

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ

З.В. НАГОЕВ¹, В.М. ШУГАНОВ¹, К.Ч. БЖИХАТЛОВ¹,
А.У. ЗАММОЕВ¹, З.З. ИВАНОВ²

¹ Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2

² Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Производство сельскохозяйственной продукции в настоящее время тесно связано с применением цифровых технологий, элементов точного земледелия, с автоматизацией и роботизацией сельского хозяйства. Для обеспечения повышения эффективности сельскохозяйственного производства путем внедрения интеллектуальной среды, автоматизации и роботизации сельского хозяйства при комплексном использовании цифровых технологий, элементов точного земледелия и искусственного интеллекта авторами разработана интеллектуальная интегрированная система ИИС «Умное поле». Она дает возможность осуществлять постоянный мониторинг состояния почвы и посевов, прогнозировать, своевременно реагировать на угрозы (вредители, болезни, сорняки), предотвращая проявление негативных факторов, оказывающих влияние на количество и качество производимой продукции.

Представленная концепция интеллектуальной интегрированной системы (ИИС) «Умное поле» при производстве зерна кукурузы благодаря гибкости конфигурирования и масштабирования может быть использована и для возделывания любой другой сельскохозяйственной культуры. Подобная система в перспективе позволит не только «оцифровать» агротехнические процессы, но и заметно повысить объемы производства и качества сельскохозяйственной продукции при одновременном снижении затрат.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, автоматизация и роботизация аграрного производства, точное земледелие, цифровизация, искусственный интеллект, интеллектуальная среда, интеллектуальная интегрированная система

Статья поступила в редакцию 18.11.2021

Принята к публикации 30.11.2021

Для цитирования. Нагоев З.В., Шуганов В.М., Бжихатлов К.Ч., Заммоев А.У., Иванов З.З. Перспективы повышения производительности и эффективности сельскохозяйственного производства с применением интеллектуальной интегрированной среды // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 6 (104). С. 155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое внедрение цифровых технологий в сельское хозяйство наблюдается во многих странах мира: США, Китае, Японии, Австралии, Голландии, Франции, Германии и др. По мнению «Goldman Sachs Group», «аналоговый период в мировом сельском хозяйстве закончился, отрасль вошла в цифровую эру», и это дает основание полагать, что применение технологий нового поколения способно увеличить производительность мирового сельского хозяйства на 70 % к 2050 году. Эксперты утверждают,

что благодаря технологиям точного земледелия, основанным на интернете вещей, можно добиться значительного повышения урожайности сельскохозяйственных культур такого масштаба, какого человечество не видело даже во времена появления тракторов, изобретения гербицидов и генетически измененных семян [1].

Учитывая сложившуюся ситуацию, Министерством сельского хозяйства Российской Федерации разработан ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», в рамках которого с 2019-го по 2024 год предусмотрен комплекс мероприятий по внедрению цифровых технологий и платформенных решений в агропромышленный комплекс (далее – АПК). Данный проект направлен на цифровую трансформацию сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в АПК и достижения роста производительности на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях в 2 раза к 2024 г. [2].

Мировой опыт в сельском хозяйстве показывает, что массовое внедрение цифровых технологий сопровождается значительным повышением производительности и эффективности сельскохозяйственного производства [3]. Их применение не ограничивается отдельными направлениями при производстве продукции в растениеводстве или животноводстве, а наблюдается рост объемов и качества цифровых технологий, в том числе систем сбора, хранения и обработки данных. Аграрии стали использовать данные со спутников, дронов, мобильных сенсорных устройств, что способствует не только увеличению объема и качества продукции, но и формирует потребность в анализе полученной информации, на которую можно полагаться, принимая решения [4].

Объект исследования – производство сельскохозяйственной продукции.

Предмет исследования – производство кукурузы на зерно и семена.

Цель исследования – разработка интеллектуальной интегрированной системы «Умное поле» для производства растениеводческой продукции.

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ «УМНОЕ ПОЛЕ» ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

За последние годы за рубежом [5, 6, 7, 8] и в России [9, 10, 11, 12] предпринимают попытки комплексного внедрения и использования цифровых технологий в сельском хозяйстве. Вместе с тем аспекты, связанные с внедрением и использованием интеллектуальных сред в отрасли, теоретически и практически не разработаны. Недостаточно внимания уделяется концепциям интеллектуальных сред сельскохозяйственного производства с использованием технологий искусственного интеллекта (далее – ИИ), а без ИИ невозможно обрабатывать полученные данные, управлять информационными потоками и знаниями.

Существующая на сегодняшний день традиционная технология обработки посевов сельскохозяйственных культур (сплошной полив, удобрение, химизация) и сроки их проведения не учитывают локальных особенностей и природной изменчивости, что способствует перерасходу ресурсов или неоперативному реагированию на проблемы. В частности, несвоевременно учитываются климатические факторы, осуществляются подкормки, определяются сорняки, вредители и болезни, что способствует потере значительной части урожая. Следовательно, актуальной задачей является разработка и создание интеллектуальной среды сельскохозяйственного производства на основе комплексного применения различных цифровых технологий и искусственного интеллекта для полной автоматизации и роботизации всех технологических процессов.

Кабардино-Балкарский научный центр РАН имеет определенные разработки в данном направлении: агромультибот, подвесная транспортная платформа мостового земледелия, робот по сбору овощей, робот-почвоотборник, робот по удалению метелок кукурузы при получении гибридных семян, агродрон для химической защиты растений [13–22].

Создание интеллектуальной интегрированной системы (ИИС) «Умное поле» осуществляется для автоматизации сельскохозяйственного производства путем взаимодействия и

обмена информацией между различными устройствами, машинами и системами. Она позволит на некоторых этапах производства продукции снизить участие человека путем автоматизации процесса и непрерывного мониторинга посевов на наличие влаги, содержание общего азота, подвижного фосфора, обменного калия, появление сорняков, вредителей и болезней.

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

- 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 1 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.

В настоящее время ученые КБНЦ РАН разработали архитектуру интеллектуальной интегрированной экспертной системы, управляющей сетью гетерогенных датчиков, исполнительных устройств и робототехнических комплексов (рис. 1), которые могут быть использованы для решения задач отрасли.

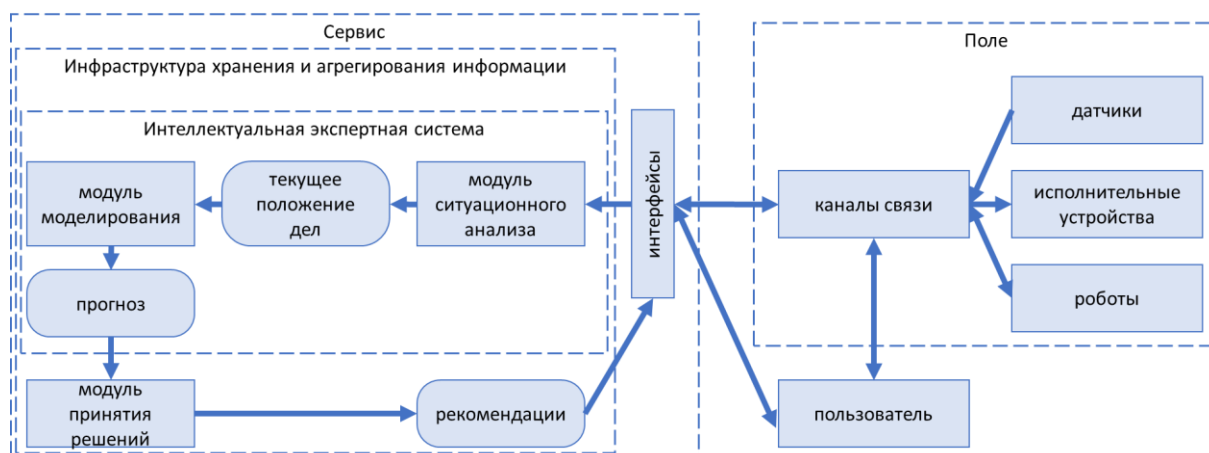


Рис. 1. Архитектура интеллектуальной интегрированной экспертной системы

Мониторинг состояния посевов осуществляется стационарными и мобильными цифровыми датчиками, которые могут быть установлены на беспилотных наземных и летательных аппаратах, традиционной сельскохозяйственной технике и оборудовании для орошения, а также в качестве отдельных портативных носимых устройств. Кроме цифровых датчиков, для сбора информации используется видеопоток, полученный со стационарных камер и систем спутниковой и аэросъемки.

Одна из возможных схем реализации цифровых датчиков ИИС «Умное поле» строится в концепции «интернета вещей» на основе полевой станции – микроэлектронного устройства на базе микроконтроллера (или системы на кристалле) как абонента цифровой коммуникационной сети, включающего в себя датчики, преобразователи сигналов и напряжений, средства связи (в основном беспроводные) и имеет возможность питания как от бортовой электросети носителя, так и автономно, в том числе с использованием солнечных батарей. Полевая станция также имеет возможность подключения и программного управления

различными исполнительными устройствами, что позволяет на ее основе в перспективе реализовать различные схемы автоматизации сельскохозяйственного производства.

Собранная с цифровых датчиков и камер информация передается на сервер. В качестве каналов связи используются энергоэффективные сети дальнего радиуса действия LoRaWAN, беспроводные сотовые сети 3G/4G и проводная оптоволоконная связь. Дальнейшая обработка данных проводится в разрабатываемой интеллектуальной экспертной системе для сельского хозяйства. Доступ к результатам анализа и рекомендациям экспертной системы реализован в виде интернет-сервиса, что позволяет пользователю (владельцу или арендатору) получать данные с любого устройства (компьютер или смартфон) в режиме реального времени.

Данные с датчиков на поле через наиболее подходящие каналы связи передаются в распределенную систему хранения и агрегирования информации. В рамках этой системы реализована интеллектуальная экспертная система, которая на основе полученных данных формирует модель текущего состояния. Далее, на основе текущего положения дел и с учетом базы знаний экспертной системы моделируются прогнозы развития ситуации, из которых выбирается наиболее подходящий. В результате модуль принятия решений формирует рекомендации, которые в свою очередь могут быть переданы пользователю или напрямую исполнительным устройствам (автоматизированным сельскохозяйственным машинам и роботам). За обмен данными между распределенным сервисом и 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.

Интеллектуальная интегрированная система «Умное поле» должна обеспечивать максимальную автоматизацию всех этапов производственного цикла для сокращения потерь, оптимального управления ресурсами, повышения производительности труда, урожайности сельскохозяйственных культур и экономической эффективности предприятий. 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. При этом, чем больше датчиков и полевых станций подключено в единую сеть, тем более полные и точные прогнозы и рекомендации генерирует интеллектуальная система. Стоит отметить гибкость и масштабируемость системы, достигаемые за счет унифицированных протоколов обмена данными. Это позволит использовать одну архитектуру при обработке данных как небольшого участка, так и агропромышленного комплекса страны в целом.

Основной культурой при производстве селекционного, семеноводческого и товарного зерна в регионе является кукуруза, поэтому предполагается, что ИИС «Умное поле» должна быть разработана в первую очередь именно для этой культуры, а затем с некоторыми доработками использована и для производства любой растениеводческой продукции.

Известно, что при возделывании кукурузы в течение вегетационного периода осуществляется более 20 различных технологических операций, где применяется сельскохозяйственная техника. Учитывая это обстоятельство, необходимо разработать универсальную технологическую платформу, включающую комплексное применение различных сенсорных систем с обязательной привязкой к геопозиции. Такую платформу можно монтировать на всю технику, а в перспективе и на агророботы.

В зависимости от периода вегетации растений и необходимости мониторинга различных параметров количество используемых датчиков может варьировать, что требует их легкой установки и снятия.

При решении задач ИИС «Умное поле», определяемых в результате мониторинга полей, – подкормки, опрыскивания, борьбы с сорняками и т. д., можно использовать сельскохозяйственные машины, оснащенные дополнительным оборудованием (рис. 2).

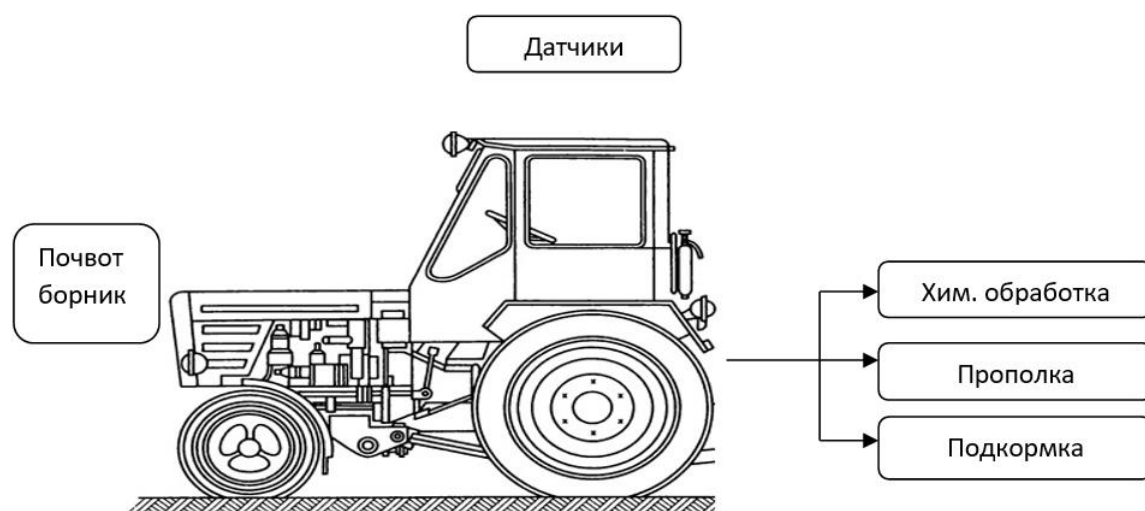


Рис. 2. Трактор с навесным оборудованием для мониторинга и проведения агротехнических мероприятий

При значительных временных перерывах или когда высота растений уже не позволяет применять сельскохозяйственную технику, для актуализации информации на полях можно использовать агродроны со специальными камерами и высокочувствительными сенсорами, которые способны осуществлять одновременно мониторинг состояния посевов, точечную химическую обработку и подкормку (рис. 3).



Рис. 3. Агродрон для мониторинга и точечного опрыскивания

Данные, полученные с помощью дронов и спутников, позволят создавать многослойные цифровые карты, включая 3D-карты для расчета внесения удобрений и химической обработки.

Эксперты рекомендуют на посевах кукурузы учитывать метеоусловия, состояние почвы и фитосанитарное состояние. Последнее включает обнаружение сорняков (гумая и осота полевого), вредителей (совки и кукурузного мотылька) и болезней (пузырчатой головни).

Для мониторинга метеоусловий на рынке уже представлено множество автономных технических устройств и сервисов для сбора и предоставления пользователям актуальных ме-

теорологических данных. Одно из таких устройств, работающее в сетях 3G/4G, с питанием от солнечной батареи интегрировано в ИИС и внедрено в тестовую эксплуатацию (рис. 4).



Рис. 4. Полевая метеостанция для ИИС «Умное поле»

Специалисты могут получать погодные данные с метеостанции в любое время на компьютере, планшете или смартфоне. Система должна заранее оповещать о наступлении неблагоприятных погодных условий, которые могут помешать качественному проведению полевых работ. Стоит отметить, что предусматривается создание системы автоматизированного орошения на основе работы датчика уровня почвенной влаги.

Полученные данные поступают на сервер, а оттуда на устройства пользователей, на базе чего агрономы могут принимать решение. При наличии сервиса по диагностике (интеллектуальная экспертная система) появляется возможность определить состояние почвы и посевов по различным параметрам: влажности, содержанию питательных веществ, микроэлементам, наличию различных болезней, вредителей, сорняков.

В дальнейшем планируется создание универсальных автономных роботов (возможно, с использованием солнечной энергии), которые способны одновременно выполнять все необходимые операции: мониторинг, прополку, химическую обработку от болезней и вредителей, подкормку (рис. 5).



Рис. 5. Агроробот для мониторинга и проведения технологических операций

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание и использование в сельском хозяйстве интеллектуальной интегрированной системы «Умное поле» является прогрессивным шагом развития, направленным на кардинальное повышение возможностей отрасли.

На основе анализа данных и моделирования развития условий интеллектуальная интегрированная система «Умное поле» способна создавать рекомендации по эффективному уходу за растениями или непосредственно осуществлять автоматический контроль и управление технологическими процессами, выполняемыми исполнительными устройствами средств автоматизации и роботизации. Система обладает гибкостью и масштабируемостью, позволяя использовать единую архитектуру при обработке данных как небольшого участка, так и агропромышленного комплекса страны в целом.

Представленная концепция позволяет оптимизировать производство и привести к заметному росту урожайности сельскохозяйственных культур и качества производимой продукции. Например, объемы производства кукурузы в КБР в 2020 году составили 872,1 тыс. тонн при урожайности 65,2 ц/га, а использование ИИС «Умное поле» может повысить данные показатели до 50 % или до 1308,2 тыс. тонн и 97,8 ц/га соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИТ в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:_ИТ_в_агропромышленном_комплексе_России.
2. Гордеев А.В. и др. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство». Москва: Росинформагротех, 2019. 48 с.
3. Цифровое сельское хозяйство – Digital agriculture [Электронный ресурс]. URL: https://ru.abcdef.wiki/wiki/Digital_agriculture.
4. Умное сельское хозяйство: 13 аспектов, которые следует учесть [Электронный ресурс]. URL: <https://mgbot.ru/training/2017/umnoe-selskoe-khozyaystvo-13-aspektov-kotorye-sleduet-uchest/>.
5. Wolfert Sjaak, Ge Lan; Verdouw Cor, Bogaardt Marc-Jeroen. Big Data in Smart Farming – A review // Agricultural Systems. 2017. Vol. 153. Pp. 69–80. DOI: 10.1016 / j.agsy.2017.01.023.
6. Eastwood C., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B. Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation // Journal of agricultural and environmental ethics. 2017. 32 (5–6): 741–768. DOI: 10.1007/s10806-017-9704-5.
7. Буклагин Д.С. Цифровые технологии управления сельским хозяйством // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №2 (104). Часть 1. С. 136–144. DOI:10.23670/IRJ.2021.103.2.02.
8. Takács-György Katalin, Turek Rahoveanu, Maria Magdalena, Takács István. Sustainable New Agricultural Technology – Economic Aspects of Precision Crop Protection // Procedia Economics and Finance. 2013. Vol. 8. Pp. 729–736. DOI: 10.1016/ S2212-5671 (14) 00151-8.
9. Федотова Г.В., Горлов И.Ф., Сложеникина М.И., Глуценко А.В. Тренды научно-технического развития и повышения конкурентоспособности сельского хозяйства России // Вестник академических знаний. 2019. № 32 (3). С. 251–255.
10. Эльдиева Т.М. Направления использования умных инноваций в сельском хозяйстве // International Agricultural Journal. 2018. № 6. С. 46–49.
11. Воронин Б.А., Митин А.Н., Пичугин О.А. Управления процессами цифровизации сельского хозяйства России // Аграрный вестник Урала. 2019. № 4 (183). С. 86–95.
12. Москалев С.М., Клименок-Кудинова Н.В. Искусственный интеллект и интернет вещей как инновационные методы совершенствования агропромышленного сектора // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 52. С. 121–130.

13. Сельскохозяйственный робот-комбайн: патент РФ / *Заммоев А.У., Хужоков Р.М., Анчиков М.И., Нагоев З.В., Попов Ю.И., Хамуков Ю.Х., Нагоева О.В., Денисенко В.А., Загазежева О.З.* № 2728225. 2020.

14. Робототехнический комплекс для автоматизированной авиационной химической обработки растений и способ его применения: патент РФ / *Заммоев А.У.* № 2586142. 2016.

15. *Нагоев З.В., Пшенокова И.А., Нагоева О.В., Сундуков З.А.* Имитационная модель функции распознавания и понимания статических объектов самообучающимся роботом на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // *Известия ЮФУ. Технические науки.* 2019. № 1 (203). С. 75–84.

16. *Nagoev Z., Pshenokova I., Gurtueva I., Bzhikhatlov K.* A simulation model for the cognitive function of static objects recognition based on machine-learning multi-agent architectures // *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2020. Т. 948. С. 370–378.

17. Полиспастный привод подвижных элементов шарниров и схвата манипулятора робота: патент РФ / *Попов Ю.И., Хамуков Ю.Х.* № 2737323. 2020.

18. *Пшенокова И.А., Анчиков М.И., Денисенко В.А.* Формальная постановка задач интеллектуализации процесса роботизированного сбора плодоовощной продукции на основе применения мультиагентных нейронных сетей // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* 2017. № 6-2 (80). С. 191–196.

19. *Пшенокова И.А.* Современное состояние исследований в теории целенаправленного коллективного поведения группы роботов // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* 2019. № 3 (89). С. 23–30.

20. Сельскохозяйственный робот: патент РФ / *Хамуков Ю.Х., Нагоев З.В., Анчиков М.И., Ахметов Р.Х.* № 2492620. 2013.

21. Способ создания подвижного соединения твердых тел: патент РФ / *Хамуков Ю.Х., Нагоев З.В., Хужоков Р.М., Попов Ю.И., Заммоев А.У.* № 2729150. 2020.

22. Робот-обрезчик: патент РФ / *Хамуков Ю.Х.* № 2409931. 2011.

Информация об авторах

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>

Шуганов Владислав Миронович, д-р с.-х. наук, зав. научно-инновационным центром «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

vmshuganov@mail.ru

Бжихатлов Кантемир Чамалович, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, Нальчик, ул. Балкарова, 2;

haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

Заммоев Аслан Узейрович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zammoev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7966-3557>

Иванов Заур Зуберович, канд. экон. наук, ст. науч. сотр. отдела «Экономика инновационного процесса», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд 37-а;

zaurivanov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0217-8078>

REFERENCES

1. *IT v agropromyshlennom komplekse Rossii* [IT in the agro-industrial complex of Russia] [Electronic resource]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Article:_IT_in_agroindustrial_complex_Russia. (in Russian)
2. Gordeev A.V. et al. *Vedomstvennyy proyekt «Tsifrovoye sel'skoye khozyaystvo»* [Departmental project «Digital agriculture»]. Moscow: Rusinformagrotech, 2019. 48 p. (in Russian)
3. *Tsifrovoye sel'skoye khozyaystvo* [Digital agriculture]. [Electronic resource]. URL: https://ru.abcdef.wiki/wiki/Digital_agriculture. (in Russian)
4. *Umnoye sel'skoye khozyaystvo: 13 aspektov, kotoryye sleduyet uchest'* [Smart agriculture: 13 aspects that should be taken into account] [Electronic resource]. URL: <https://mgbot.ru/training/2017/umnoe-selskoe-khozyaystvo-13-aspektov-kotorye-sleduet-uchest/> (in Russian)
5. Wolfert Sjaak, Ge Lan; Verdouw Cor, Bogaardt Marc-Jeroen. Big Data in Smart Farming – A review // *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153. Pp. 69–80. DOI: 10.1016/j.agry.2017.01.023.
6. Eastwood C., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B. Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation. *Journal of agricultural and environmental ethics*. 2017. 32 (5–6): 741–768. DOI: 10.1007/s10806-017-9704-5.
7. Buklagin D.S. Agricultural digital management technologies. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International research journal]. No. 2(104). Part 1. 2021. Pp.136–144. DOI:10.23670/IRJ.2021.103.2.02. (in Russian)
8. Takács-György Katalin, Turek Rahoveanu, Maria Magdalena, Takács István. Sustainable New Agricultural Technology – Economic Aspects of Precision Crop Protection // *Procedia Economics and Finance*. 2013. Vol. 8. Pp. 729–736. DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00151-8.
9. Fedotova G.V., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Glushchenko A.V. Trends in scientific and technical development and increasing the competitiveness of agriculture in Russia. *Vestnik akademicheskikh znaniy* [Bulletin of Academic Knowledge]. 2019. No. 32 (3). Pp. 251–255. (in Russian)
10. Eldieva T.M. Directions of using smart innovations in agriculture. *International Agricultural Journal* [International Agricultural Journal]. 2018. No. 6. Pp. 46–49. (in Russian)
11. Voronin B.A., Mitin A.N., Pichugin O.A. Managing the processes of digitalization of agriculture in Russia. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2019. No. 4 (183). Pp. 86–95. (in Russian)
12. Moskalev S.M., Klimenok-Kudinova N.V. Artificial intelligence and the internet of things as innovative methods of improving the agro-industrial sector. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University]. 2018. Vol. 52. Pp. 121–130 (in Russian)
13. Zammoev A.U., Khuzhokov R.M., Anchekov M.I., Nagoev Z.V., Popov Yu.I., Khamukov Yu.Kh., Nagoeva O.V., Denisenko V.A., Zagazezheva O.Z. *Sel'skokhozyaystvennyy robot-kombayn* [Agricultural robot harvester]. Patent Rossii [Patent of Russia] No. 2728225. 2020. (in Russian)
14. Zammoev A.U. *Robototekhnicheskiiy kompleks dlya avtomatizirovannoy aviatsionnoy khimicheskoy obrabotki rasteniy i sposob yego primeneniya* [Robotic complex for automated aviation chemical treatment of plants and the method of its application]. Patent Rossii. [Patent of Russia] No. 2586142. 2016. (in Russian)
15. Nagoev Z.V., Pshennikova I.A., Nagoeva O.V., Sundukov Z.A. Simulation model of the function of recognition and understanding of static objects by a self-learning robot based on multi-agent neurocognitive architectures. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskkiye nauki* [News of the SSU. Technical sciences]. 2019. No. 1 (203). Pp. 75–84. (in Russian)
16. Nagoev Z., Pshennikova I., Gurtueva I., Bzikhatlov K. Simulation model of cognitive recognition based on machine-learning multi-agent architectures // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. T. 948. C. 370–378. 2020. Vol. 948. Pp. 370–378.
17. Popov Y.I., Khamukov Yu.Kh. *Polispastnyy privod podvizhnykh elementov sharnirov i skhvata manipulyatora robota* [Polispast drive of movable elements of hinges and the grip of the robot manipulator]. Patent Rossii [Patent of Russia] No. 2737323. 2020. (in Russian)

18. Pshennikova I.A., Anchekov M.I., Denisenko V.A. Formal formulation of the tasks of intellectualization of the process of robotic fruit and vegetable harvesting based on the use of multi-agent neural networks. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS]. 2017. No. 6-2 (80). Pp. 191–196. (in Russian)
19. Pshenokova I.A. The current state of research in the theory of purposeful collective behavior of a group of robots. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS]. 2019. No. 3 (89). Pp. 23–30. (in Russian)
20. Khamukov Yu.Kh., Nagoev Z.V., Anchekov M.I., Akhmetov R.H. *Sel'skokhozyaystvennyy robot* [Agricultural robot]. Patent Rossii [Patent of Russia] No. 2492620. 2013 (in Russian)
21. Khamukov Yu.Kh., Nagoev Z.V., Khuzhokov R.M., Popov Yu.I., Zammoev A.U. *Sposob sozdaniya podvizhnogo soyedineniya tverdykh tel* [Method of creating a movable joint of solids]. Patent Rossii [Patent of Russia] No. 2729150. 2020. (in Russian)
22. Khamukov Yu.Kh. *Robot-obrezchik* [Robot pruner]. Patent Rossii [Patent of Russia]. No. 2409931. 2011. (in Russian)

Original article

PROSPECTS FOR INCREASING THE PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY OF AGRICULTURAL PRODUCTION WITH THE USE OF AN INTELLIGENT INTEGRATED ENVIRONMENT

Z.V. NAGOEV¹, V.M. SHUGANOV¹, K.Ch. BZHIKHATLOV¹,
A.U. ZAMMOEV¹, Z.Z. IVANOV²

¹ Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

² Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

Annotation. The production of agricultural products is currently closely connected with the use of digital technologies, elements of precision farming, automation and robotization of agriculture. To ensure an increase in the efficiency of agricultural production through the introduction of an intelligent environment, automation and robotization of agriculture with the integrated use of digital technologies, elements of precision farming and artificial intelligence, the authors have developed an intelligent integrated system (IIS) «Smart Field». It makes it possible to constantly monitor the condition of the soil and crops, predict, respond in a timely manner to threats (pests, diseases, weeds), preventing the manifestation of negative factors that affect the quantity and quality of products.

The presented concept of the intelligent integrated system (IIS) «Smart Field» in the production of corn grain, thanks to the flexibility of configuration and scaling, can also be used for the cultivation of any other agricultural crop. Such a system in the future will allow not only to «digitize» agro technical processes, but also to significantly increase the volume of production and quality of agricultural products while reducing costs.

Keywords: agricultural production, automation and robotization of agricultural production, precision agriculture, digitalization, artificial intelligence, intelligent environment, intelligent integrated system

The article was submitted 18.11.2021

Accepted for publication 30.11.2021

For citation. Nagoev Z.V., Shuganov V.M., Bzhikhatlov K.Ch., Zammoev A.U., Ivanov Z.Z. Prospects for increasing the productivity and efficiency of agricultural production with the use of an intelligent integrated environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. No. 6 (104). Pp. 155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165

Information about the authors

Nagoev Zalimkhan Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>

Shuganov Vladislav Mironovich, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Research and innovation Center «Intellectual systems and environments for the production and consumption of food products» of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

vmshuganov@mail.ru

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory «Neurocognitive autonomous intelligent systems» of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;

haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

Zammoev Aslan Uzeyrovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory «Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems» of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

zammoev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7966-3557>

Ivanov Zaur Zuberovich, Candidate of Economics, Senior Researcher, «Economics of the innovation process» Department, Institute of Computer Science and Regional Management Problems – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

zaurivanov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0217-8078>