

Разработка перспективного метода опрыскивания для производства гибридных семян кукурузы

В. М. Шуганов, А. М. Лешкенов, А. Х. Шогенов, З. Ю. Кантiev

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

Аннотация. В работе приводятся данные, подтверждающие объемы ежегодных мировых потерь сельскохозяйственной продукции от вредителей, болезней и сорняков, а также взаимосвязь роста производства зерна и объемов использования химических средств защиты растений, причины, способствующие повышению их стоимости за последние годы. Учитывая большое значение данного вопроса для решения продовольственной проблемы, в статье представлены основные условия, необходимые для эффективной защиты посевов с использованием химических препаратов. Отмечено, что одним из требований качественного проведения опрыскивания является подбор форсунок, который осуществляется с учетом множества факторов: типа распылителя, формы факела распыла, рекомендуемого давления, степени сноса, высоты расположения штанги и других условий, оказывающих влияние на эффективность использования химических средств защиты растений. В работе приводится схема применения форсунок для опрыскивания полевых культур, разработанная немецкой компанией Lechler, которая значительно облегчает выполнение задач по химической защите сельскохозяйственных культур. Авторы подробно описали особенности ультрамалообъемного опрыскивания, опрыскивания с использованием беспилотных летательных аппаратов и автономного сельскохозяйственного «Робота-агрозашитника», разработанного учеными КБНЦ РАН, а также преимущества, недостатки и особенности каждого метода опрыскивания. Проведенный анализ показывает, что для повышения экономической и экологической эффективности защиты посевов семенной кукурузы и реализации задач по увеличению производства качественной сельскохозяйственной продукции в Кабардино-Балкарской Республике и в целом по стране необходимо дальнейшее совершенствование перспективных методов опрыскивания.

Ключевые слова: сельское хозяйство, точное земледелие, цифровые технологии, умное фермерство, беспилотные летательные аппараты, роботы, химические средства защиты растений, методы опрыскивания

Поступила 18.11.2022, одобрена после рецензирования 12.12.2022, принята к публикации 15.12.2022

Для цитирования. Шуганов В. М., Лешкенов А. М., Шогенов А. Х., Кантiev 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

Original article

Development of a promising spraying method for the production of hybrid corn seeds

V.M. Shuganov, A.M. Leshkenov, A.Kh. Shogenov, Z.Yu. Kantiev

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

Abstract. The paper provides data confirming the volume of annual global losses of agricultural products from pests, diseases and weeds, as well as the relationship between the growth of grain production and the use of chemical plant protection product, and the reasons contributing to the increase in their cost in recent years. Considering the great importance of this issue for solving the food problem, the article presents the basic conditions necessary for the effective protection of crops using chemicals. It is noted that one of the requirements for high-quality spraying is the selection of injectors, which is carried out taking into account many factors: the type of sprayer, the shape of the spray cloud, the recommended pressure, the degree of demolition, the height of the rod and other conditions that affect the efficiency of the use of chemical plant protection products. The paper presents a scheme for the use of injectors for spraying field crops, developed by the German company Lechler, which greatly facilitates the tasks of chemical protection of crops. The authors described in detail the features of ultra-low-volume spraying, spraying using unmanned aerial vehicles and an autonomous agricultural “Agro-defense Robot” developed by scientists of the KBSC RAS, as well as the advantages, disadvantages and features of each spraying method. The analysis shows that in order to increase the economic and environmental efficiency of the protection of seed corn crops and the implementation of tasks to increase the production of high-quality agricultural products in the Kabardino-Balkarian Republic and in the whole country, it is necessary to further improve promising spraying methods.

Keywords: agriculture, precision farming, digital technologies, smart farming, unmanned aerial vehicles, robots, chemical plant protection products, spraying methods

Submitted 18.11.2022,

approved after reviewing 12.12.2022,

accepted for publication 15.12.2022

For citation. 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. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-236-248

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в России наблюдается устойчивый рост производства зерна. Однако видовой состав сорных растений, вредных насекомых и заболеваний зерновых культур усложняется и насчитывает 35–40 опасных видов, что приводит к снижению класса зерна, его качества и показателей безопасности [1].

Одним из основных условий дальнейшего развития зернового производства является более эффективное использование химических средств защиты растений (ХСЗР). По данным мирового лидера в области маркетинговых исследований в сфере сельского хозяйства и ветеринарии компании Kynetec, в 2020 г. темп прироста глобального рынка ХСЗР составил примерно 1 %, достигнув практически 57 млрд USD. Около 63–65 % ХСЗР – гербициды, остальное – инсектициды и фунгициды.

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации ежегодно принимает необходимые меры для своевременного обеспечения сельхозтоваропроизводителей ХСЗР с учетом условий и потребностей каждого региона.

По информации Российского союза производителей химических средств защиты растений, за последние пять лет доля отечественных препаратов значительно увеличилась – с 45 % в 2016 г. до 70 % в 2021 г. При этом преимущество российских ХСЗР заключается в определенном наборе характеристик, которые учитывают климатические и географические особенности регионов страны¹.

Несмотря на постепенное наращивание производства ХСЗР в стране, их стоимость остается достаточно высокой и оказывает значительное влияние на эффективность производства зерна. Если рассматривать, что уборку пшеницы и других зерновых осуществляют

¹ За пять лет доля российских средств защиты растений увеличилась с 45 % до 70 %. [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/za-pyat-let-dolya-rossiyskikh-sredstv-zashchity-rasteniy-uvelichilas-s-45-do-70/>

летом, а кукурузы – осенью, то химическая защита последней является более продолжительной по времени, соответственно, затраты при производстве зерна и семян кукурузы будут значительно выше. Так, по имеющейся информации, затраты на приобретение семян, удобрений и ядохимикатов при возделывании кукурузы составляют порядка 40–44 % от себестоимости [2].

Актуальность производства семян гибридов кукурузы значительно возрастает в условиях Кабардино-Балкарской Республики, которая относится к основным регионам, снижающим зависимость отечественного рынка от семян иностранной селекции. В рамках госпрограммы «Экспортный потенциал АПК» Кабардино-Балкария в 2021 г. поставила на отечественный рынок свыше 15 тысяч тонн семян гибридов первого поколения кукурузы.

В ходе реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы ИСХ КБНЦ РАН участвует в исполнении подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства кукурузы в Российской Федерации». Для повышения ее экономической эффективности ученые КБНЦ РАН разработали интеллектуальную систему «Умное поле» [3], которая в том числе предусматривает применение постоянного мониторинга посевов на наличие сорняков, вредителей, болезней и локальную химическую обработку растений.

Объект исследования – методы опрыскивания кукурузы.

Предмет исследования – опрыскивание посевов кукурузы при производстве гибридных семян.

Цель исследования – разработка перспективной ресурсосберегающей системы опрыскивания, сочетающей многократное снижение экологической нагрузки, при производстве гибридных семян кукурузы.

Исходя из этого нами были поставлены *следующие задачи*:

1. Провести сравнительный анализ перспективных методов опрыскивания кукурузы.
2. Определить наиболее эффективный метод опрыскивания посевов кукурузы, сочетающий максимальную экономию пестицидов и снижение экологической нагрузки, в условиях Кабардино-Балкарской Республики.

Материал исследования – анализ перспективных методов опрыскивания посевов сельскохозяйственных культур с использованием атомайзера для ультрамалообъемного опрыскивания, беспилотных летательных аппаратов и «Робота-агрозащитника» КБНЦ РАН.

Исследования выполнены методом полевого опыта в ходе тестирования «Робота-агрозащитника» 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

Основные факторы, определяющие качество опрыскивания

По данным ФАО при ООН, ежегодные мировые потери сельскохозяйственной продукции от вредных организмов составляют порядка 35 %, в том числе от вредителей – 13,8 %, болезней – 9,2 % и сорняков – 12 %. На сегодня 40 % мирового производства продуктов питания получено в результате применения ХСЗР. Следовательно, необходимо правильное, обоснованное применение препаратов по защите растений для реализации их генетического потенциала и получения продукции, не содержащей остаточных количеств пестицидов выше предельно допустимых норм².

² Рекомендации по технологии опрыскивания полевых культур. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.syngenta.kz/rekomendacii-po-tehnologii-opryskivaniya-polevyh-kultur>

Для максимально эффективного использования ХСЗР необходимо правильно подобрать действующее вещество и обеспечить его оптимальное распыление. Качество распределения рабочего раствора на поверхности растений и успешность проведения опрыскивания зависят от выбора форсунок (распылителя) и условий обработки, при которых оно будет проводиться. Но учитывая значительное количество типов форсунок, их выбор представляется достаточно сложной задачей, особенно для той части сельхозтоваропроизводителей, которые не обладают профессиональными знаниями в области защиты растений. Поэтому желательнее воспользоваться схемой применения форсунок для опрыскивания полевых культур, разработанной немецким производителем форсунок и распылительных систем – компанией Lechler³, где указаны необходимые параметры: буквенное обозначение типа распылителя, форма факела распыла, допустимое и оптимальное рекомендуемое давление, степень сноса и назначение (табл. 1).

Таблица 1. Схема применения форсунок для опрыскивания полевых культур

Table 1. Scheme of application of nozzles for spraying field crops

		ID/IDN	IDK/IDKN	IDKT	AD	LU	ST	DF	FT	TR	FD	FL
												
Форма факела распыла												
Рекомендуемое давление (атм)		2***-/3-4-8	1***-/1,5-3-6	1****-/1,5-3-6	1,5-3-6	1,5-2,5-5	2-3-5	2-3-5	1-2-6	3-8	1,5-4	1-5
Степень сноса		крайне малая	очень малая	очень малая	малая	малая/средняя	средняя	высокая	средняя	высокая	крайне малая	очень малая
Гербициды	Предпосевные	●●	●●	●●	●●	●●	●	-	●●	○	-	-
	Довсходовые	●●	●●	●●	●●	●●	●	-	●●	○	-	-
	Послевсходовые системные	●●	●●	●●	●●	●●	●	○	●	○	-	-
	Послевсходовые контактные	●	●	●●	●	●●	●	●●	●	●●	-	-
Фунгициды	Контактные	●	●	●●	●	●●	●	●●	●	●●	-	-
	Системные	●●	●●	●●	●●	●●	●	●	●	●	-	-
Инсектициды	Контактные	●	●	●●	●	●●	●	●●	●	●●	-	-
	Системные	●●	●●	●●	●●	●●	●	●	●	●	-	-
Жидкие удобрения (атм)		●● (2-3,5/4**)	●● (1**/1,5-2,5)	○	● (1,5-2,5)	○ (1,5-2,0)	○ (2)	-	● (1-2)	-	●●	●●
Регуляторы роста		●●	●●	●●	●●	●●	●	○	○	○	-	-
Полив		●●	●●	●●	●●	●●	●	-	-	-	●●	●
<small>Соблюдайте указания производителя препаратов! Размер распылителя: *ID-051-061-08 **IDN-0251-03 ***IDK-041-051-06, IDKN-031-04 ****IDKT-041-05</small>		<small>●● = очень хорошо соответствует ● = хорошо соответствует ○ = не совсем соответствует - не рекомендуется</small>										

Схема составлена для оптимальных погодных условий при опрыскивании – температуры до 25 °С, влажности более 60 %, скорости ветра менее 5 м/с. Важно отметить, что оптимальная температура для роста и развития кукурузы приблизительно такая же и составляет: дневная +22–25 °С, ночная +18 °С. Пороговые температуры, при которых прекращается прирост биомассы, – ниже +10 и выше +30 °С⁴.

Продукция компании Lechler включает простые (дешевые) щелевые и достаточно высокотехнологичные (дорогие) инжекторные форсунки, которые широко применяются в сельском хозяйстве. Несмотря на значительную разницу в стоимости, инжекторные форсунки

³ Опрыскивание от А до Я. 3-е издание «Теория и практика опрыскивания» [Электронный ресурс]. URL: https://www.lechler.com/fileadmin/media/russian/pdf/agriculture/lechler_agrar_grundwissen_spruehen_2021_ru.pdf.

⁴ Седых Н. Комплексная система защиты кукурузы «Агро Эксперт Групп». 2020. 48 с.

находят все большее применение (до 90 % рынка и более) из-за неоспоримых преимуществ в работе – за счет существенного снижения потерь при сносе, испарении и более высокой эффективности средств защиты.

Выбор форсунок зависит от многих параметров: от целевой поверхности (верхний ярус растений либо нижний), от нормы воды на единицу площади, то есть на 1 га (в 50, 100, 300 л), от скорости обработки, от погодных условий и др. В частности, необходимо учитывать температуру и относительную влажность воздуха. К примеру, при 20 °С 100-микронная капля при влажности воздуха 40 % испарится через 10 секунд, если же будет соответственно 30 °С и 70 % – уже через 20 секунд. Следовательно, эффективность работы форсунок может значительно снизиться при отсутствии оптимальных погодных условий. Исходя из этого их подбирают с учетом минимизации потерь для равномерного распределения по поверхности растений, уменьшения сноса и испарения или, например, учитывая оптимальную для обработки фазу культуры.

Вследствие того, что перемещение опрыскивателя по полю сопровождается возникновением турбулентных потоков воздуха, максимальная скорость его движения ограничена 25 км/ч.

При выборе оптимальной скорости необходимо исходить из нескольких факторов: рекомендуемого расхода рабочего раствора, л/га, давления опрыскивателя, наличия ветра, типа форсунки. Например, если опрыскиватель передвигается со скоростью 12 км/час, то здесь целесообразно будет использовать компактные инжекторные форсунки. Более скоростная обработка посевов потребует применения длинных инжекторных форсунок.

В зависимости от используемых химических препаратов имеются следующие рекомендации по подбору инжекторных форсунок:

- однофакельные инжекторные распылители для гербицидов, системных фунгицидов и инсектицидов;
- двухфакельные инжекторные – для инсектицидов, фунгицидов, десикантов (контактные препараты).

Поэтому рекомендуется иметь по несколько комплектов (и калибров) для замены в течение сезона, но следует выполнять одно неперемutable условие: на опрыскивателе в рабочем положении должны стоять распылители одинакового типа и размера. Такой подход позволяет получать капли раствора соответствующего размера, обеспечивающего максимальный биологический эффект.

Важным фактором, определяющим качество распыла, является давление в системе опрыскивателя, которое влияет на следующие показатели: угол распыла факела, размер капель и расход. С увеличением давления уменьшается размер капель и, соответственно, увеличиваются потери за счет сноса и испарения. Однако улучшается и покрытие растений, хотя реализовать этот эффект получится только при температуре до +25 °С, влажности более 60 % и слабом ветре до 3–5 м/с.

Принципиальные различия между щелевыми и инжекторными распылителями заключаются в том, что в щелевом потоке жидкости разделяется на капли после того, как он прошел грань сопла. Капли менее однородны и их размер сильно зависит от рабочего давления. Повышение давления смещает спектр в сторону образования мелких и очень мелких капель, а в оптимальных условиях работы они лучше покрывают поверхность растений, что особенно важно при работе с контактными препаратами.

В инжекторных форсунках смешивание жидкости с воздухом происходит внутри распылителя, состав образуемых капель стабильный, больше крупных капель, двигающихся с большой скоростью, что сокращает время их нахождения в полете, увеличивает степень проникновения внутрь стеблестоя и снижает потери рабочей жидкости.

Проведенный анализ показывает, что универсальных форсунок для различных культур, погодных условий, всех пестицидов не существует, поэтому необходимо учитывать, в

каких случаях лучше использовать щелевые, длинные инжекторные или компактные инжекторные форсунки.

Щелевые распылители имеют низкую цену и оптимально подходят для небольших хозяйств, не больше 10 га. Высокую эффективность обработки способны обеспечивать только при благоприятных условиях – температуре около 20 °С, влажности более 60 % и безветренной погоде.

В условиях переменной погоды рекомендуют оснастить опрыскиватели инжекторными распылителями. Когда максимальное давление насоса опрыскивателя составляет до 4 бар, следует подбирать компактную инжекторную форсунку, рассчитанную на рабочее давление от 1 до 3 бар. При повышении скорости ветра до 3 м/с необходимо обеспечивать давление насоса опрыскивателя до 4-5 бар.

Наличие на опрыскивателе насоса мембранно-поршневого типа, способного обеспечивать давление 8 бар, позволяет устанавливать длинные инжекторные форсунки высокого давления.

С учетом поставленных задач и проведенного анализа в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики наиболее подходящими распылителями при опрыскивании посевов кукурузы являются:

1. IDK/IDKN (Injektor Duse Kompakt / Injektor Duse Kompakt Neu) в переводе на русский – компактный инжекторный распылитель / компактный инжекторный распылитель нового поколения. Они имеют небольшой размер и работают при давлении 2,5–3 атм, не требуют высокотехнологичной оснастки опрыскивателя, но при этом несколько снижаются скорость движения капли и ее способность проникать внутрь стеблестоя.

2. IDKT (Injektor Duse Kompakt Twinspray) – двухфакельный инжекторный распылитель, который оптимально подходит для внесения практически любого препарата, кроме удобрений. Конструктивно два факела распыла снижают размеры капель для обеспечения равного расхода воды по сравнению с однофакельными. Данный тип распылителя рекомендуем использовать при давлении 2,5–3 атм. В основном двухфакельные распылители используют для опрыскивания культур, имеющих большую листовую поверхность, затрудняющую проникновение контактного пестицида. Их преимущества состоят в образовании капель небольшого размера, устойчивых к сносу и способных попадать на противоположную часть растения, на листья, расположенные под углом.

При работе в условиях высоких температур с большим расходом раствора (400–800 л – для проведения десикации, внесения фунгицидов на сильнооблиственных культурах) или на высоких скоростях до 15-30 км/ч используют сдвоенные головки TwinSprayCap.

Таким образом, за счет конструкции распылителя можно значительно повысить эффективность вносимых препаратов.

Вместе с тем, по информации, представленной компанией Lechler, высота штанги опрыскивателя и ее колебания являются одним из главных факторов, определяющих качество опрыскивания. Имеющиеся на почве неровности меняют положение форсунок относительно обрабатываемой поверхности во время движения опрыскивателя. Изменение высоты штанги всего на 10 см (например, колесо, попало в яму, наехало на крупный комок земли, угодило в колею) приводит к увеличению расхода химикатов (до 2 раз) и снижению урожайности.

Влияние высоты штанги возрастает в условиях повышенной температуры, скорости опрыскивания или при работе сниженными и минимальными нормами препаратов. С учетом этих факторов оптимальной считается высота, при которой пересечение факелов распыла происходит на середине расстояния между штангой и целевой поверхностью (рис. 1).

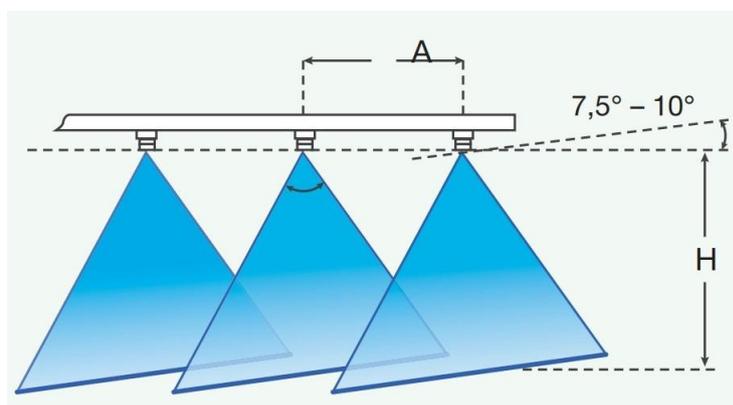


Рис. 1. Пересечение факела распыла форсунок

Fig. 1. Crossing of the nozzle spray

Высота штанги определяется фактически углом распыла форсунки: чем он больше, тем меньше высота штанги над обрабатываемой поверхностью. Для гербицидов это уровень верхушки сорняков или культурного растения. Если они разной высоты, то рекомендуется учитывать их среднюю высоту при определении расстояния до сорняка. В случае применения фунгицидов на зерновых культурах высота определяется до верхнего уровня растений/колоса. Иногда высоту немного снижают (до 30–40 см), например, при обработке подсолнечника фунгицидами, когда желательна максимально покрыть стебель и листья раствором, а также при обработке гербицидами зерновых после кущения – чтобы «пробить» стеблестой.

СОВРЕМЕННЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЫСКИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Использование пестицидов в АПК обеспечивает эффективную борьбу с сорной растительностью, вредителями и болезнями кукурузы, повышение урожайности [4], но следует учитывать, что одновременно они оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Поэтому выбор метода опрыскивания наряду с подбором форсунок является важнейшим условием для обеспечения качественной химической защиты посевов сельскохозяйственных культур и снижения вреда экологии. В настоящее время особое внимание специалистов по защите растений привлекают методы, сочетающие максимальную экономию ХСЗР и эффективную качественную обработку посевов: ультрамалообъемное опрыскивание (УМО), опрыскивание с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и автономных сельскохозяйственных роботов.

Ультрамалообъемное опрыскивание

Более 50 лет развивается технология УМО, которая предполагает внесение пестицидов с небольшим количеством рабочего раствора без снижения биологической эффективности. Еще в 1999 г. РАСХН было рекомендовано внедрение УМО в сельское хозяйство России.

Отличительной особенностью метода УМО является мелкодисперсный распыл малого объема (от 0,5 до 5 л/га) рабочего раствора, что сказывается на размере капель (порядка 100 микрон) и обеспечивает максимальное проникновение в растительный покров, попадание препарата на оборотную сторону листа. При этом количество препарата, поступающего на посевы, и эффективность фитосанитарных мероприятий повышаются, а потери химикатов в виде крупных капель снижаются до 30 % [5].

Более подходящими для проведения УМО являются пестициды с препаративной формулой в виде микрокапсульной суспензии. Желательно применение препаратов, зарегистрированных для авиаобработок, так как в своем составе они имеют компоненты, позволяющие лучше достигать поверхности растений.

Большое влияние на результат при применении УМО оказывают скорость ветра, восходящие потоки воздуха от земли при испарении и относительная влажность воздуха. Для решения задачи максимально эффективного применения химических препаратов и обеспечения качественной защиты посевов сельскохозяйственных культур разработали технологию контролируемого капельного опрыскивания с использованием вращающихся распылителей Micromax специальной конструкции (рис. 2).



Рис. 2. Вращающийся распылитель Micromax

Fig. 2. Micromax rotary atomizer

Скорость вращения диска определяют в зависимости от решаемой задачи и объема вносимых препаратов. Например, при борьбе с сорняками: частота вращения диска устанавливается в диапазоне 500–2000 об./мин., что позволяет формировать капли размером 200–300 мкм, диапазон доз внесения – 30–60 л/га.

Для борьбы с сорняками и болезнями растений применяется распылитель со следующими параметрами: частота вращения диска устанавливается в диапазоне 150–1000 об./мин., что позволяет формировать капли размером 100–200 мкм, диапазон доз внесения – 10–30 л/га.

При борьбе с вредителями: частота вращения диска устанавливается в диапазоне 50–500 об./мин., что позволяет формировать капли размером 75–150 мкм, диапазон доз внесения – 10–20 л/га.

Дисковый распылитель Micromax создан для сплошного внесения большинства гербицидов, инсектицидов и фунгицидов, распыления водных и масляных растворов, обеспечивает при опрыскивании экономию до 50 % ХСЗР и сокращение расхода жидкости до 30 л/га.

Опрыскивание беспилотными летательными аппаратами

За последние годы БПЛА находят все более широкое применение в аграрной отрасли и в том числе для решения задач по химической защите и внесению подкормки на посевах сельскохозяйственных культур (рис. 3).



Рис. 3. Опрыскивание БПЛА

Fig. 3. UAV spraying

Опыт работы по применению БПЛА (октокоптер DJI AGRAS MG-1) на посевах кукурузы имеется в КБНЦ РАН с 2020 г. Использование беспилотника позволяет многократно сокращать расход рабочей жидкости. Так, если при традиционном способе норма доходит до 200–300 л/га, то для дронов этот показатель составляет всего 7–10 л/га. Их преимущество объясняется наличием распылителей, обеспечивающих образование супермелкодисперсных капель, которые благодаря пропеллерам попадают в воздушные потоки со сложной траекторией. Поток воздуха от пропеллеров, попадая на землю, отражается обратно и движется вверх, распределяя рабочий раствор и по нижней (внутренней) поверхности листа.

Преимущество БПЛА заключается также в том, что они не требуют применения специальных, более дорогих препаратов, зарегистрированных для авиаобработок, как это имеет место при обработках «большой авиацией».

Вместе с тем опрыскивание беспилотниками имеет определенные сложности и недостатки:

- требуются зарядные станции и генераторы, спецавтомобили с раствором узлом и запасом воды;
- необходимо присутствие квалифицированной «группы поддержки» для осуществления полета, работы и обслуживания дрона;
- контроль погодных условий – температура не более 25 °С, скорость ветра не более 3-5 м/с, дождь;
- отсутствие систематического обновления ПО и прерывание сигнала управления из-за особенностей рельефа (наличие впадин и возвышенностей на посевах высокорослых культур, например, кукурузы);
- предупреждение механического повреждения.

По мнению экспертов, в ближайшие годы ожидается рост конкуренции со стороны наземных роботов с функциональностью химической обработки посевов сельскохозяйственных культур [6].

Опрыскивание «Роботом-агрозащитником» КБНЦ РАН

Технология контролируемого капельного опрыскивания атомайзером Micromax предназначена для сплошной обработки посевов и не обеспечивает ожидаемого всестороннего эффекта. Опрыскивание с БПЛА может проводиться как минимум в двух форматах:

«классическом авиационном», когда проводится сплошная обработка химикатами, и «точечном», совмещенном, например, с предварительным осмотром посевов при помощи мультиспектральных камер. Но, несмотря на определенную экономию ХСЗР при использовании БПЛА и снижение экологической нагрузки на сельскохозяйственные угодья, необходимость проведения отдельной технологической операции (мониторинга посевов) связана с дополнительными затратами.

Ультрамалообъемное опрыскивание сопровождается образованием мелкодисперсного облака пестицидов, а эти химикаты вместе с ветром могут бесконтрольно переноситься на значительные расстояния [7]. По мнению специалистов, при проведении опрыскивания необходимо учитывать розу ветров и вероятность ее изменения, что должно исключать на прилегающих территориях загрязнения пестицидами мест пребывания людей [8].

С целью сокращения отставания по производительности труда, урожайности и другим показателям от стран с традиционно развитым сельским хозяйством в Российской Федерации все больше внимания уделяется разработке и развитию цифровых технологий в агропромышленном комплексе [9]. С учетом этого и для многократного сокращения ХСЗР при опрыскивании посевов кукурузы, а также минимизации вреда экологии сотрудники КБНЦ РАН разработали автономного «Робота-агрозащитника» с шириной захвата 3,5 м (5 междурядий), обеспечивающего одновременный мониторинг посевов кукурузы на наличие сорняков, вредителей, болезней и локальную химическую защиту (рис. 4).



Рис. 4. Робот-агрозащитник

Fig. 4. Agro-protector robot

Опрыскивание посевов кукурузы «Роботом-агрозащитником» имеет определенные особенности, так как химическая обработка культуры осуществляется непосредственно в междурядьях, а не сверху, как это имеет место при применении других методов. Ширина междурядий кукурузы составляет 70 см, а форсунки, установленные на штангах с регулируемой высотой и углом распыла, расположены посередине между рядами, и расстояние до обрабатываемого растения или целевой поверхности составляет всего 35 см. Для проведения эффективной борьбы с сорняками, болезнями и вредителями на посевах кукурузы регулировку высоты и угла распыла форсунок «Робота-агрозащитника» можно осуществлять в широком диапазоне, вплоть до нескольких сантиметров.

Кроме того, скорость ветра между рядами кукурузы ниже, а температура незначительно выше, чем при обработке посевов сверху, что обеспечивает минимальный снос препарата, но увеличивает испарение. Проведения качественного опрыскивания и получения максимального эффекта в таких условиях удалось добиться благодаря реализации новых конструкторских решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка «Робота-агрозащитника» является очередным этапом в реализации КБНЦ РАН задач по созданию семейства агроботов, используемых при производстве сельскохозяйственной продукции. Проведенные эксперименты свидетельствуют о возможности дальнейшей доработки «Робота-агрозащитника» путем повышения функциональных возможностей, что будет способствовать получению максимального экономического и экологического эффекта при защите посевов кукурузы. Однако для достижения намеченных задач необходимо совершенствование системы опрыскивания с учетом метеорологических условий, стадии развития растений и применяемых препаратов.

По мнению ученых КБНЦ РАН, проведение своевременного и качественного мониторинга посевов кукурузы, когда на первых этапах развития сорняков, болезней и вредителей наблюдаются только единичные случаи, вместе с применением локальной или точечной обработки посевов может обеспечить экономию химических препаратов до 75–95 % и значительное снижение экологической нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года. Москва: Росинформагротех, 2019. 114 с.
2. *Никульчев К. А., Захарова Е. Б.* Экономическая оценка эффективности применения гербицидов в технологии возделывания кукурузы на зерно // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2016. № 2. С. 14–20.
3. *Нагоев З. В., Шуганов В. М. и др.* Разработка интеллектуальной интегрированной системы «Умное поле» // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2022. № 1. С. 81–91.
4. *Макарова А. А., Шевцова А. А.* Перспективы применения новых средств защиты от болезней в семенных посевах кукурузы // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017. № 3(43). С. 55–60.
5. Монодисперсные техногенные аэрозоли. Материалы к симпозиуму по научно-технической проблеме: «Создание и внедрение монодисперсных технологий сжигания жидких углеводородов и внесения пестицидов взамен полидисперсных». Московская область. Большие Вяземы. Москва: ЦНСХБ РАСХН, 2013. 28 с.
6. *Адонин В. А., Денисов И. С., Денисов С. В.* Анализ устройств для химической защиты растений на базе БПЛА // *Материалы 66-й студенческой научно-практической конференции инженерного факультета Самарского государственного аграрного университета*. Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2021. С. 195–199.
7. *Кулистикова Т.* Защита с воздуха // *Агротехника и технологии*. 2008. № 4. Ст. 8.
8. *Глазунова Н. Н., Безгина Ю. А., Мазницына Л. В.* Современные требования к безопасному обращению с пестицидами в агропромышленном комплексе России: учебно-методическое пособие. Ставрополь, 2020. 122 с.
9. *Гордеев А. В. и др.* Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство». Москва: Росинформагротех, 2019. 48 с.

Информация об авторах

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;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
vmshuganov@mail.ru, ORCID: <https://0000-0002-5189-998X>

Лешкенов Аслан Мухамедович, науч. сотр., зав. лабораторией «Сельскохозяйственная робототехника» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
aslan.leshkenov@yandex.ru, ORCID: <https://0000-0001-9516-3213>

Шогенов Анзор Хасанович, канд. с.-х. наук, науч. сотр. лаборатории «Интеллектуальные распределительные сельскохозяйственные системы» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
a.vonegosh@yandex.ru, ORCID: <https://0000-0002-1184-5397>

Кантиев Заурбек Юрьевич, мл. науч. сотр. лаборатории «Сельскохозяйственная робототехника» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360004, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
kantvako@gmail.com, ORCID: <https://0000-0003-4997-1177>

REFERENCES

1. *Dolgosrochnaya strategiya razvitiya zernovogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2035 goda* [Long-term strategy for the development of the grain complex of the Russian Federation until 2035]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2019. 114 p. (In Russian)
2. Nikulchev K.A., Zakharova E.B. Economic evaluation of the effectiveness of herbicides in the technology of corn cultivation for grain. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka* [Agrarian Science of the Euro-North-East]. 2016. No. 2. Pp. 14–20. (In Russian)
3. Nagoev Z.V., Shuganov V.M. [et al.]. Development of an intelligent integrated system «Smart field». *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki* [News of SFU. Technical sciences]. 2022. No. 1. Pp. 81–91. (In Russian)
4. Makarova A.A., Shevtsova A.A. Prospects for the use of new means of protection against diseases in corn seed crops. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* [Far Eastern Agrarian Bulletin]. 2017. No. 3(43). Pp. 55–60. (In Russian)
5. *Monodispersnyye tekhnogenyye aerezoli* [Monodisperse technogenic aerosols]. “Sozdaniye i vnedreniye monodispersnykh tekhnologiy szhiganiya zhidkikh uglevodorodov i vneseniya pestitsidov vzamen polidispersnykh” [Creation and implementation of monodisperse technologies for burning liquid hydrocarbons and applying pesticides instead of polydisperse]: *materialy k simpoziumu po nauchno-tekhnicheskoy probleme*. Moscow region. Bolshiy Vyazemy. Moscow: CNSKHB RASKHN. 2013. 28 p. (In Russian)
6. Adonin V.A., Denisov I.S., Denisov S.V. Analysis of devices for chemical plant protection based on UAVs. *Materialy 66-j studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii inzhenernogo fakul'teta Samarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Materials of the 66th Student Scientific and Practical Conference of the Faculty of Engineering of the Samara State Agrarian University]. Kinel: IBC of the Samara State Agrarian University, 2021. Pp. 195–199. (In Russian)
7. Kulistikova T. Protection from the air. *Agricultural Engineering and Technology*. 2008. No. 4. Art. 8. (In Russian)

8. Glazunova N.N., Bezgina Yu.A., Maznitsyna L.V. *Sovremennyye trebovaniya k bezopasnomu obrashcheniyu s pestitsidami v agropromyshlennom komplekse Rossii* [Modern requirements for the safe handling of pesticides in the agro-industrial complex of Russia]: textbook. Stavropol, 2020. 122 p. (In Russian)

9. Gordeev A.V. et al. *Vedomstvennyy proyekt "Tsifrovoye sel'skoye khozyaystvo"* [Departmental project "Digital agriculture"]. Moscow: Rosinformagrotech, 2019. 48 p. (In Russian)

Information about authors

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", Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

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

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

Leshkenov Aslan Mukhamedovich, Researcher, Head of Laboratory of "Agricultural Robotics" of the Research and Innovation Center "Intelligent systems and environments for the production and consumption of food products", Kabardino-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

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

aslan.leshckenov@yandex.ru, ORCID: <https://0000-0001-9516-3213>

Shogenov Anzor Khasanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher at the Laboratory "Intelligent agricultural distribution systems" of the Research and Innovation Center "Intelligent 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;

a.vonegosh@yandex.ru, ORCID: <https://0000-0002-1184-5397>

Kantiev Zaurbek Yurievich, Junior Researcher at the Laboratory of Agricultural Robotics of the Scientific and Innovation Center "Intelligent 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;

kantvako@gmail.com, ORCID: <https://0000-0003-4997-1177>