

DOI 10.35264/1996-2274-2021-2-151-160

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УХОДА ЗА РАСТЕНИЯМИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

А.А. Кирьянов, ген. дир. ООО «Связьстрой ЛТД», канд. техн. наук, 5079311@mail.ru

С.Б. Беневоленский, гл. науч. сотрудник ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р техн. наук, профессор, sbb640@gmail.com

И.К. Бельченко, ген. дир. ООО «Информтехнология ЛТД», канд. геогр. наук, belchenkoirina@mail.ru

Рецензент: *Е.В. Сытин*

В настоящей работе представлены результаты разработок для роботизированного агротехнического комплекса, способного выполнять работы на открытом грунте и в условиях тепличных хозяйств. Алгоритмические решения и разработанное программное обеспечение в рассматриваемой разработке включает отдельные блоки, реализующие необходимые функциональные опции по сбору данных и аналитике минерального и биологического состава почвенного субстрата, его влажности, электропроводности и температуры, по сбору данных и их анализу по заболеваемости культур и по прогрессу вегетации. Программно-аппаратный комплекс с использованием мобильной самоходной базы с достаточными органами управления и сенсорики позволяет обрабатывать информацию по адресному внесению удобрений и препаратов, механическому удалению сорной флоры, в том числе при неблагоприятных погодных условиях, когда внесение препаратов неосуществимо, а ручная прополка экономически и физически невозможна.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, цифровизация, распознавание изображений, алгоритм, программное обеспечение.

AUTOMATION OF PLANT CARE PROCESSES BASED ON MACHINE VISION TECHNOLOGY

A.A. Kiryanov, Director General, CEO Svyazstroy LTD, Doctor of Engineering, 5079311@mail.ru

S.B. Benevolensky, Chief Researcher, SRI FRCEC, Ph. D., Professor, sbb640@gmail.com

I.K. Belchenko, Director General, CEO «Informtechnology LTD», Doctor of Geography, belchenkoirina@mail.ru

This paper presents the results of developments for a robotic agrotechnical complex capable of performing work in the open ground and in greenhouse conditions. Algorithmic solutions and the developed software in the development under consideration include separate blocks that implement the necessary functional options for data collection and analysis of the mineral and biological composition of the soil substrate, its humidity, electrical conductivity and temperature, for data collection and analysis of crop morbidity and vegetation progress. The software and hardware complex using a mobile self-propelled base with sufficient controls and sensors allows processing information on the targeted application of fertilizers and preparations, mechanical removal of weed flora, including in adverse weather conditions, when the introduction of drugs is not feasible, and manual weeding is economically and physically impossible.

Keywords: agro-industrial complex, digitalization, image recognition, algorithm, software.

В настоящее время цифровизации различных сфер экономической и хозяйственной деятельности в нашей стране уделяется значительное внимание. В частности, в рамках реализации Указа Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» в целях решения задачи обеспечения ускоренного внедрения цифровых технологий Правительством РФ сформирована Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная Протоколом заседания Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 04.06.2019 № 7 [1]. Цифровизация экономики напрямую связана с развитием средств искусственного интеллекта и робототехники, что нашло свое отражение в Указе Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» [2], которым была утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. Работы в области искусственного интеллекта робототехники тесно связаны с выполнением отдельных составляющих практически всех национальных проектов нашей страны, государственных программ Российской Федерации: «Информационное общество (2011–2020 гг.)», «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», «Экономическое развитие и инновационная экономика». Кроме этого, Минсельхозом России разработан ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» [3], в котором рассмотрен подход к цифровой трансформации сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в агропромышленном комплексе (АПК) и достижения роста производительности на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях.

Различные направления и полученные результаты цифровизации сельского хозяйства в нашей стране и за рубежом приводятся и анализируются в значительном числе публикаций, например [4–8]. Следует отдельно упомянуть работу [9], в которой на основе анализа литературных источников, а также международного опыта развития сферы АПК изучены стратегические аспекты использования искусственного интеллекта в этом секторе экономики и выполнен научно обоснованный прогноз его будущего применения в современных программах развития АПК.

Один из ведущих системных интеграторов нашей страны – компания «Ланит-интеграция», которая входит в Группу компаний «Ланит», и Центр технологического трансфера Высшей школы экономики провели совместное исследование перспективных технологических направлений развития сельского хозяйства и разработали радар технологий для агропромышленного комплекса России [10]. Радар (рис. 1) демонстрирует тренды внедряемых технологий в современном сельском хозяйстве и позволяет спрогнозировать развитие промышленных разработок для сельскохозяйственного производства в перспективе до 2035 г. Разрабатываемые технологии в радаре распределены по группам в соответствии с тремя критериями:

- 1) уровень технологической сложности решения,
- 2) сроки его массового использования в сельском хозяйстве,
- 3) эффективность применения технологии.

В настоящей работе рассматривается предметная область машинного зрения и беспилотной сельскохозяйственной техники, в частности исследуются алгоритмы функционирования и разработки программного обеспечения для подобных программно-аппаратных комплексов. Эта область отнесена в радаре к среднему уровню технологической сложности, что, на взгляд авторов, свидетельствует о практической реальности, востребованности и потенциальной возможности получения эффекта от внедрения разработки.

Разработке программного обеспечения для различных сторон деятельности в АПК посвящено большое число работ, результаты которых систематизированы в [11]. В этой статье рассмотрены направления цифровизации сельского хозяйства, проанализированы специа-

лизированные формы интернет-систем, используемых в агросекторе, описаны программные платформы, которые возможно внедрить в агрокомплекс в целях реализации предметных задач цифровой трансформации сельского хозяйства. В качестве примера приведем [12], в которой защищены результаты интеллектуальной деятельности по разработке программы для ЭВМ, предназначенной для анализа сцены уборки сельскохозяйственных культур и прокладывания оптимальной траектории движения уборочной техники. Областью применения этой программы является компьютерное зрение для решения задач оптимизации возделывания сельскохозяйственных культур. В данной программе реализован алгоритм анализа сцены посевов и прокладывания оптимальной траектории движения, в основе которого лежат методы детектирования динамических/статических объектов, обнаруженных по пути следования обрабатывающей техники и прогноза их положения с течением времени. Другим примером разработки программного обеспечения является работа [13], в которой защищена программа для ЭВМ, предназначенная для обеспечения автоматического вождения сельскохозяйственной техники на базе технологии компьютерного зрения.

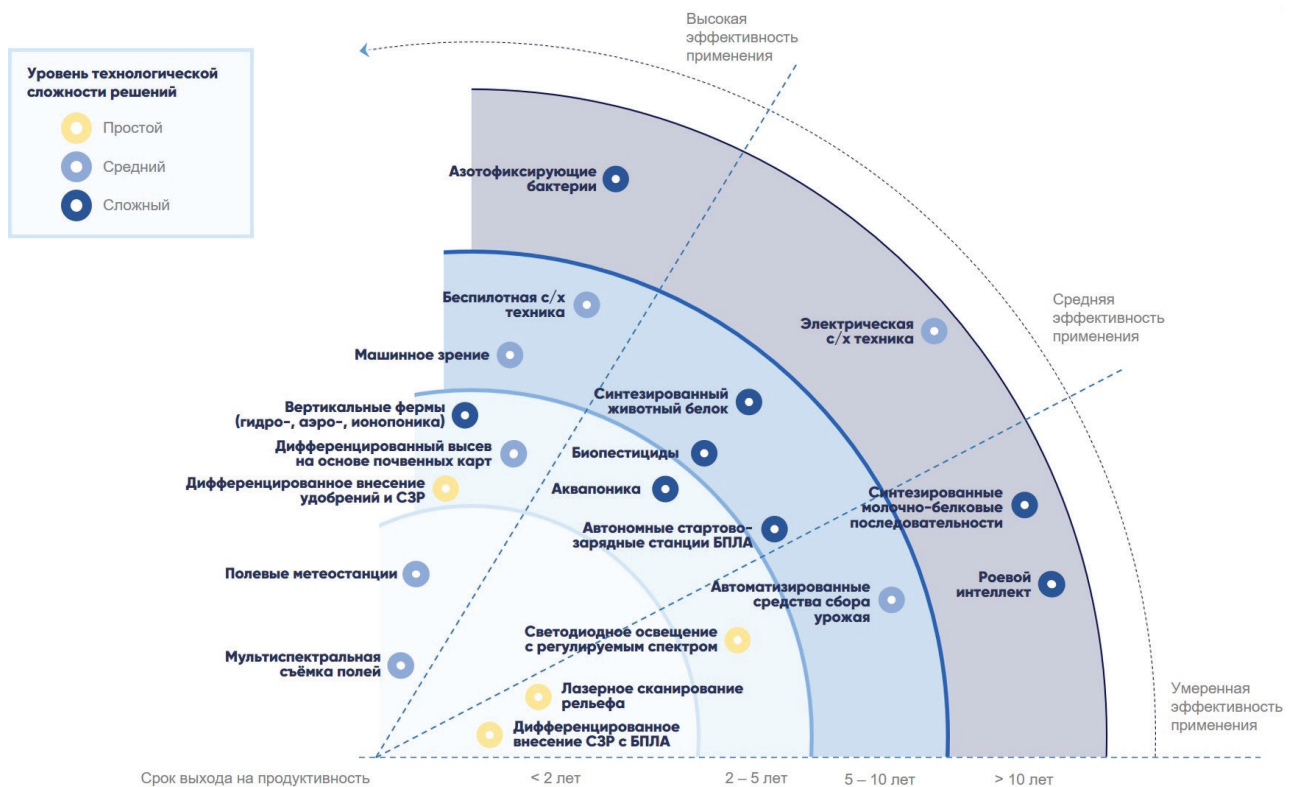


Рис. 1. Радар технологий для агропромышленного комплекса России [10]

В настоящей работе представлены результаты разработки программного обеспечения для роботизированного агротехнического комплекса, способного выполнять работы на открытом грунте и в условиях тепличных хозяйств:

1) по сбору данных и аналитике минерального и биологического состава субстрата, а также его влажности, электропроводности и температуры;

2) сбору данных и аналитике заболеваний культур, прогресса вегетации — стадий развития и динамики развития растений;

3) адресному внесению удобрений и препаратов;

4) механическому удалению сорной флоры;

5) сбору данных и механическому удалению сорной флоры в некоторых неблагоприятных погодных условиях, когда внесение препаратов неосуществимо, ручная прополка экономически и физически невозможна.

Экспериментальный образец комплекса на данный момент имеет следующие технические параметры и назначения использования:

— база данных культур — не менее 2 (свекла, морковь);

— идентификация признаков 4 заболеваний возделываемых растений;

— мобильная самоходная база с необходимыми органами управления и сенсорики для осуществления подъезда к начальной или промежуточной стартовой точке посевов, автоматического движения по грядкам посевов, набор инструкций по автоматическому развороту и перемещению к следующей итерации перемещения по посевам, возврат на базу.

Экспериментальный образец комплекса имеет сенсорное оснащение, которое включает 4 программно-аппаратных блока на основе приемников Sony IMX-322, лазеров (длина волны зондирующего излучения — 532 нм, мощность — до 5 мВт) и спектрометрической технологии, обеспечивающих сканирование посевов, а также блок распознавания образов, который позволяет на текущий момент идентифицировать 6 овощных культур и 10 типов сорняков в режиме реального времени с сохранением в базу данных с пространственной привязкой растения и пополнением базы знаний.

Программное обеспечение [14] разработано с использованием ранее полученных результатов, опубликованных в работах [15–17]. Структурная схема навигационной части программного обеспечения представлена на рис. 2.

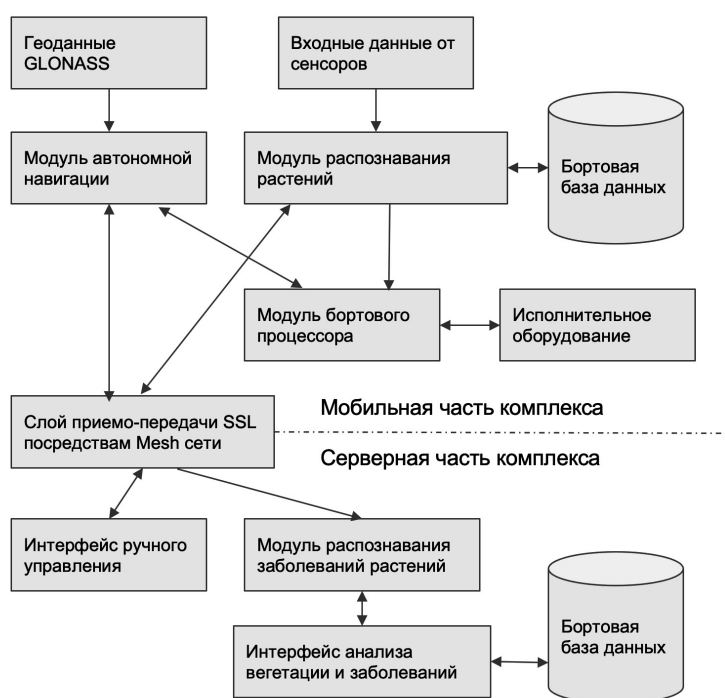


Рис. 2. Структурная схема навигационной части программного обеспечения

Для эффективного использования создаваемого программно-аппаратного комплекса был разработан инструментарий агронома, предоставляющий следующую информацию о текущей вегетации и историю изменений по каждому растению:

- 1) количество и размеры соцветий, плодов, размеры куста;
- 2) влажность и кислотность субстрата в прикорневой зоне;
- 3) освещенность;
- 4) идентификацию наличия сорняков.

Комплекс показал в процессе опытной эксплуатации высококачественную идентификацию следующих очагов заболеваний:

- 1) бактериоз, некроз стебля (бактериальные заболевания);
- 2) фитофтороз, кладоспориоз, антракноз (грибковые заболевания);
- 3) мозаика, хлоротическая курчавость листьев (вирусные заболевания);
- 4) белокрылка, слизни, паутинный клещ (последствия), клопы-щитники (наличие паразитов);
- 5) вершинная гниль, отек листьев (неинфекционные заболевания).

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс реализует разработанную методику исследования посевов, приведенную в таблице.

Методика исследования посевов

Этап	Стадии развития зерновых культур (код ВВСН)	Тип прогона комплекса	Возможное воздействие комплекса	Аналитика развития	Информационно-аналитический результат
1	5–10	Трассировочный прогон, формирование 3D-карты поверхности субстрата	Сплошной внос удобрений и пестицидов		Формирование в личном кабинете агронома карт полей
2	14–16	Предварительное картографирование и классификация растений (культур и сорняков)	Точечный внос удобрений и пестицидов	Мониторинг всхожести	Формирование в личном кабинете агронома предварительной карты всходов
3	19	Уточнительное картографирование и классификация растений (культур и сорняков)	Точечный внос удобрений и пестицидов	Анализ динамики формирования растительного покрова	Формирование в личном кабинете агронома карты всходов с визуализацией степени развития культуры
4	30–34	Уточнительное картографирование и классификация растений (культур и сорняков), идентификация заболеваний	Точечный внос удобрений и пестицидов, включая адресный прикорневой внос	Идентификация отклонений в динамике развития культур. Идентификация заболеваний, влияющих на геометрию листов и динамику развития	Формирование в личном кабинете агронома карты всходов с визуализацией степени и динамики развития культуры, визуализация локаций с подозрением на заболевания, влияющие на геометрию листов и динамику развития. Инструмент визуализации динамики развития культур и сорняковой флоры

Окончание таблицы

Этап	Стадии развития зерновых культур (код ВВСН)	Тип прогона комплекса	Возможное воздействие комплекса	Аналитика развития	Информационно-аналитический результат
5	38–39	Уточнительное картографирование и классификация растений (культур и сорняков), идентификация заболеваний и паразитов	Точечный внос удобрений и пестицидов, включая адресный прикорневой внос	Идентификация отклонений в динамике развития культур. Идентификация заболеваний, влияющих на геометрию листьев и динамику развития. Идентификация признаков наличия паразитов размером от 1 мм	Формирование в личном кабинете агронома карты всходов с визуализацией степени и динамики развития культуры, визуализация локаций с подозрением на заболевания, влияющие на геометрию листьев и динамику развития. Инструмент визуализации динамики развития культур и сорняковой флоры. Инструмент визуализации динамики очагов заболеваний
6	49	Итоговый прогон для анализа урожайности и анализа на следующие сезоны		Идентификация отклонений в динамике развития культур. Идентификация заболеваний, влияющих на геометрию листьев и динамику развития. Идентификация признаков наличия паразитов размером от 1 мм	Формирование в личном кабинете агронома карты всходов с визуализацией степени и динамики развития культуры, визуализация локаций с подозрением на заболевания, влияющие на геометрию листьев и динамику развития. Инструмент визуализации динамики развития культур и сорняковой флоры. Инструмент визуализации динамики очагов заболеваний

Особенности программного обеспечения и формируемые ими функциональные свойства заложены на этапе разработки с использованием среды программирования C++ и Python для операционной системы Linux с применением библиотек CUDA, OpenCV, TensorFlow, Keras, Nvidia Jetson platform и баз данных Redis и MySQL. Программные модули аналитического блока программного обеспечения включают коннекторы для использования с аналитическим комплексом Microsoft Azure. Анализ получаемых данных от сенсоров комплекса и результаты идентификации преобразуются в 3D-карты, обеспечивающие доступную визуализацию для принятия решения оператором-агрономом и инструктажа исполнительской автоматизации комплекса по воздействию на посевы.

Разрабатываемое программное обеспечение предусматривает наличие блока распознавания образов, который в режиме реального времени идентифицирует растение с сохранением в базу данных с пространственной привязкой растения и пополнением базы знаний. Для пространственной привязки элементов топологии обрабатываемых сельхозугодий блок распознавания образов вырабатывает трехмерную модель участка с фиксацией его характеристик, признаков заболеваний, структуры и размеры ботвы, с анализом поверхностей листьев, забором проб почвы в прикорневой зоне растения. На изображении видны текущий кадр за-

хвата изображения слева сверху, последний идентифицированный объект, распознанные сегментарные части — центр розетки, края ботвы. На рис. 3 приведены результаты идентификации: свекла, вычисленные размеры растения, идентификатор в базе учета и результат идентификации признаков отклонений в развитии растения. Слева — сегмент генерации поверхности гряды из отдельных изображений в сборный вид, а справа — результат генерации 3D-карты поверхности гряды по данным от лидара.

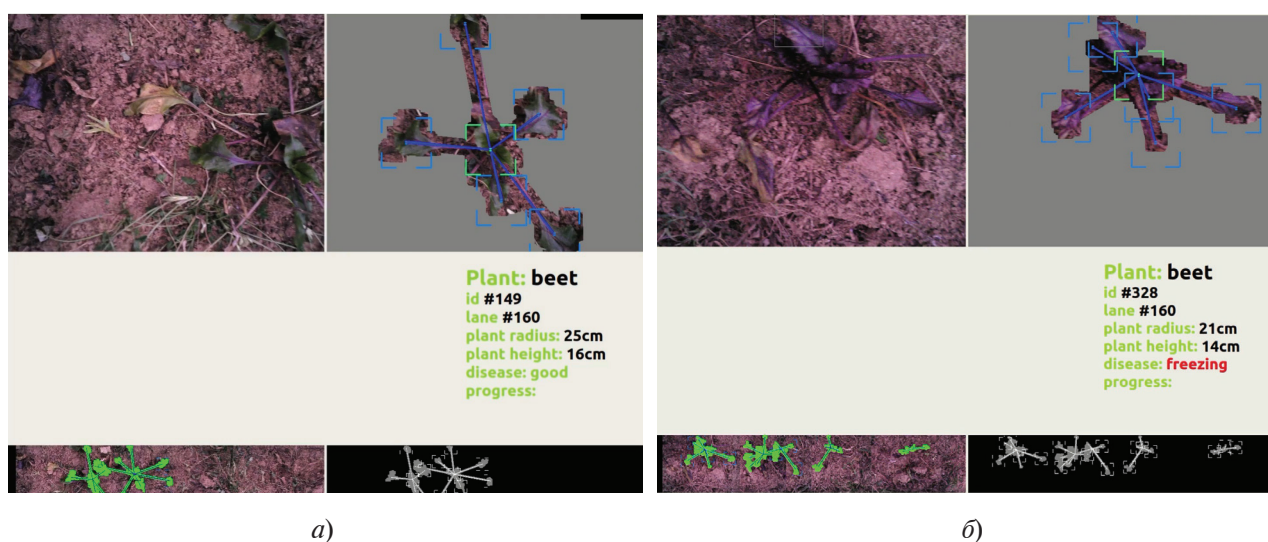


Рис. 3 (а, б). Идентификация признаков отклонений в развитии растения

Данные, получаемые от лидаров и скоростных камер, обрабатываются распределенными алгоритмами для процессоров CUDA с использованием функций из библиотек машинного зрения OpenCV 4. Алгоритмы слияния, вычитания и финального дифференцирования образов формируют результирующую полигонную модель. Такой подход позволяет повысить производительность сегментарного распознавания и увеличить скорость тренировки сетей типа U-net при глубоком обучении с использованием библиотек TensorFlow за счет автоматической отбраковки как изображений целиком, так и сегментов образов. Кроме того, такой подход повышает качество идентификации объектов за счет снижения шумовой нагрузки посредством исключения данных из соседних с идентифицируемыми объектами зон. Распознанные объекты и топология поверхности поля, выраженная в полигонной модели, заносится в базу данных, а образы, пройдя цепочку фильтров, заносятся в базу образов для будущего перспективного построения и дополнительного обучения нейронной сети.

На стороне сервера формируется база данных поверхности поля с метками даты, локации, кода фазы вегетации ВВСН, топологии поверхности, данных о растениях: типе, размерах надкорневой части растения, развитии листьев, заболеваниях, наличии паразитов и отклонениях от нормы развития. На основе выборок из базы данных формируется и выводится пользователю виртуальная карта поля с наложением данных по заболеваниям, прогнозам урожайности, с оповещениями агронома.

Возможности встроенного в комплекс программного обеспечения на сегодняшний день позволяют на основе полученных данных выводить в интерфейс карты влажности субстрата, вегетации, в том числе по сорной и культурной растительности отдельно, выводить хронологические виды каждого культурного растения или сорной поверхности, строить трехмерную карту посевов.

Таким образом, применение разработанного программно-аппаратного комплекса с использованием приемов распознавания образов позволяет автоматизировать технологические операции сельскохозяйственного производства и создать агротехнический комплекс на основе мобильной самоходной базы с органами управления, сенсорики и обработки земельного участка.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».
2. Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
3. Гордеев А.В., Патрушев Д.Н., Лебедев И.В. и др. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 48 с.
4. Cheyns E., Daviron B., Djama M., et al. The standardization of sustainable development through the insertion of agricultural global value chains into international markets // Sustainable Development and Tropical Agri-chains. Springer, Dordrecht, 2017. С. 283–303.
5. Tian H., Wang T., Liu Y., et al. Computer vision technology in agricultural automation // A review, Information Processing in Agriculture. URL: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.006> (дата обращения: 15.10.2021).
6. Milovanovi S. 2014. The role and potential of information technology in agricultural improvement // Economics of Agriculture, 2014, 61 (2).
7. Chen X. Introduction to Agricultural Informatization // China Agriculture Press, 2012.
8. Алферьев Д.А. Практика реализации сверточных нейронных сетей в сельском хозяйстве и агропромышленном комплексе // Агрозоотехника. 2020. № 2. Т. 3. С. 1–10.
9. Шутьков А.А., Лясников Н.В. Будущее искусственного интеллекта и цифровых технологий в АПК // Экономика и социум: современные модели развития. 2018. Т. 8. № 4 (22). С. 5–16.
10. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4583916> (дата обращения: 15.10.2021).
11. Юрина Н.Н. Применение программных платформ в реализации предметных задач цифровой трансформации сельского хозяйства // В сб.: Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства: материалы II международной научно-практической конференции. 2019. С. 346–350.
12. Панченко А.В., Шканаев А.Ю., Пруд В.Е. Система анализа сцены уборки и прокладывания оптимальной траектории движения сельскохозяйственной техники на базе технологии компьютерного зрения, версия 1.0 / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ от 03.11.2017 № 2017662356.
13. Панченко А.В., Постников В.В., Пруд В.Е. Система автоматического вождения сельскохозяйственной техники на базе технологии компьютерного зрения, версия 1.0 / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ от 07.11.2017 № 2017662394.
14. Кирьянов А.А., Беневоленский С.Б. ECOROB GREENS // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 04.08.2021 № 2021662784.
15. Беневоленский С.Б., Кирьянов А.А. и др. Программный комплекс для автоматизированной системы мониторинга экологического состояния на предприятии // Изв. вузов. Электроника. 2009. № 4 (78). С. 89–91.
16. Беневоленский С.Б., Кирьянов А.А. Особенности построения Cloud-сервиса хранения информационных ресурсов // Фундаментальные исследования. 2012. № 6–3. С. 631–632.
17. Беневоленский С.Б., Кирьянов А.А. и др. Разработка сервиса поддержки групповой работы пользователей для обмена информацией с помощью облачных технологий // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 111.
18. Галанкин А.В., Прохоров М.А., Квасов М.Н. Разработка алгоритма обеспечения безопасности программного обеспечения системы специального назначения // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып. 1. С. 239–245.

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 07.05.2018 No 204 «O natsional'nykh tselyakh i strategicheskikh zadachakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2024 goda» [Decree of the President of the Russian Federation dated 07.05.2018 No. 204 «On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024»].
2. Ukaz Prezidenta RF ot 10.10.2019 No 490 «O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossiyskoy Federatsii» [Decree of the President of the Russian Federation No. 490 dated 10.10.2019 «On the development of artificial intelligence in the Russian Federation»].
3. Gordeev A.V., Patrushev D.N., Lebedev I.V., etc. (2019) *Vedomstvennyi proekt «Tsifrovoye sel'skoye khozyaistvo»: ofitsial'noye izdanie* [Departmental project «Digital Agriculture»: official publication] *FGBNU «Rosinformagrotekh»* [FSBI «Rosinformagrotech»]. Moscow. P. 48.
4. Cheyns E., Daviron B., Djama M., at al. (2017) *The standardization of sustainable development through the insertion of agricultural global value chains into international markets* [The standardization of sustainable development through the insertion of agricultural global value chains into international markets] *Sustainable Development and Tropical Agri-chains* [Sustainable Development and Tropical Agri-chains]. Springer. Dordrecht. P. 283–303.
5. Tian H., Wang T., Liu Y., et al. Computer vision technology in agricultural automation. A review, Information Processing in Agriculture. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.006> (accessed: 15.10.2021).
6. Milovanovi S. (2014) The role and potential of information technology in agricultural improvement. *Economics of Agriculture*. 2014, 61 (2).
7. Chen X. (2012) *Introduction to Agricultural Informatization*. China Agriculture Press.
8. Alfer'yev D.A. (2020) *Praktika realizatsii svertochnykh neironnykh setei v sel'skom khozyaistve i agro-promyshlennom komplekse* [Practice implementing convolutional neural networks in agriculture and the agro-industrial complex] *Agrozootekhnika* [Agrozootechnika]. No. 2. Vol. 3. P. 1–10.
9. Shutkov A.A., Lyasnikov N.V. (2018) *Budushchee iskusstvennogo intellekta i tsifrovyykh tekhnologii v APK* [The future of artificial intelligence and digital technologies in Agriculture] *Ekonomika i sotsium: sovremennyye modeli razvitiya* [Economics and society: modern models of development]. Vol. 8. No. 4 (22). P. 5–16.
10. Official website of the Kommersant Publishing House. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/4583916> (accessed: 15.10.2021).
11. Yurina N.N. (2019) *Primenenie programmnykh platform v realizatsii predmetnykh zadach tsifrovoy transformatsii sel'skogo khozyaystva* [Application of software platforms in the implementation of the subject tasks of digital transformation of agriculture] *V sb.: Prioritetnye vektory razvitiya promyshlennosti i sel'skogo khozyaystva: materialy II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [In the collection: Priority vectors of development of industry and agriculture: materials of the II International Scientific and Practical conference] P. 346–350.
12. Panchenko A.V., Kanaev A.Yu., Prud V.E. (2017) *Sistema analiza stseny uborki i prokladyvaniya optimal'noi traektorii dvizheniya sel'skokhozyaistvennoi tekhniki na baze tekhnologii komp'yuternogo zreniya, versiya 1.0*. [System of Scene analysis of cleaning and paving the optimal trajectory of agricultural equipment based on the technology of computer vision, version 1.0] *Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM ot 03.11.2017 No 2017662356* [Certificate of registration of a computer program from 03.11.2017 No. 2017662356].
13. Panchenko A.V., Postnikov V.V., Prud V.E. (2017) *Sistema avtomaticheskogo vozhdeniya sel'skokhozyaistvennoi tekhniki na baze tekhnologii komp'yuternogo zreniya, versiya 1.0* [Automatic driving System for agricultural equipment based on the technology of computer vision, version 1.0] *Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM ot 07.11.2017 No 2017662394* [Certificate of registration of a computer program from 07.11.2017 No. 2017662394].
14. Kiryanov A.A., Benevolensky S.B. (2021) *ECOROB GREENS* [ECOROB GREENS] *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM ot 04.08.2021 No 2021662784* [Certificate of state registration of a computer program dated 04.08.2021 No. 2021662784].

15. Benevolensky S.B., Kiryanov A.A., etc. (2009) *Programmnyy kompleks dlya avtomatizirovannoy sistemy monitoringa ekologicheskogo sostoyaniya na predpriyatii* [A software package for an automated system for monitoring the environmental condition at an enterprise] *Izv. vuzov. Elektronika* [Univer. News. Electronics]. No. 4 (78). P. 89–91.
16. Benevolensky S.B., Kiryanov A.A. (2012) *Osobennosti postroeniya Cloud-servisa khraneniya informatsionnykh resursov* [Features of building a Cloud service for storing information resources] *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research]. No. 6–3. P. 631–632.
17. Benevolensky S.B., Kiryanov A.A. et al. (2013) *Razrabotka servisa podderzhki gruppovoy raboty pol'zovateley dlya obmena informatsiy s pomoshch'yu oblachnykh tekhnologiy* [Development of a support service for group work of users for information exchange using cloud technologies] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. No. 5. P. 111.
18. Galankin A.V., Prokhorov M.A., Kvasov M.N. (2018) *Razrabotka algoritma obespecheniya bezopasnosti programmogo obespecheniya sistemy spetsial'nogo naznacheniya* [Development of an algorithm for ensuring the security of software for a special purpose system] *Izv. TulGU. Tekhnicheskie nauki* [Izv. TulSU. Engineering sciences]. Issue 1. P. 239–245.