

Беспилотное воздушное судно вертолетного типа для внесения пестицидов и удобрений

Леонид Анатольевич Марченко¹,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник, e-mail: marchenko1312@mail.ru;
Михаил Васильевич Мызин²,
руководитель проектов, e-mail: myzin@rhc.aero;
Иван Васильевич Кузнецов³,
технический руководитель по перспективным
проектам, e-mail: i.kuznecov@kamov.ru;

Татьяна Васильевна Мочкова¹,
кандидат сельскохозяйственных наук,
главный специалист, e-mail: naukavim@mail.ru;
Артем Юрьевич Спиридонов¹,
младший научный сотрудник,
e-mail: artyom-spiridonov@yandex.ru

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²АО «Вертолеты России», Москва, Российская Федерация;

³АО «Камов», г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация

Реферат. Цифровое сельскохозяйственное производство основано на роботизированных агротехнологиях применения пестицидов и удобрений с использованием беспилотных авиационных систем, основу которых составляют беспилотные воздушные суда для мониторинга сельскохозяйственных угодий, внесения пестицидов, удобрений и других агрохимикатов. (*Цель исследований*) Разработать беспилотное воздушное судно на базе вертолета для внесения пестицидов и удобрений, обосновать его технологические параметры. (*Материалы и методы*) Использовали Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия, нормативно-техническую документацию на беспилотные авиационные системы. (*Результаты и обсуждение*) Определили основные летно-технические и технологические параметры беспилотного воздушного судна для выполнения технологического процесса внесения пестицидов и удобрений. Установили зависимости его производительности от норм внесения рабочих жидкостей пестицидов и удобрений, длины гона сельскохозяйственного поля, расстояния полета к полю. (*Выводы*) Разработали беспилотное воздушное судно вертолетного типа соосной схемы со взлетной массой 280 килограммов и полезной нагрузкой 50-80 килограммов, диаметром несущего винта 5,3 метра, конструктивной шириной захвата штанги с распылителями 5 метров, рабочей высотой полета 1-5 метров, рабочей скоростью 40-60 километров в час, нормой внесения рабочей жидкости пестицидов 10-20 литров на гектар и азотных удобрений 30-120 литров гектар. Установили рациональные значения норм внесения пестицидов – 10-20 литров на гектар, длины гона сельскохозяйственного поля – не менее 0,8 километра, обеспечивающие максимальную производительность в летный час при обработке сельскохозяйственного поля. Показали, что минимизация расстояния перелета от взлетно-посадочной площадки к полю значительно увеличивает производительность внесения пестицидов и удобрений.

Ключевые слова: цифровое сельское хозяйство, точное земледелие, беспилотное воздушное судно на базе вертолета, дифференцированное внесение пестицидов и удобрений.

■ Для цитирования: Марченко Л.А., Мызин М.В., Кузнецов И.В., Мочкова Т.В., Спиридонов А.Ю. Беспилотное воздушное судно вертолетного типа для внесения пестицидов и удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №1. С. 61-68. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-61-68.

Unmanned Helicopter Type Aircraft for the Pesticides and Fertilizers Application

Leonid A. Marchenko¹,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: marchenko1312@mail.ru;
Mikhail V. Myzin²,
project manager,
e-mail: myzin@rhc.aero;

Ivan V. Kuznetsov³,
technical manager for prospective projects,
e-mail: i.kuznecov@kamov.ru;
Tatyana V. Mochkova¹,
Ph.D.(Agr.), chief specialist,
e-mail: naukavim@mail.ru;

Artyom Yu. Spiridonov¹,
junior researcher,
e-mail: artyom-spiridonov@yandex.ru

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

²JSC Russian Helicopters, Moscow, Russian Federation;

³JSC «Kamov», Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation

Abstract. Digital agricultural production is based on robotic agricultural technologies for the use of pesticides and fertilizers using unmanned aerial systems, which are based on unmanned aerial vehicles for monitoring agricultural land, the pesticides application, fertilizers and other agrochemicals. (*Research purpose*) To develop an unmanned helicopter based aircraft for applying pesticides and fertilizers, and to substantiate its technological parameters. (*Materials and methods*) The authors used methodological recommendations on the use of chemicals in the precision farming system, regulatory and technical documentation for unmanned aircraft systems. (*Results and discussion*) The authors determined the unmanned aerial vehicle main flight technical and technological parameters for the implementation of the applying pesticides and fertilizers process. They established the dependences of its productivity on the norms of introducing working fluids of pesticides and fertilizers, the agricultural field length, and the approach distance to the field. (*Conclusions*) The authors developed a helicopter-type unmanned aerial vehicle of a coaxial design with a take-off mass of 280 kilograms and a payload of 50-80 kilograms, a rotor diameter of 5.3 meters, a constructive boom width with sprayers of 5 meters, a working flight height of 1-5 meters, a working speed of 40-60 kilometers per hour, the rate of working fluid of pesticides application 10-20 liters per hectare and nitrogen fertilizers 30-120 liters per hectare. They established rational values for the application rates of pesticides – 10-20 liters per hectare, the agricultural field length – at least 0.8 kilometers, ensuring maximum productivity in flight hour when processing the agricultural field. They showed that the flight distance minimizing from the runway to the field significantly increased the productivity of applying pesticides and fertilizers.

Keywords: digital agriculture, precision farming, helicopter-type unmanned aircraft, differential pesticides and fertilizers application.

■ For citation: Marchenko L.A., Myzin M.V., Kuznetsov I.V., Mochkova T.V., Spiridonov A.Yu. *Bespilotnoe vozdušnoe sudno vertoletnogo tipa dlya vneseniya pestitsidov i udobreniy* [Unmanned helicopter type aircraft for the pesticides and fertilizers application]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 61-68 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-61-68.

Объективная возможность реализации систем точного земледелия как части цифрового сельского хозяйства появилась благодаря созданию глобальных систем позиционирования, геоинформационных систем, автоматизированных систем управления агротехнологическими процессами, программному обеспечению, позволяющему обрабатывать и анализировать информацию и создавать электронные карты-задания на выполнение технологического процесса дифференцированного внесения удобрений и пестицидов [1, 2].

Для оптимизации фитосанитарной обстановки в РФ мероприятия по защите и подкормке растений нужно ежегодно проводить на площади 80 млн га, из них около 20 млн га с применением авиации.

За последнее время отмечен резкий рост количества моделей российских беспилотных летательных аппаратов (БЛА), а также предприятий и организаций, занимающихся их разработкой и производством в военном и гражданском секторах [3]. Обоснованы основные параметры БЛА сельскохозяйственного назначения [4-6].

В сельском хозяйстве РФ беспилотные летательные аппараты применяют в основном для мониторинга сельскохозяйственных и лесных угодий. Их взлетная масса не превышает 30 кг, а полезная нагрузка – не более 10 кг.

В настоящее время инновационное развитие БЛА для обработки сельскохозяйственных полей в точном земледелии направлено прежде всего на совершенствование систем, обеспечивающих автоматический полет по заданной программе, дифференциацию норм внесения рабочих жидкостей пестицидов и удобрений для каждого элементарного участка обрабатываемого поля, монодисперсный распыл рабочей жидкости, заданное качество внесения средств защиты растений и удобрений, минимизацию рисков загрязнения окружающей среды пестицидами [7-12].

Цель исследования – разработать беспилотное воздушное судно на базе вертолета для внесения пестицидов и удобрений, обосновать его технологические параметры.

Материалы и методы. Разработку проводили в соответствии с нормативно-технической документа-

цией: ГОСТ Р 57258-2016. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения; ГОСТ 56122-2014 Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования; Циркуляр 328 ИКАО. Беспилотные авиационные системы (БАС), Правила проведения авиационно-химических работ в соответствии с Приказом Минтранса РФ от 17.07.2008 № 108 (ред. от 23.06.2009) «Об утверждении федеральных авиационных правил «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации»; Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия (М.: ВИМ. 2016).

Результаты и обсуждение. АО «Камов» и Центр ВИМ на базе государственно-частного партнерства разработали инновационное беспилотное воздушное судно (БВС) вертолетного типа соосной схемы – БВС-137ВИМ со взлетной массой 280 кг и полезной нагрузкой до 80 кг для внесения средств защиты растений и минеральных удобрений в системе точного земледелия (рис. 1).



Рис. 1. Беспилотное воздушное судно БВС-137ВИМ

Fig. 1. Unmanned aircraft BVS-137VIM

БВС-137ВИМ выполняет автоматический полет по заданной траектории и осуществляет технологический процесс дифференцированного внесения рабочих жидкостей пестицидов и удобрений на каждый элементарный участок сельскохозяйственного поля в соответствии с электронной картой-заданием, составленным с учетом внутривидовой вариативности фитосанитарного состояния посевов и азотного питания растений.

Данное БВС свидетельствует о развитии сегмента беспилотных летательных аппаратов для аграрного производства и, как следствие, определяет новый тренд развития роботизированных систем в цифровом сельском хозяйстве.

Несущая система БВС-137ВИМ выполнена по соосной схеме с двумя двухлопастными несущими винтами диаметром 5,3 м без оперения. Лопасты имеют прямоугольную форму и сделаны из полимерных и композиционных материалов. Фюзеляж полусферической формы радиусом 0,625 м состоит из обшивки и каркаса (балок, пола и шпангоутов). Выбор такой аэродинамической компоновки воздушного судна диктуется необходимостью реализовать имеющиеся у соосной схемы потенциальные возможности при

висении, перемещении и маневрировании в диапазоне углов скольжения $\pm 180^\circ$. Фюзеляж включает в себя отсеки: редукторный, моторный, для электрооборудования. Главный редуктор, привод генератора с переменным током, трансмиссия, агрегаты управления несущих винтов, топливный бак и блок оборудования расположены в редукторном отсеке. Моторный отсек изолирован от остальных частей фюзеляжа специальными перегородками противопожарного типа. Отсек главного оборудования размещен в центральной части фюзеляжа.

Шасси 4-опорное, с рессорами для подпружинивания при посадке. Опорные узлы крепления расположены в местах, где состыковываются силовые балки и шпангоуты. Для стоек шасси использовали композиционные материалы. Двигатель двухтактный, инжекторный, жидкостного охлаждения.

В нижней части фюзеляжа на 4 кронштейнах закреплен модуль опрыскивателя, который включает бак для рабочей жидкости, насос с электроприводом, блок электрогидравлического пропорционального управления расходом рабочей жидкости, трехсекционную штангу с форсунками для распыления рабочих жидкостей пестицидов.

Бортовое оборудование включает систему автоматического управления взлетом, полетом и посадкой, интегрированную навигационную систему, контроллер управления работой модуля опрыскивателя, комплексированный с автопилотом (таблица).

Симметричная аэродинамическая соосная схема несущих винтов в отличие от традиционной схемы исключает протяженную механическую трансмиссию рулевого винта и, как следствие, сам рулевой винт. Это позволяет БВС-137ВИМ взлетать с площадок небольшого размера при ветровой нагрузке с любого направления, обеспечивает высокую маневренность и стабильность при полете на разных высотах, что повышает безопасность применения БВС-137ВИМ.

Скороподъемность БВС-137ВИМ составляет 10 м/с, скорость посадки – 4-7 м/с, скорость разворота – 60 град./с, среднее время взлета и посадки – 0,2 и 0,36 с соответственно.

БВС может работать на малой высоте полета – 1,0-5,0 м, с небольшой рабочей скоростью полета – до 60 км/ч, что обеспечивает качественное распределение пестицидов и удобрений, минимизирует риски загрязнения ими окружающей среды.

С уменьшением скорости полета вертолета направление образующейся воздушно-капельной волны препарата приближается к отвесному. При этом вертикальная составляющая скорости осадки капель рабочей жидкости при малых скоростях полета вертолета (30-40 км/ч) становится значительной, распыляемая рабочая жидкость лучше осажается на обрабатываемую площадь. Начиная со скорости полета, большей или равной 60 км/ч, ощутимой разницы

Таблица 1		Table 1
ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ И УДОБРЕНИЙ		UNMANNED AIRCRAFT FLIGHT PERFORMANCE FOR THE APPLICATION OF PLANT PROTECTION PRODUCTS AND FERTILIZERS
Показатели / Indicators	Значение / Value	
Максимальная взлетная масса, кг Maximum take-off weight, kg	280	
Масса полезной нагрузки, кг / Payload mass, kg	50-80	
Диаметр несущего винта, м / The rotor diameter, m	5,3	
Схема расположения несущих винтов / The rotors layout	соосная / coaxial	
Количество несущих винтов, шт. Number of rotors, pcs	2×2	
Тип двигателя Engine's type	двухтактный инжекторный жидкостного охлаждения liquid-cooled push-pull injector	
Мощность двигателя силовой установки, л.с. Engine power, hp	не менее 60 not less than 60	
Топливо для двигателя Engine fuel	бензин автомобильный по ГОСТ Р 51105-97 с октановым числом не менее 92 gasoline in accordance with GOST R 51105-97 with an octane rating of at least 92	
Тип смазки двигателя / Type of engine lubrication	раздельный / separated	
Пусковое устройство / Starting device	электростартер / electric starter	
Максимальная скорость полета, км/ч Maximum flight speed, km/h	135	
Рабочая скорость полета при внесении пестицидов и агрохимикатов, км/ч, не более Operating flight speed with pesticides and agrochemicals, km / h, no more	60	
Высота горизонтального полета при обработке сельскохозяйственных культур, м The horizontal flight height when processing crops, m	1-5	
Объем бака для рабочих жидкостей пестицидов и агрохимикатов, м³ Tank volume for working liquids of pesticides and agrochemicals, m³	0,05	
Насос для подачи рабочей жидкости Pump for supplying working fluid: тип / type привод / drive unit напряжение питания, В / supply voltage, V производительность, л/мин / productivity, l/min	мембранно-поршневой / diaphragm piston электрический / electric 12 20	
Блок электрогидравлического пропорционального управления расходом и распределением рабочих жидкостей Electrohydraulic proportional flow control and fluid distribution unit	контроллер системы опрыскивания; главный клапан управления с электрическим пропорциональным клапаном; фильтр; электромагнитный расходомер; секционный клапан с электроприводом spray controller; main control valve with electric proportional valve; filter; electromagnetic flow meter; motorized sectional valve	
Блок электростатического распыления рабочих жидкостей пестицидов Pesticides electrostatic spray unit	высоковольтный генератор; аккумуляторная батарея; секции штанги с распылителями и электродами; high voltage generator; accumulator battery; boom sections with sprays and electrodes	
Конструктивная длина штанги для внесения пестицидов и агрохимикатов, м The structural length of the rod for the application of pesticides and agrochemicals, m	5,0	
Штанга Rod	трехсекционная гидравлическая с распылителями рабочей жидкости three-section hydraulic with working fluid sprayers	
Дискретность норм внесения рабочей жидкости, л/га: пестицидов / pesticides удобрений / fertilizer	5-10 10-15	
Точность позиционирования, м Positioning accuracy, m	0,2	
Режим полета Flight mode	автоматический по заданной программе полета, дистанционно-пилотируемый при необходимости automatic according to the set flight program, remotely piloted if necessary	



в характере осадения образующего облака в сравнении с самолетом не установлено [13].

Технологический процесс внесения рабочих жидкостей пестицидов и удобрений БВС-137ВИМ состоит из циклически чередующихся технологических операций:

- загрузка бака рабочей жидкостью пестицидами или удобрениями;
- заправка топливом;
- запуск двигателя;
- взлет;
- перелет от взлетно-заправочной площадки до обрабатываемого участка поля;
- полет над сельскохозяйственным полем с внесением рабочей жидкости пестицида или удобрения;
- разворот на очередной гон;
- перелет от обрабатываемого участка поля до взлетно-заправочной площадки;
- посадка;
- остановка двигателя;
- загрузка бака рабочими жидкостями пестицидов или удобрений;
- заправка топливом;
- запуск двигателя;
- взлет и далее следующий цикл обработки поля.

Производительность обработки полей пестицидами и внесения удобрений в летный час и рабочий час рассчитывают по формулам:

$$W_{\text{л.ч.}} = \frac{60 G}{HT_{\text{л}}}; \quad (1)$$

$$W_{\text{р.ч.}} = \frac{60 G}{HT_{\text{р.ч}}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{л.ч.}}$, $W_{\text{р.ч.}}$ – производительность в летный час и рабочий час, га/л.ч, га/р.ч;

G – емкость бака для рабочей жидкости, л;

H – норма внесения рабочей жидкости пестицида или удобрения, л/га;

$T_{\text{л}}$ – продолжительность полета – летное время, затрачиваемое воздушным судном на один производственный полет, мин;

$T_{\text{р.ч.}}$ – рабочее время, затрачиваемое на выполнение одного производственного цикла, мин.:

$$T_{\text{р.ч.}} = T_{\text{л}} + T_{\text{об.}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{об.}}$ – суммарное время на загрузку бака рабочей жидкости пестицида или удобрения и топливного бака топливом $T_{\text{з}}$, технического обслуживания беспилотного воздушного судна $T_{\text{то}}$, подготовки к взлету $T_{\text{пв}}$, мин.

Загрузка БВС-137ВИМ совмещается с загрузкой бака рабочей жидкостью пестицида или удобрения.

Время $T_{\text{л}}$ складывается из времени элементов полета:

$$T_{\text{л}} = T_{\text{о}} + T_{\text{р}} + T_{\text{пп}} + T_{\text{вп}} = \frac{600G}{HB_{\text{р}}V_{\text{р}}} + \frac{10Gt_{\text{р}}}{HL_{\text{г}}B_{\text{р}}} + \frac{120L}{V_{\text{п}}} + T_{\text{вп}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{о}}$ – время основной работы над обрабатываемым участком, мин;

$T_{\text{р}}$ – время на развороты для захода на очередной гон, мин;

$T_{\text{пп}}$ – время полета от взлетно-посадочной площадки до поля и обратно, мин;

$T_{\text{вп}}$ – время на взлет и посадку, мин;

H – норма внесения рабочей жидкости, л/га;

$B_{\text{р}}$ – рабочая ширина полосы обработки, м;

$V_{\text{р}}$ – рабочая скорость полета над обрабатываемым участком, км/ч;

$t_{\text{р}}$ – время одного разворота воздушного судна при заходе на обработку очередной полосы, мин;

$L_{\text{г}}$ – длина гона обрабатываемого поля, км;

$L_{\text{п}}$ – расстояние перелета от взлетно-посадочной площадки до обрабатываемого участка поля, км;

$V_{\text{п}}$ – скорость полета воздушного судна от взлетно-посадочной площадки и обратно, км/ч.

Время $T_{\text{р.ч.}}$ включает элементы времени $T_{\text{л}}$ и элементы времени $T_{\text{об.}}$:

$$T_{\text{р.ч.}} = T_{\text{о}} + T_{\text{р}} + T_{\text{пп}} + T_{\text{вп}} + T_{\text{з}} + T_{\text{то}} + T_{\text{пв}} = \frac{600G}{HB_{\text{р}}V_{\text{р}}} + \frac{10Gt_{\text{р}}}{HL_{\text{г}}B_{\text{р}}} + \frac{120L}{V_{\text{п}}} + T_{\text{вп}} + \frac{G}{W_{\text{н}}} + T_{\text{то}} + T_{\text{пв}}, \quad (5)$$

где $W_{\text{н}}$ – производительность перекачивающего насоса, л/мин.

На основании формулы (4) оценивают производительность в летный час, а с помощью выражения (5) – продолжительность полета за один производственный цикл в зависимости от агротехнических параметров обрабатываемого участка и летно-технических характеристик воздушного судна. Расстояние перелета БВС-137ВИМ с поля на поле принято равным расстоянию переезда с участка на участок, которое является функцией длины гона сельскохозяйственного поля и нормировано.

При полезной нагрузке 80 кг емкость бака для рабочей жидкости составляет 50 л, суммарная масса оборудования для внесения рабочих жидкостей пестицидов и удобрений (штанга с распылителями, бак для рабочего раствора, электрогидравлический насос, фильтр, блок электрогидравлических клапанов, расходомер электронный, рама крепежная и др.) составляет 28,7 кг. Время загрузки бака рабочей жидкости пестицида или удобрения зависит как от объема бака для рабочей жидкости, так и от производительности перекачивающего насоса мобильного транспортировщика-заправщика рабочей жидкостью пестицида и составляет примерно 0,5 мин. Время разовой заправки топливного бака составляет 0,2 мин. Нормы дифференцированного внесения рабочих жид-

костей пестицидов в физическом весе приняты в пределах 5-20 л/га с дискретностью 5 л/га, рабочей жидкости азотных удобрений – 30-120 л/га с дискретностью 15 л/га. Расход рабочей жидкости пестицида через один распылитель при норме внесения 5-25 л/га и скорости полета 30-60 км/ч составляет 0,06-0,62 л/мин, расход через 20 распылителей, установленных на штанге модуля опрыскивателя с шагом 0,25 м, находится в пределах 1,25-12,5 л/мин. Расход рабочей жидкости азотного удобрения через один распылитель при норме внесения 30-120 л/га составляет 0,36-3,0 л/мин, через 20 распылителей – 7,5-60 л/мин.

Максимальное расстояние подлета БВС-137ВИМ от посадочной площадки до обрабатываемого участка поля зависит от площади этого участка, длины гона и равно половине ширины обрабатываемого участка поля. Максимальная длина траектории полета до места заправки рабочей жидкостью и топливом и обратного полета до точки начала обработки поля соответствует ширине обрабатываемого участка поля. Следует отметить, что в производственных условиях указанные расстояния могут быть значительно больше вследствие невозможности подъезда мобильного транспортировщика-заправщика непосредственно к середине обрабатываемого поля.

Расчеты по формуле (4) показали, что летное время, затрачиваемое воздушным судном на один производственный полет при расстоянии перелета в пределах 0,6-1,6 км и длине гона сельскохозяйственного поля 0,2-2,6 км при норме внесения рабочей жидкости 10 л/га составляет 15,9-19,4 мин, при норме 100 л/га – 2,25-3,70 мин соответственно.

Получены основные зависимости, характеризующие производительность БВС-137ВИМ при обработке полей пестицидами и внесении удобрений в летный час в зависимости от нормы рабочей жидкости $W_{л.ч.} = f(H)$, длины гона $W_{л.ч.} = f(L_g)$, рабочей скорости полета $W_{л.ч.} = f(V_p)$, расстояния перелета $W_{л.ч.} = f(L_n)$ (рис. 2-5).

Чем меньше норма внесения рабочей жидкости, тем выше производительность в летный час (рис. 2). Скорость изменения функции возрастает также с увеличением рабочей скорости полета. Рациональные значения норм внесения рабочей жидкости пестицида составляют 10-20 л/га. При некорневой подкормке растений растворами азотных удобрений в разные стадии их развития этот показатель изменяется от 50 до 200 л/га, что вызывает снижение производительности БВС-137ВИМ более чем в 2 раза по сравнению с внесением рабочих жидкостей пестицидов. В этой связи некорневую подкормку данным летательным аппаратом целесообразно проводить локально на отдельных участках поля, требующих азотные подкормки для выравнивания посевов.

Производительность обработки сельскохозяйственного поля зависит от длины гона (рис. 3). При длине гона менее 0,8 км эффективность снижается. Сле-

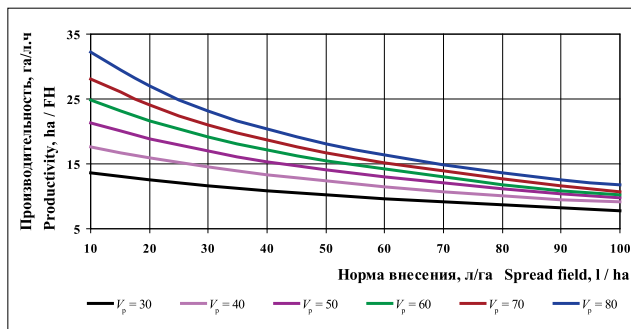


Рис. 2. Производительность БВС-137ВИМ в летный час в зависимости от нормы внесения рабочей жидкости при скорости полета 30-80 км/ч

Fig. 2. Performance BVS-137VIM per flight hour, depending on the rate of the working fluid introduction at a flight speed of 30-80 km/h

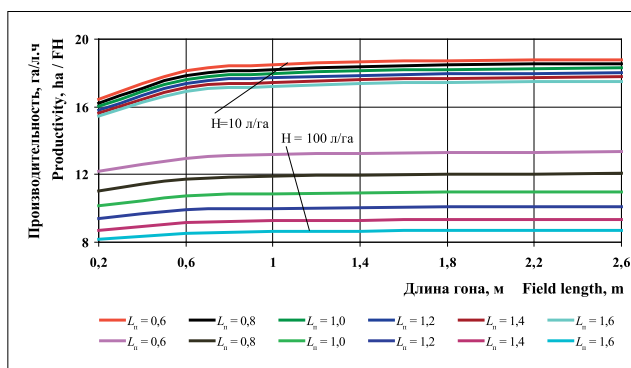


Рис. 3. Производительность БВС-137ВИМ в летный час в зависимости от длины гона при расстоянии подлета к полю 0,6-1,6 км

Fig. 3. BVS-137VIM productivity per flight hour, depending on the field length at an approach distance of 0.6-1.6 km to the field

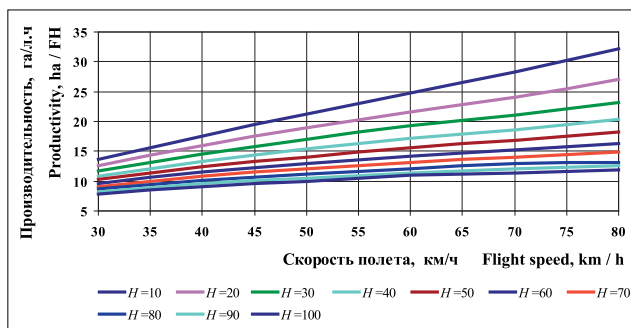


Рис. 4. Производительность БВС-137ВИМ в летный час в зависимости от скорости полета при нормах внесения рабочей жидкости 10-100 л/га

Fig. 4. BVS-137VIM productivity per flight hour, depending on the flight speed at a working fluid application rate of 10-100 l/ha

довательно, обработка агроценозов рабочими жидкостями пестицидов наиболее рациональна на полях с длиной гона более 0,8 км. Зависимость производительности БВС-137ВИМ в летный час от скорости полета является линейной и возрастает как с повышением рабочей скорости полета, так и с уменьшением

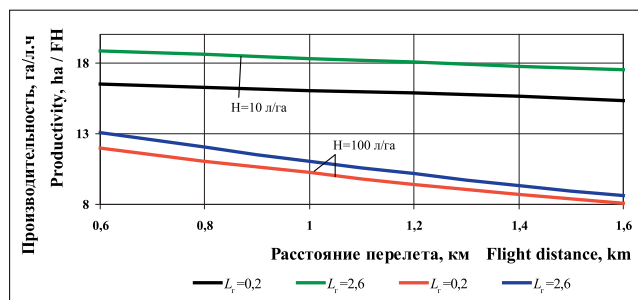


Рис. 5. Производительность БВС-137ВИМ в зависимости от расстояния перелета при длине гона 0,2-2,6 км

Fig. 5. BVS-137VIM productivity depending on the flight distance with a field length of 0.2-2.6 km

нормы внесения рабочей жидкости (рис. 4).

Рабочая скорость полета воздушного судна вертолетного типа при обработке сельскохозяйственных культур не должна превышать 60 км/ч [13]. Опрыскивание пестицидами виноградников рекомендовано проводить только с вертолета при скорости полета 25-35 км/ч [14]. При защите плодовых культур от вредителей и болезней установлена рабочая скорость полета вертолета – 40 км/ч [15].

При минимизации расстояния перелета от взлетно-посадочной площадки к полю производительность значительно увеличивается (рис. 5). В этой связи для БВС-137ВИМ необходимо размещать взлетно-посадочную площадку на краю сельскохозяйственного поля.

Выводы. Разработали беспилотное воздушное судно вертолетного типа соосной схемы со взлетной массой 280 кг и полезной нагрузкой 50-80 кг, диаметром несущего винта 5,3 м, конструктивной шириной захвата штанги 5 м, рабочей высотой 1-5 м, рабочей скоростью полета 40-60 км/ч, с предусмотренной нормой внесения рабочей жидкости пестицидов 10-20 л/га и азотных удобрений – 30-120 л/га.

Установили рациональные значения норм внесения пестицидов 10-20 л/га, длины гона сельскохозяйственного поля – не менее 0,8 км, обеспечивающие максимальное значение производительности в летный час.

Показали, что минимизация расстояния перелета от взлетно-посадочной площадки к полю значительно увеличивает производительность внесения пестицидов и удобрений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шпаар Д., Захаренко А.В., Якушев В.П. и др. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture). СПб.: Пушкин. 2009. 397 с.
2. Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Колесникова В.А. и др. Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия. М.: ВИМ. 2016. 100 с.
3. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов // *Инженерный журнал: наука и инновация*. 2018. №9. С. 1-19.
4. Марченко Л.А., Мочкова Т.В., Курбанов Р.К., Краснобородко В.В. Основные требования к беспилотным летательным аппаратам для внесения удобрений и пестицидов // *Вестник ВИАХС*. 2018. №4(33). С. 107-112.
5. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Kolesnikova V.A., Marchenko L.A. Substantiation of parameters of unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in precision farming system. *International scientific journal mechanization in agriculture & conserving of the resources*. 2017. №5. 168-171.
6. Спиридонов А.Ю., Курбанов Р.К. Обоснование параметров беспилотного летательного аппарата для дифференцированного внесения трихограммы // *Вестник ВИАХС*. 2018. №4(33). С.101-106.
7. Wang L.H., Lan Y.B., Yue X.J., Ling K.J., Cen Z.Z., Cheng Z.Y. et al. Vision-based adaptive variable rate spraying approach for unmanned aerial vehicles. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2019. 12(3). 18-26.
8. Faigal B.S., Freitas H., Pedro H.G., Mano L.Y., Pessin G., Carvalho A.C.P.L.F., Krishnamachari B., Ueyama J. An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. 138. 210-223.
9. Koç C. Design and Development of a Low-cost UAV for Pesticide Applications. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*. 2017. 34(1). 94-103.
10. Huang Y., Hoffmann W.C., Lan Y., Wu W., Fritz B.K. Development of a Spray System for an Unmanned Aerial Vehicle Platform. *Applied Engineering in Agriculture*. 2009. Vol. 25. №6. 803-809.
11. Kale S.D., Khandagale S.V., Gaikwad S.S., Narve S.S., Gangal P.V. Agriculture Drone for Spraying Fertilizer and Pesticides. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2015. Vol. 5. Iss. 12.
12. Xue X., Lan Y., Sun Z., Chang C., Hoffman W.C. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 128. 58-66.
13. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве. М.: Печатный Город. 2010. С. 122-123.
14. Кобзарь В.Ф., Шуляк И.И., Кобзарь М.И. Факторы, влияющие на качество авиационного опрыскивания многолетних насаждений // *Защита и карантин растений*. 2009. №10. С. 43-45.
15. Шумилин В.М., Агарков В.М., Белозеров В.В. и др. Авиация в сельском и лесном хозяйстве. М.: Колос. 1995. С. 132-135.

REFERENCES

1. Shpaar D., Zakharenko A.V., Yakushev V.P., et al. *Tochnoe sel'skoe khozyaystvo* [Precision Agriculture]. Saint-Petersburg: Pushkin. 2009. 397 (In Russian).
2. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Kolesnikova V.A., et al. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu sredstv khimizatsii v sisteme tochnogo zemledeliya* [Guidelines for the use of chemicals in the precision farming system]. Moscow: VIM. 2016. 100 (In Russian).
3. Kuznetsov G.A., Kudryavtsev I.V., Krylov E.D. *Retrospektivnyy analiz, sovremennoe sostoyaniye i tendentsii razvitiya otechestvennykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov* [Retrospective analysis, current status and development trends of domestic unmanned aerial vehicles]. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsiya*. 2018. N9. 1-19 (In Russian).
4. Marchenko L.A., Mochkova T.V., Kurbanov R.K., Krasnoborod'ko V.V. *Osnovnye trebovaniya k bespilotnym letatel'nykh apparatam dlya vneseniya udobreniy i pestitsidov* [Basic requirements for unmanned aerial vehicles for fertilizer and pesticides]. *Vestnik VIESKH*. 2018. N4(33). 107-112 (In Russian).
5. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Kolesnikova V.A., Marchenko L.A. *Substantiation of parameters of unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in precision farming system*. *International scientific journal mechanization in agriculture & conserving of the resources*. 2017. N5. 168-171 (In English).
6. Spiridonov A.Yu., Kurbanov R.K. *Obosnovanie parametrov bespilotnogo letatel'nogo apparata dlya differentsirovannogo vneseniya trikhogrammy* [Parameters ustification of an unmanned aerial vehicle for the differential trichograms introduction]. *Vestnik VIESKH*. 2018. N4(33). 101-106 (In Russian).
7. Wang L.H., Lan Y.B., Yue X.J., Ling K.J., Cen Z.Z., Cheng Z.Y. et al. *Vision-based adaptive variable rate spraying approach for unmanned aerial vehicles*. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2019. 12(3). 18-26 (In English).
8. Faigal B.S., Freitas H., Pedro H.G., Mano L.Y., Pessin G., Carvalho A.C.P.L.F., Krishnamachari B., Ueyama J. *An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments*. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. 138. 210-223 (In English).
9. Koç C. *Design and Development of a Low-cost UAV for Pesticide Applications*. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*. 2017. 34(1). 94-103 (In English).
10. Huang Y., Hoffmann W.C., Lan Y., Wu W., Fritz B.K. *Development of a Spray System for an Unmanned Aerial Vehicle Platform*. *Applied Engineering in Agriculture*. 2009. Vol. 25. N6. 803-809 (In English).
11. Kale S.D., Khandagale S.V., Gaikwad S.S., Narve S.S., Gangal P.V. *Agriculture Drone for Spraying Fertilizer and Pesticides*. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2015. Vol. 5. Iss. 12 (In English).
12. Xue X., Lan Y., Sun Z., Chang C., Hoffman W.C. *Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying*. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 128. 58-66 (In English).
13. Nikitin N.V., Spiridonov Yu.Ya., Shestakov V.G. *Nauchno-prakticheskie aspekty tekhnologii primeneniya sovremennykh gerbitsidov v rastenievodstve*. [Scientific and practical technology aspects of using modern herbicides in crop production]. Moscow: Pechatnyy Gorod. 2010. 122-123 (In Russian).
14. Kobzar' V.F., Shulyak I.I., Kobzar' M.I. *Faktory, vliyayushchie na kachestvo aviatsionnogo opryskivaniya mnogoletnikh nasazhdeniy* [Factors affecting the quality of aerial spraying of perennial plantations]. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2009. N10. 43-45 (In Russian).
15. Shumilin V.M., Agarkov V.M., Belozherov V.V., et al. *Aviatsiya v sel'skom i lesnom khozyaystve* [Aviation in agriculture and forestry]. Moscow: Kolos. 1995. 132-135 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 24.12.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 24.12.2019

Статья принята к публикации 13.01.2020
The paper was accepted
for publication on 13.01.2020