

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.348.4:632.08:632.982.1:632.982.2

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-3-12-18

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ:
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ****ДОРОХОВ АЛЕКСЕЙ СЕМЕНОВИЧ**, член-корр. РАН, д-р техн. наук, профессорdorokhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018**СТАРОСТИН ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ**, канд. техн. наук**ЕЩИН АЛЕКСАНДР ВАДИМОВИЧ** ✉, канд. техн. наук, доцент

vim@vim.ru ✉

КУРБАНОВ РАШИД КУРБАНОВИЧ, канд. техн. наук

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Аннотация. Без применения средств защиты растений, способствующих получению высоких урожаев, невозможно ведение интенсивного сельскохозяйственного производства. Сельхозтоваропроизводителями наиболее востребован химический метод защиты растений как более эффективный и производительный, для реализации которого широко используют опрыскиватели. Анализ современных опрыскивателей показал, что в их конструкции преобладают тенденции увеличения производительности, ширины захвата и вместимости рабочих баков, улучшения качественных показателей работы, совершенствования основных узлов и оборудования, использования различных средств автоматизации с целью уменьшения экологической нагрузки на окружающую среду. В более далекой перспективе прослеживаются тенденции по развитию автономных роботизированных машин и беспилотных летательных аппаратов, объединенных в единую интеллектуальную систему точного земледелия. Отмечено, что в наибольшей степени на показатели качества химической обработки растений влияют следующие рабочие параметры опрыскивателя: скорость движения агрегата; высота установки штанги и ее стабильность в процессе работы; давление в системе подачи рабочей жидкости и параметры работы форсунки (диаметр формируемых капель, степень износа и засоренности). Существенное влияние оказывают также параметры окружающей среды: относительная влажность и температура воздуха, скорость ветра и наличие осадков. Для обеспечения высокого качества, эффективности и экологической безопасности технологического процесса химической защиты растений необходимы: совершенствование технических средств защиты растений в направлении оптимизации основных рабочих параметров; внедрение передовых технических решений, направленных на увеличение показателей эффективности технологического процесса; внедрение систем автоматизации и роботизации технических средств защиты растений; развитие автономных роботизированных машин и беспилотных летательных аппаратов, объединенных в единую интеллектуальную систему точного земледелия.

Ключевые слова: химическая защита растений, опрыскиватель, техническое средство для защиты растений, перспективы развития опрыскивателей, точное земледелие, беспилотный летательный аппарат.

Формат цитирования: Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В., Курбанов Р.К. Технические средства для химической защиты растений: состояние и перспективы развития // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 3. С. 12-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-12-18>.

© Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В., Курбанов Р.К., 2022



ORIGINAL PAPER

**TECHNICAL MEANS FOR CHEMICAL PROTECTION OF PLANTS:
CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS****ALEKSEI S. DOROKHOV**, RAS Corresponding Member, DSc (Eng), Professordorokhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018**IVAN A. STAROSTIN**, PhD (Eng)**ALEKSANDR V. ESHCHIN** ✉, PhD (Eng), Associate Professor

vim@vim.ru

RASHID K. KURBANOV, PhD (Eng)Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Bld 5, 1st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract. Intensive agricultural production is impossible without the use of plant protection products that contribute to high yields. Agricultural producers highly evaluate the chemical method of plant protection based on the wide use of sprayers as a more efficient and productive one. The analysis of modern sprayers has shown that their design is subject to the dominating trend of increasing productivity, a working width and a tank capacity, improving the quality of work, improving the main components and equipment, using various

automation tools to reduce the environmental impact. There are also some long-term trends in the development of autonomous robotic machines and unmanned aerial vehicles, combined into a single intelligent precision farming system. It is noted that the following operating parameters of the sprayer greatly influence the quality indicators of the chemical treatment of plants: the unit speed; the rod installation height and its stability during operation; pressure in the working fluid supply system and nozzle operation parameters (the diameter of droplets formed, the degree of wear and clogging). Environmental parameters also have a significant impact: relative humidity and air temperature, wind speed and the amount of precipitation. To ensure high quality, efficiency, and environmental safety of chemical plant protection, it is necessary to improve the technical means of plant protection through optimizing the main operating parameters, introducing advanced technical solutions aimed at increasing the technological process efficiency; introducing automation and robotization systems of technical means used for plant protection; designing autonomous robotic machines and unmanned aerial vehicles, combined into a single intelligent system of precision farming.

Key words: chemical plant protection, sprayer, technical means for plant protection, development prospects of sprayers, precision farming, unmanned aerial vehicle.

For citation: Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eshchin A.V., Kurbanov R.K. Technical means for chemical protection of plants: current state and development prospects. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(3): 12-18. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-12-18>.

Введение. Защита растений – это система мероприятий по предотвращению и устранению ущерба, причиняемого растениям вредными организмами, основанная на их подавлении.

Современное интенсивное сельскохозяйственное производство невозможно без применения средств защиты растений, которые обеспечивают стабильное развитие сельскохозяйственных культур и способствуют получению высоких урожаев.

Применение современных технических средств для химической защиты растений позволяет обеспечить качественную обработку сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней и при этом снизить нормы расхода химических средств, минимизировать их потери в процессе эксплуатации и, соответственно, снизить нагрузку на окружающую среду.

Цель исследований: оценить состояние и выявить тенденции развития технических средств для химической защиты растений, дать рекомендации по направлениям их дальнейшего совершенствования в нашей стране.

Материалы и методы. Работа основывается на анализе данных о современных технических средствах для химической защиты растений, приведенных в научных статьях, аналитических обзорах, данных Росстата,

на официальных сайтах производителей соответствующей техники. Исходная информация при проведении исследований обработана экспертно-аналитическим методом.

Результаты и их обсуждение. Качественная организация защиты растений подразумевает в первую очередь выполнение комплекса мероприятий по обеспечению сохранности посевов от вредителей и болезней и борьбе с сорняками в течение всего вегетационного периода при правильном и своевременном применении средств защиты растений, наносящих минимальный вред здоровью человека и окружающей среде [1].

Среди сельхозтоваропроизводителей наиболее востребован химический метод защиты растений как наиболее эффективный. При его реализации используется комплекс различных механизмов и машин (опрыскивателей, опылителей, аэрозольных генераторов, протравливателей семян и др.), установленных на автомашинах, тракторах, самоходных шасси или летательных аппаратах [2].

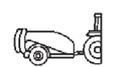
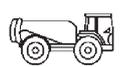
Наиболее широко для защиты растений используют опрыскиватели, которые имеют отличительные особенности, обусловленные спецификой их конструкции и способом эксплуатации (табл. 1).

Таблица 1

Сводные характеристики сельскохозяйственных опрыскивателей

Table 1

Summary characteristics of agricultural sprayers

Параметр <i>Parameter</i>	Навесные опрыскиватели <i>Mounted sprayers</i>		Прицепные опрыскиватели <i>Trailed sprayers</i>		Самоходные опрыскиватели <i>Self-propelled sprayers</i>	
	Штанговые <i>Rod sprayers</i>	Вентиляторные <i>Fan sprayers</i>	Штанговые <i>Rod sprayers</i>	Вентиляторные <i>Fan sprayers</i>	Штанговые <i>Rod sprayers</i>	Вентиляторные <i>Fan sprayers</i>
						
Площадь сельскохозяйственных угодий, на которой рационально применение данного вида опрыскивателя, га <i>Crop area recommended for the rational use of the sprayer type, ha</i>	< 1000		1000...10000		>10000	
Объем бака, л / <i>Tank volume, l</i>	500...1500	200...3150	1700...11200	500...4000	2000...9000	2000...4000
Ширина захвата, м / <i>Capture width, m</i>	6...30	-	12...45	-	24...45	-
Собственная масса, кг / <i>Unit weight, kg</i>	600...1800	290...2100	2000...8300	700...2500	6800...16400	3500...5500

Навесные опрыскиватели рационально применять на площадях сельскохозяйственных угодий до 1000 га ввиду их невысокой производительности, обусловленной необходимостью частых заправок бака рабочей жидкостью и, как правило, небольшой шириной захвата штанги (для штанговых опрыскивателей). Навесные опрыскиватели отличаются простотой конструкции и невысокой стоимостью.

Прицепные опрыскиватели наиболее востребованы сельхозтоваропроизводителями, поскольку совмещают в себе относительную доступность по цене и достаточно высокую производительность. Такие агрегаты рационально использовать на площадях от 1000 га, и тогда срок окупаемости техники будет незначительным. Применяемые в прицепных опрыскивателях передовые технические решения позволяют повысить производительность, качество выполнения технологического процесса и способствуют повышению экологической безопасности.

При обработке площади более 10 тыс. га рекомендуется использовать самоходные опрыскиватели, имеющие высокую производительность и обладающие высоким клиренсом (до 1,75 м), что позволяет обрабатывать практически все сельскохозяйственные культуры на любой стадии вегетации, не травмируя их.

В конструкции современных опрыскивателей для повышения производительности агрегата наблюдаются тенденции увеличения ширины захвата и вместимости рабочих баков, для улучшения качественных показателей работы совершенствуются основные узлы и оборудование, с целью уменьшения потерь пестицидов и экологической нагрузки на окружающую среду используются различные средства автоматизации. Наиболее пристальное внимание обращается на совершенствование конструкций распылителей, механизмов стабилизации высоты установки штанг, процессы наполнения, опорожнения и промывки опрыскивателей, а также на оснащение их современными средствами электроники^{1,2} [3].

Практически все производимые штанговые опрыскиватели оборудуются маятниковой подвеской штанги, позволяющей снизить ее вертикальные колебания. В новейших конструкциях подвески, помимо пружинных элементов и демпферов, устанавливается электронная система контроля, включающая в себя гироскоп и набор управляемых электрическими гидрораспределителями гидроцилиндров, обеспечивающих дополнительную гидравлическую амортизацию и компенсацию колебаний.

В опрыскивателях фирмы Amazone за счет применения интегрированной системы демпфирования сводятся к минимуму горизонтальные колебания наружных зон штанги. Достигается это за счет совместной работы датчиков, измеряющих ускорение в секциях штанги и системы гидравлических цилиндров².

Маятниковая подвеска штанги может оснащаться системами автоматического ведения, обеспечивающими автоматический контроль высоты положения крыльев штанги относительно обрабатываемой поверхности. Системы оснащаются двумя, четырьмя или шестью ультразвуковыми датчиками, связанными с быстродействующей

гидравлической системой, обеспечивающей оптимальное автоматическое ведение штанги по вертикали и автоматическое одностороннее или двустороннее отклонение секций штанги вверх или вниз в зависимости от рельефа поля.

Некоторые модели опрыскивателей оборудованы системой с замкнутой циркуляцией рабочей жидкости в трубопроводах, питающих форсунки. Система позволяет осуществлять постоянное заполнение форсунок по всей ширине захвата штанги в периоды начала работы агрегата и при прохождении разворотной полосы, предотвращать образование отложений и засорений трубок опрыскивателя и облегчает промывку системы чистой водой.

Оснащение каждой форсунки электромагнитным клапаном позволяет отключать подачу рабочей жидкости при перекрытии зон обработки. При этом перекрываемый участок уменьшается с размера секции штанги, имеющей ширину от 3 до 5 м, до расстояния между форсунками в 0,5 м.

Фирмой Amazone реализована система, в которой каждая форсунка оснащена специализированными высокоточными электромагнитными клапанами, работающими по принципу широтно-импульсной частотной модуляции в интервале до 50 Гц. В процессе работы система позволяет регулировать соотношение закрытой и открытой форсунок (длительность импульсов) и промежутки между включениями (частоту импульсов). В результате имеется возможность бесступенчатого варьирования нормы внесения от 30 до 100% на каждой отдельной форсунке или отключения форсунки полностью. Давление и размер капель при таком регулировании остаются постоянными, что дает экономию препарата и увеличивает точность внесения без потери качества².

Особые требования предъявляются к распылителям, используемым в конструкции штанговых опрыскивателей. Они должны обеспечивать качественное опрыскивание всей поверхности растений с минимальными потерями. Для быстрой перестановки форсунок на другой типоразмер штанговые рабочие органы комплектуются револьверными головками с набором из трех или четырех форсунок, которые могут оснащаться приводом для автоматического переключения форсунок на нужный типоразмер.

Современные опрыскиватели оборудуются бортовыми компьютерами, способными полностью обеспечивать автоматическую поддержку предварительно установленной нормы расхода жидкости независимо от рабочей скорости агрегата. Они дают возможность оператору или в автоматическом режиме контролировать все основные параметры опрыскивания и в случае необходимости отключать подачу рабочей жидкости к штанге, или отключать отдельные секции штанги. Блок компьютера устанавливается в кабине и оборудован дисплеем, на котором отображаются основные показатели работы агрегата: норма внесения рабочей жидкости, скорость движения агрегата, обработанная площадь, время работы, пройденный путь, уровень жидкости, расход рабочей жидкости, рабочее давление в системе и др.

Компьютер, дополнительно оборудованный GPS навигатором и соответствующим программным обеспечением, позволяет контролировать обработанные и необработанные участки поля и автоматически отключать секции штанги или отдельные форсунки при перекрытии уже обработанных участков, что предотвращает повторную обработку.

В целях быстрой перенастройки агрегата для обработки сельскохозяйственных культур с различной шириной

¹ Официальный сайт фирмы Máquinas Agrícolas Jacto S.A. [Электронный ресурс]. URL: <https://jacto.com> (дата обращения: 07.10.2021).

² Официальный сайт ООО «Казаньсельмаш». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kazansm.ru> (дата обращения: 14.10.2021).

междурядий и высотой стеблестоя основная масса самоходных и некоторые прицепные опрыскиватели имеют возможность бесступенчатого централизованного изменения ширины колеи и клиренса прямо в процессе работы агрегата, что увеличивает его производительность.

Современные опрыскиватели комплектуются отдельными промывочными баками со встроенной системой промывки, миксером для приготовления рабочего раствора, бачком для мытья рук. Модели опрыскивателей ведущих мировых производителей отличаются высокой степенью технического дизайна, рациональной внешней компоновкой сборочных узлов, качеством изготовления и сборки. Применение коррозионностойких материалов и покрытий позволяет обеспечить долгий срок службы опрыскивателей [3].

На развитие технических средств и технологий защиты растений существенное влияние оказывает технологическая политика, формирующаяся в процессе тесного взаимодействия специалистов, ученых и законодателей.

Ужесточение законодательства стимулирует производителей технических средств для защиты растений к разработке и внедрению новых технических решений и средств автоматизации, обеспечивающих качественное внесение средств защиты растений с соблюдением условий их эффективного и безопасного применения. Так, самоходный опрыскиватель Uniport 3030 Eletro Vortex бразильской фирмы Máquinas Agrícolas Jacto оснащен технологией Eletro Vortex, использующей

электростатический заряд капель в сочетании с подачей на форсунку вертикального потока воздуха. Заряженные отрицательным зарядом капли аэрозоля притягиваются растениями, имеющими нейтральный заряд. При этом улучшается качество осаждения и, следовательно, распыления¹.

Установленные на опрыскивателе вентиляторы нагнетают в воздушный рукав, проходящий вдоль штанг, воздух со скоростью 110 км/ч. Отдельные воздухопроводы концентрируют весь воздух только на форсунках. Это способствует лучшему проникновению капель аэрозоля в посевы, уменьшает снос и позволяет опрыскивателю работать при скорости ветра до 10 м/с.

Компанией Amazone разработан прицепной опрыскиватель UX AmaSpot с интеллектуальной системой сенсорных форсунок AmaSpot. В опрыскивателе для определения наличия сорняков на поле применяются флуоресцентные датчики GreenSense, которые распознают флуоресцентный пигмент хлорофилла². Если датчик GreenSense определил наличие зеленого растения, мгновенно включаются специализированные высокоточные форсунки, и процесс внесения средств гербицидов выполняется с точностью до 1 см, на высоких рабочих скоростях, вплоть до 20 км/ч, в любое время суток.

Взаимосвязь технических решений, применяемых в современных опрыскивателях, рабочих параметров опрыскивателей, параметров окружающей среды и показателей качества технологического процесса представлена на рисунке 1.

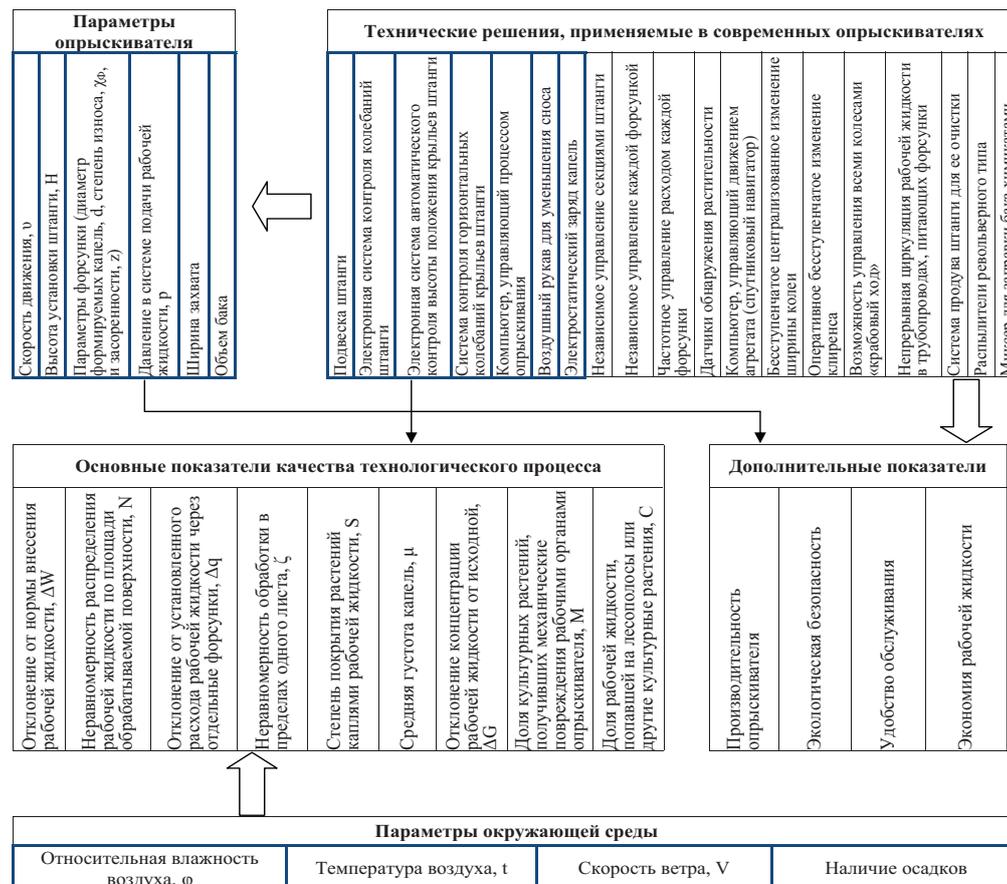


Рис. 1. Параметры и технические решения, влияющие на показатели качества технологического процесса химической обработки растений:
 — параметры и технические решения, в наибольшей степени влияющие на показатели качества технологического процесса

Fig. 1. Parameters and technical solutions affecting the quality indicators of the chemical treatment of plants:

— parameters and technical solutions that have the greatest impact on the quality indicators of the technological process

Часть технических решений, таких, как подвеска штанги, электронная система контроля колебаний штанги, электронная система автоматического контроля высоты положения крыльев штанги, система контроля горизонтальных колебаний крыльев штанги, оказывает непосредственное влияние на важнейший параметр работы опрыскивателя, – стабильность положения штанги на заданной высоте.

Качество технологического процесса химической защиты растений можно представить в виде сводного показателя качества K :

$$K = f(\Delta W, N, \Delta q, \zeta, S, \mu, \Delta G, M, C),$$

где ΔW – отклонение от нормы внесения рабочей жидкости, %; N – неравномерность распределения рабочей жидкости по площади обрабатываемой поверхности, %; Δq – отклонение от установленного расхода рабочей жидкости через отдельные наконечники, %; ζ – неравномерность обработки в пределах одного листа, %; S – степень покрытия растений каплями рабочей жидкости, %; μ – средняя густота капель, шт/м²; ΔG – отклонение концентрации рабочей жидкости от исходной, %; M – доля культурных растений, получивших механические повреждения рабочими органами опрыскивателя, %; C – доля рабочей жидкости, попавшей на лесополосы или другие культурные растения, %.

Зависимость сводного показателя качества технологического процесса от рабочих параметров опрыскивателя (рис. 2а) можно записать как

$$K = f(v, \Delta H, \Delta d, \chi, z, \Delta p),$$

где v – скорость движения опрыскивателя, м/с; ΔH – отклонение высоты установки штанги от оптимальной, м; Δd – отклонение диаметра капель от оптимального, м; χ – степень износа форсунок, %; z – степень засоренности форсунок, %; Δp – отклонение давления в системе подачи рабочей жидкости от оптимального, Па.

Зависимость сводного показателя качества технологического процесса от параметров окружающей среды (рис. 2б) представлена как

$$K = f(\phi, t, V),$$

где ϕ – относительная влажность воздуха, %; t – температура воздуха, °С; V – скорость ветра, м/с.

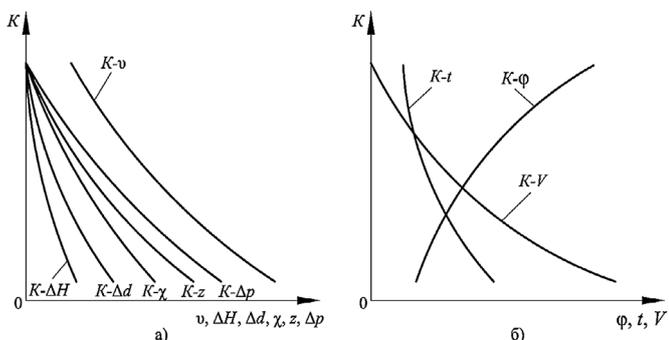


Рис. 2. Зависимость сводного показателя качества технологического процесса от основных параметров работы опрыскивателя (а) и параметров окружающей среды (б)

Fig. 2. Relationship between the summary indicator of the technological process quality and the main parameters of the sprayer (a) and the environment (b)

Таким образом, чтобы обеспечить высокое качество, эффективность и экологическую безопасность технологического процесса химической защиты растений, необходимо совершенствовать технические средства защиты растений в направлении оптимизации основных рабочих параметров и внедрения передовых технических решений, направленных на увеличение показателей эффективности технологического процесса.

Ведущие производители постоянно работают над совершенствованием и разработкой принципиально новых моделей опрыскивателей. John Deere разработал автономный беспилотный роботизированный опрыскиватель, способный самостоятельно или вместе с более крупным «пилотируемым» опрыскивателем производить обработку полей (рис. 3).



Рис. 3. Автономный опрыскиватель JohnDeere
Fig.3. John Deere self-contained sprayer

Прототип оборудован бензиновым двигателем мощностью 37 л.с., 560-литровым баком, 9-метровой штангой для опрыскивания и множеством датчиков и камер³. Он передвигается на четырех резиновых гусеницах, имеет максимальный дорожный просвет в 1,9 м и вес около 2,7 т.

Одним из последних мировых трендов является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве, которые служат средством сбора изображений, полученных при дистанционном зондировании, образцов тканей и воды. Набирает популярность внесение с помощью БПЛА химических средств защиты растений [4, 5]. По состоянию на начало 2019 г. в США было около 1,3 млн зарегистрированных беспилотных летательных аппаратов и более 116 тыс. зарегистрированных операторов БПЛА в коммерческом секторе.

В настоящее время в сельском хозяйстве Японии используется почти 3 тыс. беспилотных вертолетов и выдано около 10 тыс. лицензий на управление БПЛА. Около 40% всех рисовых полей обрабатывается с помощью беспилотной авиации. Беспилотное опрыскивание также считается наиболее эффективным и безопасным способом обработки сельскохозяйственных культур, выращиваемых на крутых склонах и в труднодоступных для крупногабаритной техники местах [6].

Первый большой БПЛА, адаптированный для сельскохозяйственного использования, разработан компанией John

³ Steven Vale. John Deere shows autonomous sprayers. [Электронный ресурс]. Profi. The farm machinery magazine: 30 Nov 2019 / KELSEY Media Lt. URL: <https://www.profi.co.uk/news/john-deere-shows-autonomous-sprayers> (дата обращения: 04.09.2021).

Deere в сотрудничестве с немецкой фирмой Volocopter. Он имеет 18 роторов со встроенными электродвигателями, диаметр аппарата составляет 9,2 м. Один заряд батареи позволяет БПЛА находиться в воздухе до 30 мин и нести максимальную полезную нагрузку в 250 кг. Аппарат оборудован двумя 60-литровыми резервуарами для жидкости, насосом и 10-метровой штангой, позволяющей обрабатывать до 6 га в течение одного часа³.

Компанией John Deere представлена автоматическая роботизированная, полностью автономная система распыления. Она представляет собой специальный бокс, в котором размещаются несколько БПЛА весом по 25 кг, 1000-литровый резервуар для воды, три 60-литровых химических резервуара, система автоматической зарядки и замены аккумуляторов, компьютер (рис. 4). При размещении на поле системой автоматически выпускается беспилотник-разведчик, который производит сканирование поля на наличие сорняков. После его возвращения в бокс информация передается другим БПЛА, которые, как и первый, могут разведывать, обнаруживать и уничтожать отдельные сорняки³.



Рис. 4. Автономная система распыления компании John Deere

Fig. 4. John Deere self-contained spray system

Время полета с полностью заряженным аккумулятором составляет 30 мин. Когда аппарат нуждается в зарядке или 10,6-литровый бак нуждается в пополнении, БПЛА автоматически возвращается к боксу и приземляется на посадочную площадку. Посадочная площадка втягивается в бокс, где автоматически происходят замена батареи, наполнение бака и обмен информацией с другими аппаратами об обнаруженных и уничтоженных сорняках.

Разработанный в ФНАЦ ВИМ комплекс для мониторинга и обработки сельхозугодий (рис. 5) позволяет формировать цифровые карты, оценивать состояние сельхозкультур, выполнять контроль технологических операций, вносить средства защиты растений, что в итоге позволит сократить потери и прогнозировать урожайность [7].

Библиографический список

1. Каменева И.С., Каменева И.С. Анализ способов защиты растений в РФ // Новости науки в АПК. 2019. № 3 (12). С. 363-368. <https://doi.org/10.25930/2218-855X/092.3.12.2019>
2. Юрий М. Защита растений. Подходы и методы. [Электронный ресурс] // Защита растений: онлайн газета. № 03/2017. URL: <https://www.agroxxi.ru/>

Автоматизация и роботизация технических средств защиты растений позволяет обеспечивать максимально эффективное применение пестицидов и снижение вреда для окружающей среды. Системы автоматизации и роботизации позволяют реализовать:

- контроль и автоматическую корректировку основных параметров работы агрегата с учетом текущих погодных условий, вида сельскохозяйственной культуры, фазы ее развития и других важных технологических параметров;
- минимальное участие оператора и устранение ошибок, возникающих в результате влияния человеческого фактора;
- совместную работу разных видов машин для химической защиты растений в единой интеллектуальной системе точного земледелия.



Рис. 5. Комплексное решение для мониторинга и обработки сельхозугодий

Fig. 5. Comprehensive solution for farmland monitoring and cultivation

Выводы

1. Совершенствование средств для химической защиты растений направлено не только на модернизацию конструкции машины и ее отдельных систем и механизмов, но и на автоматизацию и цифровизацию агрегата для обеспечения максимально эффективного применения пестицидов и снижения их потерь. Прослеживаются тенденции развития автономных роботизированных машин и беспилотных летательных аппаратов, объединенных в единую интеллектуальную систему точного земледелия.

2. При производстве технических средств защиты растений необходимо внедрять новые наукоемкие технические решения, направленные на оптимизацию основных рабочих параметров агрегатов, оказывающих непосредственное влияние на качество и эффективность технологического процесса химической защиты растений.

3. Проектирование и производство технических средств защиты растений должны производиться с учетом баланса между уровнем сложности механизмов и систем, эффективностью работы агрегата и экономической целесообразностью.

References

1. Kameneva I.S., Kameneva I.S. Analiz sposobov zashchity rasteniy v RF [Analysis of plant protection methods used in Russia]. *Novosti nauki v APK*, 2019; 3 (12): 363-368. <https://doi.org/10.25930/2218-855X/092.3.12.2019> (In Rus.)
2. Yuri M. Zashchita rasteniy. Podkhody i metody [Plant protection. Approaches and methods] [Electronic resource]. *Zashchita rasteniy* (Online issue): No. 03/2017 URL: <https://www.agroxxi.ru/>

gazeta-zaschita-rastenii/zrast/zaschita-rastenii-podhody-i-metody.html (дата обращения: 01.09.2021).

3. Черноиванов В.И., Ежевский А.А., Федореко В.Ф. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства: Научное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 283 с.

4. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Афанасьев Р.А. Перспективы роботизации агрохимических работ // *Плодородие*. 2016. № 5 (92). С. 9-13.

5. Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. № 5. С. 536-538. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>

6. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / Под ред. В.С. Фетисова. Уфа: ФОТОН, 2014. 217 с.

7. Смирнов И.Г., Курбанов Р.К., Марченко Л.А., Горшков Д.В. Дифференцированная обработка сельхозугодий с помощью БПЛА // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. № 4 (37). С. 30-35.

Критерии авторства

Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В., Курбанов Р.К. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В., Курбанов Р.К. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.01.2022

Одобрена после рецензирования 31.03.2022

Принята к публикации 05.04.2022

gazeta-zaschita-rastenii/zrast/zaschita-rastenii-podhody-i-metody.html (Access date: 01.09.2021). (In Rus.)

3. Chernoiivanov V.I., Ezhevskiy A.A., Fedoreko V.F. Mirovye tendentsii mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya intellektual'nogo sel'skogo khozyaystva [World trends in machine-technological support of intelligent agriculture]: scientific edition. Moscow, FGBNU "Rosinformagrotekh", 2012. 283 p. (In Rus.)

4. Izmaylov A.Yu., Godzhaev Z.A., Afanasiev R.A. Perspektivy robotizatsii agrokhimicheskikh rabot [Prospects for the robotization of agrochemical works]. *Plodородие*, 2016; 5 (92): 9-13. (In Rus.)

5. Izmaylov A.Yu. Intellektual'nye tekhnologii i robotizirovannyye sredstva v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Intellectual technologies and robotic means used in agricultural production]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2019; 89(5): 536-538. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538> (In Rus.)

6. Bespilotnaya aviatsiya: terminologiya, klassifikatsiya, sovremennoe sostoyanie [Unmanned aircraft: terminology, classification, current state]. Edited by V.S. Fetisov. Ufa, FOTON, 2014. 217 p. (In Rus.)

7. Smirnov I.G., Kurbanov R.K., Marchenko L.A., Gorshkov D.M. Differentsirovannaya obrabotka sel'khozugodiy s pomoshch'yu BPLA [Differentiated treatment of farmland with UAVs]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*, 2019; 4(37): 30-35. (In Rus.)

Contribution

A.S. Dorokhov, I.A. Starostin, A.V. Eshchin, R.K. Kurbanov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. A.S. Dorokhov, I.A. Starostin, A.V. Eshchin, R.K. Kurbanov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 17.01.2022

Approved after reviewing 31.03.2022

Accepted for publication 05.04.2022