

Список использованной литературы

1. Карпов, В.В. Построение номограммы для определения параметров гофро-дискового очистителя корнеклубнеплодов / В.В. Карпов. – Вестник Алтайского гос. аграр. ун-та. – 2014. – Вып. 1 (111). – С.91–93.
2. Юхин, Г.П. Совершенствование технологий и технических средств заготовки и подготовки к скармливанию кормовых корнеплодов : дис. ... доктора техн. наук : 05.20.01 / Г.П. Юхин. – Оренбург, 2006. – 347л.
3. Романюк, Н.Н. Анализ рабочих органов машин для очистки корнеклубнеплодов / Н.Н.Романюк, С.Д. Пашковский, С.В. Есипов // Сборник материалов науч.-практ. конф. «Техсервис-2016» / под ред. А.В. Мирановича. – Минск, БГАТУ, 2016. – С. 182–186.
4. Устройство для очистки корнеклубнеплодов от примесей : патент 9356 U РБ, МПК А 01D 33/08 / Н.Н.Романюк [и др.]; заявитель БГАТУ. – № u20120959 ; заявл. 05.11.2012; опубл. 30.08.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 4. – С.186–187.
5. Устройство для очистки корнеклубнеплодов от примесей : патент 9236 U Респ. Беларусь, МПК А 01D 33/08 / Н.Н.Романюк [и др.]; заявитель БГАТУ. – № u20121051; заявл. 28.11.2012; опубл. 30.06.2013 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 3. – С. 163.
6. К вопросу определения конструкционных параметров машины для очистки корнеклубнеплодов от примесей / Н.Н. Романюк [и др.]. // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – №5. – С. 13–16.
7. А.с. SU №1306508, МПК А01D 33/08, 30.04.87, Бюл. №16.
8. Патент РФ №2705308, МПК А01D 33/08, 06.11.2019, Бюл. №31.
9. Очиститель корнеплодов от почвы: патент 2819247 С1 РФ, МПК А01D 33/08 / Г.Е.Кокиева (RU), Н.Н.Романюк (BY), В.А.Агейчик (BY) [и др.]; заявитель Бурятская гос. сельхоз. академия им. В.Р.Филиппова (RU).– № 2023110816; заявл. 25.04.2023 ; опубл. 15.05.2024 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2024. Бюл. №14.

Summary. The proposed original design of the root crop soil cleaner will improve the reliability of its operation and the quality of cleaning.

УДК: 631.359:62-52

Филиппов Р.А., кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник,
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
г. Москва, Российская Федерация

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЯГОДОУБОРОЧНЫХ РОБОТОВ

Аннотация. Уборка урожая ягодных культур, таких как малина и 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 проведён анализ современного технического состояния роботизированных систем для уборки садовой земляники и малины, рассмотрены

конструктивные особенности устройств для открытого и защищённого грунта и определены перспективные направления развития уборочных роботов.

Abstract. The harvesting of berry crops such as raspberries and strawberries remains one of the most labor-intensive operations in agriculture, and the rising cost of manual labor is driving active research and development in automation. This article analyzes the current technical state of robotic systems for harvesting strawberries and raspberries, discusses the design features of devices for open and protected ground, and identifies promising directions for the development of harvesting robots.

Ключевые слова: ягодоводство, уборка урожая, ягодные культуры, земляника садовая, малина, робот, манипулятор.

Keywords: berry growing, harvesting, berry crops, strawberry, raspberry, robot, manipulator.

Садовая земляника и малина относятся к числу наиболее распространённых и высокодоходных ягодных культур в России. При этом самым трудоёмким процессом в их выращивании остаётся сбор урожая. Традиционный ручной сбор ягод на плантации выполнялся сборщиками с ящиками или другой тарой. Позже появился ручной сбор с приспособлениями для размещения тары, такими как подставки и мобильные колёсные платформы (одноместные, двух-, трёхместные или групповые, с мускульным или электроприводом, причём групповые обычно были прицепными) [1-5]. Далее выделяют механизированный сбор поточными машинами для однократной уборки после массовых сборов, включающий формирование куста, съём, улавливание, очистку и затаривание ягод для технической переработки. Наконец, роботизированный (выборочный селективный) сбор, где с развитием микроэлектроники и оптики машины распознают спелость ягоды и с помощью манипуляторов собирают урожай [6].

В настоящее время для повышения качества и эффективности этой операции ведутся разработки роботизированных устройств, которые отличаются конструкцией и принципом действия рабочих органов. На данный момент в мире существует несколько успешно работающих образцов роботизированной техники для сбора ягод, однако их широкое промышленное применение пока не получило распространения [7,8].

В зависимости от применяемой технологии возделывания, существующие и разрабатываемые в настоящее время 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.

Обычно 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 съема. В качестве механизмов съема 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, мягкие (адаптивные) или ножничного типа, а собранный урожай перемещается и укладывается в специальную тару в виде коробок и ящиков [9,10].

Например, в Калифорнийском технологическом институте (UCLA) создан экспериментальный образец уборочного робота со стереокамерами: аппарат сканирует грядку с разных ракурсов, а манипулятор, обнаружив ягоду, захватывает её, отрывает вращением вокруг оси и отправляет в контейнер (рисунок 1).

Учёные из Флориды (США) разработали устройство Harvest CROO Robotics, включающее 16 уборочных модулей с 6 захватами в каждом, где специальный механизм приподнимает листья растений, после чего захваты отрывают ягоду [11]. Основными технологическими особенностями применения роботов в открытом грунте является необходимость решения задачи механического подъёма листвы для обнаружения ягод [12].



Рисунок 1 – Земляникоуборочный робот и его рабочий орган

В настоящее время большое распространение получает возделывание земляники садовой в закрытом грунте с использованием туннельных парников, 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.

В туннельных парниках, в отличие от открытого грунта, складываются гораздо более управляемые микроклиматические условия, что делает их оптимальными для автоматизированной уборки земляники. Благодаря отсутствию дождя, ветра и грязи ягоды остаются неподвижными, а междурядья – чистыми. Стабильное освещение без резких перепадов теней повышает чёткость работы стереокамер. Ровные, прямые и особенно приподнятые грядки, на которых ягоды свободно свисают на цветоносах, заметно облегчают навигацию робота и сам процесс захвата. Кроме того, минимизация биологических помех (насекомые, листва) сокращает число ошибочных срабатываний захватных устройств.

Специалисты японского исследовательского института IAM-BRAIN создали роботизированную систему, которая передвигается по рельсам, проложенным между грядками. Встроенная система компьютерного зрения оценивает степень зрелости – когда красный цвет занимает не менее 80% поверхности ягоды, манипулятор срезает её и аккуратно укладывает в лоток – на одну ягоду уходит около 8 секунд. Система технического зрения оснащена несколькими цифровыми камерами: две используются для первоначальной настройки, а третья – для точного наведения манипулятора при захвате и перемещении [13].

Одной из наиболее технически совершенных разработок является роботизированная машина «Agrobot SW6010» испанской компании «Advesva» – самоходное колёсное шасси для туннельных теплиц, оснащённое 24 независимыми манипуляторами. Для оценки спелости здесь используется система технического зрения на базе мощных графических процессоров NVIDIA Jetson, что позволяет машине выборочно собирать только созревшие ягоды, а на этапе упаковки работает оператор, контролирующий процесс (рисунок 2).

Благодаря прогрессу в области микроэлектроники стало возможным создание машин для выборочного и бережного съёма ягод малины, и в настоящее время уже начинаются испытания роботизированных комплексов для выборочного сбора ягод малины.



Рисунок 2 – Земляникоуборочная машина «Agrobot SW6010» и её рабочий орган

Британская компания Fieldwork Robotics создала робота Fieldworker 1 с четырьмя манипуляторами и мягкой мембраной-чашей, которая аккуратно снимает ягоду. Машинное зрение здесь дополнено спектральным анализом для проверки спелости перед сбором; производительность составляет 150–300 ягод в час (около 2 кг), что сравнимо с человеком, но робот может работать круглосуточно (рисунок 3).

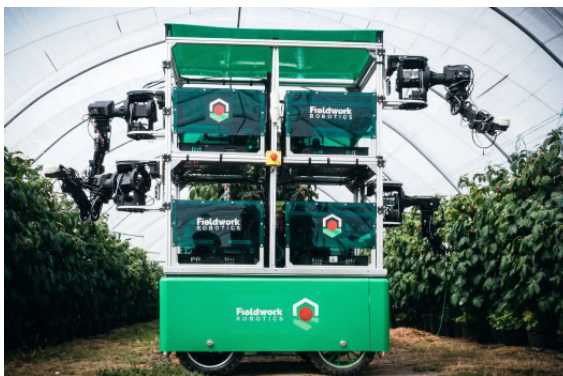


Рисунок – 3 Малиноуборочный робот

Несмотря на то, что технологии автоматизированного сбора вплотную приблизились к коммерческой основе, основными ограничениями по-прежнему являются высокая степень скрытия ягод под листвой и жесткие требования к минимизации механического воздействия на плоды. Наиболее успешные конструкции уже демонстрируют коммерчески приемлемые показатели (30 кг/час, до 83% успешного сбора).

Тенденции развития роботов для уборки ягод определяются несколькими базовыми направлениями. Важнейшей тенденцией становится переход от единичных роботов к роевому управлению, когда один оператор контролирует 8–10 машин, работающих круглосуточно, что позволит снизить себестоимость уборки на 30–40% к 2030 году. Перспективные роботы будут иметь сменные манипуляторы и программные модули для работы с малиной, земляникой и другими ягодными культурами без замены аппаратной части.

Внедрение тактильных датчиков и гибридных систем «зрение + осязание» позволит роботам находить ягоды даже при полном визуальном закрытии листвой.

Немаловажным фактором является выведение специальных сортов ягодных культур, предназначенных для машинного сбора с дружным созреванием и плотными плодами.

По оценкам аналитиков, рынок роботов для сбора ягод вырастет с \$500 млн в 2025 году до \$1,8 млрд к 2033 году. В ближайшие 5–7 лет следует ожидать промышленного внедрения роботов сборщиков урожая.

Список использованной литературы

1. 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.
2. Филиппов Р. А., Утков Ю.А. Технические средства для совершенствования ручного сбора ягод земляники на промышленной плантации // Садоводство и виноградарство. – 2010. – № 2. – С. 37-40.
3. Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Развитие технических средств для сбора ягод земляники // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 111. – Ч. 1. – С. 58-61.
4. Патент № 2854118 С1 Российская Федерация, МПК A01D 46/00, B62D 9/00. Платформа с электроприводом для уборки ягод земляники: заявл. 05.06.2025: опубл. 29.12.2025 / Р. А. Филиппов, А. И. Кутырев.
5. Патент № 2523500 С1 Российская Федерация, МПК A01D 46/00, A01B 75/00. Платформа для ручной уборки ягод земляники и других низкорастущих культур: № 2013119102/13: заявл. 25.04.2013: опубл. 20.07.2014 / Р. А. Филиппов, Ю. А. Утков, Д. О. Хорт, И. Г. Смирнов.
6. Патент № 2706208 С1 Российская Федерация, МПК A01D 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.].
7. Патент № 2859244 С1 Российская Федерация, МПК A01D 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.
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. – EDN EJZNEQ.
9. 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.
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. 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.
12. Филиппов Р.А. Робототехнические средства для сбора ягод земляники // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2017. – № 1. – С. 26-27.
13. Мишуров Н.П., Кондратьев О.В., Федоренко В.Ф., Федоров А.Д., Слинько О.В., Войтюк В.А. Цифровые системы и роботизированные технические средства для садоводства: аналит. обзор // М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2022. – 80 с.

Summary. The article analyzes the current state of the art of robotic systems for harvesting strawberries and raspberries. It is shown that for open field conditions, the main challenges are variability of illumination and occlusion of berries by foliage, which requires mechanical leaf lifting and advanced vision systems. In protected cultivation (tunnel greenhouses), smoother and often raised beds create more favorable conditions for robot operation. Promising directions for the development of berry harvesting robots are identified.