

УДК 633.1; 632.9

Научная статья

DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-1-48-58

EDN: JDQJGZ

Совершенствование химической защиты посевов кукурузы путем разработки универсальных сельскохозяйственных роботов

В. М. Шуганов

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Рассмотрены основные параметры, оказывающие влияние на эффективность химической защиты кукурузы. Представлен подробный анализ влияния погодных факторов (температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха), выбора пестицида, нормы расхода и размера капель рабочего раствора, сроков обработки на урожайность посевов кукурузы. Указан оптимальный размер капель рабочего раствора для борьбы с сорняками, болезнями и вредителями кукурузы, их зависимость от типа распылителя. Отмечена необходимость совершенствования химической защиты посевов кукурузы от сорняков, болезней и вредителей с целью повышения качества обработки, оптимизации расхода пестицидов, снижения ущерба окружающей среде. Отмечены особенности ультрамалообъемного (УМО) опрыскивания, указаны преимущества и недостатки этого метода. В статье приводятся предпосылки, способствующие переходу сельского хозяйства к использованию цифровых и интеллектуальных технологий, автоматизации и роботизации отрасли, в том числе в области химической защиты посевов кукурузы, а также преимущества их применения. На основании собственных экспериментов и анализа данных отечественных и зарубежных исследователей в области химической защиты растений дано обоснование и отмечена целесообразность дальнейшего совершенствования автономного мобильного сельскохозяйственного «робота-агрозащитника» КБНЦ РАН с системой распознавания сорняков и механизмом локального (точечного) внесения пестицидов на основе учета метеорологических условий в режиме реального времени.

Ключевые слова: сельское хозяйство, химическая защита растений, ресурсосберегающие технологии, опрыскивание кукурузы, цифровые и интеллектуальные технологии, робот-агрозащитник

Поступила 13.11.2023, одобрена после рецензирования 12.01.2024, принята к публикации 15.01.2024

Для цитирования. Шуганов В. М. Совершенствование химической защиты посевов кукурузы путем разработки универсальных сельскохозяйственных роботов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 1. С. 48–58. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-1-48-58

Original article

Improving the chemical protection of corn crops by developing universal agricultural robots

V.M. Shuganov

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Abstract. The main parameters influencing the effectiveness of chemical protection of corn are considered. A detailed analysis of the influence of weather factors (temperature, relative humidity and air speed), choice of pesticide, application rate and droplet size of the working solution, and timing of treatment

on the yield of corn crops is presented. The optimal droplet size of the working solution for controlling weeds, diseases and pests of corn is indicated, and their dependence on the type of sprayer. The need to improve the chemical protection of corn crops from weeds, diseases and pests was noted in order to improve the quality of processing, optimize the consumption of pesticides, and reduce environmental damage. The features of ultra-low-volume spraying (ULV) are noted, and the advantages and disadvantages of this method are indicated. The article describes the prerequisites facilitating the transition of agriculture to the use of digital and intelligent technologies, automation and robotization of the industry, including in the field of chemical protection of corn crops, as well as the advantages of their use. Based on our own experiments and data analysis, domestic and foreign researchers in the field of chemical plant protection, a justification is given and the feasibility of further improving the autonomous mobile agricultural “Robot Agroprotector” of the KBSC RAS with a weed recognition system and a mechanism for local (point) application of pesticides based on meteorological data is noted. conditions in real time.

Keywords: agriculture, chemical plant protection, resource-saving technologies, corn spraying, digital and intelligent technologies, agricultural robot

Submitted 13.11.2023,

approved after reviewing 12.01.2024,

accepted for publication 15.01.2024

For citation. Shuganov V.M. Improving the chemical protection of corn crops by developing universal agricultural robots. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS.* 2024. Vol. 26. No. 1. Pp. 48–58. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-1-48-58

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе в мире наблюдается активное использование цифровых технологий, которые позволяют эффективно решать многие задачи агропромышленного комплекса (АПК). В России разработан ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» для сокращения отставания по производительности труда, урожайности и другим показателям от стран с традиционно развитым сельским хозяйством. Проект направлен на повышение внимания к мерам государственной поддержки в части стимулирования развития цифровых технологий в агропромышленном комплексе. Создаются специализированные платформы и цифровые ресурсы, которые предоставляют доступ к современным решениям и информации [1].

Опыт производителей аграрной продукции по всему миру свидетельствует о том, что применение цифровых технологий формирует условия, обеспечивающие мониторинг роста и развития в течение всего жизненного цикла, своевременное обнаружение рисков и оптимальное реагирование на них. Такой подход способствует повышению объемов производства продукции, производительности труда, снижению материальных затрат и созданию безлюдных технологий, защиты окружающей среды.

Наиболее востребованными направлениями цифровизации сельского хозяйства являются автоматизация и роботизация на основе передовых информационных технологий (ИТ) для сокращения объемов монотонных и трудоемких технологических процессов.

Эффективность применения роботов в аграрной отрасли заключается не только в известных преимуществах индустриализации производства, но и в создании наиболее благоприятных условий для биологических объектов. Непосредственное взаимодействие с живыми организмами осуществляют автономные мобильные сельскохозяйственные роботы, поэтому их необходимо оснащать определенными возможностями на основе использования искусственного интеллекта [2]. В ведущих странах мира (США, ЕС, Япония, Китай, Великобритания и др.) отмечается постоянное расширение использования роботов, обладающих машинным зрением и искусственным интеллектом, для решения различных задач в сельском хозяйстве.

Развитие «интеллектуального» сельского хозяйства основано на применении автоматизированных систем принятия решений, комплексной автоматизации и роботизации производства, а также технологиях проектирования и моделирования экосистем [3].

За последние годы благодаря применению перспективных «интеллектуальных» цифровых технологий стало возможно обеспечение эффективной борьбы с сорняками, болезнями и вредителями на посевах сельскохозяйственных культур при минимальном использовании пестицидов и значительном снижении негативного воздействия на экологию.

Актуальность исследований заключается в необходимости комплексного подхода к разработке ресурсосберегающего метода обработки кукурузы, сочетающего качественный мониторинг состояния посевов, учет метеорологических условий для «интеллектуального» точечного (локального) опрыскивания в зависимости от используемого пестицида (инсектицид, фунгицид, гербицид), характера его действия (системный, контактный), нормы внесения действующего вещества на единицу площади.

Объект исследования – методы опрыскивания посевов кукурузы.

Предмет исследования – ресурсосберегающий метод опрыскивания посевов кукурузы при производстве гибридных семян.

Цель исследования – совершенствование «интеллектуального» метода внесения пестицидов путем качественного мониторинга и учета метеоусловий в режиме реального времени для «интеллектуальной» точечной обработки посевов при производстве гибридных семян кукурузы.

Исходя из этого нами были поставлены следующие задачи:

1. Изучение параметров, оказывающих влияние на эффективность опрыскивания посевов при производстве гибридных семян кукурузы.
2. Оптимизация «интеллектуального» метода опрыскивания посевов кукурузы на основе качественного мониторинга мультиспектральной камерой на наличие сорняков, болезней и вредителей, а также учета температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в режиме реального времени для максимальной экономии пестицидов, снижения экологической нагрузки и повышения экономической эффективности.

Научная новизна исследования заключается в разработке нового комплексного подхода к проблеме химической защиты посевов кукурузы путем мониторинга с помощью мультиспектральной камеры на наличие сорняков, болезней и вредителей, а также учета метеорологических факторов (температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха) в режиме реального времени для оптимизации параметров локального (точечного) проведения опрыскивания.

Материал исследования – анализ современных методов опрыскивания посевов сельскохозяйственных культур и «интеллектуального» точечного опрыскивания «роботом-агрозащитником» КБНЦ РАН.

Исследования выполнены в 2022–2023 гг. методом полевого опыта в ходе тестирования «робота-агрозащитника» КБНЦ РАН при опрыскивании посевов гибридов кукурузы на экспериментальном участке ИСХ КБНЦ РАН, НПУ № 2 в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики (с. п. Опытное Терского муниципального района).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ КУКУРУЗЫ

Современные высокоурожайные сорта и гибриды зерновых культур могут проявить свои лучшие качества только при эффективной их защите от возможных рисков (сорняков, болезней и вредителей), поэтому оптимизацией опрыскивания зерновых культур ведущие

научные учреждения страны – Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР), Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ВНИИФ) и др. – занимаются еще с 70-х годов XX века. На протяжении этого периода основные положения интегрированной защиты зерновых культур изменялись и совершенствовались с учетом создания новых сортов и гибридов интенсивного типа, обновления ассортимента пестицидов и стимуляторов роста растений, изменения фитосанитарной обстановки [4].

Известно, что ежегодные мировые потери сельскохозяйственной продукции от вредных организмов составляют порядка 35 %, в том числе от вредителей – 13,8 %, болезней – 9,2 % и сорняков – 12 %, следовательно, защита растений является острой необходимостью. При проведении защиты посевов от всевозможных рисков важно обеспечить правильное, обоснованное применение препаратов, которое будет способствовать реализации генетического потенциала растений и получению продукции, не содержащей остаточных количеств пестицидов выше предельно допустимых норм [5]. Наряду с этим ежегодно повышается внимание к экологическим аспектам использования пестицидов [6].

Общими основами рационального и эффективного применения химических средств в интегрированной защите растений являются: знание биологии, уязвимых фаз развития вредных организмов и экономических порогов их вредоносности (ЭПВ), то есть плотности популяций вредных организмов, при которых целесообразно проводить защитные мероприятия. Экономически ощутимым вредом принято считать потери 3–5 % урожая, но в отношении многих вредных организмов борьбу следует начинать еще до достижения ЭПВ и обеспечивать постоянный контроль вредителей, болезней и сорной растительности [7].

Большое значение в защитных мероприятиях имеет правильный выбор химических препаратов, эффективность которых зависит от соблюдения многих параметров при обработке посевов. Правильное применение пестицидов подразумевает в первую очередь учет погодных условий. Так, при различных видах опрыскивания (ультрамалообъемное (УМО), малообъемное, среднеобъемное, высокообъемное) требования к погодным условиям могут колебаться в широких пределах: температура воздуха – от 15 до 25 °С, влажность воздуха – от 60 до 75 %, скорость ветра – от 2 до 5 м/с. Указанные параметры погоды необходимо соблюдать, так как многие пестициды не приносят ожидаемых результатов при минимальных отклонениях.

Значительное снижение эффективности химической защиты растений наблюдается при высоких температурах и низкой относительной влажности воздуха, когда интенсивное испарение приводит к тому, что часть рабочего раствора не достигает целевой поверхности, поглощаясь горячим воздухом окружающей среды.

Сильный ветер во время опрыскивания приводит к большим потерям рабочего раствора из-за сноса капель и неравномерного распыления. Потоки воздуха поднимают вверх мелкие капли, которые оседают за пределами обработанного поля. Данная проблема усиливается при опрыскивании мелкодисперсными форсунками.

К другим параметрам, оказывающим влияние на качество опрыскивания, относятся норма расхода и размер капель рабочего раствора. По количеству рабочей жидкости на 1 га и преобладающему размеру капель опрыскивание подразделяют на:

- малолитражное крупнокапельное (обычное) опрыскивание, норма расхода – 300–600 л;
- микролитражное среднекапельное (малообъемное) опрыскивание, норма расхода – 100–250 л, размер капель – 15–300 мкм;

- микролитражное мелкокапельное (микрообъемное) опрыскивание, норма расхода – 25–100 л, размер капель – 30–150 мкм;

- утралообъемное опрыскивание концентрированными, не разбавленными водой эмульсиями пестицидов и масляными растворами, норма расхода – 0,6–5 л, размер капель – 1–20 мкм.

Количество, размер, преобладающий спектр и направление капель рабочего раствора будут определяться типом и конструкцией распылителя. Пропорциональное соотношение мелких, средних и крупных капель может варьировать, поэтому в зависимости от объекта применения подбирают тип форсунок, используемых для опрыскивания. Так, при обработке посевов гербицидами против сорняков требуется достижение равномерности и высокой плотности покрытия, что достигается подбором форсунок для получения капель рабочего раствора размером 100–300 микрон.

Для фунгицидных и инсектицидных обработок лучше использовать распылители с мелкой дисперсией – 30–150 и 10–150 микрон соответственно, чтобы обеспечить хорошее проникновение и лучшее покрытие раствором максимальной площади органов растений по ярусам.

Эффективность химической защиты может значительно снижаться, если не соблюдать рекомендуемые погодные условия. В таком случае для минимизации потерь пестицидов в результате сноса и испарения, более равномерного распределения препарата на целевой поверхности при обработке посевов или, например, учитывая оптимальную для обработки фазу развития культуры, подбирают соответствующие форсунки.

Опрыскивание широколиственных культур (кукуруза, подсолнечник и др.) имеет свои особенности: крупные капли оседают на верхней поверхности листьев и не попадают на нижние ярусы, а для проникновения в стеблестой лучше использовать мелкодисперсное распыление, так как мелкие капли лучше перемещаются в горизонтальной плоскости и проникают вглубь сквозь ярусы листьев. Необходимо отметить, что выбор оптимального распылителя обеспечивает повышение эффективности воздействия препарата.

Известно, что при повышении дисперсности распыления, то есть уменьшении размера капель, наблюдается следующий интересный эффект: если по диаметру капли будут различаться между собой в два раза, то их объемы – уже в 8 раз, а при разнице размеров в 4 раза объемы различаются в 64 раза (табл. 1).

Таблица 1. Количество капель в см² в зависимости от их размера

Table 1. Number of drops per cm² depending on their size

Размер частиц, мкм	Количество капель, см ²
200	2,4
100	19
50	153
20	2 387
10	19 099

Дисперсность, или размер капель, определяет объем вносимого рабочего раствора. Чем меньше размер капель, тем больше площадь покрытия целевого объекта [8]. По размеру капель дисперсность классифицируется следующим образом (табл. 2).

Таблица 2. Классификация состояния рабочей жидкости в зависимости от размера капель**Table 2.** Classification of the state of the working fluid depending on the droplet size

Диаметр капли, мкм	Состояние
500–600	Слабый дождь
400–300	Морось
50–200	Туман
30–50	Облачность
10–15	Аэрозоль

Выбор размера капель зависит от класса пестицида и параметров его действия. Оптимальный расход препарата указывается в регламентах его применения.

Одним из важнейших условий для достижения высокой эффективности химической защиты сельскохозяйственных культур является соблюдение сроков обработки, чтобы не упустить возможность контроля вредного объекта на посевах. Например, до фазы 2-3-го настоящего листа кукуруза слабо реагирует на сорные растения, а с фазы 3-8-го листа они становятся причиной значительного снижения урожайности. Наиболее опасным периодом в развитии кукурузы считается фаза 5-7 листьев (20–30 дней), когда формируется количество рядов зерен в початке будущего урожая. По мнению ученых, именно внесение пестицидов в оптимальные сроки может обеспечить получение высоких урожаев зерновых культур [9].

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОПРЫСКИВАНИЯ ПОСЕВОВ КУКУРУЗЫ

Ресурсосберегающие технологии, используемые в области защиты растений, до наступления «эры цифровизации» не всегда могли обеспечивать максимально качественную обработку, что приводило к повышению засоренности полей, количества болезней и вредителей. Поэтому во многих странах мира для повышения эффективности защиты посевов сельскохозяйственных культур переходят к использованию цифровых технологий в этой области, а также осуществляют разработку и систематическое совершенствование различных автономных робототехнических устройств для выполнения комплекса агротехнических мероприятий.

Первоначально роботизацию сельского хозяйства стали применять при выполнении монотонных и опасных для здоровья операций, а также решения проблем с дефицитом неквалифицированных работников, особенно при проведении сезонных работ или в выходные дни. Нехватка работников в отрасли привела к значительному увеличению оплаты их труда [10]. Кроме того, в аграрной сфере есть необходимость дальнейшего повышения специализации трудовых операций как фактора увеличения производительности труда [11]. Поэтому сегодня спектр использования сельскохозяйственных роботов стал значительно шире и 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 др.);

- принимать эффективные решения по управлению использованием ресурсов сельскохозяйственных предприятий.

Использование указанных технологий наряду с решением многих задач позволяет совершенствовать методы внесения пестицидов с помощью опрыскивания при одновременном снижении химической нагрузки на агроценозы. Сокращение расхода препарата на единицу площади (гектар) снижает затраты на производство продукции растениеводства. Специалисты в области защиты растений отмечают, что непроизводительное попадание пестицидов в окружающую среду зависит от учета метеоусловий, физико-химических свойств препарата, дисперсности распыла или выбранных для работы форсунок и др. [12]. По мнению других ученых, основным направлением совершенствования химической защиты полевых культур является применение ультрамалообъемного опрыскивания, которое значительно снижает нормы расхода раствора препарата на единицу обрабатываемой площади [13]. К преимуществам УМО опрыскивания относят:

- повышение биологической активности пестицида, что позволяет увеличить площадь обработки;

- уменьшение диаметра капель, что приводит к прекращению стекания препарата в почву;

- снижение количества используемой воды для опрыскивания;

- экономия ресурсов.

Однако УМО опрыскивание имеет также определенные недостатки:

- сильный снос капель рабочего раствора ветром, уже при 3 м/с потери достигают 20–50 %;

- увеличение испарения мелких капель при температуре 20 °С и влажности воздуха 80 %, время нахождения капель размером 50, 100 и 200 микрометров в воздухе составляет соответственно 12,5, 50 и 200 секунд;

- повышенные требования к качеству воды (норма рН для большинства пестицидов около 6);

- потеря активности препаратов, разведенных в воде, уже через 4-6 часов;

- высокая стоимость препаратов для УМО опрыскивания на отечественном рынке.

Учитывая наличие большого количества факторов, оказывающих влияние на оптимизацию химической защиты растений и снижение негативного воздействия на экологию, достаточно актуальной и привлекательной является роботизация данного направления. Ведущие мировые производители автоматизированных сельскохозяйственных систем сегодня создают в основном дорогостоящих узкоспециализированных роботов (для отбора семян, посева, прополки и ухода за растениями, уборки урожая, доения коров, подталкивания кормов животным, диагностики заболеваний птиц и др.), хотя в отрасли уже имеется запрос на разработку многофункциональных универсальных автоматизированных систем. Однако для дальнейшего развития сельскохозяйственной робототехники необходимо решить ряд проблем, к которым относятся:

- увеличение производительности за единицу времени при проведении агротехнических мероприятий;

- повышение мобильности за счет оптимального проектирования ходовой части, максимально соответствующей сложным требованиям эксплуатации в полевых условиях;

- реализация возможности быстрого функционального переоснащения под другие задачи путем замены модулей или дополнительных устройств;

- значительное повышение энергоэффективности за счет установки солнечных батарей, что должно обеспечить непрерывную работу всех органов в течение рабочего дня;

- повышение надежности для снижения эксплуатационных расходов и сервисного обслуживания.

На сегодняшний день агророботы все еще остаются редкостью в нашей стране. Их можно встретить только на самых модернизированных производствах. Россия пока отстает от зарубежных инноваций в данной сфере [14]. При этом европейские и американские компании активно работают в области защиты посевов сельскохозяйственных культур: BoniRob (Германия), ecoRobotix (Швейцария), Dino (США) и др.

Для решения задач в области химической защиты растений сотрудники КБНЦ РАН осуществляют разработку многофункционального автономного мобильного «робота-агрозащитника», который благодаря наличию мультиспектральной камеры обеспечивает качественный мониторинг посевов кукурузы на наличие сорняков, болезней и вредителей, а также производит моментальное точечное (локальное) опрыскивание с учетом метеоусловий в режиме реального времени. Очень важно, что при этом обеспечивается повышение энерго- и ресурсосберегающего эффекта, расширяются возможности по обнаружению и локальной (точечной, более эффективной) обработке посевов кукурузы, а также отмечается значительное сокращение экологической нагрузки на сельскохозяйственные угодья.

Тестирования, проведенные в 2022–2023 гг. на экспериментальном участке ИСХ КБНЦ РАН в с. п. Опытное Терского муниципального района Кабардино-Балкарской Республики, подтвердили эффективность применения «робота-агрозащитника». Благодаря возможности мониторинга рисков в режиме реального времени, учета метеоусловий и моментальной точечной (локальной) обработки удалось добиться значительного снижения количества пестицидов, вносимых на единицу площади (до 75–95 %). При этом сокращается стрессовое действие на посевы кукурузы (замедление роста, развитие различных метаболических процессов, появление пятен, ожогов, скручивание листьев) и увеличивается урожайность на 11,2–14,5 %.

Несмотря на то, что роботизация и автоматизация производства продукции остаются одними из основных трендов развития отечественного АПК, внедрение тех или иных решений осуществляется недостаточно быстро. Дополнительные трудности и замедление темпов реализации подобных проектов создают вводимые зарубежными странами антироссийские санкции, запреты на обмен технологиями и уход поставщиков комплектующих из страны.

В сложившихся условиях для повышения эффективности разработок сельскохозяйственной робототехники необходимо обеспечить государственную поддержку отечественным производителям автоматизированных и роботизированных установок через систему государственного заказа, а также организациям АПК по их приобретению. О необходимости государственной поддержки в вопросе приоритетности внедрения цифровых интеллектуальных и роботизированных технологий в сельском хозяйстве говорят ученые и производители сельскохозяйственной продукции [15]¹.

Вместе с тем важными факторами для развития робототехники являются готовность спроса и развитие компаний-интеграторов. Промышленная робототехника развивается не сама по себе, а как ответ на запросы, появляющиеся в индустрии [16].

Таким образом, перспективы развития отечественной робототехники связаны с созданием механизмов эффективного взаимодействия государства, бизнеса и научного сообщества.

¹ Житникова Ю. Цифровизация АПК – без господдержки не обойтись // Российский аграрный портал. <https://agroportal-ziz.ru/news/cifrovizaciya-apk-bez-gospodderzhki-ne-oboytis>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая запрос отечественного рынка на автоматизацию и роботизацию АПК, в том числе в области химической защиты растений для эффективной защиты посевов кукурузы от сорняков, болезней и вредителей, очень важно осуществлять совершенствование функциональности, надежности и энергоэффективности «робота-агрозащитника» КБНЦ РАН. Расширение возможностей многофункционального робота повысит качество мониторинга для борьбы с возможными рисками и позволит в режиме реального времени, с учетом погодных условий (температуры, скорости движения воздуха, относительной влажности воздуха), осуществлять автоматическое регулирование параметров для проведения локального опрыскивания.

По мнению специалистов, дальнейшее повышение эффективности опрыскивания посевов кукурузы будет способствовать увеличению урожайности до 20 %, значительной экономии расхода пестицидов и снижению вреда экологии. Реализация такого подхода может способствовать коренному пересмотру существующих принципов и методов защиты растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев А. В., Патрушев Д. Н., Лебедев И. В. и др. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство». М.: Росинформагротех, 2019. 48 с.
2. Джафаров К. Х., Шаймаков Е. Х. Универсальная роботизированная платформа для повышения эффективности сельскохозяйственных работ // Вестник магистратуры. 2016. № 11-3(62). С. 34–36.
3. Коробошев О. З. Цифровые технологии в сельском хозяйстве // Вестник науки и образования. 2021. № 11-2(114). С. 65–68.
4. Алехин В. Т. Пути оптимизации защиты зерновых культур // Защита и карантин растений. 2014. № 8. С. 3–8.
5. Шуганов В. М., Лешкенов А. М., Шогенов А. Х., Кантиев З. Ю. Разработка перспективного метода опрыскивания для производства гибридных семян кукурузы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 236–248. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-236-248
6. Никитин Н. В., Спиридонов Ю. Я., Соколов М. С. и др. Использование современных опрыскивателей в адаптивной защите растений // Агрохимия. 2008. № 11. С. 51–59.
7. Денискина Н. Ф., Гаспарян Ш. В., Дыйканова М. Е. и др. Защита сельскохозяйственных культур от вредных организмов в периоды ухода и хранения: учебное пособие. М.: МЭСХ, 2021. 108 с.
8. Шириев В. М., Закиева З. А., Гараньков И. Н. Эффективность применения ультрамалообъемных (УМО) опрыскивателей для ускорения достижения уборочной спелости растений // Инновационные направления в химизации земледелия и сельскохозяйственного производства: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской школы молодых ученых. Белгород, 19–21 июня 2019. С. 174–180.
9. Владыкин О. О. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от сроков применения гербицидов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 2. С. 100–102.
10. Морозов Н. М., Горбачев М. И. Экономические аспекты автоматизации доения коров // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В. П. Горячкина. 2008. № 5. С. 13–15.

11. Семин А. Н., Скворцов Е. А. Трансформация трудовой деятельности в условиях применения робототехники в сельском хозяйстве // АПК: экономика, управление. 2018. № 11. С. 76–84.
12. Лысов А. К., Волгарев С. А. Прогрессивные технологии опрыскивания проходят проверку // Защита и карантин растений. 2014. № 7. С. 35–37.
13. Омаров А. Н., Бралиев В. Х., Мухамеджанов В. Х. и др. Обоснование эффективности ультрамалообъемных опрыскивателей полевых культур // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях». Саратов, 21–22 апреля 2021 года. Саратов: Амирит, 2021. С. 447–453.
14. Эфендиев Б. Ш., Шуганов В. М. Роботы в современном растениеводстве // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Инновационный потенциал развития мировой науки и техники: взгляд современных ученых». Нижний Новгород, 2023. С. 265–270.
15. Скворцов Е. А., Скворцова Е. Г., Санду И. С., Иовлев Г. А. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 3. С. 1014–1028.
16. Загазежева О. З., Бербекова М. М. Основные тренды развития роботизированных технологий в сельском хозяйстве // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 5(103). С. 236–248.

REFERENCES

1. Gordeev A.V., Patrushev D.N., Lebedev I.V. et al. *Vedomstvennyj proekt "Cifrovoe sel'skoe hozyajstvo"* [Departmental project "Digital Agriculture"]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2019. 48 p. (In Russian)
2. Dzhafarov K.Kh., Shaimakov E.Kh. A universal robotic platform to improve the efficiency of agricultural work. *Vestnik magistratury* [Bulletin of magistracy]. 2016. No. 11–3(62). Pp. 34–36. (In Russian)
3. Koraboshev O.Z. Digital technologies in agriculture. *Vestnik nauki i obrazovaniya* [Bulletin of Science and Education]. 2021. No. 10 (113). Pp. 65–68. (In Russian)
4. Alekhin V.T. Ways to optimize the protection of grain crops. *Plant protection and quarantine*. 2014. No. 8. Pp. 3–8. (In Russian)
5. Shuganov V.M., Leshkenov A.M., Shogenov A.Kh., Kantiev Z.Yu. Development of a promising spraying method for the production of hybrid corn seeds. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6 (110). Pp. 236–248. (In Russian)
6. Nikitin N.V., Spiridonov Yu.Ya., Sokolov M.S. etc. The use of modern sprayers in adaptive plant protection. *Agrohimia*. 2008. No. 11. Pp. 51–59. (In Russian)
7. Deniskina N.F., Gasparyan Sh.V., Dyikanova M.E. et al. *Zashchita sel'skohozyajstvennykh kul'tur ot vrednykh organizmov v periody uhoda i hraneniya* [Protection of agricultural crops from pests during periods of care and storage]: *textbook*. Moscow: MESH, 2021. 108 p. (In Russian)
8. Shiriev V.M., Zakieva Z.A., Garankov I.N. Efficiency of using ultra-low-volume (ULV) sprayers to accelerate the achievement of harvest ripeness of plants. *Innovacionnye napravleniya v himizacii zemledeliya i sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem i Vserossijskoj shkoly molodykh uchenykh* [Innovative directions in the chemicalization of agriculture and agricultural production: Materials of the All-Russian scientific and practical conference with

international participation and the All-Russian School of Young Scientists]. Belgorod, June 19–21, 2019. Pp. 174–180. (In Russian)

9. Vladykin O.O. Yield of spring wheat depending on the timing of herbicide application. *International journal of humanities and natural sciences*. 2018. No. 2. Pp. 100–102. (In Russian)

10. Morozov N.M., Gorbachev M.I. Economic aspects of automation of cow milking. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta im. V. P. Goryachkina* [Bulletin of the Moscow State Agroengineering University named after. V.P. Goryachkina]. 2008. No. 5. Pp. 13–15. (In Russian)

11. Semin A.N., Skvortsov E.A. Transformation of labor activity in the conditions of the use of robotics in agriculture. *AIC: Economics, Management*. 2018. No. 8. Pp. 76–84. (In Russian)

12. Lysov A.K., Volgarev S.A. Progressive spraying technologies are being tested. *Protection and quarantine of plants*. 2014. No. 7. Pp. 35–37. (In Russian)

13. Omarov A.N., Braliev V.Kh., Mukhamedzhanov V.Kh. et al. Justification of the effectiveness of ultra-low-volume sprayers of field crops. *Materialy VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacii v prirodoobustrojstve i zashchite v chrezvychajnyh situacijah»* [Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference “Innovations in environmental management and protection in emergency situations”]. Saratov, April 21–22, 2021. Saratov: Amirit, 2021. Pp. 447–453. (In Russian)

14. Efendiev B.Sh., Shuganov V.M. Robots in modern crop production. *Materialy XIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacionnyj potencial razvitiya mirovoj nauki i tekhniki: vzglyad sovremennyh uchenyh»* [Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference “Innovative potential for the development of world science and technology”: the view of modern scientists]. Nizhny Novgorod, 2023. Pp. 265–270. (In Russian)

15. Skvortsov E.A., Skvortsova E.G., Sandu I.S., Iovlev G.A. The transition of agriculture to digital, intelligent and robotic technologies. *Economy of regions*. 2018. Vol. 14. No. 3. Pp. 1014–1028. (In Russian)

16. Zagazezheva O.Z., Berbekova M.M. Main trends in the development of robotic technologies in agriculture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. No. 5(103). Pp. 236–248. (In Russian)

Информация об авторе

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, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

vmshuganov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5189-998X>

Information about author

Vladislav M. Shuganov, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the research and innovation center “Intellectual systems and environments for the production and consumption of food products”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

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

vmshuganov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5189-998X>