

УДК 631.358:634.75

UDC 631.358:634.75

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 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УБОРКИ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF ROBOTIC SYSTEMS FOR STRAWBERRY HARVESTING

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

Уборка урожая ягодных культур, таких как земляника садовая, остаётся одной из самых трудоёмких операций в сельском хозяйстве, и рост цен на ручной труд стимулирует активные разработки в области автоматизации. В статье представлен анализ современного состояния и перспектив развития роботизированных систем для уборки земляники садовой. Актуальность работы обусловлена высокой трудоёмкостью ручного сбора ягод и дефицитом сезонной рабочей силы. Цель исследования – систематическая классификация существующих рабочих органов роботов-сборщиков и выявление основных тенденций их эволюции. На основе анализа отечественных и зарубежных источников (2019–2026 гг.) рассмотрены конструкции устройств для открытого и защищённого грунта. Предложена классификация захватных устройств: механические (ножничного, пальцевого типа), пневматические и вакуумные, «поглощающие» (захватывающие ягоду целиком), а также лазерные системы отделения плода. Научная новизна состоит в предложенной авторской классификации захватных устройств и выявлении гибридных систем как наиболее перспективных для условий защищённого грунта. Определены перспективные направления: переход к роевым технологиям, совершенствование манипуляторов и захватов, выведение специализированных сортов для машинной уборки. Сделан вывод, что наиболее эффективными являются гибридные системы, сочетающие лазерный срез с предварительной фиксацией ягоды, а оптимальной средой для внедрения роботов служат туннельные теплицы

Harvesting of berry crops such as garden strawberry remains one of the most labor-intensive operations in agriculture, and rising labor costs are driving active development in automation. This article presents an analysis of the current state and development prospects of robotic systems for strawberry harvesting. The relevance of the work is due to the high labor intensity of manual berry picking and the shortage of seasonal labor. The aim of the study is a systematic classification of existing end-effectors of harvesting robots and identification of the main trends in their evolution. Based on an analysis of domestic and foreign sources (2019–2026), the designs of devices for open and protected ground are considered. A classification of gripping devices is proposed: mechanical (scissor-type, finger-type), pneumatic and vacuum grippers, "engulfing" grippers (grasping the berry entirely), as well as laser fruit detachment systems. The scientific novelty lies in the proposed author's classification of gripping devices and the identification of hybrid systems as the most promising for protected ground conditions. Promising directions are identified: transition to swarm technologies, improvement of manipulators and grippers, and breeding of specialized varieties for machine harvesting. It is concluded that hybrid systems combining laser cutting with preliminary berry fixation are the most effective, and tunnel greenhouses serve as the optimal environment for robot deployment

Ключевые слова: ЗЕМЛЯНИКА САДОВАЯ,

Keywords: STRAWBERRY, MANIPULATOR,

Земляника садовая является одной из наиболее распространённых и высокорентабельных ягодных культур в России, однако самой трудоёмкой операцией при её возделывании остаётся уборка урожая. Сельскохозяйственное производство сталкивается с хронической нехваткой квалифицированных кадров, сезонным характером работ и высокими требованиями к сохранности нежных плодов [1]. В этих условиях роботизация процесса сбора становится не просто технологическим трендом, а объективной необходимостью. Как показывают передовые международные исследования развитие роботизированных систем для клубники идёт по пути создания автономных платформ с гибридной навигацией, многоруких кооперативных манипуляторов, адаптивных тросовых и бесконтактных лазерных рабочих органов [2,3]. За период 2019–2026 гг. прослеживается устойчивый переход от полуавтоматических устройств к полностью роботизированным комплексам, способным выполнять обнаружение, захват, срез и сортировку плода без участия человека. Для повышения качества и эффективности уборки необходима дальнейшая интеграция методов технического зрения, искусственного интеллекта и гибких исполнительных механизмов. В настоящей статье на основе анализа существующих конструкций предлагаются перспективные направления развития рабочих органов роботов для уборки земляники садовой, ориентированные на полную автоматизацию этого трудоёмкого процесса.

Цель исследования – провести систематический анализ и классификацию существующих рабочих органов, применяемых для сбора земляники садовой в условиях открытого и закрытого грунта, и на этой

основе выявить дальнейшие тенденции в развитии ягодоуборочной робототехники.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

1). провести систематический анализ существующих конструкций рабочих органов роботизированных систем для уборки земляники садовой в открытом и закрытом грунте на основе отечественных и зарубежных источников 2019–2026 гг.;

2). разработать классификацию захватных устройств по функционально-конструктивным признакам;

3). выявить основные тенденции эволюции роботов-сборщиков и определить наиболее перспективные направления развития;

4). обосновать выбор оптимальных типов захватов для различных агротехнических условий (открытый/закрытый грунт).

Материалы и методы. Объектом исследования являются конструкции рабочих органов роботизированных систем для сбора земляники садовой, обеспечивающие отделение спелых плодов от растения. Информационную базу составили рецензируемые научные статьи, материалы международных конференций, патентная документация и технические описания коммерческих разработок, опубликованные в период с 2019 по 2026 год. Методология базируется на системном и сравнительном анализе, позволяющем выявить общие и отличительные конструктивные признаки существующих образцов, а также на обобщении тенденций их эволюции. Классификация проведена по функционально-конструктивным особенностям рабочего органа, что послужило основой для определения наиболее вероятных направлений дальнейшего развития ягодоуборочной техники.

Результаты и обсуждение. Современный уровень промышленных технологий позволяет вплотную подойти к созданию роботизированных

технических средств, способных эффективно решать задачи выборочного сбора ягод земляники садовой. Благодаря стремительному технологическому прогрессу стали более доступными производительные контроллеры, сенсоры, системы технического зрения и исполнительные механизмы. В связи с этим возрос интерес к разработке роботизированных машин для селективного сбора (отделения созревших плодов) с применением систем технического зрения для качественного распознавания спелых ягод [4,5].

В мире создано несколько успешно функционирующих прототипов роботизированных устройств для уборки земляники садовой, и в настоящее время ведутся дальнейшие разработки, направленные на повышение качества и эффективности данной операции при этом создаваемые устройства различаются конструкцией и принципом действия рабочих органов [6,7].

В зависимости от применяемой технологии возделывания, существующие роботы для уборки земляники садовой, могут быть эффективно задействованы как в условиях открытого грунта, так и в защищенном грунте. Для открытого грунта характерна высокая изменчивость факторов внешней среды (освещённость, температура, густота листвы), в которых приходится работать роботизированным машинам для сбора урожая.

Американская компания Harvest CROO Robotics представила роботизированный уборочный комплекс В8 для открытого грунта (рис.1). В ходе полевых испытаний машина продемонстрировала производительность, сравнимую с ручным трудом. Каждый комплекс В8 оснащён 16 автономно действующими манипуляторами, которые собирают ягоды, во время движения агрегата. Для точного позиционирования и безопасного объезда препятствий система использует LiDAR с панорамным обзором 360°. Бортовая система технического зрения на базе

искусственного интеллекта анализирует каждую ягоду, оценивая степень её зрелости и состояние. Производительность комплекса достигает 2 гектаров в день при точности сбора около 80% [8].



Рисунок 1 – Робот сборщик урожая (Harvest CROO Robotics (США))

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ ведутся исследования по оценке возможности применения автоматизированного устройства с интеллектуальными алгоритмами работы для выборочного сбора ягод земляники (рис 2).



Рисунок 2 – Макетный образец автоматизированного манипулятора для сбора ягод земляники

В частности, был создан макетный образец установки с модулем технического зрения и систем искусственного интеллекта на котором отрабатывались процессы распознавания ягоды, нахождение их координат в пространстве и велась отработка алгоритмов управления движением

манипулятора с рабочим органом в виде зубчатой пластиковой колбы с подвижным лезвием [9-13]. Разработанные алгоритмы входных видеоданных позволяют распознать ягоды земляники садовой с точностью до 94%.

Большинство современных исследований (2019–2026 гг.) посвящено разработке робототехнических устройств именно для работы в закрытом грунте с использованием туннельных теплиц, где растения размещают как на традиционных грядках на уровне земли, так и на приподнятых над поверхностью рядках (например, на стеллажах или в высоких гребнях), что позволяет улучшить дренаж, удобство обслуживания и автоматизацию сбора урожая. Учёные и инженеры активно создают специализированные манипуляторы, адаптированные к ровным грядкам и подвесному положению ягод, а также разрабатывают алгоритмы машинного зрения, способные стабильно работать при искусственном и рассеянном естественном освещении [7,8]. Особое внимание уделяется компактным захватам, которые могут проникать в густую листву, не повреждая соседние плоды, без сложной защиты от пыли и влаги, что снижает стоимость и повышает надёжность [14]. Поэтому, именно туннельные теплицы служат оптимальной средой для запуска роботизированных систем сбора земляники, а развитие робототехники в защищённом грунте опережает автоматизацию открытых полей.

В Китайском сельскохозяйственном университете (China Agricultural University, Пекин), был разработан и испытан робот для автоматического сбора клубники, выращиваемой на грядках с боковым расположением ягод. Робот оснащён двумя четырёхступенными манипуляторами [15]. Колёсная мобильная платформа имеет независимый привод и рулевое управление для перемещения в узких междурядьях шириной 30–50 см (рис.3). Управление построено на двух бортовых компьютерах Jetson NANO и Jetson NX с многопоточной архитектурой на C++ и CAN-шиной, а система

технического зрения использует RGB-камеры и алгоритм YOLOv5 для определения места среза. Рабочий орган работает по принципу захвата и среза цветоноса без контакта с ягодой, обеспечивая мгновенный срез при срабатывании лазерного датчика. Полевые испытания показали, что среднее время сбора одной ягоды — 5 секунд, полнота сбора — 66,8%.

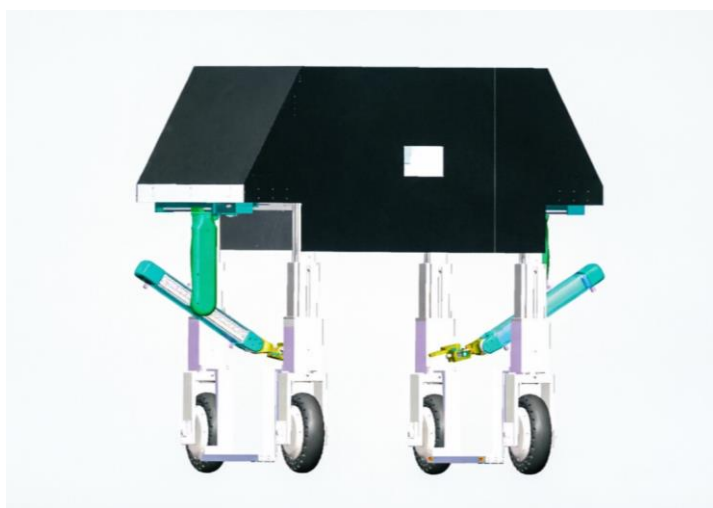


Рисунок 3 – 3D модель земляникоуборочного робота

В национальном университете науки и технологий (National Pingtung University of Science and Technology, Neipu, Pingtung (Тайвань), был создан многозвенный тросовый манипулятор змеевидного типа, который состоит из четырёх последовательно соединённых шаровых шарниров, внутри которых проходит пластиковая трубка и четыре гибких троса. Четыре серводвигателя, расположенные в основании манипулятора, управляют его вертикальным движением и углом изгиба. Рабочий орган представляет собой два комплекта зажимов (верхний и нижний) и лезвие закреплённых на конце манипулятора (рис.4). При натяжении троса лезвия перерезают цветонос и фиксируют его мягкими поролоновыми прокладками — это позволяет не повреждать ягоду. Система технического зрения использует две RGB-камеры Logitech Brio и нейросеть YOLOv4 для обнаружения ягод, оценки их контурной площади и положения центра. Точность

обнаружения ягод составила 90%, полнота сбора – 82%, среднее время сбора одной ягоды – 6,5 с [16].

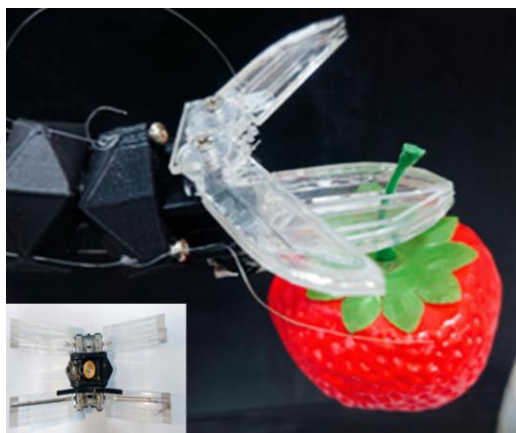


Рисунок 4 – Общий вид рабочего органа захвата

Китайским сельскохозяйственным университетом (China Agricultural University, Beijing, Пекин) совместно с Цзянсуским университетом (Jiangsu University, Чжэньцзян) был разработан робот для автоматизированного сбора клубники, выращиваемой на мульчированных чёрной пленкой грядках. Шестизвенный манипулятор с двумя призматическими и четырьмя вращательными шарнирами, разработанный специально для низких и узких рядков. Рабочий орган имеет пластиковый исполнительный механизм и при работе не касается ягоды, а захватывает и перерезает только плодоножку (рис.5).



Рисунок 5 – Опытный образец земляникоуборочного робота

В корпусе захвата расположена USB-камера, а на внутренних поверхностях захвата размещена пара лазерных датчиков (излучатель и приёмник), формирующих оптическую ось. Захват цветоноса происходит, когда он пересекает эту ось. Система технического зрения использует камеру глубины Intel RealSense D435i и лёгкую нейросеть Mask R-CNN (средняя точность обнаружения 95,78%, скорость 12 кадров/с). Управление построено на многопоточной архитектуре с CAN-шиной. Полнота сбора находится в пределах 32 - 49,3%. Среднее время сбора одной ягоды составляет 7,3 секунды [17]. Результаты сравнительного анализа рассмотренных земляникоуборочных роботов по четырём показателям приведены в таблице №1.

Название, год	Тип захвата	Полнота сбора, %	Время сбора одной ягоды, с	Тип плантации
Harvest CROO B8 (США), 2019	Механический, отрыв	80	н.д.	Открытый грунт
China Agricultural Univ. (2026)	Зажим с лезвием	66,8	5	Теплица, гряды
Pingtung University (Тайвань), 2024	Два зажима с лезвием	82	6,5	Теплица, поднятые гряды
Jiangsu University, 2024	Захват+ лазерный срез	49,3	7,3	Теплица, гряды

Таблица 1– Сравнительные показатели работы уборочных роботов

Анализ конструкций роботизированных технических средств показал, что в основном их конструкции строятся на базе самоходных колёсных или гусеничных шасси, перемещающихся над рядами. Оснащается системой технического зрения, включающей видеокамеры и 3D-стереокамеры, системой передвижения и ориентации шасси в пространстве, системой управления движением манипулятора или механизма съёма. В качестве механизмов съёма ягод обычно применяются многозвенные манипуляторы различных конструкций с вращательными

или линейными приводами, например, SCARA-манипуляторы, декартовы (портальные) системы или параллельные (дельта) роботы, а в качестве захватных устройств — вакуумные, пальцевые (двух- или трехпальцевые), пневматические) или ножничного типа, а собранный урожай перемещается и укладывается в специальную тару в виде коробок и ящиков [18]. Механические захваты с прямым срезом остаются наиболее надёжными и эффективными, но предъявляют высокие требования к точности позиционирования ($\pm 5\text{--}10$ мм) и могут повреждать соседние ягоды. Их развитие идёт по пути повышения чувствительности за счёт внедрения датчиков касания и усилия сжатия (рис.6).

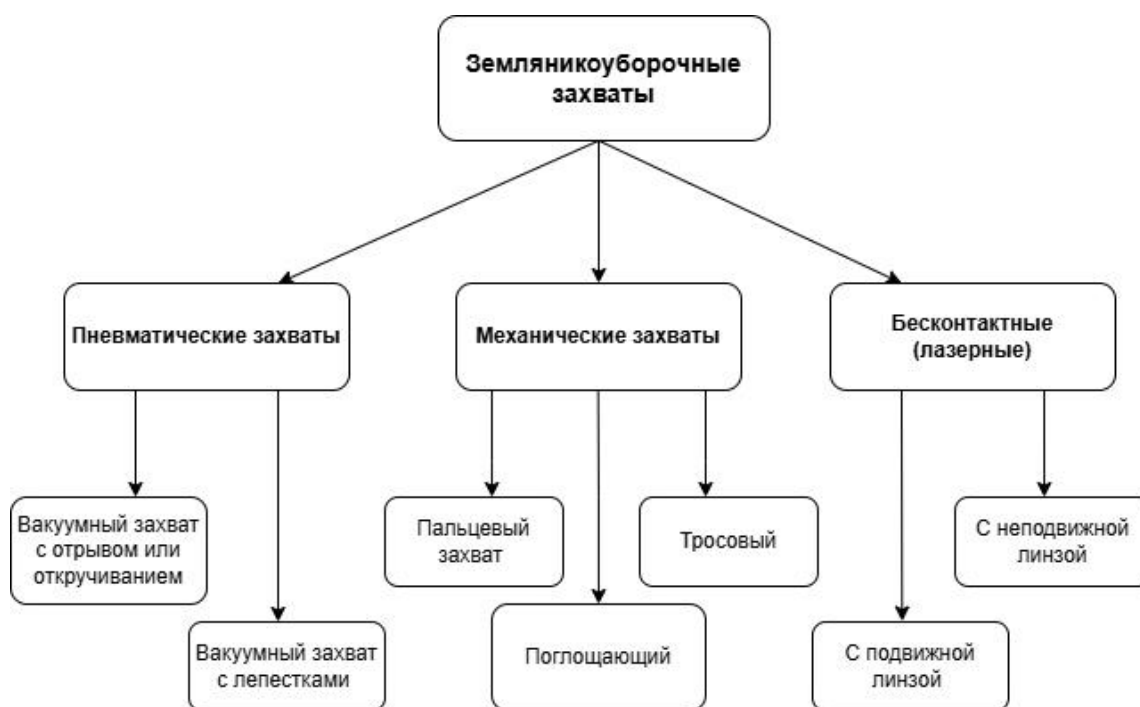


Рисунок 6 – Классификация земляникоуборочных захватов

Пневматические и вакуумные захваты позволяют компенсировать ошибки позиционирования манипулятора, но могут повреждать переспелые плоды при длительном воздействии. Их разновидности (силиконовые лепестки, присоски с подпружиненными элементами) направлены на равномерное распределение давления по поверхности ягоды.

«Поглощающие» захваты, в которые ягода помещается целиком показали высокую эффективность при сборе ягод на поднятых рядках, их особенность в сложной кинематике.

Рабочие органы с лазерным отделением плода характеризуются отсутствием механического воздействия, стерилизация места среза, возможностью работы в труднодоступных местах. Основные ограничения – высокая стоимость, необходимость защиты оператора и сложность точного наведения луча на цветонос при движении.

Выбор типа захвата определяется агротехническими условиями (открытый или закрытый грунт, рядки грядового типа или поднятые, степень облиственности и д.р.), требуемой скоростью сбора и допустимым уровнем повреждений. Наиболее перспективными признаны гибридные системы, сочетающие, например, лазерную резку стебля с предварительным захватом «поглащающего» типа или пневматической фиксацией ягоды.

Исходя из анализа рассмотренных конструкций, можно выделить основные тенденции развития роботов для уборки земляники, которые определяются несколькими направлениями.

Переход от единичных машин к роевым технологиям, где рои специализированных уборочных роботов - осуществляют деликатное отделение и укладку ягод, транспортные роботы для вывоза, собранного урожая. Один оператор сможет контролировать 8–10 машин, работающих круглосуточно, что позволит снизить себестоимость уборки на 30–40%. К 2035 году прогнозируется практически полная автономность процесса уборки, при которой участие человека в уборочном процессе минимизируется.

Совершенствование манипуляторов и захватов. В закрытом грунте на высоких грядках будут повсеместно применяться специализированные антропоморфные роботы, интегрированные в инфраструктуру плантации.

Активно ведётся выведение специальных сортов ягодных культур, предназначенных для машинного сбора с дружным созреванием и плодами устойчивыми к механическим воздействиям.

Выводы. Проведённый систематический анализ конструкций роботизированных систем для уборки земляники садовой за период 2019–2026 гг. показал, что существующие роботы базируются на самоходных колёсных или гусеничных шасси, оснащаются системами технического зрения (RGB-камеры, стереокамеры, LiDAR), многозвенными манипуляторами (SCARA, декартовы, дельта, змеевидные тросовые) и различными типами захватов.

Предложена классификация захватных устройств: механические, пневматические/вакуумные, «поглощающие» и лазерные.

Приведены основные тенденции развития земляникоуборочных систем, характеризующихся переходом от одиночных машин к роевым технологиям, совершенствованию антропоморфных манипуляторов и гибридных захватов, а также выведением специализированных сортов земляники для машинного сбора.

Для открытого грунта предпочтительны механические захваты с датчиками усилия, а для закрытого – гибридные системы, сочетающие лазерный срез цветоноса с предварительной пневматической фиксацией или захватом «поглощающего» типа.

Анализ базируется исключительно на открытых источниках, собственных натурных полевых испытаний большинства рассмотренных прототипов не проводили.

Список использованной литературы

1. Ожерельев В.Н. Научные проблемы механизации и рационализации уборки ягод – М.: РУСАЙНС. –2023. – 188 с.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Актуальные проблемы создания новых машин для промышленного садоводства// Сельскохозяйственные машины и технологии.–2013.– №3. – С. 20-23.

3. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Робототехнические средства для современного садоводства // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2016, – № 2. – С. 131-138.
4. Утков Ю.А., Филиппов Р.А., Хорт Д.О., Кутырёв А.И. Развитие машин для сбора урожая ягод земляники в России // История науки и техники. – 2020. – № 8. – С. 58-76.
5. Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Развитие технических средств для сбора ягод земляники // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 111. – Ч. 1. – С. 58-61.
6. Филиппов Р. А., Хорт Д.О., Кутырёв А.И. Роботы для уборки урожая земляники // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2019. – № 13. – С. 63-68.
7. Филиппов Р.А. Робототехнические средства для сбора ягод земляники // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2017, – №1. – С. 26-27.
8. Филиппов Р. А. Глава 8. Состояние и тенденции развития роботизированных технических средств для уборки ягод земляники садовой // Робототехника, автоматизация и управление техническими системами: Монография. – Санкт-Петербург: Гуманитарный национальный исследовательский институт НАЦРАЗВИТИЕ, 2024. – С. 62-69.
9. Хорт Д. О., Филиппов Р. А., Кутырев А. И., Пупин Д. С. Разработка автоматизированного манипулятора с системой компьютерного зрения для сбора урожая садовых культур // Плодоводство и ягодоводство России. – 2020. – Т. 60. – С. 151-158. – DOI 10.31676/2073-4948-2020-60-151-158.
10. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A. Robotized platform for picking of strawberry berries // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, Kyiv. – 2019. –Р. 869-872.
11. Патент № 2706208 С1 Российская Федерация, МПК А01D 46/30. Автоматизированный агрегат для уборки ягод земляники садовой: № 2019103514: заявл. 28.03.2019: опубл. 14.11.2019 / Д. О. Хорт, А. Н. Терешин, Р. А. Филиппов [и др.].
12. Khort D. O., Kutyrev A. I., Filippov R. A., Vershinin R. V. Device for robotic picking of strawberries // E3S Web of Conferences, Sevastopol, 07–11 сентября 2020 года. – Sevastopol, 2020. – Р. 01045. – DOI 10.1051/e3sconf/202019301045.
13. Хорт Д. О., Кутырев А. И., Смирнов И. Г., Филиппов Р.А., Вершинин Р.В. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67, № 1(38). – С. 133-141. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-1-133-141.
14. Патент № 2859244 С1 Российская Федерация, МПК А01D 46/30. Роботизированное техническое средство для сбора ягод земляники садовой: № 2025121095: заявл. 31.07.2025: опубл. 31.03.2026 / Филиппов Р.А., Кутырёв А.И.
15. Fujinaga, T. Autonomous navigation method for agricultural robots in high-bed cultivation environments // Computers and Electronics in Agriculture. – 2025. – Vol. 231. – Р. 110001. – DOI: 10.1016/j.compag.2025.110001.
16. Zhang, Y., Xie, H., Zhang, D., Yang, L., Lu, Z., Cui, T., He, X., Zhang, K. Design and experimental study of ridge-grown strawberry automatic harvesting robot // Computers and Electronics in Agriculture. – 2026. – Vol. 240. – Р. 111112.
17. Chang, C.-L., Huang, C.-C. Design and Implementation of an AI-Based Robotic Arm for Strawberry Harvesting // Agriculture. – 2024. – 14. – 2057.
18. Yu, Y., Xie, H., Zhang, K., Wang, Y., Li, Y., Zhou, J., Xu, L. // Agriculture. – 2024. – 14. – 2126. – DOI: 10.3390/agriculture1412.

References

1. Ozherel'ev V.N. Nauchnye problemy mekhanizatsii i ratsionalizatsii uborki yagod – M.: RUSAJNS. – 2023. – 188 s.
2. Izmajlov, Lobachevskij Ya.P., Smirnov I.G., Khort D.O. Aktual'nye problemy sozdaniya novykh mashin dlya promyshlennogo sadovodstva // Sel'skokhozyajstvennyye mashiny i tekhnologii. – 2013. – № 3. – P. 20-23.
3. Izmajlov, Smirnov I.G., Khort D.O., Filippov R.A. Robototekhnicheskie sredstva dlya sovremennogo sadovodstva // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 2. – P. 131-138.
4. Utkov Yu.A., Filippov R.A., Khort D.O., Kutyrev A.I. Razvitie mashin dlya sbora urozhaya yagod zemlyaniki v Rossii // Istoriya nauki i tekhniki. – 2020. – № 8. – P. 58-76.
5. Filippov R.A., Khort D.O. Razvitie tekhnicheskikh sredstv dlya sbora yagod zemlyaniki // Trudy GOSNITI. – 2013. – T. 111. – Ch. 1. – P. 58-61.
6. Filippov R.A., Khort D.O., Kutyrev A.I. Roboty dlya uborki urozhaya zemlyaniki // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2019. – № 13. – P. 63-68.
7. Filippov R.A. Robototekhnicheskie sredstva dlya sbora yagod zemlyaniki // Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika. – 2017. – № 1. – P. 26-27.
8. Filippov R.A. Glava 8. Sostoyanie i tendentsii razvitiya robotizirovannykh tekhnicheskikh sredstv dlya uborki yagod zemlyaniki sadovoy // Robototekhnika, avtomatizatsiya i upravlenie tekhnicheskimi sistemami: Monografiya. – Sankt-Peterburg: Gumanitarnyy natsional'nyy issledovatel'skiy institut NATsRAZVITIE, 2024. – P. 62-69.
9. Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I., Pupin D.S. Razrabotka avtomatizirovannogo manipulyatora s sistemoy komp'yuternogo zreniya dlya sbora urozhaya sadovykh kul'tur // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. – 2020. – T. 60. – P. 151-158. – DOI 10.31676/2073-4948-2020-60-151-158.
10. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A. Robotized platform for picking of strawberry berries // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, Kyiv. – 2019. – P. 869-872.
11. Khort D.O., Tereshin A.N., Filippov R.A., et al. Patent № 2706208 C1 Russian Federation, MPK A01D 46/30. Avtomatizirovannyi agregat dlya uborki yagod zemlyaniki sadovoy: № 2019103514; appl. 28.03.2019; publ. 14.11.2019.
12. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries // E3S Web of Conferences, Sevastopol, 07–11 September 2020. – Sevastopol, 2020. – P. 01045. – DOI 10.1051/e3sconf/202019301045.
13. Khort D.O., Kutyrev A.I., Smirnov I.G., Filippov R.A., Vershinin R.V. Razrabotka algoritmov sistemy raspoznavaniya yagod zemlyaniki sadovoy pri robotizirovannom sbore // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. – 2020. – T. 67, № 1(38). – P. 133-141. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-1-133-141.
14. Filippov R.A., Kutyrev A.I. Patent № 2859244 C1 Russian Federation, MPK A01D 46/30. Robotizirovannoe tekhnicheskoe sredstvo dlya sbora yagod zemlyaniki sadovoy: № 2025121095; appl. 31.07.2025; publ. 31.03.2026.
15. Fujinaga T. Autonomous navigation method for agricultural robots in high-bed cultivation environments // Computers and Electronics in Agriculture. – 2025. – Vol. 231. – 110001. – DOI 10.1016/j.compag.2025.110001.
16. Zhang Y., Xie H., Zhang D., Yang L., Lu Z., Cui T., He X., Zhang K. Design and experimental study of ridge-grown strawberry automatic harvesting robot // Computers and Electronics in Agriculture. – 2026. – Vol. 240. – 111112.

17. Chang C.-L., Huang C.-C. Design and Implementation of an AI-Based Robotic Arm for Strawberry Harvesting // Agriculture. – 2024. – Vol. 14. – 2057.
18. Yu Y., Xie H., Zhang K., Wang Y., Li Y., Zhou J., Xu L. Agriculture. – 2024. – Vol. 14. – 2126. – DOI 10.3390/agriculture14122126.