

20. Rezatofighi H., Tsoi N., Gwak J., Sadeghian A., Reid I., Savarese S. Generalized Intersection Over Union: A Metric and a Loss for Bounding Box Regression, *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Long Beach, CA, USA, 2019*, pp. 658-666.
21. Heikkilä M., Pietikäinen M. A texture-based method for modeling the background and detecting moving objects, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, Vol. 28 (4), pp. 657-662.
22. Kertész C. Texture-Based Foreground Detection, *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition (IJSIP)*, 2011, Vol. 4, No. 4.
23. Khalifa T. Şengül G. The Integrated Usage of LBP and HOG Transformations and Machine Learning Algorithms for Age Range Prediction from Facial Images, *Tehnicki Vjesnik*, Vol. 25, pp. 1356-1362. 10.17559/TV-20170308030459, 2018.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. С.Н. Крюков.

Тупиков Владимир Алексеевич – АО «Научно-производственное предприятие «Авиационная и морская электроника»; e-mail: tupikov@nppame.ru, г. Санкт-Петербург, Россия; тел.: 88123274667; д.т.н.; профессор; зам. ген. директора; директор научно-производственного комплекса робототехнических систем специального назначения (НПК РТС СН).

Павлова Валерия Анатольевна – e-mail: pavlova@nppame.ru; к.т.н.; зам. директора НПК РТС СН по НИОКР.

Лизин Алексей Игоревич – e-mail: lizin_a@nppame.ru; начальник центра средств интеллектуальной обработки изображений (ЦСИОИ) НПК РТС СН.

Гессен Павел Алексеевич – e-mail: pasha.gessen@outlook.com; старший научный сотрудник центра средств интеллектуальной обработки изображений.

Tupikov Vladimir Alekseevich – SPE "Research and Production Enterprise "Air and Marine Electronics"; e-mail: tupikov@nppame.ru; Saint Petersburg, Russia; phone: +78123274667; dr. of eng. sc.; professor; Deputy Director General, Director of Research and production complex of special purpose robotic systems.

Pavlova Valeria Anatolyevna – e-mail: pavlova@nppame.ru; cand. of eng. sc.; Deputy Director of research at Research and production complex of special purpose robotic systems.

Lizin Aleksey Igorevich – e-mail: lizin_a@nppame.ru; Chief of intellectual image processing center (IIPC) RPCSPRS.

Gessen Pavel Alekseevich – e-mail: pasha.gessen@outlook.com; senior researcher at Department of Advanced Image Processing Techniques.

УДК 004.89; 004.77; 681.58; 631.158

DOI 10.18522/2311-3103-2022-1-81-91

З.В. Нагоев, В.М. Шуганов, А.У. Заммоев, К.Ч. Бжихатлов, З.З. Иванов

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «УМНОЕ ПОЛЕ»*

Производство сельскохозяйственной продукции в настоящее время тесно связано с применением цифровых технологий, элементов точного земледелия, автоматизацией и роботизацией сельского хозяйства, так как они дают возможность осуществлять постоянный мониторинг, своевременно реагировать на производственные риски, повысить эффективность производства и использования ресурсов. Особое внимание уделяется необхо-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-010-00269 «Механизм управления развитием горных регионов на основе новой архитектуры локальных социально-экономических систем».

димости комплексного использования цифровых технологий и искусственного интеллекта для создания интеллектуальных интегрированных систем (ИИС) сельскохозяйственного производства. Как показывают исследования, активнее всего IT-технологии применяются в полевом земледелии при выращивании зерновых культур. Основной культурой при производстве селекционного, семеноводческого и товарного зерна в Кабардино-Балкарской Республике является кукуруза, поэтому предполагается, что ИИС «Умное поле» должна быть разработана первоначально именно для этой культуры, а затем с некоторыми доработками использована и для производства любой растениеводческой продукции – других видов зерна, овощей, фруктов, винограда и бахчевых. Она позволяет снизить на некоторых этапах производства продукции участие человека, путем автоматизации процесса и его контроля посредством различных «умных» устройств. Работа ИИС «Умное поле» основана на использовании множества сенсоров, в том числе устанавливаемых на мобильной технике (наземные и воздушные пилотируемые и беспилотные транспортные средства, космические спутники) и переносных портативных устройствах для получения оперативных данных о состоянии полей и посевах, что позволяет: – анализировать готовность сельскохозяйственных угодий к посевным работам, отслеживать ход вегетации растений с целью эффективного и оперативного планирования агротехнических мероприятий (химическая защита от вредителей и болезней, подкормка, орошение и т.д.); – прогнозировать показатели эффективности производства (общий валовой сбор, урожайность с га), а также своевременно выявлять производственные риски (появление вредителей, болезней растений, засоленности почв и т.д.); – принимать эффективные решения по управлению использованием ресурсов сельскохозяйственных предприятий. С применением «умных» устройств стало возможным внедрение т.н. «точного земледелия» для управления продуктивностью посевов с учётом изменений в среде обитания растений. В конечном итоге, это дает возможность решить две главные задачи сельхозпроизводителей – повышение урожайности и сокращение издержек. Авторами разработана концепция ИИС «Умного поля» для производства зерна кукурузы при использовании перспективных робототехнических систем и комплексов. Представлена архитектура ИИС «Умного поля» для производства семенной и товарной кукурузы, которую можно с незначительными доработками адаптировать и для производства другой растениеводческой продукции.

Сельскохозяйственное производство; цифровизация аграрного производства; точное земледелие; роботизация; автоматизация аграрного производства; интеллектуальная интегрированная система.

Z.V. Nagoev, V.M. Shuganov, A.U. Zammoev, K.Ch. Bzhikhatlov, Z.Z. Ivanov

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT INTEGRATED SYSTEM FOR "SMART" AGRICULTURAL PRODUCTION

The production of agricultural goods is currently associated with the use of digital technologies, elements of precision farming, automation and robotization of agriculture. These technologies make it possible to carry out continuous monitoring, carry out timely processing, improve the efficiency of production and use of resources. The need for the integrated use of digital technologies and artificial intelligence and the creation of intelligent integrated systems for agricultural production is noted. Studies show that IT-technologies are actively used in field farming when growing grain crops. The main crop in the production of breeding, seed and commercial grain in the Kabardino-Balkarian Republic is corn, so it is assumed that the intelligent system of the "smart field" should be developed initially for this particular crop, and then, with some modifications, used for the production of any crop products – other types of grain, vegetables, fruits, grapes and gourds. It allows you to reduce human participation at some stages of production by automating the process and controlling it through various "smart" devices. The operation of the "smart field" system is based on the use of a variety of sensors, including those installed on mobile equipment (ground and air manned and unmanned vehicles, space satellites) and portable portable devices to obtain operational data on the state of fields and crops. This allows: – analyze the readiness of agricultural land for sowing, monitor the progress of plant vegetation in order to effectively and efficiently plan agrotechnical measures (chemical protection against pests and diseases, fertilizing, irrigation, etc.); – predict production efficiency indicators (total gross harvest, yield per hec-

tare), as well as timely identify production risks (appearance of pests, plant diseases, soil salinity, etc.) – make effective decisions on managing the use of resources of agricultural enterprises. With the use of "smart" devices, it became possible to introduce the so-called. "precision farming" to manage crop productivity, taking into account changes in the plant habitat. Ultimately, this makes it possible to solve two main tasks of agricultural producers - increasing yields and reducing costs. The authors have developed the concept of an intelligent integrated system "Smart Field" for the production of corn grain using advanced robotic systems and complexes. The architecture of the "Smart Field" system for the production of seed and commercial corn is presented, which can be adapted with minor modifications for the production of other crop products.

Agricultural production; digital agricultural production; precision farming; robotization; automation of agricultural production; intelligent integrated system.

Введение. Мировое сельскохозяйственное производство в 20 веке работало по классическим принципам – минимизация себестоимости продукции и повышение производительности на единицу затраченных ресурсов, которые достигались использованием для данного времени все более производительных и экономичных сельхозмашин, продуктивных сортов и гибридов растений, эффективных удобрений и средств защиты растений, оптимальных агротехнологических приемов. В 21 веке эти инструменты по-прежнему актуальны, но их потенциал практически исчерпан по многим видам агропроизводства. Также, во всем мире, наблюдается отток трудовых ресурсов из сельского хозяйства, особенно из трудоемких отраслей (овощеводство, производство ягод и фруктов). Например, в Кабардино-Балкарской Республике производство овощей открытого грунта за последние 10 лет сократилось в два раза, из-за нехватки рабочих рук во время уборки урожая и не желания людей заниматься тяжелым неквалифицированным трудом в полевых условиях. В результате усугубления вышеперечисленных проблем, технология аграрного производства изменяется в двух направлениях:

1) селекция сортов и гибридов культур с высокой урожайностью и одновременным созреванием зерен, плодов, ягод, овощей (для обеспечения механизированной уборки) [1, 2];

2) развитие технологического процесса и основных фондов агропроизводства в рамках концепции «умного и безлюдного производства» [3–7].

Умное поле – это интеллектуальная интегрированная система управления продуктивностью сельскохозяйственных угодий, основанная на использовании комплекса спутниковых и компьютерных технологий, автоматизированных сельскохозяйственных машин и роботов. Используемые в земледелии участки имеют неоднородности по рельефу, плодородию, влажности, содержанию гумуса и доступных питательных веществ, толщине и структуре плодородного слоя, степени эрозии и т.д. Для оценки и выравнивания неоднородностей параметров полей используют инновационные технологии, такие как системы глобального позиционирования, датчики, аэрофотосъемки и снимки со спутников, а также управленческие программы для агробизнеса [8, 9].

Вместо того, чтобы в процессе агропроизводства использовать ресурсы «на глаз», как это делалось до сегодняшнего времени, сельхозтоваропроизводители получают возможность точно рассчитать количество семян, удобрений и других ресурсов для каждого микроучастка поля с точностью до метра. Таким образом, удастся избежать перерасхода ресурсов там, где они прежде использовались в избытке, и повысить урожайность тех участков поля, где ранее недополучали продукцию.

Население планеты постоянно растет. Если в 2008 г. оно составляло 6,5 млрд чел., в 2011 – 7 млрд, то, согласно прогнозу, к 2050 г. оно достигнет 9 млрд, к 2100 г. – 10 млрд чел. На основании прогнозов сельскохозяйственное производство к 2050 г. должно увеличиться на 60–70 %. Следовательно, без инновационного развития технологии выращивания сельскохозяйственных культур невозможно обеспечить растущее население планеты продуктами питания.

Теоретическая значимость исследования состоит в разработке концепции и алгоритма интеллектуальной среды для «умного сельскохозяйственного производства», которая, позволит комплексно применять различные цифровые технологии, автоматизацию и роботизацию отрасли.

Практическая значимость исследования состоит в возможности перехода к «малолюдным и безлюдным технологиям сельскохозяйственного производства» на основе создания интеллектуальной интегрированной системы производства и потребления продуктов питания.

Цель и задачи исследования – разработка системы управления продуктивностью посевов, основанная на создании интеллектуальной среды и использовании комплекса инновационных технологий, в т.ч. искусственного интеллекта. Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Обновление технологического процесса для интенсификации земледелия.
2. Создание инновационной технологической базы (инфраструктурная сеть) – множество отдельных элементов технологий, необходимость внедрения которых определяется на усмотрение фермера. То есть можно использовать как все элементы технологии сразу, так и лишь некоторые, эффект от которых будет наиболее значительным для данного предприятия.
3. Разработать концепцию интеллектуальной интегрированной системы (ИИС) «Умного поля» при использовании перспективных робототехнических систем и комплексов для производства семенной и товарной кукурузы;
4. Осуществлять запись, анализ и хранение данных, полученных в результате мониторинга посевов в безопасных условиях, исключающих их потерю.

Объект исследования – растениеводство.

Предмет исследований – производство семенной и товарной кукурузы.

Концепция интеллектуальной интегрированной системы «Умного поля» КБНЦ РАН. Учитывая проблемы в сельском хозяйстве России по показателям производительности труда и объемам производства с единицы площади или на 1 голову, для сокращения отставания от стран с традиционно развитым сельским хозяйством необходимо переходить от использования традиционных или отдельных цифровых технологий к разработке и внедрению отечественных интегрированных интеллектуальных систем – «умное поле», «умная ферма», «умный пруд» и других «умных аграрных производств» [10].

Недостаток информации для принятия оперативных решений приводит к тому, что в процессе посадки, выращивания, ухода за культурами теряется до 40 % урожая [11–13]. Во время сбора урожая, хранения и транспортировки теряется еще 40 %. При этом, кроме погоды, 2/3 факторов приводящих к потере урожая сегодня можно контролировать с помощью автоматизированных систем управления [14, 15].

В настоящее время возможность широкого применения в сельском хозяйстве современных цифровых технологий, способствует повышению привлекательности отрасли для инвестиций и осуществления дальнейших разработок в области интеллектуального сельского хозяйства с целью полной автоматизации и роботизации отрасли. Кабардино-Балкарский научный центр РАН имеет многолетний задел в данном направлении: разработка агромультибота, подвесной транспортной платформы мостового земледелия, робота по сбору овощей, робота – почвоотборника, робота по удалению метелок кукурузы при получении гибридных семян, использование агродрона для химической защиты растений.

Создание ИИС «Умного поля» осуществляется для автоматизации сельскохозяйственного производства путем взаимодействия и обмена информацией между различными устройствами, машинами и системами. Она позволяет на некоторых этапах производства продукции снизить участие человека, путем непрерывного мониторинга посевов и автоматизации технологических процессов.

Работа ИИС «Умное поле» основана на использовании множества сенсоров, в том числе устанавливаемых на мобильной технике (наземные и воздушные пилотируемые и беспилотные транспортные средства, космические спутники) и переносных портативных устройствах для получения оперативных данных о состоянии полей и посевов, что позволяет:

- ◆ анализировать готовность сельскохозяйственных угодий к посевным работам, отслеживать ход вегетации растений с целью эффективного и оперативного планирования агротехнических мероприятий (химическая защита от вредителей, сорняков и болезней, подкормка, орошение и т.д.);
- ◆ прогнозировать показатели эффективности производства (общий валовой сбор, урожайность с га), а также своевременно выявлять производственные риски (появление вредителей, болезней растений, засоленности почв и т.д.);
- ◆ принимать эффективные решения по управлению использованием ресурсов сельскохозяйственных предприятий [8].

Интеллектуальная интегрированная система производства растениеводческой продукции «Умное поле» КБНЦ РАН. На примере возделывания кукурузы на зерно и семена ведется практическая реализация элементов интеллектуальной интегрированной системы «Умное поле» (ИИС «Умное поле») для производства растениеводческой продукции. В частности, выполнена разработка проекта **экспериментального аппаратно-программного комплекса (ЭАПК)**, предназначенного для обеспечения функционирования сети датчиков и исполнительных устройств в полевых условиях, интегрированных посредством коммуникационных устройств и сетей с интеллектуальной информационно-управляющей системой (ИИУС).

С целью обеспечения масштабируемости ИИС «Умное поле» в проекте принято, что поток данных о состоянии посевов может быть получен стационарными и мобильными цифровыми датчиками, базирующимся на различных носителях (станции наблюдения, носимые устройства, мобильная сельскохозяйственная техника и летательные аппараты), а потоки видеоинформации могут быть, кроме того, получены из различных систем, в т.ч. спутниковой и аэросъемки. Для построения экспериментальной распределенной гетерогенной сети датчиков и исполнительных устройств использованы известные принципы «интернета вещей» [16] и доступные для практического применения технические решения и серийно выпускаемые изделия [17, 18]. Общая архитектура сети датчиков приведена на рис. 1.

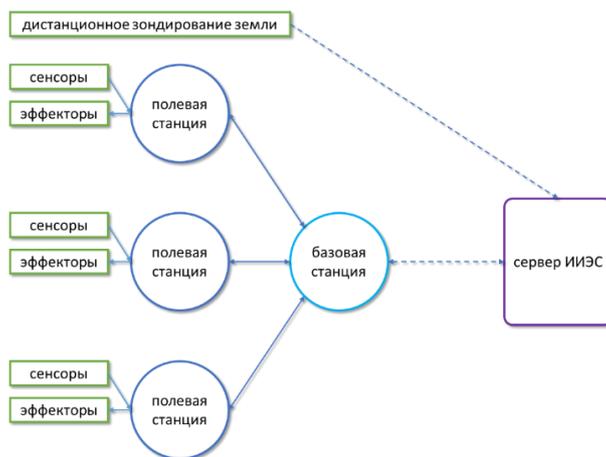


Рис. 1. Архитектура распределенной гетерогенной сети автоматизации контроля и управления производственными процессами для ИИС «Умное поле»

В качестве базового узла сети ЭАПК используется **полевая станция** – микроэлектронное устройство как абонент цифровой, главным образом беспроводной, коммуникационной сети (рис. 2). В состав полевой станции в зависимости от решаемой ею прикладной задачи включается необходимый набор датчиков, преобразователей сигналов и электроэнергии, узлы связи и источники электропитания, позволяющие работать как от бортовой электросети носителя, так и автономно. Полевая станция позволяет не только осуществлять задачи мониторинга, но и выполнять дистанционное и автономное программное управление производственными процессами, реализуя различные схемы автоматизации сельскохозяйственного производства.

В качестве базового вычислителя полевой станции используется серийно выпускаемая модульная плата на базе микросхемы системы на кристалле ESP-WROOM-32 [17], а в качестве узла связи используются совместимые с UART-интерфейсом серийно выпускаемые модульные платы различных типов: GPRS/LTE, LoRaWAN, RS-485.

В качестве источника питания могут выступать как автономные источники на основе химических аккумуляторов и солнечных батарей, так и источники постоянного тока используемых носителей полевой станции (например, 12В бортового питания трактора или USB мобильного устройства).



Рис. 2. Функционально-структурная схема полевой станции

Модельный ряд плат сопряжения питания устройств и расширения интерфейсов разрабатывается с учетом специфики конкретных прикладных задач. Для обеспечения автоматического конфигурирования вычислительного устройства на плате сопряжения размещена микросхема памяти EEPROM Dallas, в которой разработчиком сохраняется достаточная для этого информация.

Важным элементом ЭАПК, осуществляющего функции сбора, обработки, хранения и обмена данными с удаленным сервером ИИУС, а также локальной координации и управления режимами работы распределенных в поле полевых станций выступает **базовая станция** (рис. 3), представляющая собой локальный центр обработки данных с узлами связи: LoRaWAN [18] – для коммуникации с полевыми станциями, и LTE-радиомодемом – для коммуникаций через интернет с удаленным сервером ИИУС, доступ к которому предоставляется операторами мобильной связи.

В радиусе действия сети LoRaWAN (порядка 5–8 км) возможно координирование работы множества полевых станций, осуществление сбора данных мониторинга состояния посевов и управление различными устройствами автоматизации. Особенностью базовой станции является возможность бесперебойного энергообеспечения функционирования ЭВМ локального сервера и узлов связи с использованием солнечных батарей и аккумуляторов.

В качестве абонента базовой станции также могут выступать оснащенные модулями связи WiFi или LoRaWAN и соответствующим программным обеспечением различные мобильные устройства пользователей и сервисного персонала, а также мобильные технические средства: сельскохозяйственные машины, оснащенные модулями сбора данных, наземные мобильные роботы и беспилотные летательные аппараты.

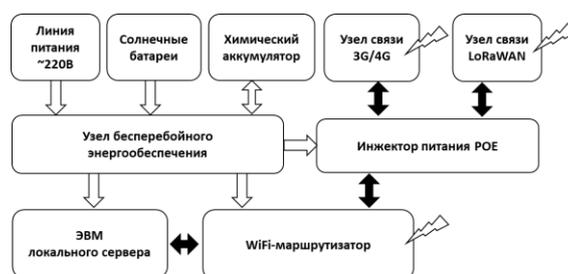


Рис. 3. Функционально-структурная схема базовой станции.

Опытные образцы полевой и базовой станций ЭАПК ИИС "Умное поле" подготовлены к тестовой эксплуатации в полевых условиях.

Собранные сенсорной системой «Умного поля» данные отправляются для дальнейшей обработки в интеллектуальную интегрированную экспертную систему, архитектура которой показана на рис. 4. Для этого данные агрегируются на «полевых станциях» и передаются на сервер за счет наиболее подходящих каналов связи. В основе разрабатываемой системы принятия решений лежит интеллектуальная экспертная система, построенная на базе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры [19–21]. Для этого система собирает данные с сенсоров и на их основе создает модель текущего состояния посевов («цифровой двойник» поля). Затем, модуль моделирования на основе текущего положения дел и заранее сформированной базы знаний создает прогнозы развития текущей ситуации. После анализа прогнозов и выбора наиболее приемлемого развития текущего состояния (с учетом не только итоговой урожайности, но и минимизации расходов и негативных воздействий на посевы) формируются рекомендации по необходимым агротехническим мероприятиям.

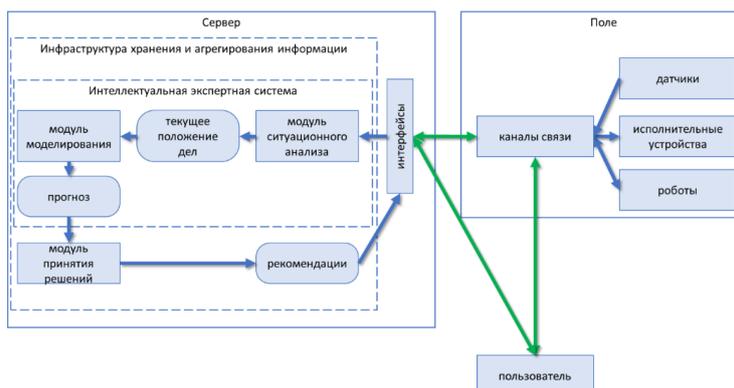


Рис. 4. Архитектура интеллектуальной интегрированной экспертной системы

Сгенерированные модулем принятия решений рекомендации могут быть переданы пользователю, или переданы исполнительным устройством на поле (автоматизированным сельскохозяйственным машинам и роботам). За обмен информа-

цией между распределенным сервисом и различными внешними устройствами (датчиками, эффекторами, роботами и пользователями) отвечает набор интерфейсов связи. Такой подход позволяет унифицировать подключение аппаратных средств к разрабатываемому сервису, а также упростить его масштабирование. Стоит отметить, что сервер интеллектуальной интегрированной экспертной системы обеспечивает не только прогнозирование состояния посевов, но и хранение собранных данных и взаимодействие с пользователем.

Выводы. Интеллектуальная интегрированная система «Умное поле» будет обеспечивать высокую точность параметров постоянного мониторинга посевов, комплексную автоматизацию и роботизацию всех технологических этапов агропроизводства для минимизации потерь, оптимизацию ресурсопользования, рост производительности труда, достижение потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур и экономическую эффективность сельскохозяйственного производства. Интеграция получаемых данных с интеллектуальными системами, производящими их обработку в режиме реального времени, способна осуществлять революционный сдвиг в принятии решений для отрасли, предоставляя результаты анализа множественных факторов и обоснование для последующих действий. На основе анализа данных и моделирования развития условий интеллектуальная интегрированная система способна создавать рекомендации по обработке и уходу за растениями или инструкции для автоматического исполнения роботизированной техникой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Appaev S., Kagermazov A., Khachidogov A., Bizhoyev M., Khatefov E.* Development of self-pollinated maize lines based on the teosinte collection of the N.I. Vavilov institute of plant industry (VIR) // E3S Web of Conferences. – 2021. – 262. – 01010. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201010>.
2. *Бойко В.Н., Хамефов Э.Б.* Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2021. – Т. 182 (4). – С. 27-35. – DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-27-35>.
3. *Dushyant Kumar Singh, Rajeev Sobti.* Long-range real-time monitoring strategy for Precision Irrigation in urban and rural farming in society 5.0 // Computers & Industrial Engineering. – 2022. – Vol. 167. – 107997. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.107997>.
4. *Manshadi A.M., Palka M., Fuchs W., Neubauer T., Eitzinger J., Oberforster M., Soltani A.* Performance of the SSM-iCrop model for predicting growth and nitrogen dynamics in winter wheat // European Journal of Agronomy. – 2022. – Vol. 135. – 126487. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126487>.
5. *Deepika Sarpal, Raka Sinha, Madhavi Jha, Padmini.* TN AgriWealth: IoT based farming system. – 2022. – Vol. 89. – 104447. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2022.104447>.
6. *Федотова Г.В., Горлов И.Ф., Сложенкина М.И., Глуценко А.В.* Тренды научно-технического развития и повышения конкурентоспособности сельского хозяйства России // Вестник Академии знаний. – 2019. – № 3 (32). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trendy-nauchno-tehnicheskogo-razvitiya-i-povysheniya-konkurentospobnosti-selskogo-hozyaystva-rossii>.
7. *Москалев С.М., Клименок-Кудинова Н.В.* Искусственный интеллект и интернет вещей как инновационные методы совершенствования агропромышленного сектора // Известия СПбГАУ. – 2018. – № 3 (52). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-internet-veschey-kak-innovatsionnye-metody-sovershenstvovaniya-agropromyshlennogo-sektora>.
8. *Нагоев З.В., Шуганов В.М., Бжыхатлов К.Ч., Заммоев А.У., Иванов З.З.* Перспективы повышения производительности и эффективности сельскохозяйственного производства с применением интеллектуальной интегрированной среды // Известия КБНЦ РАН. – 2021. – № 6.
9. *Ториков В.Е., Погоньшев В.А., Погоньшева Д.А., Дорных Г.Е.* Состояние цифровой трансформации сельского хозяйства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyaniye-tsifrovoy-transformatsii-selskogo-hozyaystva>.

10. ИТ в агропромышленном комплексе России. Интернет-ресурс. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ_в_агропромышленном_комплексе_России.
11. *Zavriev S.K., Ignatov A.N.* Potential threats in agriculture and food security area // *World Economy and International Relations*. – 2020. – Vol. 64 (7). – P. 100-107. – DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-7-100-107.
12. *Rosa A.T., Creech C.F., Elmore, R.W. and others.* Implications of cover crop planting and termination timing on rainfed maize production in semi-arid cropping systems // *Field Crops Research*. – 2021. – 271. – 108251. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108251>.
13. *Carabajal-Capitán S., Kniss A.R., Jabbour R.* Seed Predation of Interseeded Cover Crops and Resulting Impacts on Ground Beetles // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2021. – Vol. 118 (18). – 2017470118. – DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2017470118>.
14. *Гордеев А.В. и др.* Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство». – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 48 с.
15. *Анищенко Алеся Николаевна, Шутьков Анатолий Антонович.* Agriculture 4. 0 как перспективная модель научно-технологического развития аграрного сектора современной России // *Продовольственная политика и безопасность*. – 2019. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/agriculture-4-0-kak-perspektivnaya-model-nauchno-tehnologicheskogo-razvitiya-agrarnogo-sektora-sovremennoy-rossii>.
16. *Tzounis A. et al.* Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges // *Biosystems engineering*. – 2017. – Vol. 164. – P. 31-48.
17. ESP32-WROOM-32 Datasheet. – URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf.
18. LoRaWAN Specification v1.1. 2017. Интернет-ресурс. – URL: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawantm_specification_v1.1.pdf.
19. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.* Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // *Cognitive Systems Research*. – Elsevier, 2021. – Vol. 66. – P. 82-88.
20. *Nagoev Z.V., Denisenko V.A., Lyutikova L.A.* System of autonomous robot machine vision for agricultural application in mountain territories based on the multi-agent cognitive architectures // *Sustainable Development of Mountain Territories*. – 2018. – No. 10 (2). – P. 289-297.
21. *Nagoev Z.V.* Multiagent recursive cognitive architecture // *Mechanics of Solids*. – 2014. – Vol. 46 (4). – P. 622-634. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34274-5_43.

REFERENCES

1. *Appaev S., Kagermazov A., Khachidogov A., Bizhoyev M., Khatefov E.* Development of self-pollinated maize lines based on the teosinte collection of the N.I. Vavilov institute of plant industry (VIR), *E3S Web of Conferences*, 2021, 262, 01010. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201010>.
2. *Boyko V.N., Khatefov E.B.* Iskhodnyy material dlya gibridnoy selektsii kukuruzy na mnogopochatkovost' iz kolleksii VIR [Source material from the VIR collection for hybrid breeding of multiple-ear maize], *Tr. po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding], 2021, Vol. 182 (4), pp. 27-35. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-27-35>.
3. *Dushyant Kumar Singh, Rajeev Sobti.* Long-range real-time monitoring strategy for Precision Irrigation in urban and rural farming in society 5.0, *Computers & Industrial Engineering*, 2022, Vol. 167, 107997. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.107997>.
4. *Manschadi A.M., Palka M., Fuchs W., Neubauer T., Eitzinger J., Oberforster M., Soltani A.* Performance of the SSM-iCrop model for predicting growth and nitrogen dynamics in winter wheat, *European Journal of Agronomy*, 2022, Vol. 135, 126487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126487>.
5. *Deepika Sarpal, Raka Sinha, Madhavi Jha, Padmini.* TN AgriWealth: IoT based farming system, 2022, Vol. 89, 104447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2022.104447>.
6. *Fedotova G.V., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Glushchenko A.V.* Trendy nauchno-tehnicheskogo razvitiya i povysheniya konkurentospobnosti sel'skogo khozyaystva Rossii [Trends in scientific and technological development and increasing the competitiveness of

- Russian agriculture], *Vestnik Akademii znaniy* [Bulletin of the Academy of Knowledge], 2019, No. 3 (32). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/trendy-nauchno-tehnicheskogo-razvitiya-i-povysheniya-konkurentospobnosti-selskogo-hozyaystva-rossii>.
7. *Moskalev S.M., Klimenok-Kudinova N.V.* Iskusstvennyy intellekt i internet veshchey kak innovatsionnye metody sovershenstvovaniya agropromyshlennogo sektora [Artificial Intelligence and the Internet of Things as Innovative Methods for Improving the Agro-Industrial Sector], *Izvestiya SPbGAU* [Izvestiya SPbGAU], 2018, No. 3 (52). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-internet-veschey-kak-innovatsionnye-metody-sovershenstvovaniya-agropromyshlennogo-sektora>.
 8. *Nagoev Z.V., Shuganov V.M., Bzhikhatlov K.Ch., Zammoev A.U., Ivanov Z.Z.* Perspektivy povysheniya proizvoditel'nosti i effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva s primeneniem intellektual'noy integrirrovannoy sredy [Prospects for increasing the productivity and efficiency of agricultural production using an intelligent integrated environment], *Izvestiya KBNTS RAN* [Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2021, No. 6.
 9. *Torikov V.E., Pogonyshv V.A., Pogonyshva D.A., Dornyykh G.E.* Sostoyanie tsifrovoy transformatsii sel'skogo khozyaystva [State of digital transformation of agriculture], *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2020, No. 9. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanietsifrovoy-transformatsii-selskogo-hozyaystva>.
 10. IT v agropromyshlennom komplekse Rossii. Internet-resurs [IT in the agro-industrial complex of Russia]. Available at: https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya:IT_v_agropromyshlennom_komplekse_Rossii.
 11. *Zavriev S.K., Ignatov A.N.* Potential threats in agriculture and food security area, *World Economy and International Relations*, 2020, Vol. 64 (7), pp. 100-107. DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-7-100-107.
 12. *Rosa A.T., Creech C.F., Elmore, R.W. and others.* Implications of cover crop planting and termination timing on rainfed maize production in semi-arid cropping systems, *Field Crops Research*, 2021, 271, 108251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108251>.
 13. *Carabajal-Capitán S., Kniss A.R., Jabbour R.* Seed Predation of Interseeded Cover Crops and Resulting Impacts on Ground Beetles, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2021, Vol. 118 (18), 2017470118. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2017470118>.
 14. *Gordeev A.V. i dr.* Vedomstvennyy proekt «Tsifrovoye sel'skoye khozyaystvo» [Departmental project "Digital Agriculture"]. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2019, 48 p.
 15. *Anishchenko Alesya Nikolaevna, Shut'kov Anatoliy Antonovich.* Agriculture 4. 0 kak perspektivnaya model' nauchno-tehnologicheskogo razvitiya agrarnogo sektora sovremennoy Rossii [Agriculture 4. 0 as a promising model of scientific and technological development of the agricultural sector of modern Russia], *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'* [Food Policy and Security], 2019, No. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/agriculture-4-0-kak-perspektivnaya-model-nauchno-tehnologicheskogo-razvitiya-agrarnogo-sektora-sovremennoy-rossii>.
 16. *Tzounis A. et al.* Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges, *Biosystems engineering*, 2017, Vol. 164, pp. 31-48.
 17. ESP32-WROOM-32 Datasheet. Available at: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf.
 18. LoRaWAN Specification v1.1. 2017. Интернет-ресурс. Available at: https://loralliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawantm_specification_v1.1.pdf.
 19. *Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.* Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures, *Cognitive Systems Research*. Elsevier, 2021, Vol. 66, pp. 82-88.
 20. *Nagoev Z.V., Denisenko V.A., Lyutikova L.A.* System of autonomous robot machine vision for agricultural application in mountain territories based on the multi-agent cognitive architectures, *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2018, No. 10 (2), pp. 289-297.
 21. *Nagoev Z.V.* Multiagent recursive cognitive architecture, *Mechanics of Solids*, 2014, Vol. 46 (4), pp. 622-634. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34274-5_43.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Х.М. Сенов.

Нагоев Залимхан Вячеславович – Кабардино-Балкарский научный центр РАН; e-mail: zaliman@mail.ru; г. Нальчик, Россия; тел.: +79280816026; к.т.н.; генеральный директор.

Шуганов Владислав Миронович – e-mail: vmshuganov@mail.ru; тел.: +79633949690; д.с.-х.н.; зав. научно-инновационным центром «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания».

Заммоев Аслан Узейрович – e-mail: zammoev@mail.ru; тел.: +79054350923; к.т.н.; старший научный сотрудник лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Бжихатлов Кантемир Чамалович – e-mail: haosit13@mail.ru; тел.: +79631663448; к.ф.-м.н.; зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы».

Иванов Заур Зуберович – e-mail: zaurivanov@mail.ru; тел.: 8662475303; к.э.н.; старший научный сотрудник отдела «Экономика инновационного процесса».

Nagoev Zalimhan Vyacheslavovich – Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; e-mail: zaliman@mail.ru; Nalchik, Russia; phone: +7928 0816026; cand. of eng. sc.; general manager.

Shuganov Vladislav Mironovich – e-mail: vmshuganov@mail.ru; phone: +79633949690; dr. of agr. sc.; head of the research and innovation center «Intellectual systems and environments for the production and consumption of food products».

Zammoev Aslan Uzeyrovich – e-mail: zammoev@mail.ru; phone: +79054350923; cand. of eng. sc.; senior researcher of the Laboratory «Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems».

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich – e-mail: haosit13@mail.ru; phone: +79631663448; cand. of phys. and math. sc.; head of the laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems».

Ivanov Zaur Zuberovich – e-mail: zaurivanov@mail.ru; phone: 8662475303; cand. of econ. sc.; senior researcher of the department of «Economics of the Innovation Process».

УДК 004.81, 004.75

DOI 10.18522/2311-3103-2022-1-91-101

И.А. Пшенокова, К.Ч. Бжихатлов, А.А. Унагасов, М.А. Абазоков

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ АЛГОРИТМ СБОРА ДАННЫХ С МЕТЕОСТАНЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ

Погода оказывает сильное влияние на урожайность и состояние посевов, на требования к количеству и качеству удобрений, а также на профилактические меры по предотвращению заболеваний. Плохие погодные условия могут повлиять на качество продукции во время транспортировки и хранения, а значит и на жизнеспособность семян и посадочного материала. В настоящее время в сельском хозяйстве широко применяются различные системы интеллектуального мониторинга, к которым можно отнести спутниковый мониторинг и метеостанции. При этом основополагающую роль играет выбор метода анализа полученных данных и интеллектуальных систем их обработки для превентивного прогнозирования. Целью исследования является разработка интеллектуальной системы прогнозирования урожайности и состояния посевов на основе данных с метеостанции. В рамках данного исследования разработан мультиагентный алгоритм прогнозирования состояния посевов по данным с метеостанции на основе самоорганизации нейрокогнитивной архитектуры. Приведено описание структурной схемы метеостанции и ее датчиков. Разработан алгоритм программы для сбора и обработки данных с датчиков метеостанции. В результате обработки в интеллектуальную систему принятия решений отправляются данные о температуре воздуха и почвы, влажности воздуха и почвы, скорости и направлении ветра, количестве осадков и о сумме активных температур. Описана система построения причинно-следственных связей, на основе которой строится система прогнози-