботизация загрузочно-разгрузочных операций

Ключевые слова: СОРТИРОВКА ПЛОДОВ, КЛАССИФИКАЦИЯ, МЕХАНИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА, ОПТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА, СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-219-028>

devices) and weight-based calibration principles. Their advantages are high productivity and reliability; disadvantages include evaluation only by size and weight, risk of fruit damage, and low adaptability to irregularly shaped fruits. Optical systems include monochrome, RGB, and multispectral solutions. They evaluate external defects, color, size, as well as internal quality, including sugar content and hidden damage. The accuracy of electronic systems reaches 99.5%, but their implementation is hindered by high cost, demanding lighting requirements, and personnel qualifications. Hybrid systems combine a mechanical base with optical modules and manual control stations, providing a balance of productivity, quality, and modernization costs. The directions for further development are identified: neural network algorithms for self-learning defect recognition, multispectral non-destructive testing, compact mobile systems for field sorting, digitalization with full product traceability, and robotization of loading and unloading operations

Keywords: FRUIT SORTING, CLASSIFICATION, MECHANICAL SORTING, OPTICAL SORTING, MACHINE VISION SYSTEMS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, QUALITY CONTROL METHODS

Потери плодов на этапах от уборки до реализации в Российской Федерации остаются высокими. При использовании существующих технологий хранения объем потерь достигает 20-30%, что в денежном эквиваленте составляет 5-6 млрд рублей ежегодно. Валовой сбор семечковых культур (яблок, груш) в Российской Федерации в 2024 г. составил 2,815 млн т [1]. Даже частичная утрата такого объёма продукции обуславливает необходимость внедрения эффективных методов послеуборочной сортировки и калибровки. В настоящее время контроль качества плодов остаётся недостаточно механизированным и в структуре трудозатрат при товарной обработке на данную операцию приходится до

<http://ej.kubagro.ru/2026/05/pdf/28.pdf>

70 %. Ручная сортировка, производительность которой не превышает 50-70 кг/ч, позволяет минимизировать механические повреждения, однако требует значительных трудовых ресурсов. Проблема усугубляется сохраняющимся дефицитом кадров в агропромышленном комплексе страны. По данным Минсельхоза, только для сбора плодов и ягод в сезон 2025 года требуется порядка 50 тыс. сезонных работников, а общая ежегодная потребность АПК в кадрах оценивается более чем в 143 тыс. специалистов. Учитывая дефицит рабочей силы в сельском хозяйстве и высокую долю ручного труда, внедрение средств механизации и автоматизации, облегчающих или полностью исключаящих участие человека при сортировке плодов является актуальным направлением развития агроинженерной отрасли России [2]. Создание технических средств, позволяющих быстро и качественно определять состояние поверхности и внутренние параметры плода, представляет собой приоритетную научно-техническую задачу [3-4].

Цель исследования – анализ современного состояния методов сортировки плодов семечковых культур (преимущественно плодов яблони), включая их классификацию, а также определение перспективных направлений развития технологий.

Материалы и методы – основой исследования является системный анализ, позволивший классифицировать сортировальные линии по принципу действия и степени автоматизации. Применены методы обобщения и сравнительного анализа механических и оптических систем по критериям производительности, точности, повреждения плодов, адаптивности и стоимости. Перспективные направления определены на основе мировых тенденций в области машинного зрения, нейросетей и робототехники.

Существующие сортировочные устройства можно классифицировать по принципу действия, степени автоматизации и используемым методам

контроля качества. В настоящей работе предложена классификация, включающая четыре основных типа линий: ручные, механические, электронные (оптические) и гибридные (рис.1).

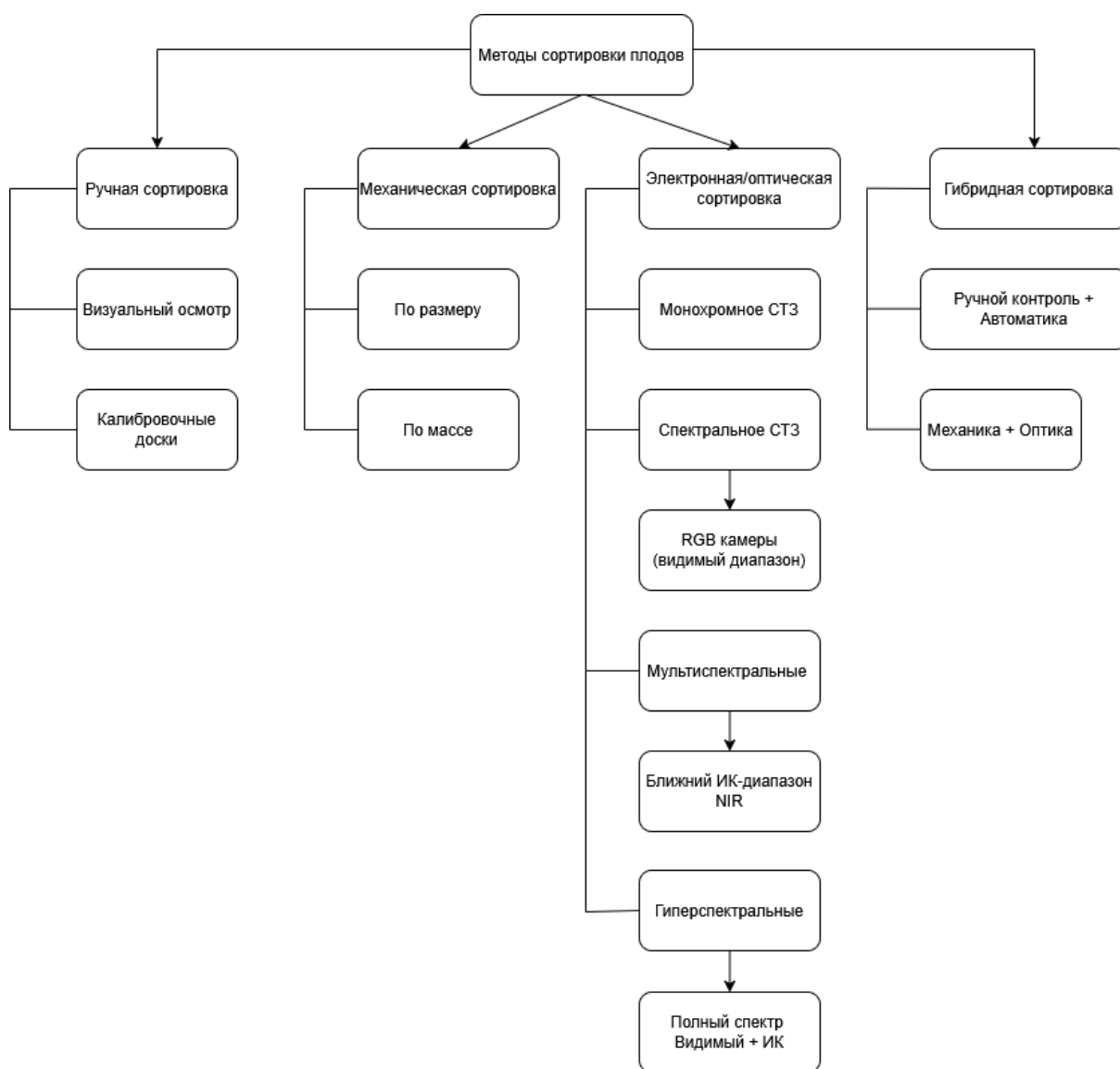


Рисунок 1 – Классификация методов сортировки плодов

Ручная сортировка является наиболее простым и широко применяемым в малых хозяйствах и является наиболее доступным методом, так как требует минимальных финансовых вложений. К его достоинствам также относятся возможность оценки большого числа параметров (форма, цвет, дефекты), отсутствие механических повреждений плодов и гибкость при изменении требований к качеству. Однако существенными недостатками являются низкая

производительность (50-70 кг/ч), высокая степень субъективности, зависимость результата от квалификации работника и уровня освещения, значительные долговременные затраты на оплату труда, а также острый дефицит квалифицированных кадров в сельском хозяйстве [5].

Механические сортировальные линии используют физические принципы разделения плодов по размеру и массе с помощью калибровочных решет, роликовых и весовых механизмов. Калибровочное оборудование принято подразделять по физическому принципу разделения плодов. К первому типу относятся весовые устройства, которые распределяют продукцию по фракциям на основе её массы. Ко второму – размерные механизмы, где определяющим параметром служат геометрические характеристики плода - наибольший и наименьший поперечные диаметры, а также высота. В свою очередь, весовые машины различают по подвижности рабочего элемента – с движущимся или стационарным исполнительным органом. Для размерных машин основным классификационным признаком является наличие либо отсутствие автоматической ориентации плода в плоскости его максимальных поперечных размеров. Каждая из перечисленных подгрупп может иметь несколько конструктивных вариантов исполнения рабочего органа (рис.2).

Машины размерного принципа действия отличаются конструктивным разнообразием, простотой, надёжностью и низкой стоимостью, что делает их наиболее распространёнными. Они предназначены для калибровки плодов округлой, сфероидной или продолговатой формы.

К числу наиболее распространённых конструкций относится линейная щелевая машина. Её рабочий орган представляет собой ряд статичных эластичных роликов, расположенных с зазорами, которые выполняют функцию калибрующих отверстий. Транспортировка плодов между соседними калибровочными позициями производится при помощи толкающих элементов. Как только поперечный размер плода становится

меньше текущего зазора между роликами, он под действием собственной массы выпадает в приёмный бункер.

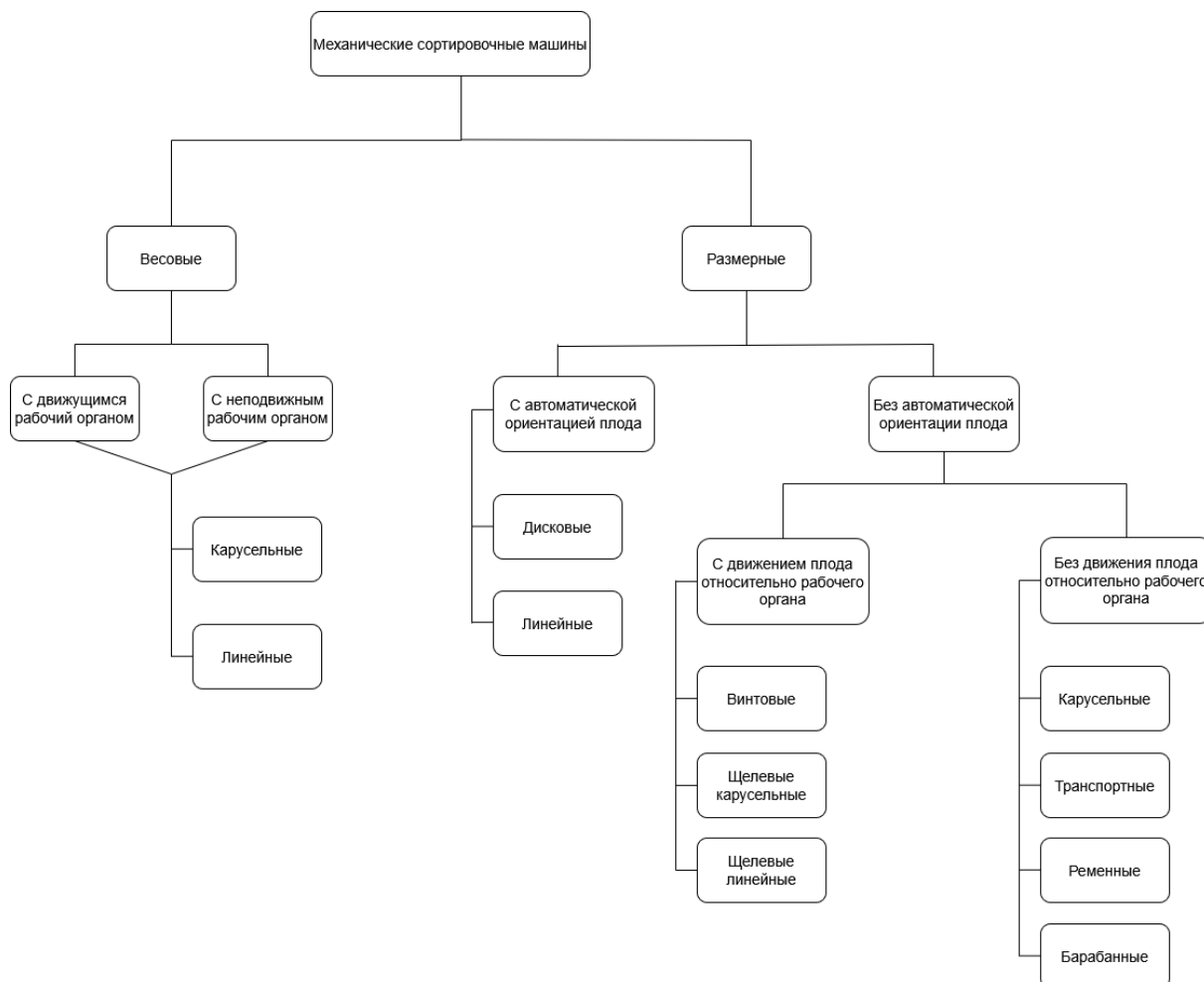


Рисунок 2 – Классификация механических сортировочных машин

Линейная щелевая машина с лентой и сбрасывателями состоит из бесконечной плоской ленты и поперечных сбрасывателей, выполненных в виде движущихся ремней, установленных на разной высоте. В винтовых калибровочных машинах рабочими элементами служат резиновые шнеки, имеющие круглый профиль нарезки с изменяющейся глубиной. Вращаясь навстречу друг другу, эти шнеки удерживают и перемещают плоды вдоль нарезки, причём благодаря переменной глубине профиля калибровочный зазор непрерывно возрастает. К числу недостатков такого оборудования относят конструктивную сложность изготовления винтов, а также ограниченную возможность организовать удобную упаковку

откалиброванных плодов. Транспортёрно-ячеистое устройство представляет собой ряд последовательно расположенных транспортёрных лент с круглыми отверстиями возрастающего диаметра. Между лентой и ведущим барабаном установлена выталкивающая лента, линейная скорость которой равна скорости калибрующей ленты. В другом варианте транспортёрные ленты заменены перфорированными барабанами. С технологической стороны машины, основанные на этом принципе, являются наиболее совершенными, так как плод находится на поверхности одного и того же отверстия и при его принудительном расширении претерпевает минимум трения.

Устройство с регулируемыми диаметрами отверстий состоит из пружины растяжения, свёрнутой в окружность. При движении плиты ролики скользят по копирным линейкам, подвижные рамки втягиваются, нагрузка на пружину уменьшается, и диаметр калибрующего отверстия увеличивается. Для смягчения удара плода о пружину установлены приёмные лепестки из эластичного материала. Недостатками этого устройства являются сложность конструкции, низкая надёжность из-за большого количества пружин и невозможность калибровки плодов различной формы. Простое калибрующее устройство с расходящимися ремнями состоит из двух расходящихся ремней с наклонными стенками, образующими приёмный жёлоб для плода, подпорных планок и регулировочного рычага для изменения величины щели между лентами.

Точность калибровки зависит от формы плода. Этот недостаток в значительной степени устранён в калибраторах линейного и карусельного типа, ориентирующих плод в плоскости наибольшего поперечного диаметра до начала процесса калибрования. Карусельный ступенчато-щелевой тип состоит из конического обрезиненного диска и направляющих дугообразных щитков, расположенных по периферии диска. Величина калибрующей ступенчатой щели устанавливается плавной

регулировкой по высоте дугообразного щитка. В линейном типе конусный диск заменён наклонно поставленной лентой, вдоль которой установлены щитки. Недостатками калибраторов с ориентацией является то, что заложенный принцип обеспечивает удовлетворительную калибровку только плодов сфероидной формы, тогда как плоды продолговатой формы калибруются значительно хуже, при этом часто наблюдается их заклинивание при проходе через калибрующую щель. Также недостатками являются значительная скорость перемещения плодов и повреждаемость их с увеличением диаметра.

Весовой принцип калибровки позволяет разделять плоды любых форм на фракции с высокой степенью точности. Весовое устройство стационарного типа состоит из хвостовика с контргрузом, установленного в центрах. Хвостовик жёстко связан с коромыслом, на конце которого установлен нож. Продолжением ножа является неподвижная направляющая, по которой скользит палец держателя плода. Держатель вращается свободно на оси, связанной с бесконечными цепями. Калибровочная машина состоит из ряда одинаковых весовых калибрующих устройств, расположенных по ходу движения держателей плодов. Перемещением контргруза устройство настраивается на заданный вес плода. Весовое устройство объединяет калибрующий орган с держателем плода и представляет собой двуплечий рычаг на одном конце укреплен стержень с контргрузом, на другом – держатель плода. Рычаг шарнирно крепится к кронштейну цепи. При движении цепи контргрузы с помощью неподвижного копира перемещаются по стержням рычагов до тех пор, пока момент от веса плода не превысит момент от контргруза. Рычаг поворачивается, и плод выпадает в соответствующий приёмник. Недостатком таких машин является необходимость индивидуальной настройки каждого калибратора с помощью сменного груза.

Общими достоинствами механических сортировальных линий являются высокая производительность, пригодность для крупнообъёмной переработки, простота конструкции и низкая стоимость обслуживания, снижение потребности в ручном труде, надёжность и долговечность. К недостаткам следует отнести ограниченный набор параметров сортировки (только размер и масса), невозможность оценки цвета и поверхностных дефектов, риск механического повреждения плодов, а также низкую адаптивность к плодам неправильной формы. Применение каждого из рассмотренных рабочих органов в калибровочных машинах зависит от совокупности технологических, эксплуатационных и экономических факторов [6].

Электронные сортировальные системы базируются на использовании систем технического зрения (СТЗ) и современных датчиков. В зависимости от спектрального диапазона они подразделяются на монохромные (один диапазон), спектрональные (несколько диапазонов, в том числе RGB-камеры), а также мульти- и гиперспектральные системы, позволяющие оценивать не только внешние, но и внутренние параметры качества (содержание сахара, кислотность, скрытые дефекты) [7-9]. Достоинства оптических систем - высокая точность сортировки (до 99,5 %), возможность оценки внутреннего качества без повреждения плода, снижение зависимости от человеческого фактора, интеграция с системами прослеживаемости, способность распознавать более двадцати параметров качества одновременно. Недостатки – высокая начальная стоимость оборудования, требования к квалификации обслуживающего персонала, чувствительность к условиям освещения, необходимость регулярной калибровки и обновления программного обеспечения.

Гибридные системы объединяют механические и оптические технологии, а также могут включать ручные контрольные посты. Такой

метод позволяет оптимизировать баланс между производительностью и качеством сортировки [10]. Достоинства – оптимальное сочетание скорости и точности, возможность поэтапной модернизации (добавление оптических модулей), универсальность, снижение общей стоимости владения по сравнению с полностью оптическими системами. Недостатки – повышенная сложность конструкции и обслуживания, более высокая стоимость по сравнению с чисто механическими системами.

Обобщение современных научных исследований позволяет выделить два основных направления в области контроля качества плодов – оценка внешних параметров (геометрические размеры, цветовые характеристики, форма, наличие поверхностных дефектов) и оценка внутренних параметров (содержание растворимых сухих веществ, внутренние некрозы и повреждения, механическая твёрдость мякоти) [11,12]. Несмотря на активное развитие гиперспектральных технологий, в промышленной эксплуатации преобладают системы сортировки, функционирующие в видимом диапазоне спектра (380–740 нм) [13]. Основными барьерами, сдерживающими внедрение более сложных мульти- и гиперспектральных систем, остаются – техническая сложность получения достоверной спектральной информации со всей поверхности плода, проблема неравномерности освещения, значительные габариты оборудования, недостаточная производительность для конвейерных линий, а также высокая стоимость как самих систем, так и их обслуживания [14-16].

Систематизация данных, представленных в отечественной и зарубежной литературе, позволяет выделить несколько приоритетных направлений дальнейшего развития данного направления исследований. Прежде всего, это интеграция искусственного интеллекта, а именно внедрение нейросетевых алгоритмов (свёрточных нейронных сетей и методов глубокого обучения) для распознавания дефектов с возможностью

самообучения и адаптации к новым типам повреждений без перепрограммирования.

Вторым важнейшим направлением является развитие мультиспектральных методов, направленных на создание технологий неразрушающего экспресс-контроля внутреннего качества плодов (сахаристости, кислотности, скрытых дефектов), пригодных для промышленного применения.

Третье направление связано с созданием компактных мобильных систем для полевой сортировки непосредственно на этапе уборки, что позволит снизить затраты на транспортировку некондиционной продукции и повысить оперативность принятия решений. Кроме того, значительное внимание уделяется цифровизации процессов и обеспечению полной прослеживаемости продукции, включая фиксацию параметров качества каждой товарной единицы на всех этапах послеуборочной обработки. Наиболее перспективным направлением признаётся роботизация процессов загрузки и выгрузки, предполагающая применение роботизированных манипуляторов для автоматизации вспомогательных операций, что позволит существенно снизить механическое травмирование плодов на завершающих этапах сортировки. Комплексная реализация перечисленных направлений обеспечит переход к интеллектуальным, адаптивным и высокопроизводительным сортировальным системам нового поколения.

Выводы. Проведённый анализ позволил сформировать классификацию методов сортировки плодов, включающую ручные, механические, электронные (оптические) и гибридные линии. Установлено, что ручная сортировка, несмотря на минимальное травмирование плодов и гибкость, характеризуется низкой производительностью (50-70 кг/ч) и высокой зависимостью от человеческого фактора. Механические системы обеспечивают высокую

производительность и надёжность при калибровании по размеру и массе, но принципиально не позволяют оценивать цвет, форму и поверхностные дефекты, а также сопряжены с риском механического повреждения плодов, особенно при использовании щелевых и винтовых устройств без предварительной ориентации. Показано, что весовой принцип обеспечивает более высокую точность для плодов любой формы, однако требует индивидуальной настройки каждого калибратора.

Электронные системы технического зрения, напротив, показывают точность до 99,5 % и возможность распознавания более двадцати параметров качества одновременно, включая внутренние характеристики (сахаристость, кислотность, скрытые дефекты) с применением мульти- и гиперспектральных методов. Основными препятствиями для их широкого внедрения остаются высокая стоимость оборудования, сложность равномерного освещения всей поверхности плода, необходимость регулярной калибровки и квалифицированного обслуживания. Гибридные системы признаны наиболее прагматичным решением для большинства хозяйств, поскольку они позволяют поэтапно модернизировать существующие механические линии, добавляя оптические модули и сохраняя ручной контроль на ответственных этапах.

Перспективными направлениями развития являются создание самообучающихся нейросетевых алгоритмов, разработка компактных мультиспектральных систем для неразрушающего контроля внутреннего качества непосредственно в полевых условиях. Главной научно-технической задачей остаётся создание систем распознавания качества плодов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, способных осуществлять многостороннюю одновременную съёмку большого количества плодов с высокой производительностью и точностью, при сохранении приемлемой стоимости владения. Решение этой задачи позволит существенно сократить потери продукции, снизить зависимость

сельского хозяйства от сезонного дефицита рабочей силы и повысить конкурентоспособность плодовой продукции.

Список использованных источников

1. Сельское хозяйство в России. 2025: Стат. сб./Росстат. – М., 2025. – 81 с.
2. Утков, Ю. А., Филиппов, Р. А. Современные тенденции создания технических средств, улучшающих условия труда в промышленном садоводстве России // Вестник МИЧГАУ – 2012. – № 3. С. – 31–37.
3. Смирнов, И. Г., Хорт, Д. О., Филиппов, Р. А. Расширение функциональных возможностей техники в современном садоводстве // Сборник докладов XII Международной научно-практической (технической) конференции «Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем». Ч.1. Т. 1. М.: ВИМ, – 2012. – С. 392–398.
4. Хорт, Д. О., Филиппов, Р. А., Смирнов, И. Г. Технологические адаптеры для современных машинных технологий в садоводстве // Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции «Система технологий и машин для инновационного развития АПК России». Ч.1. М.: ВИМ. – 2013. – С. 199–202.
5. Юрин, А. Н. Анализ технических средств для автоматизированной сортировки плодов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2023. – № 56. – С. 122–129.
6. Гурьянов, Д. В. Распознавание качества плодов. Сортировочные устройства для плодов по их качеству // Робототехника в с.-х. технологиях: сб. ст. Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2014. – С. 177–182.
7. Khort, D.O., Kutyrev, A., Smirnov, I., Andriyanov, N., Filippov, R., Chilikin, A., Astashev, M.E., Molkova, E.A., Sarimov, R.M., Matveeva, T.A., et al. Enhancing Sustainable Automated Fruit Sorting: Hyperspectral Analysis and Machine Learning Algorithms // Sustainability. – 2024. – 16. – 10084.
8. Kutyrev, A., Andriyanov, N., Khort, D., Smirnov, I., Zubina, V. Adaptive CNN Ensemble for Apple Detection: Enabling Sustainable Monitoring Orchard // AgriEngineering – 2025. – 7. – 369.
9. Кутырёв А.И., Потапенков Н.А. Распознавание и подсчет плодов яблони с признаками гнили на сортировочной линии с использованием нейросетевой модели YOLO26 // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2026. – № 217. – С. 419-433.
10. Будаговская, О. Н. Лазерно-оптические методы и технические средства многопараметрической диагностики растений и плодов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02; Моск. гос. агроинж. ун-т им. В. П. Горячкина. – М., 2013. – 39 с.
11. Потапенков Н.А., Кутырёв А.И. Разработка модели свёрточной нейронной сети для распознавания и классификации плодов яблони на линии сортировки // В сборнике: Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации. Материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград. – 2025. – С. 225-231.
12. Zhang, Z. In-field grading and sorting technology of apples: A state-of-the-art review // Computers and Electronics in Agriculture. – 2024. – Vol. 226. – P. 109383.
13. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500.

14. Лакомов, Д. В. Обработка изображений при распознавании образов сельскохозяйственной продукции // Цифровизация агропром. комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 10–12 окт. 2018 г. М-во науки и высш. образования Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2018. – Т. 1. – С. 261–263.

15. Балабанов, П. В., Жиркова, А.А., Дивин, А.Г., Егоров, А.С., Мищенко С.В., Шишкина, Г.В. Информационно-измерительная система для контроля яблок по размеру при их сортировке // Контроль. Диагностика. – 2023. – Т. 26, № 6(300). – С. 36-42.

16. Потапенков, Н.А., Кутырёв, А.И. Разработка модели свёрточной нейронной сети для распознавания и классификации плодов яблони на линии сортировки // В сборнике: Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации. Материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, – 2025. – С. 225-231.

References

1. Sel'skoe hozjajstvo v Rossii. 2025: Stat. sb./Rosstat. – М., 2025. – 81 с.
2. Utkov, Ju. A., Filippov, R. A. Sovremennye tendencii sozdaniya tehniceskikh sredstv, uluchshajushhih uslovija truda v promyshlennom sadovodstve Rossii // Vestnik MICHGAU – 2012. – № 3. P. – 31–37.
3. Smirnov, I. G., Hort, D. O., Filippov, R. A. Rasshirenie funkcional'nyh vozmozhnostej tehniki v sovremennom sadovodstve // Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj (tehniceskoi) konferencii «Modernizacija sel'skohozjajstvennogo proizvodstva na baze innovacionnyh mashinnyh tehnologij i avtomatizirovannyh sistem». Ch.1. T. 1. М.: VIM, – 2012. – P. 392–398.
4. Hort, D. O., Filippov, R. A., Smirnov, I. G. Tehnologicheskie adaptory dlja sovremennyh mashinnyh tehnologij v sadovodstve // Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoj nauchno-tehniceskoi konferencii «Sistema tehnologij i mashin dlja innovacionnogo razvitija APK Rossii». Ch.1. М.: VIM. – 2013. – P. 199–202.
5. Jurin, A. N. Analiz tehniceskikh sredstv dlja avtomatizirovannoj sortirovki plodov // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2023. – № 56. – P. 122–129.
6. Gur'janov, D. V. Raspoznavanie kachestva plodov. Sortirovochnye ustrojstva dlja plodov po ih kachestvu // Robototehnika v s.-h. tehnologijah: sb. st. Michur. gos. agrar. un-t. – Michurinsk, 2014. – P. 177–182.
7. Khort, D.O., Kutyrev, A., Smirnov, I., Andriyanov, N., Filippov, R., Chilikin, A., Astashev, M.E., Molkova, E.A., Sarimov, R.M., Matveeva, T.A., et al. Enhancing Sustainable Automated Fruit Sorting: Hyperspectral Analysis and Machine Learning Algorithms // Sustainability – 2024. – 16. – 10084.
8. Kutyrev, A., Andriyanov, N., Khort, D., Smirnov, I., Zubina, V. Adaptive CNN Ensemble for Apple Detection: Enabling Sustainable Monitoring Orchard // AgriEngineering – 2025. – 7. – P. 369.
9. Kutyrev A.I., Potapenkov N.A. Recognition and counting of apple fruits with signs of rot on the sorting line using the YOLO26 neural network model // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. – 2026. – No. 217. – P. 419-433.
10. Budagovskaja, O. N. Lazerno-opticheskie metody i tehniceskije sredstva mnogoparametricheskoi diagnostiki rastenij i plodov : avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk : 05.20.02; Mosk. gos. agroinzh. un-t im. V. P. Gorjachkina. – М., 2013. – 39 s.
11. Potapenkov N.A., Kutyrev A.I. Development of a convolutional neural network model for apple fruit recognition and classification on the sorting line // In the collection: Innovative technologies in the agro-industrial complex in the context of digital

transformation. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd. – 2025. – P. 225-231.

12. Zhang, Z. In-field grading and sorting technology of apples: A state-of-the-art review // Computers and Electronics in Agriculture. – 2024. – Vol. 226. – P. 109383.

13. Kazakevich, P. P. Sistema tehničeskogo zrenija raspoznavanija defektov jablok: obosnovanie, razrabotka, ispytanie // Ves. Nac. akad. navuk Belarusi. Ser. agrar. navuk. – 2021. – T. 59, № 4. – P. 488–500.

14. Lakomov, D. V. Obrabotka izobrazhenij pri raspoznavanii obrazov sel'skohozjajstvennoj produkcii // Cifrovizacija agroprom. kompleksa : materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Tambov, 10–12 okt. 2018 g. M-vo nauki i vyssh. obrazovanija Tambov. gos. tehn. un-t. – Tambov, 2018. – T. 1. – P. 261–263.

15. Balabanov, P. V., Zhirkova, A.A., Divin, A.G., Egorov, A.S., Mishhenko S.V., Shishkina, G.V. Informacionno-izmeritel'naja sistema dlja kontrolja jablok po razmeru pri ih sortirovke // Kontrol'. Diagnostika. – 2023. – T. 26, № 6(300). – P. 36-42.

16. Potapenkov, N.A., Kutyrjov, A.I. Razrabotka modeli svjortočnoj nejronnoj seti dlja raspoznavanija i klassifikacii plodov jabloni na linii sortirovki // V sbornike: Innovacionnye tehnologii v agropromyshlennom komplekse v uslovijah cifrovoj transformacii. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii. Volgograd, – 2025. – P. 225-231.