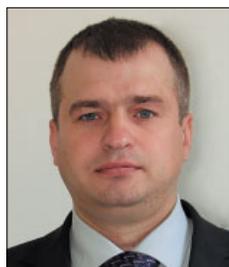


## Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур



**Игорь Геннадьевич Смирнов,**  
доктор технических наук,  
главный научный сотрудник;

**Дмитрий Олегович Хорт,**  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
ведущий научный сотрудник;  
**Алексей Игоревич Кутырев,**  
кандидат технических наук,  
научный сотрудник, e-mail, alexeykutyrev@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Показали, что существующие модели промышленных роботов не могут выполнять технологические процессы уборки урожая яблок. Отметили необходимость разработки специальных исполнительных устройств, захватных приспособлений и новых алгоритмов управления для сбора урожая в садоводстве. (*Цель исследования*) Разработать систему интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве и роботизированные технические средства для мониторинга урожайности и сбора плодов. (*Материалы и методы*) Использовали современные методы компьютерного моделирования и программирования. Применили методологию системного анализа, теорию искусственных нейронных сетей, распознавание образов, цифровую обработку сигналов. Разработку программного обеспечения программно-аппаратных средств проводили в соответствии с требованиями ГОСТ. Использовали языки программирования C/C++ с библиотекой *OpenCV*, *Python*-среду разработки *Spyder*, фреймворк *PyTorch* и *Flask*, а также *JavaScript*. Разметку изображений для обучения нейронных сетей провели в *VGG ImageAnnotator* и в *Labelbox*. При проектировании оперировали методом конечных элементов, программной средой САПР *SolidWorks*. (*Результаты и обсуждение*) Создали систему интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве на базе программно-аппаратного комплекса «Агроинтеллект ВИМ». Показали, что концепция системы реализуется с помощью компьютерной и коммуникационной техники, роботизированных машин, программного обеспечения для сбора, систематизации, анализа и хранения данных. Определили, что захват аккуратно фиксирует яблоко и надежно удерживает его. Время на фиксацию плода в зависимости от размера составляет 1,5-2,0 секунды, максимальные размеры плода – 85 на 80 миллиметров, а его максимальный вес – 500 граммов. (*Выводы*) Разработанный программно-аппаратный комплекс системы интеллектуального управления промышленными технологиями «Агроинтеллект ВИМ» обеспечивает оперативную обработку в реальном времени информации, необходимой для проектирования интеллектуальных агротехнологий с применением роботизированных машин и систем искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, роботизированная платформа, производственная система «Умный сад», нейронная сеть, программный комплекс, мониторинг насаждений, роботизированный сбор урожая.

**Для цитирования:** Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Кутырев А.И. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 35-41. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41.

## Intelligent Technologies and Robotic Machines for Garden Crops Cultivation

**Igor G. Smirnov,**  
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;  
**Dmitriy O. Khort,**  
Ph.D.(Agr.), leading researcher;

**Aleksey I. Kutyrev,**  
Ph.D.(Eng.), researcher,  
e-mail: alexeykutyrev@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The existing models of industrial robots cannot perform technological processes of apple harvesting. It is noted that there is a need for developing special actuators, grippers and new control algorithms for harvesting horticulture products. (*Research*

*purpose*) The research aimed to develop an intelligent control system for horticulture industrial technologies and robotic techniques for yield monitoring and fruit harvesting. (*Materials and methods*) The research methodology was based on such modern methods as computer modeling and programming. In particular, the following methods were applied: systems analysis, artificial neural networks theory, pattern recognition, digital signal processing. The development of software, hardware and software was carried out in accordance with the requirements of GOST technical standards. The following programming languages were used: (C / C++)-based OpenCV library, Spyder Python Development Environment, PyTorch and Flask frameworks, and JavaScript. Image marking for training neural networks was carried out via VGG ImageAnnotator and in Labelbox. The design process was based on the finite element method, CAD SolidWorks software environment. (*Results and discussion*) An intelligent management system for horticulture industrial technologies has been created based on the «Agrointellect VIM» hardware and software complex. The concept of the system is shown to be implemented via computer and communication technology, robotic machines, the software for collecting, organizing, analyzing and storing data. The gripper proves to fix an apple gently and holds it securely. Depending on the size, the fruit fixation time is 1.5-2.0 seconds, the fruit maximum size is 85 per 80 millimeters, and its maximum weight is 500 grams. (*Conclusions*) The developed intelligent control system for industrial technologies based on «Agrointellect VIM» hardware and software complex ensures the efficient real-time processing of information necessary for the design of intelligent agricultural technologies using robotic machines and artificial intelligence systems.

**Keywords:** intelligent system, robotic platform, smart garden, neural network, software package, plant monitoring, robotic harvesting.

**For citation:** Smirnov I.G., Khort D.O., Kutuyev A.I. *Intellektual'nye tekhnologii i robotizirovannye mashiny dlya vzdelyvaniya sadovykh kul'tur* [Intelligent technologies and robotic machines for garden crops cultivation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 35-41 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41.

**М**ировое научное сообщество разрабатывает фундаментальные принципы, методы и технологии по роботизации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве (в том числе садоводстве), уделяя внимание цифровому управлению производственными процессами, мониторингу состояния и распознаванию биологических объектов системами компьютерного зрения. Созданы предпосылки для создания и широкого распространения роботизированных технических средств:

- модули компьютерного зрения;
- системы компьютерного зрения для идентификации плодов и координат их расположения для последующего сбора урожая;
- программное обеспечение для обработки информации;
- широкий выбор орудий и приборов для оснащения мобильной техники с учетом требований технологий производства продукции.

Однако основная трудность, с которой сталкиваются разработчики роботов для садоводства, – отсутствие технических устройств, способных в автономном режиме осуществлять технологические действия с высокой производительностью, в условиях множества изменяющихся факторов окружающего пространства (освещенность, влажность почвы, перепады температур и др.). В системе механизированного процесса возделывания плодовых и ягодных культур уборка урожая – важный завершающий этап, который требует разработки новых удобных автоматизированных технических устройств, установленных на роботизированные платформы, способных в автономном режиме проводить деликатный сбор урожая, ис-

ключающий травмируемость плодов. В связи с этим актуальна разработка автоматизированных устройств для снятия плодов фруктовых насаждений с минимальными повреждениями или без них на высоте до 5 м. Существующие модели промышленных роботов невозможно использовать при погрузке, выгрузке, сортировке и сборе урожая яблок. В частности, необходимо разрабатывать специальные исполнительные устройства, захватные приспособления и новые алгоритмы управления ими для сбора урожая плодовых насаждений в полевых условиях. Требуется установить оптимальные конструктивные параметры устройств съема, обосновать критерии системы управления.

**Цель исследования** – разработка программно-аппаратного комплекса системы интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве и роботизированных технических средств для мониторинга урожайности и сбора плодов в производственной системе «Умный сад».

**Материалы и методы.** Использованы современные методы компьютерного моделирования и программирования, а также методология системного анализа, теории искусственных нейронных сетей, распознавания образов, цифровой обработки сигналов. Программное обеспечение программно-аппаратных средств разработано в соответствии с требованиями ГОСТ 24.103-84, ГОСТ 24.104-85, ГОСТ 34.601-90. Задействованы языки программирования C/C++ с библиотекой *OpenCV*, *Python*-среда разработки *Spyder*, фреймворк *PyTorch* и *Flask*, а также *JavaScript*. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью программных средств *PTC Mathcad*, *Microsoft Excel*, разметка изображений для обучения нейрон-

ных сетей проведена в *VGG ImageAnnotator* и в *Labelbox*. При проектировании применены метод конечных элементов, программная среда САПР *SolidWorks*. При проведении экспериментальных исследований понадобились современные измерительные приборы, электронные тяговые весы ЭВК/ЭВСК-10РМ, портативный люксметр *AR823*, измеритель влажности *gm620*, лазерный дальномер *DISTOX310*, метеостанция *imetos 3.3* с комплектом датчиков. Для оценки и уточнения параметров электронных компонентов и сборки плат управления позиционированием и движением робототехнических средств использованы программно-аппаратные средства: 3D-принтер, RTK-станция *REACH RS+*, осциллограф, мультиметр, инвертор 12В-220В.

**Результаты и обсуждение.** В результате проведенных исследований в Федеральном агроинженерном научном центре ВИМ разработана система интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве «Агроинтеллект ВИМ». Концепция данной системы реализуется с помощью компьютерной и коммуникационной техники, роботизированных машин, программного обеспечения для сбора, систематизации, анализа и хранения данных [1, 2] (рис. 1).

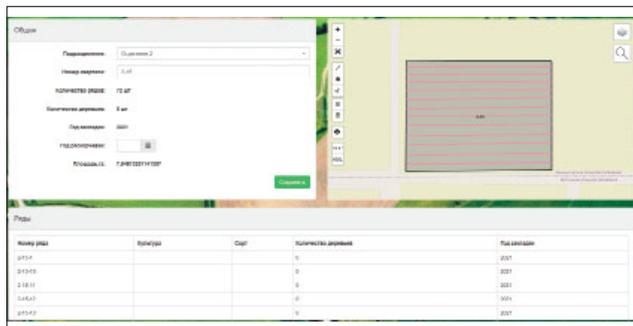


Рис. 1. Система интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве «Агроинтеллект ВИМ»  
Fig. 1. The system for the intelligent management of industrial technologies in «Agrointellect VIM» horticulture

Эффективные управленческие решения принимаются на основе многокритериального анализа многомерных массивов информации об объектах производственного процесса (почве, растениях, сельхозмашинах и др.). Программно-аппаратный комплекс управления агротехнологиями «Агроинтеллект ВИМ» обеспечивает цифровой мониторинг насаждений, оперативный контроль в реальном времени информационных потоков, определяющих особенности роста и состояния растений в критические фазы развития, поступающих от регистрирующих приборов на основе искусственного интеллекта. Примером может служить мобильное приложение, которое обеспечивает возможность сбора данных с насаждений с фотофиксацией и определением местоположения объектов с последующей передачей данных на сервер. Система

«Агроинтеллект ВИМ» позволяет не только осуществлять мониторинг состояния садовых насаждений, но и проектировать и контролировать выполнение технологических процессов роботизированными машинами при возделывании садовых культур и уборке урожая.

В систему «Агроинтеллект ВИМ» включена разработанная роботизированная платформа, предназначенная для работы в посадках: плодовых деревьев интенсивного типа с шириной междурядий 2,5-4,0 м; кустарниковых ягодников (смородины) с междурядьями 2,5-3,0 м; земляники садовой в открытом грунте со схемой посадки 0,9×0,3 м [3, 4].

Предложена конструкция платформы, имеющая две ходовые оси с одинаковыми по размеру колесами и рамой-корпусом параллелепипедной формы. В программной среде САПР *SolidWorks* разработана 3D-модель роботизированной платформы (рис. 2).



Рис. 2. Изометрический вид роботизированной платформы  
Fig. 2. The isometric view of a robotic platform

Конструктивно роботизированная платформа состоит из рамы со стойками, энергетической установки, электротрансмиссии, блоков электронной системы управления. Ее преимущество заключается в интеллектуальной системе управления движением, энергоустановкой и электротрансмиссией. Энергосредство может работать в трех режимах:

- дистанционное управление;
- автономный – по электронным картам местности с использованием сигналов *GPS*;
- беспилотный – с помощью модулей машинного зрения.

Для выполнения трудоемких операций по уборке плодов и ягод разработаны манипулятор и интеллектуальная система управления роботизированным оборудованием, обеспечивающие деликатный съем без повреждений плода при различных климатических параметрах и условиях освещенности, без участия человека [5]. Роботизированное устройство предназначено для проведения технологической операции сбора

ра урожая плодов яблони. Манипулятор имеет 3 степени свободы, перемещение звеньев возможно как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости (рис. 3).



Рис. 3. Роботизированное устройство с системой управления

Fig. 3. Robotic device with a control system

Характеристики роботизированного устройства:

количество степеней свободы	3;
количество уровней управления	2;
количество управляемых звеньев (подвижных подсистем)	3;
вылет руки, мм	
без учета захвата	1400;
с учетом захвата	1490;
максимальная грузоподъемность, г	500;
скорость съема одного плода, с	15;
язык программирования – Python, C++, среда Arduino IDE.	

Новизна разработки заключается в созданной на основе рекуррентной нейронной сети глубокого обучения интеллектуальной системе управления [6-9].

Система интеллектуального управления манипулятором разделена на несколько блоков:

- стереопар – основная часть, направленная на взаимодействие с внешней средой;
- электронный блок управления, включающий два отдельных контура управления, обусловленных программными и аппаратными особенностями;
- блок управления положением вертикальной оси (стойки) роботизированного устройства;
- блок управления положением подъемника (стрелы) роботизированного устройства;
- блок управления положением захвата.

Различные сенсорные устройства, в частности датчики обратной связи и видеокamеры, передают собираемую информацию в общую память манипулятора. Электронный блок управления использует информацию при формировании команд на передачу управляющих воздействий исполнительным механизмам. Для оптимальной скорости распознавания плодов яблони и получения максимальной точности результата выбрана сегментирующая нейронная сеть гл-

бокого обучения [10-14]. Принцип работы такой нейросети заключается в разделении (сегментировании) анализируемой фотографии на классы и выделении конкретных объектов (пораженный болезнью участок, яблоко, ветка и т.д.). На первом этапе анализа нейронная сеть проверяет изображение на наличие искомого объекта и выделяет его в рамку. На втором – определяет его точные границы. Для поиска известных зависимостей (отличительных особенностей или закономерностей искомого объекта на картинке) используются алгоритмы пошагового уменьшения качества изображения.

Для обучения нейронной сети, устойчивой к изменяющимся климатическим условиям, применены известные алгоритмы расширения обучающего множества искаженными вариантами изображений (аугментацией) библиотеки *Python imgaug 0.3.0*. (сдвиги, небольшие повороты, гауссово размытие, шум) [14-16]. Согласно методике разметки данных можно выделять необходимые объекты на изображении и присваивать каждой ограничивающей рамке нужный класс [17]. Для подготовки выборки для обучения в первом подходе решили разделить яблоки на два класса – яблоко и фон – и сделать разметку фотографий. Для этого выбрали программу с открытым исходным кодом *VGG Image Annotator*. Она позволила получить контур выделенных яблок и классифицировать их как яблоки, что необходимо в процессе обучения, с сохранением результатов выделения в файле формата *JSON* (рис. 4) [18-21].



Рис. 4. Процесс разметки данных и выделения классов изображения в VGG Image Annotator

Fig. 4. The process of data markup and highlighting image classes in VGG Image Annotator

Разработана и испытана тест-система сбора объемного датасета – механизма хранения информации, который предоставляет быстрый доступ к большим объемам данных. С помощью камер *Go-Pro HERO-8* собран датасет для обучения нейросети. Данный метод позволил получить объемное изображение плодов с разных ракурсов. Определены расстояния для съемок (0,2; 0,5 и 1 м) с ракурсов, которые перекрывают друг друга. Проведена съемка более 25 000 фотографий заданных классов яблок. Все координаты и метки созданных рамок для каждой фотографии со-

храняются в отдельном XML файле. После обработки и разметки фотографий подготавливается датасет с разделением всех фотографий и файлов меток на обучающую и тестовую выборку. Для обучения модели использованы библиотеки машинного обучения TensorFlow Object Detection API, библиотеки вычисления на GPU, библиотеки работы с изображениями и графиками. Отснятый набор данных, датасет, сгруппирован равномерно по классам. Его можно увеличить с помощью ряда случайных преобразований, чтобы модель никогда не увидела повторяющееся изображение.

После разметки яблок выборку разделили на тренировочную и тестовую в соотношении 80 и 20%. Тренировочная предназначена для обучения нейросети, а тестовая – для проверки. Каждая из масок представляет собой картинку формата PNG с разметкой, на которой пиксели без яблока изображены черным цветом, а пиксели, принадлежащие одному плоду, помечены по контуру и закрашены другим цветом (рис. 5).

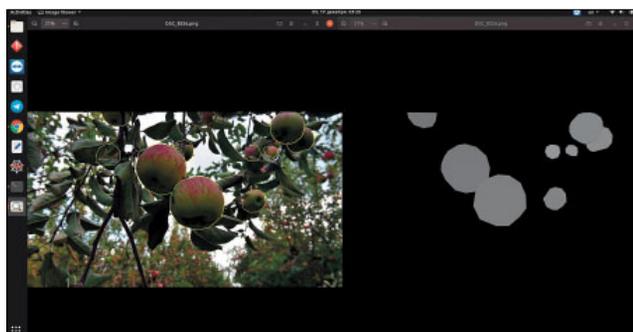


Рис. 5. Преобразование разметки формата JSON в битовые маски

Fig.5. Converting JSON-based markup to bitmasks

Результатом работы разработанной нейронной сети стала система мониторинга количества плодов и точные координаты расположения каждого из них на кроне дерева (рис. 6).



Рис. 6. Результаты идентификации плодов яблони и их координат на кроне дерева

Fig. 6. Results of apple fruits identification and their coordinates on the tree crown

Проведено полевое тестирование роботизированной платформы с интеллектуальной системой управления и манипулятором с исполнительным механизмом деликатного захвата плода (рис. 7).

При выполнении технологической операции сбо-



Рис. 7. Полевое тестирование роботизированного манипулятора на УРП

Rice. 7. URP manipulator field testing

ра плодов в полевых условиях робот-манипулятор срывает плод и перемещает его в тару для хранения. Если захват не сможет точно зафиксировать момент срыва плода, то он продолжит тянуть плод после его отрыва. Наличие в системе датчика срыва плода позволит сократить время сбора вследствие исключения лишних движений манипулятора. В момент, когда плодоножка отсоединилась от ветки, захват получает резкое ускорение в сторону отрыва плода. Это резкое ускорение и будет показывать момент отрыва плода от ветки. Для регистрации данного ускорения применен датчик – трехосевой акселерометр ST Microelectronics LIS331DLHTR (напряжение питания 1,5-3,6В, тип интерфейса i2c, spi, чувствительность 0,1 м/с<sup>2</sup>).

В качестве исполнительного механизма захвата выбрали линейный шаговый актуатор Nema 18, имеющий следующие технические характеристики:

масса, г	80;
длина штока, мм	110;
максимальная скорость хода штока, мм/с	4;
точность позиционирования, мм	0,001;
номинальное напряжение питания, В	4,2;
максимальный потребляемый ток, А	0,5.

Согласно вычисленным нагрузкам провели прочностной расчет. Установили, что нагрузки не превышают допустимые, запас прочности – более 15 МПа. Максимальная нагрузка на лапы захвата составляет 9,3 МПа, максимальная деформация – 0,3 мм. Интеллектуальная система управления оборудованием роботизированного устройства для съема плодов способна определить момент срыва плода с плодоножки, а также контролировать степень давления лап захвата на него. В результате проведенной серии экспериментов подтверждена работоспособность захвата, он аккуратно фиксирует плод и надежно удерживает его. Время на захват яблока в зависимости от размера составляет 1,5-2,0 с, максимальные размеры захватываемого плода – 85×80 мм, а его максимальный вес – 500 г.

**Выводы.** Программно-аппаратный комплекс сис-

темы интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве «Агроинтеллект ВИМ» обеспечивает оперативную обработку в реальном времени информации, необходимой для проектирования интеллектуальных агротехнологий с применением роботизированных машин и систем искусственного интеллекта. Система позволяет не только осуществлять мониторинг состояния садовых насаждений, но и проектировать и контролировать выполнение технологи-

ческих процессов роботизированными машинами при возделывании и уборке садовых культур.

Для выполнения трудоемких операций по уборке плодов и ягод разработаны роботизированная платформа, манипулятор и интеллектуальная система управления роботизированным оборудованием, обеспечивающие деликатный съем без повреждений плода при различных климатических параметрах и условиях освещенности, без участия человека.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хорт Д.О., Кутырев А.И., Смирнов И.Г., Воронков И.В. Разработка системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N2. С. 61-68.
2. Ampatzidis Y., Tan L., Haley R., Whiting M.D. Cloud-based-harvest management information system for hand-harvested specialty crops. *Computers and electronics in agriculture*. 2016. 122. 161-167.
3. Fountas S., Sorensen C.G., Tsiropoulos Z., Cavalaris C., Liakos V., Gemtos T. Farm machinery management information system. *Computers and electronics in agriculture*. 2015. 110. 131-138.
4. Khort D., Kutyrev A., Filippov R., Semichev S. Development control system robotic platform for horticulture. *E3S Web of Conferences*. 2021. 262. 01024.
5. Khort D., Kutyrev A., Filippov R., Kiktev N., Komarchuk D. Robotized platform for picking of strawberry berries. *IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Informatics Science and Technology*. 2019. 869-872.
6. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries. *E3S Web of Conferences*. 2020. 193. 01045.
7. Wu A., Zhu J., Ren T. Detection of apple defect using laser-induced light backscattering imaging and convolutional neural network. *Computers and Electrical Engineering*. 2020. 81. 106454.
8. Sofu M.M., Er O., Kayacan M.C., Cetisli B. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 127. 395-405.
9. Baranowski P., Mazurek W. and Pastuszka-Wozniak J. Supervised classification of bruised apples with respect to the time after bruising on the basis of hyperspectral imaging data. *Postharvest Biology and Technology*. 2013. 86. 249-258.
10. Bhatt A.K., Pant D. Automatic apple grading model development based on back propagation neural network and machine vision, and its performance evaluation. *AI and Society*. 2015. 30(1). 45-56.
11. Smirnov I.G., Kutyrev A.I., Kiktev N.A. Neural network for identifying apple fruits on the crown of a tree. *E3S Web of Conferences*. 2021. 270. 01021.
12. Kavdir I., Guyer D.E. Evaluation of different pattern recognition techniques for apple sorting. *Biosystems engineering*. 2008. 99. 211-219.
13. Zhang B., Huang W., Gong L., Li J., Zhao C., Liu C., Huang D. Computer vision detection of defective apples using automatic lightness correction and weighted RVM classifier. *Journal of Food Engineering*. 2015. 146. 143-151.
14. Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples. *Journal of Food Engineering*. 2005. 69. 41-49.
15. Unay D., Gosselin B., Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F., Debeir O. Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011. 75. 204-212.
16. Blasco J., Aleixos N., Moltó E. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering*. 2003. 85(4). 415-423.
17. Kavdir I., Guyer D.E. Comparison of artificial neural networks and statistical classifiers in apple sorting using textural features. *Biosystems Engineering*. 2004. 89. 331-344.
18. Gene-Mola J., Gregorio E., Guevara J., Auat F., Sanz-Cortiel-la R., Escola A., Lorens J., Morros J.-R., Ruiz-Hidalgo J., Vilaplana V., Rosell-Polo J.R. Fruit detection in an apple orchard using a mobile terrestrial laser scanner. *Biosystems engineering*. 2019. 187. 171-184.
19. Gongal A., Amatya S., Karkee M., Zhang Q., Lewis K. Sensors and systems for fruit detection and localization: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. 116. 8-19.
20. Steinbrener J., Posch K., Leitner R. Hyperspectral fruit and vegetable classification using convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. 162. 364-372.
21. Lv J., Wang J., Xu L., Ma Z., Yang B. A segmentation method of bagged green apple image. *Scientia Horticulturae*. 2019. 246. 411-417.

### REFERENCES

1. Khort D.O., Kutyrev A.I., Smirnov I.G., Voronkov I.V. Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo upravleniya agrotekhnologiyami v sadovodstve [Development of an automated management system for agricultural technologies in horticulture]. *Sel'skookhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 61-68 (In Russian).
2. Ampatzidis Y., Tan L., Haley R., Whiting M.D. Cloud-based-harvest management information system for hand-harvested spe-



cialtycrops. *Computers and electronics in agriculture*. 2016. 122. 161-167 (In English).

3. Fountas S., Sorensen C.G., Tsiropoulos Z., Cavalaris C., Liakos V., Gemtos T. Farm machinery management information system. *Computers and electronics in agriculture*. 2015. 110. 131-138 (In English).

4. Khort D., Kuttyrev A., Filippov R., Semichev S. Development control system robotic platform for horticulture. *E3S Web of Conferences*. 2021. 262. 01024 (In English).

5. Khort D., Kuttyrev A., Filippov R., Kiktev N., Komarchuk D. Robotized platform for picking of strawberry berries. *IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology*. 2019. 869-872 (In English).

6. Khort D.O., Kuttyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries. *E3S Web of Conferences*. 2020. 193. 01045 (In English).

7. Wu A., Zhu J., Ren T. Detection of apple defect using laser-induced light backscattering imaging and convolutional neural network. *Computers and Electrical Engineering*. 2020. 81. 106454 (In English).

8. Sofu M.M., Er O., Kayacan M.C., Cetisli B. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 127. 395-405 (In English).

9. Baranowski P., Mazurek W. and Pastuszka-Wozniak J. Supervised classification of bruised apples with respect to the time after bruising on the basis of hyperspectral imaging data. *Postharvest Biology and Technology*. 2013. 86. 249-258 (In English).

10. Bhatt A.K., Pant D. Automatic apple grading model development based on back propagation neural network and machine vision, and its performance evaluation. *AI and Society*. 2015. 30(1). 45-56 (In English).

11. Smirnov I.G., Kuttyrev A.I., Kiktev N.A. Neural network for identifying apple fruits on the crown of a tree. *E3S Web of Conferences*. 2021. 270. 01021 (In English).

12. Kavdir I., Guyer D.E. Evaluation of different pattern re-

cognition techniques for apple sorting. *Biosystems engineering*. 2008. 99. 211-219 (In English).

13. Zhang B., Huang W., Gong L., Li J., Zhao C., Liu C., Huang D. Computer vision detection of defective apples using automatic lightness correction and weighted RVM classifier. *Journal of Food Engineering*. 2015. 146. 143-151 (In English).

14. Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples. *Journal of Food Engineering*. 2005. 69. 41-49 (In English).

15. Unay D., Gosselin B., Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F., Debeir O. Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011. 75. 204-212 (In English).

16. Blasco J., Aleixos N., Moltó E. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering*. 2003. 85(4). 415-423 (In English).

17. Kavdir I., Guyer D.E. Comparison of artificial neural networks and statistical classifiers in apple sorting using textural features. *Biosystems Engineering*. 2004. 89. 331-344 (In English).

18. Gene-Mola J., Gregorio E., Guevara J., Auat F., Sanz-Cortiel-la R., Escola A., Lorens J., Morros J.-R., Ruiz-Hidalgo J., Vila-plana V., Rosell-Polo J.R. Fruit detection in an apple orchard using a mobile terrestrial laser scanner. *Biosystems engineering*. 2019. 187. 171-184 (In English).

19. Gongal A., Amatya S., Karkee M., Zhang Q., Lewis K. Sensors and systems for fruit detection and localization: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. 116. 8-19 (In English).

20. Steinbrener J., Posch K., Leitner R. Hyperspectral fruit and vegetable classification using convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. 162. 364-372 (In English).

21. Lv J., Wang J., Xu L., Ma Z., Yang B. A segmentation method of bagged green apple image. *Scientia Horticulturae*. 2019. 246. 411-417 (In English).

#### Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Заявленный вклад соавторов:

Смирнов И.Г. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, формирование общих выводов.

Хорт Д.О. – проведение научных исследований, анализ результатов исследований, литературный обзор.

Кутырев А.И. – проведение научных исследований, обработка лабораторных и полевых данных, редактирование и оформление материалов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

#### Coauthors' contribution statement:

Smirnov I.G. – scientific supervision, study conception and design, the development of theoretical premises, the formulation of general conclusions.

Khort D.O. – conducting scientific research, analysis and interpretation of research results, literature review.

Kuttyrev A.I. – conducting scientific research, laboratory and field data processing, draft manuscript preparation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

01.11.2021

18.11.2021