

УДК 63.3:629.1.08

UDC 63.3:629.1.08

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика
(экономические науки)5.2.3. Regional and sectoral economics (economic
sciences)**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
САМОУПРАВЛЯЕМОЙ РОБОТОТЕХНИКИ В
АПК****MODERN TECHNOLOGIES OF SELF-
MANAGED ROBOTICS IN THE AGRO-
INDUSTRIAL COMPLEX**

Барановская Татьяна Петровна
д-р экон. наук, профессор, зав. кафедрой
системного анализа и обработки информации

Baranovskaya Tatyana Petrovna
Doctor of Economics, Professor, Head of the
Department of System Analysis and Information
Processing

SPIN-код: 2748-0302
ORCID 0000-0003-3005-5486
Scopus Author ID: 57191188597
bartp_2@mail.ru

RSCI SPIN-code: 2748-0302
ORCID 0000-0003-3005-5486
Scopus Author ID: 57191188597
bartp_2@mail.ru

Золотарев Сергей Александрович
аспирант
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Россия,
Краснодар 350044, Калинина 13*

Zolotarev Sergey Alexandrovich
postgraduate student
*Kuban State Agrarian University named after I.T.
Trubilin, Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia*

Статья посвящена обзору современного состояния
робототехники в выборочной уборке урожая в
открытых и закрытых аграрных системах. Автор
делает выводы о состоянии, проблемах,
потенциале и ограничениях существующих систем
и предлагает будущие направления исследований
рынка выборочного сбора урожая в АПК

The article is devoted to an overview of the current
state of robotics in selective harvesting in open and
closed agricultural systems. The author draws
conclusions about the state, problems, potential and
limitations of existing systems and suggests future
directions for market research of selective harvesting
in agriculture

Ключевые слова: САМОУПРАВЛЯЕМАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА,
АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, ВИДЫ
ТЕХНИКИ И ОБОРУДОВАНИЯ,
ВЫСОКОЦЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ, ВЫБОРОЧНАЯ
УБОРКА УРОЖАЯ, РОБОТОТЕХНИКА,
ТЕПЛИЦА, ФРУКТОВЫЙ САД, ОТКРЫТЫЙ
ГРУНТ

Keywords: SELF-MANAGED AGRICULTURAL
MACHINERY, AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX,
TYPES OF MACHINERY AND EQUIPMENT,
HIGH-VALUE CROPS, SELECTIVE
HARVESTING, ROBOTICS, GREENHOUSE,
ORCHARD, OPEN GROUND

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-199-033>

1. Введение

В связи с ожидаемым увеличением численности населения почти до 10 миллиардов к 2050 году, сельское хозяйство сталкивается с дефицитом рабочей силы из-за старения аграрного населения и роста городского. Сельскохозяйственные работы зачастую тяжелы, монотонны и неинтересны, в связи с этим актуальной становится задача усиления

автоматизации и внедрения робототехники в аграрной сфере.

В настоящий момент ценные сельскохозяйственные культуры, такие как яблоки, помидоры и брокколи собирают ручным способом, что делает этот процесс одним из наиболее затратных и трудоемких в аграрной отрасли. Однако, технологические прорывы и инновации обещают радикальные изменения в аграрной индустрии. Среди них выделяется создание роботов для выборочного сбора урожая, что может стать началом новой эры в сельском хозяйстве. Тем не менее, для роботов выборочный сбор остается сложной задачей из-за разнообразия условий, ограниченности информации и требований безопасности.

Эта статья дает обзор текущего прогресса в области роботов для выборочного сбора урожая, применяемых в открытых и закрытых аграрных системах. В ней рассматриваются текущие препятствия, с которыми сталкиваются эти технологии, и очерчиваются перспективные направления будущих исследований.

Ценные урожаи, такие как яблоки, помидоры и брокколи, созревают одновременно и требуют тщательного отбора зрелых плодов. Такие культуры, как яблони и виноградники, нуждаются в бережном обращении при сборе урожая. Из-за сложности автоматизации сбор урожая часто выполняется вручную, что делает его одним из самых затратных этапов в сельском хозяйстве. Это стимулирует разработку роботизированных систем для автоматизации сбора урожая.

Автоматизация уборки урожая экономит ресурсы и повышает стабильность процесса. Роботы собирают урожай и контролируют его состояние, проводят его диагностику на предмет заболеваний и отслеживают его рост. Современные роботизированные системы, оснащенные датчиками и навигацией, выполняют множество задач, адаптируясь к условиям и обеспечивая эффективность сельскохозяйственных операций с минимальным участием человека

Из-за сложности выборочного сбора урожая, такие роботы ещё не широко распространены на сельскохозяйственном рынке. Однако, исследования показывают, что множество новаторских компаний работают над преодолением проблем, связанных с разнообразием условий и ограниченными данными, обеспечивая безопасность при работе современных роботов.

2. Современные технологии выборочной уборки урожая

Применение метода выборочного сбора урожая охватывает три ключевые сферы: тепличное хозяйство, фруктовые сады и поля с открытым грунтом.

2.1. Тепличное хозяйство

В теплицах легко контролируемая среда для круглогодичного выращивания растений, в них можно точно регулировать температуру, влажность и состояние воздуха. Тепличные культуры выращивают в субстратах для оптимального питания и водоснабжения. Работа в теплице включает несколько этапов от подготовки помещения до сбора, сортировки и фасовки урожая, и может быть автоматизирована с помощью роботизированных систем. Тепличные хозяйства применяют специальные методы культивирования для эффективного использования света и пространства, включая автоматизацию процессов.

Проанализируем последние достижения в области автоматизации сбора урожая в сельском хозяйстве на примере различных компаний. Команда Xiong сконцентрировали усилия на автоматизации сбора клубники, создав экономичного робота с парой манипуляторов. Эта система отличалась повышенной адаптацией к различным уровням освещенности благодаря цветовому моделированию, зависящему от интенсивности света. Робот оснащен функцией захвата для устранения

препятствий и сбора клубники, даже если она сгруппирована. Эффективность сбора колебалась от 20% в сложных условиях, когда зрелая ягода находилась среди незрелых, до 100% при наличии отдельно стоящей зрелой ягоды. В режиме работы с двумя манипуляторами продолжительность одного цикла работы составляла 4,6 секунды.

В рамках проекта "SWEEPER" был создан робот для сбора сладкого перца. Этот робот включает в себя промышленный робот-манипулятор с шестью степенями свободы, оснащенный специализированным захватывающим устройством, камеру RGB-D с GPU-компьютером, программируемые контроллеры и компактный контейнер для хранения урожая. Робот был протестирован, показав эффективность сбора в 61% случаев в идеальных агрокультурных условиях и в 18% случаев [4] в реальных коммерческих условиях. Среднее время выполнения задачи составило 24 секунды, включая процесс сбора и перемещения по площадке. Однако, сложности с обнаружением фруктов и их сбором возникали из-за высокого уровня перекрытия растений в коммерческих условиях.

В рамках проекта, схожего с предыдущим, был создан робот по имени Harvey, который прошел тестирование на 68 экземплярах сладкого перца. Результаты показали, что робот успешно справился с уборкой урожая в 76,5% случаев при работе в модифицированных агроусловиях и в 47% случаев [5] в стандартных условиях. Время, необходимое для выполнения одного цикла сбора, составило 36,9 секунды, без учета времени на перемещение по полю. Система распознавания фруктов и их плодоножек, разработанная на основе методов глубокого обучения и трехмерной обработки изображений, эффективно функционировала в модифицированных условиях, однако встречала проблемы из-за беспорядка и перекрытия растений в обычных условиях выращивания.

Команда Ling и др. создала роботизированную систему для сбора

томатов, оснащенную парой манипуляторов и бинокулярным видеосенсором для выявления и определения местоположения плодов. В упрощенной экспериментальной среде робот показал эффективность в 87,5% с временем цикла сбора в 29 секунд [6], не включая время на перемещение по платформе.

В настоящее время активно ведется работа над академическими и промышленными проектами, целью которых является создание роботов для выборочной уборки урожая в теплицах. Благодаря прогрессу в областях машинного обучения и инженерии эффективность роботов постепенно возрастает, хотя их текущая производительность и скорость все еще слишком низки для широкого коммерческого использования. Главной задачей в разработке роботов уборщиков является адаптация к сложным условиям в теплицах, где много лишних элементов. Однако, если упростить условия, например, убрав часть листвы и плодов, производительность роботов значительно улучшается.

2.2. Фруктовый сад

Структура фруктового сада обычно менее организована по сравнению с теплицами, что может затруднить ориентацию роботов. В условиях сада невозможно управлять экологическими параметрами, это делает естественные колебания более выраженными. Работа в саду схожа с тепличной работой, но требует более детальной обрезки и ухода за деревьями. В отличие от растений, выращиваемых в теплицах, садовые растения живут годами и обладают большей устойчивостью, что уменьшает вероятность повреждения уборочных роботов.

Сбор свежих фруктов представляет собой операцию, требующую особой точности и внимания, и на данный момент является предметом интенсивных исследований. Несколько компаний провели тщательные

исследования в сборе урожая фруктов и разработали уникальные устройства для автоматического сбора яблок. Прорыв в технологии глубокого обучения позволил значительно улучшить процесс распознавания фруктов на фотографиях, полученных с помощью камер. В качестве примера, исследование, проведенное Sa и его коллегами, показало эффективность использования глубоких нейронных сетей для идентификации разнообразных видов фруктов. Исследование сбора урожая яблок было также проведено компанией Silwal, которая предложила свою роботизированную систему для уборки свежих яблок. Эта система оснащена универсальной камерой, манипулятором с семью степенями свободы и специализированным захватом для сбора фруктов, который работает на основе управления без обратной связи. Робот показал общую эффективность в 84% [2], а среднее время, необходимое для сбора одного фрукта, составило 6 секунд.

Команда Zhao тоже работала над роботом по сбору яблок и создала уникальный манипулятор с пятью степенями свободы, который облегчает процесс управления и позволяет легко избегать препятствий. Они также разработали специальный захват в виде ложки для сбора фруктов, оснащенный датчиком давления для точного контроля силы захвата, а также встроенным режущим устройством. В ходе полевых тестов с 39 яблоками, робот продемонстрировал успешность в 77% случаев [2], а среднее время выполнения одного цикла работы составило примерно 15 секунд.

Группа исследователей во главе с Vaeten разработала автономный фруктосборочный аппарат (AFPM), предназначенный для уборки яблок. Этот аппарат сочетает в себе промышленный роботизированный манипулятор и камеру, расположенную непосредственно на "руке" манипулятора. Для оптимизации визуального восприятия использовался специальный кожух, защищающий от прямых солнечных лучей и

создающий условия для более стабильного освещения. Исследование показало, что машина может заменить работу примерно шести человек, что делает её использование экономически оправданным.

Команда Cubero создала усовершенствованный сервоконтроллер для робота-сборщика яблок и апельсинов, который использует визуальные данные для точного управления манипулятором. Кроме того, была разработана энергоэффективная система освещения и компактная камера для сбора визуальной информации, что повышает надежность и эффективность процесса сбора фруктов.

Abundant Robotics разработала устройство для уборки яблок, которое использует вакуум для отсоединения яблок от веток. FFRobotics (www.ffrobotics.com) создала многофункционального робота для сбора яблок, оснащенного несколькими руками и трехпалым механизмом захвата, который срывает плоды, крутя их. А Energid (www.energid.com) представила робота для сбора цитрусовых, дополняя ряд инновационных решений в агроробототехнике.

К недостаткам роботизированных систем относятся ограниченное время работы, трудности в распознавании фруктов, если они частично скрыты, и проблемы с точным и надежным манипулированием для сбора фруктов

2.3 Открытый грунт

На открытых участках земли, полях, выделенных для посева, семена высаживаются прямо под открытым небом, и растения растут рядами. В противоположность процессу сбора урожая в теплицах и в садах, где роботизированные уборщики обычно располагаются по бокам от урожая, комбайны для работы на открытом поле обычно оснащены системами, которые осматривают урожай сверху вниз. Урожай таких

полевых культур, как пшеница, кукуруза и картофель, обычно собирают одновременно, что ведет к уничтожению растений. Для сбора этих культур используются специализированные механизированные комбайны. В то время как некоторые культуры, которые растут более неравномерно или являются многолетними, например, спаржа, брокколи, салат и дыня, требуют индивидуального сбора урожая.

Роботизированный сбор урожая на открытом воздухе сталкивается с большими трудностями по сравнению со сбором в закрытом грунте, в основном из-за различий в росте растений и переменчивости погодных условий таких как: освещение, ветер, осадки. Для уменьшения влияния непостоянства погодных условий, большинство таких систем защищены козырьком, который предохраняет от воздействия прямых солнечных лучей и осадков.

Были проанализированы несколько компаний, которые разрабатывали роботов уборщиков для открытого грунта по сбору спаржи, брокколи, цветной капусты, салата айсберг и дынь. Команда Leu разработала робота для сбора зеленой спаржи, вырастающей над землей. Эта автоматизированная система включает в себя мобильную платформу на четырех колесах, камеру RGB-D и пару роботизированных сборочных аппаратов. Для обнаружения и слежения за спаржей использовался метод трехмерного облака точек. Сборочный аппарат состоит из манипулятора с двумя резиновыми захватами и парой лезвий, способных отрезать стебель спаржи за примерно 2 секунды. Используя два таких инструмента, робот может собирать до пяти растений спаржи на каждый метр. По данным Leu, эффективность сбора урожая составила 90% во время полевых испытаний на плантациях зеленой спаржи.

Команда исследователей под руководством Chatzimichali разработала роботизированное устройство для выборочного сбора белой спаржи, которая развивается напротив, под землей. Это устройство

включало в себя роботизированную платформу на гусеницах и пару камер, предназначенных для обнаружения верхушек спаржи.

Команда Kusumam создала метод трехмерного визуализирования, применяя техники машинного обучения для выявления головок брокколи на изображениях с RGB-D камеры.

Исследовательская группа Blok также занималась разработкой метода для распознавания кочанов брокколи, используя технологии глубокого обучения. Особое внимание уделялось адаптации этого подхода для точного выборочного сбора урожая различных новых видов брокколи.

Группа исследователей под руководством Klein разработала обоснование для создания робота, который бы выборочно собирал цветную капусту, выявляя и оценивая зрелость урожая, а также аккуратно срезая овощи при сборе урожая. Команда Birrell разработала Vegebot, автоматизированного робота для выборочного сбора салата айсберг. Этот робот был оборудован парой RGB-камер и специализированным роботизированным манипулятором. Для определения местоположения и классификации салатов айсберг использовались две сверточные нейронные сети: одна для выявления салатов айсберг, другая для их категоризации на зрелые, незрелые и пораженные болезнями. Сбор урожая осуществлялся с помощью пневматического захвата с камерой, ременным приводом и мягкими лапами. Система контроля усилия обеспечивала точность достижения захватом земли. Кочаны салата айсберг отсекались ножом. По результатам полевых тестов, Vegebot успешно собирал урожай в 88% [3] случаев, среднее время сбора составило 31,7 секунды.

Фирма Edan разработала робота для выборочного сбора дынь, предназначенного для работы в качестве инструмента, приводимого в действие трактором. Он был оборудован парой монохромных камер, декартовым манипулятором и пневматическим захватом. Обнаружение

дынь осуществлялось благодаря алгоритму, анализирующему текстуру и форму на изображениях. Для определения маршрута движения робота использовался алгоритм коммивояжера. Пневматический захват снабжен датчиком приближения для определения момента касания земли. После этого дыня захватывалась и поднималась таким образом, чтобы стебель натягивался перед тем, как её отрезали двумя лезвиями. Edan проводили испытания робота на протяжении двух сезонов, зафиксировав 93% точность обнаружения и 86% эффективность сбора урожая. В среднем на сбор одной дыни уходило 15 секунд.

Все описанные роботы разрабатывались на протяжении более 20 лет начиная с 90-х годов специально для выборочной уборки овощных культур. Каждый из них оснащался уникально разработанным конечным исполнительным устройством, которое осуществляло срезание с помощью роботизированного лезвия. Эффективность и скорость сбора урожая в открытом грунте оказались выше, чем в теплицах и садах, благодаря более простой структуре растений.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что робототехника значительно повышает эффективность промышленного производства. Специализация задач, стабильность рабочих условий и уменьшение разнообразия обрабатываемых объектов позволяют роботам выполнять операции быстрее и точнее, что ведет к повышению производительности и снижению затрат.

3. Заключение

Статья дает обзор текущего прогресса в области роботов для выборочного сбора урожая, используемых в теплицах, садах и на открытых полях. Несмотря на длительные исследования, такие роботы пока не соответствуют коммерческим критериям эффективности и скорости работы. Основными элементами успешного сбора урожая

являются системы восприятия, способные распознавать продукцию и другие части растений, а также инструменты и методы уборки. Анализируя сложности, с которыми сталкивается сельскохозяйственная робототехника, можно сформулировать определенные заключения.

Современные достижения в сфере машинного обучения существенно повысили точность восприятия, доказано, что детектирующие алгоритмы на базе машинного обучения надежно функционируют несмотря на колебания во внешности объектов и условиях среды. Эти методы также эффективно адаптируются к новым видам и условиям окружающей среды. Однако, сложности, связанные с неполными данными из-за перекрытий объектов, остаются серьезной задачей особенно в теплицах и фруктовых садах, где растительность имеет большую сложность, чем на открытых полях.

В каждом исследовании создавался уникальный инструмент для уборки урожая и большинство из них отличались повышенной жесткостью и габаритами. Процесс отделения продукции обычно осуществлялся с помощью автоматизированного резака, а иногда и за счет скручивания или вакуумного захвата. В условиях, где пространство занято различными препятствиями, эффективность сбора снижалась, преимущественно из-за неспособности инструмента достичь цели без контакта с растениями или из-за ошибок в определении местоположения, вызванных ограничениями системы восприятия, также инструменты часто причиняли вред растениям и плодам.

В исследованиях, проведенных в теплицах, было обнаружено, что удаление излишних листьев и плодов способствует упорядочиванию пространства и повышает эффективность сбора урожая. Такие изменения в культуре уменьшают частоту возникновения перекрытий, улучшая работу алгоритмов восприятия и делая процесс сбора урожая более успешным за счет свободного пространства.

Роботы для теплиц и садов имеют цикл работы в тридцать секунд, что существенно уступает скорости человеческого труда и является препятствием для их коммерческого использования. В то же время, благодаря менее сложным условиям, автоматизированный сбор урожая на открытом поле обычно происходит гораздо быстрее, чем в тепличных условиях.

В данном обзоре описаны роботы, которые специализируются исключительно на сборе урожая. Однако сбор урожая — это только один из множества этапов агрокультурного процесса среди разнообразия агротехнических операций, необходимых для обслуживания сельскохозяйственных культур.

На основе проведенного анализа, были сформулированы следующие заключения. Вопреки прогрессу в сфере машинного обучения, эффективность систем компьютерного зрения продолжает зависеть от колебаний освещенности рабочего пространства. Использование искусственного освещения для осветления рабочей зоны под капотом в ряде случаев помогло устранить эту проблему. Альтернативой может служить ночная работа, а также предлагается селекция, ориентированная на робототехнику. Селекционеры активно заинтересованы в отборе таких сортов, которые обеспечивают высокую урожайность и оптимально подходят для автоматизированной обработки на производстве.

Можно выделить несколько методов преодоления изменчивости и неопределённости в сельскохозяйственной робототехнике. Одним из них является интеграция более глубоких знаний специализированной области в создание и использование роботизированных систем. И второй метод заключается в улучшении сенсорных систем, выходящих за рамки традиционного машинного зрения, действующего в видимом и инфракрасном диапазонах.

Современные, относительно неэластичные технологии захвата,

используемые в агропродовольственном секторе, не всегда эффективны в ситуациях, где требуется быстрый цикл работы и приходится сталкиваться с разнообразием размеров и текстур продукции.

Изменчивость и неопределенность в сельском хозяйстве замедляют внедрение полностью независимых роботизированных систем в агрокультуре. В качестве промежуточного этапа к полной автономии может быть использовано сотрудничество между роботами и людьми, сочетая их умения и способности в рамках совместной работы. Хотя для экономической эффективности, часто предлагается, чтобы новые технологии могли полностью заместить труд людей.

Список использованной литературы

1. Баранов, В. В. Моделирование и оптимизация процессов управления самоуправляемой сельскохозяйственной техникой / В. В. Баранов, А. В. Кузнецов, А. А. Абрамов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 5. – С. 15–25.

2. Баэтен Дж., Донна К., Бордери С., Беккер У., Классен Э. Автономная машина для сбора плодов: роботизированный сборщик яблок. В: С., L., R., S. (ред.) Полевая и сервисная робототехника, т. 42. Спрингеровские трактаты по передовой робототехнике. Шпрингер, Берлин, Гейдельберг.

3. Кутстра Г., Бендер А., Перес Т., ван Хентен Э. Дж.: Робототехника в сельском хозяйстве. В КН.: М., А., О., К., Б., С. (ред.) Энциклопедия робототехники. Шпрингер, Берлин, Гейдельберг (2020).

4. Ленерт К., Маккул С., Са И., Перес Т. Повышение производительности робота-уборщика сладкого перца в защищенных посевных средах. J Полевой робот. 2020. <https://doi.org/10.1002/rob.21973>. ФАО: [Электронный ресурс] : продовольственная и сельскохозяйственная организация. URL: <https://www.fao.org/statistics/ru>.

5. Ли Б., Кам Д., Мин Б., Хва Дж., О С.: Сервосистема машинного зрения для автоматизированного сбора урожая сладкого перца в условиях корейской теплицы. Appl Sci-Basel 9(12) (2019). DOI:<https://doi.org/10.3390/app9122395> ФАО: [Электронный ресурс] : сельскохозяйственный прогноз ОЭСР–ФАО на 2023–2032 годы. URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/oecd-fao-agricultural-outlook-2023-32-maps-key-output--consumption-and-trade-trends/ru>.

6. Лян Х., Чжао Ю. С., Гун Л., Лю К.Л., Ван Т. Взаимодействие двух рук и внедрение робота для уборки помидоров с использованием бинокулярного зрения. Robot Auton System. 2019;114:134-43. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.01.019>.

7. Сюн Н., Пу Н., Гримстад Н., Автономный робот для сбора клубники: проектирование, разработка, интеграция и оценка в полевых условиях. Полевой робот J. 2020;37(2):202–24. <https://doi.org/10.1002/rob.21889>.

8. Саид, Гез, Дайуб Ф., Апрофт Б., Перез Т., Маккул С. Deep Fruits: система обнаружения фруктов с использованием глубоких нейронных сетей. Датчики.

2016;16(8):1222.

9. Чжан Цюй: Автоматизация в производстве плодов деревьев: принципы и практика. КАБИ, (2018). Комитет Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию. Аналитическое управление Аппарата Совета Федерации: [Электронный ресурс] : о ходе реализации государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. // Аналитический вестник 2021 № 9 (769) 2021. URL: <http://council.gov.ru/media/files/d4ApG8Uw6BKngDd1JO3WsPDgIIAj1AEEd.pdf>.

References

1. Baranov, V. V. Modelirovanie i optimizaciya processov upravleniya samoupravlyаемой sel'skoxozyajstvennoj tekhnikoj / V. V. Baranov, A. V. Kuznecov, A. A. Abramov // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Mashinostroenie. – 2020. – № 5. – S. 15–25.

2. Bae`ten Dzh., Donna K., Borderi S., Bekker U., Klassen E`. Avtonomnaya mashina dlya sbora plodov: robotizirovanny`j sborshhik yablok. V: C., L., R., S. (red.) Polevaya i servisnaya robototekhnika, t. 42. Springerovskie traktaty` po peredovoj robototekhnike. Shpringer, Berlin, Gejdel`berg.

3. Kutstra G., Bender A., Peres T., van Xenten E`.Dzh.: Robototekhnika v sel'skom xozyajstve. V KN.: M., A., O., K., B., S. (red.) E`nciklopediya robototekhniki. Shpringer, Berlin, Gejdel`berg (2020).

4. Lenert K., Makkul S., Sa I., Peres T. Povy`shenie proizvoditel`nosti robota-uborshhika sladkogo percza v zashhishhenny`x posevny`x sredax. J Polevoj robot. 2020. <https://doi.org/10.1002/rob.21973>. FAO: [E`lektronny`j resurs] : prodovol`stvennaya i sel'skoxozyajstvennaya organizaciya. URL: <https://www.fao.org/statistics/ru>.

5. Li B., Kam D., Min B., Xva Dzh., O S.: Servosistema mashinnogo zreniya dlya avtomatizirovannogo sbora urozhaya sladkogo percza v usloviyax korejskoj teplicy. Appl Sci-Basel 9(12) (2019). DOI:<https://doi.org/10.3390/app9122395> FAO: [E`lektronny`j resurs] : sel'skoxozyajstvenny`j prognoz OE`SR–FAO na 2023–2032 gody`. URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/oecd-fao-agricultural-outlook-2023-32-maps-key-output--consumption-and-trade-trends/ru>.

6. Lyan X., Chzhao Yu. S., Gun L., Lyu K.L., Van T. Vzaimodejstvie dvux ruk i vnedrenie robota dlya uborki pomidorov s ispol`zovaniem binokulyarnogo zreniya. Robot Auton System. 2019;114:134-43. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.01.019>.

7. Syun N., Pu N., Grimstad N., Avtonomny`j robot dlya sbora klubniki: proektirovanie, razrabotka, integraciya i ocenka v polevy`x usloviyax. Polevoj robot J. 2020;37(2):202–24. <https://doi.org/10.1002/rob.21889>.

8. Said, Gez, Dajub F., Apkroft B., Perez T., Makkul S. Deep Fruits: sistema obnaruzheniya fruktov s ispol`zovaniem glubokix nejronny`x setej. Datchiki. 2016;16(8):1222.

9. Chzhan Czyuj: Avtomatizaciya v proizvodstve plodov derev`ev: principy` i praktika. КАБИ, (2018). Комитет Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию. Аналитическое управление Аппарата Совета Федерации: [Электронный ресурс] : о ходе реализации государственной программы` razvitiya sel'skogo xozyajstva i regulirovaniya ry`nkov sel'skoxozyajstvennoj produkcii, sy`r`ya i prodovol`stviya. // Аналитический вестник 2021 № 9 (769) 2021. URL: <http://council.gov.ru/media/files/d4ApG8Uw6BKngDd1JO3WsPDgIIAj1AEEd.pdf>.