



БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ И УДОБРЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Смирнов И.Г.,
канд. с.-х. наук;
Марченко Л.А.*,
канд. техн. наук;

Личман Г.И.,
докт. техн. наук;
Мочкова Т.В.,
канд. с.-х. наук;

Спиридонов А.Ю.

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mail: vim@vim.ru

Развитие технологии точного земледелия требует более высокого уровня технического обеспечения, основанного на программируемых, полностью автономно функционируемых или дистанционно управляемых беспилотных авиационных системах, содержащих комплексы автоматических или дистанционно-управляемых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Проведен выбор и обоснование основных параметров БПЛА сельскохозяйственного назначения. Установлено, что для дифференцированного внесения средств защиты растений и удобрений предпочтительны БПЛА многократного использования, безаэродромного базирования, с небольшой разбежкой для взлета или вертикальным взлетом и вертикальной посадкой, низковысотные, вертолетного, винтокрылого и мультироторного типов, оснащенные автопилотом и системой дифференцированного распределения рабочих жидкостей удобрений и пестицидов по заданной программе, разработанной в соответствии с агрохимической картограммой и картой фитосанитарного состояния поля. Составлено уравнение массового баланса БПЛА сельскохозяйственного назначения, которое позволяет более точно определить взлетную массу с учетом составляющих масс полезной нагрузки, предназначенной для дифференцированного дозирования и распределения рабочих жидкостей удобрений и пестицидов. Получено уравнение существования БПЛА, отличающееся тем, что оно, кроме массовых и летно-технических характеристик летательного аппарата, отображает технологические параметры дифференцированного внесения пестицидов и удобрений для конкретного обрабатываемого поля. Показано, что технологический процесс применения БПЛА в системе точного земледелия включает последовательные взаимосвязанные операции: мониторинг и зондирование посевов (с использованием легких БПЛА, оснащенных мультиспектральными камерами), получение, обработку и передачу информации для управления посевами, дифференцированное внесение пестицидов и удобрений по заданной программе обработки поля посредством (посредством БПЛА с большой полезной нагрузкой).

Ключевые слова: точное земледелие, средства защиты растений, внесение удобрений, беспилотные летательные аппараты.

Для цитирования: Смирнов И.Г., Марченко Л.А., Личман Г.И., Мочкова Т.В., Спиридонов А.Ю. Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и удобрений в системе точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N3. С. 10-16

UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR PESTICIDES AND FERTILIZERS APPLICATION IN PRECISION FARMING SYSTEM

Smirnov I.G., Ph.D.(Agr.);
Marchenko L.A.*, Ph.D.(Eng.);

Lichman G.I., D.Sc.(Eng.);
Mochkova T.V., Ph.D.(Agr.);

Spiridonov A.Yu.

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: vim@vim.ru

The development of precision farming technology requires a higher level of technical support based on programmable, fully autonomous or remotely controlled unmanned aerial systems that contain complexes of automatic or remotely controlled unmanned aerial vehicles (UAVs). The authors conducted selection and justification of the main parameters of the UAV for agricultural purposes. For variable rate application of plant protection products and fertilizers the agrarians



prefer UAVs of reusable, non-aerodrome basing, with small take-off for takeoff or vertical take-off and vertical landing, low-altitude, helicopter, rotary-wing and multi-rotor types equipped with an autopilot and a system for differentiating the distribution of fertilizer working fluids and pesticides for a set program, developed in accordance with the agrochemical cartogram and field phytosanitary condition. The equation of mass balance of UAV of agricultural purpose is made, which allows more precisely to determine the take-off weight taking into account the constituent masses of the payload intended for differentiated dispensing and distribution of working fluids of fertilizers and pesticides. The equation of UAV existence is obtained, which differs in that, in addition to the mass and flight-technical characteristics of the aircraft, it displays the technological parameters of differentiated application of pesticides and fertilizers for a particular field being treated. The technological process of UAV application in the system of precise farming includes sequential interrelated operations: monitoring and sounding of crops (using light UAVs equipped with multispectral cameras), obtaining, processing and transmitting information for crop management, differentiated application of pesticides and fertilizers according to a specified treatment program (UAV through a large payload).

Keywords: Precision agriculture; Plant protection; Fertilization; Unmanned aerial vehicles.

■ **For citation:** Smirnov I.G., Marchenko L.A., Lichman G.I., Mochkova T.V., Spiridonov A.Yu. Unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in precision farming system. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 10-16. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-10-16. (In Russian)

В России принята и реализуется Национальная технологическая инициатива (НТИ) – долгосрочная программа формирования и развития высокотехнологических мировых и отечественных рынков, основанная на государственно-частном партнерстве. В рамках НТИ разработана дорожная карта *AeroNet*, направленная на формирование будущего облика сферы беспилотных авиационных систем (БАС), в соответствии с которой предполагается превратить к 2035 г. *AeroNet* в глобальную конкурентоспособную отрасль и вывести Российскую Федерацию на лидирующие позиции в ряде сегментов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

На новых рынках посредников в виде государственных структур и коммерческих компаний заменят программные агенты (софты). Новые рынки носят сетевой характер, их называют нетами – «сетями». На сегодняшний день в России рынок гражданского использования беспилотных воздушных судов сформирован недостаточно, особенно в сельском хозяйстве.

Тенденции последних лет развития мирового сельскохозяйственного производства базируются на применении информационных технологий, глобальных систем позиционирования, геоинформационных систем, автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами, роботизированных устройств, объединенных в систему точного земледелия [1]. Для этого необходимы технологии дистанционного мониторинга сельскохозяйственных и лесных угодий с использованием космических, пилотируемых, беспилотных летательных аппаратов [2] и технологии дифференцированного внесения удобрений, средств защиты растений и посева семян режимах *of-line* или *on-line* по предварительно разработанным на основании мониторинга полей картам-заданиям [3].

Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и дистанционного зондирования посевов сельскохозяйственных культур становится обычной операцией и обеспечивает получение данных для построения цифровых электронных карт полей и формирования карт-заданий на дифференцированное внесение средств защиты растений и удобрений [4].

Дифференцированное внесение удобрений, пестицидов и дифференцированный посев в системе точного земледелия осуществляются как правило наземной техникой, оснащенной автоматизированной системой управления и контроля технологическим процессом, приемниками ГЛОНАС/*GPS*, коммуникациями *ISOBUS* [3, 5]. Однако применение такой техники затруднительно при высокой влажности почвы, на сложных рельефах поля, горных склонах с садами и виноградниками, в поздние периоды вегетации растений и в сжатые агротехнические сроки, что приводит к рискам, связанным с недобором урожая и снижением его качества и тем самым к убыткам сельхозтоваропроизводителей.

Развитие технологии точного земледелия требует более высокого уровня технического обеспечения, основанного на программируемых, полностью автономно функционирующих или дистанционно управляемых беспилотных авиационных системах (БАС), которые содержат комплексы автоматических или дистанционно управляемых беспилотных летательных аппаратов, совершающих полеты в сегрегированном пространстве в соответствии со стандартами *ICAO* (Международной организации гражданской авиации). При этом авиационные системы содержат также модули в виде аппаратно-программного комплекса, станции внешнего управления и контроля полетом и другие элементы системы для выполнения программируемого полета воздушного судна. Кроме этого

БАС включают аэромобильные комплексы сельскохозяйственного назначения в виде специализированных наземных транспортных средств, оснащенных системой крепления БПЛА, подъемниками для спуска и погрузки БПЛА, резервуарами для заправки БПЛА топливом и рабочими жидкостями пестицидов и удобрений, станцией управления полетом.

Бортовая система управления полетом состоит из блока автопилота, блока управления двигателем, блока управления полезной нагрузкой, пилотажно-навигационного комплекса с интегрированной навигационной системой и приемниками ГЛОНАСС/GPS для полета на малых высотах.

Цель исследования – выбор и обоснование основных параметров беспилотных летательных аппаратов для дифференцированного внесения жидких средств химизации в системе точного земледелия.

Материалы и методы. В работе использованы стандарты на БПЛА, методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия, концепции развития оперативного управления мобильными техническими средствами, применяемыми в сельском хозяйстве с использованием ГЛОНАСС/GPS, а также по анализу обобщенной классификации беспилотных летательных аппаратов и беспилотных авиационных систем [3, 5-8]. Массовый структурный анализ БПЛА осуществляли на основе классических методов [9].

Результаты и обсуждение. По функциональному назначению БПЛА для сельского хозяйства подразделяют на транспортные, мониторинговые, посевные, для внесения удобрений и средств защиты растений. По типу конструкции предпочтительны БПЛА винтокрылого (гиропланы) и мультироторного (квадро-, гекса- или октокоптеры) типов. БПЛА могут иметь автоматическое или дистанционное управление.

По используемому классу воздушного пространства полеты БПЛА сельскохозяйственного назначения должны выполняться в сегрегированном воздушном пространстве установленных размеров, предназначенном для исключительного использования конкретными пользователями.

С точки зрения взлета и посадки преимущество остается за БПЛА с небольшой разбежкой для взлета или вертикальным взлетом и вертикальной посадкой.

Наиболее предпочтительны БПЛА безаэродромного базирования, многоразового действия, низковысотные и гранично-маловысотные (0-300 м).

Силовая установка БПЛА может включать электрические или поршневые двигатели с базовым топливным баком многоразовой заправки.

Масса полезной нагрузки обычно составляет

15-30% массы БПЛА и включает целевую нагрузку (видео- или фотоаппаратуру и др.), массу транспортного груза, например запчасти для полевых сельхозмашин, массу удобрений или пестицидов, оборудования для их внесения. Функциональная нагрузка включает двигатель (с запасом топлива) или источник электропитания, а также сервоприводы, аэродинамические органы управления, комплекс программно-аппаратных средств, содержащих бортовую аппаратуру управления [10].

В таблице представлена перспективная классификация БПЛА по взлетной массе и полезной нагрузке.

Table		Таблица
Классификация БПЛА для внесения агрохимикатов по взлетной массе, полезной нагрузке, дальности полета CLASSIFICATION OF UAVs FOR APPLICATION OF AGROCHEMICALS BY TAKEOFF WEIGHT, PAYLOAD, RANGE		
БПЛА UAVs	Масса взлетной/ полезной нагрузки, кг Weight takeoff/ useful load, kg	Максимальная дальность полета, км Maximum range of flight, km
Сверхлегкие ближней дальности Ultra-light near range	(25/7,5)-(150/45)	менее 30 less than 30
Легкие ближней дальности Light of short range	(50/15)-(250/75)	10-30
Средние малой дальности Medium short range	(150/45)-(500/150)	80-200
Среднетяжелые малой дальности Medium heavy short range	(500/150)-(1500/450)	200-500

Как в мировой, так и в отечественной сельскохозяйственной практике БПЛА используют в основном для выполнения следующих работ: инвентаризации сельхозугодий; получения информации для создания электронных карт полей; оценки всхожести сельскохозяйственных культур; оперативного мониторинга фитосанитарного состояния посевов, определения нормализованного вегетационного индекса (NDVI); оценки качества внесения удобрений и средств защиты растений; прогноза урожайности; контроля текущего состояния агроценозов и выполнения агротехнических работ в режиме реального времени; экологического мониторинга сельскохозяйственных и лесных угодий.

В точном земледелии дозы минеральных удобрений и нормы внесения пестицидов определяют для каждого элементарного участка поля. Количество участков зависит от внутривидовой вариативности содержания питательных веществ, фитосанитарного состояния и площади поля. Мони-



торинг агроценозов осуществляют с помощью фото- или мультиспектральных камер, установленных на БПЛА самолетного и вертолетного типов, так называемых мультикоптеров небольшой взлетной массы и с малой полезной нагрузкой.

Известны отдельные разработки БПЛА вертолетного типа с полезной нагрузкой (до 28 кг) для сплошной обработки посевов пестицидами [11]. БПЛА для дифференцированного внесения минеральных удобрений и средств защиты растений в системе точного земледелия на данный момент находятся в стадии проектных решений.

Особенности массового баланса БПЛА с учетом масс известных грузов и относительных масс частей летательного аппарата уже определены [12-13]. Однако специфика составляющих массового баланса БПЛА сельскохозяйственного назначения не была рассмотрена.

Уравнения массового баланса летательного аппарата [9] при прочих равных условиях отображают связь взлетной массы m_0 со структурными элементами: массами конструкции $m_{кон}$, силовой установки $m_{сy}$, бортового оборудования и систем управления $m_{об.сy}$, топлива m_m , полезной нагрузки $m_{ни}$:

$$m_0 = m_{кон} + m_{сy} + m_{об.сy} + m_m + m_{ни} \quad (1)$$

Уравнение массового баланса (1) в первом приближении обычно представляется в относительном виде, позволяющем сравнивать летательные аппараты по степени использования единицы массы:

$$1 = \bar{m}_{кон} + \bar{m}_{сy} + \bar{m}_{об.сy} + \bar{m}_m + \bar{m}_{ни} \quad (2)$$

где $\bar{m}_i = \frac{m_i}{m_0}$ – отношение массы i -го элемента к взлетной массе.

Для БПЛА сельхозназначения при использовании его в системе точного земледелия уравнение существования должно связывать взлетную массу, функциональные составляющие взлетной массы и параметры, обеспечивающие дифференцированное внесение пестицидов и удобрений.

Работая с БПЛА для дифференцированного внесения пестицидов и удобрений, следует учитывать перераспределение его весовой структуры в сторону увеличения полезной нагрузки (массы загружаемой рабочей жидкости, оборудования для ее распределения, бортового оборудования, систем управления) и в сторону уменьшения массы топлива на борту.

Относительная масса конструкции $\bar{m}_{кон}$ включает относительные массы крыла $\bar{m}_{кр}$, фюзеляжа $\bar{m}_ф$, горизонтального $\bar{m}_{го}$ и вертикального $\bar{m}_{во}$ оперения, которые в свою очередь зависят от взлетной массы m_0 (с увеличением взлетной массы возраста-

ют составляющие массы конструкции):

$$\bar{m}_{кон} = F(\bar{m}_{кр}, \bar{m}_ф, \bar{m}_{го}, \bar{m}_{во}). \quad (3)$$

Относительная масса силовой установки $\bar{m}_{сy}$ зависит от относительных масс двигателя $\bar{m}_{дв}$, топливной системы $\bar{m}_{тс}$, агрегатов управления двигателем и топливной системой $\bar{m}_{уп.дв.тс}$, от режима полета – предельных значений высоты H_n и скорости V_n :

$$\bar{m}_{сy} = \Omega(\bar{m}_{дв}, \bar{m}_{тс}, \bar{m}_{уп.дв.тс}, H_n, V_n). \quad (4)$$

Относительная масса бортового оборудования и систем управления $\bar{m}_{об.сy}$ складывается из относительных масс источников энергии $\bar{m}_{из}$, электро- и радиооборудования $\bar{m}_{эл.об.}$, автопилота $\bar{m}_{ап}$, электронных блоков $\bar{m}_{эб.}$, аэронавигационных огней $\bar{m}_{ано.}$, приемников GPS/ГЛОНАСС \bar{m}_{GPS} :

$$\bar{m}_{об.сy} = \Phi(\bar{m}_{из}, \bar{m}_{эл.об.}, \bar{m}_{ап}, \bar{m}_{эб.}, \bar{m}_{ано.}, \bar{m}_{GPS}). \quad (5)$$

Относительная масса топлива \bar{m}_m зависит от удельного расхода топлива C_m и дальности полета L_n летательного аппарата:

$$\bar{m}_m = \Psi(C_m, L_n). \quad (6)$$

Дальность полета при челночном способе обработки зависит от площади поля S_n , рабочей ширины захвата опрыскивания B_p , радиуса разворота летательного аппарата на очередной гон R_i . Тогда выражение для \bar{m}_m принимает вид:

$$\bar{m}_m = \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_n}{B_p} + \sum_{i=1}^n R_i \right) \cdot C_m, \quad (7)$$

где n – количество гонов на обрабатываемом поле.

Относительная масса полезной нагрузки $\bar{m}_{ни}$ включает относительные массы бака $\bar{m}_б$ для рабочей жидкости (растворов удобрений и пестицидов), собственно загружаемой в бак рабочей жидкости $\bar{m}_{ржс}$, насоса $\bar{m}_н$, штанги с форсунками $\bar{m}_{шф}$, электрогидравлической арматуры $\bar{m}_{ар}$ (краны, трубопроводы, электроклапаны, регуляторы давления и расхода и др.) и микропроцессора $\bar{m}_{мп}$:

$$\bar{m}_{ни} = \bar{m}_б + \bar{m}_{ржс} + \bar{m}_н + \bar{m}_{шф} + \bar{m}_{ар} + \bar{m}_{мп}. \quad (8)$$

Масса рабочей жидкости (удобрений и пестицидов) в зависимости от площади обрабатываемого поля может быть переменной, поэтому отношение $\bar{m}_{ржс} = \bar{m}_{ржс} / m_0$ будет переменной величиной при условии:

$$0 \leq \bar{m}_{ржс} \leq \bar{m}_{зад}, \quad (9)$$

где $\bar{m}_{зад}$ – заданная масса рабочих растворов пести-

цидов и удобрений для программируемой обработки всех участков поля.

При дифференцированной обработке посевов БПЛА в режиме *of-line* каждый выделенный элементарный участок обрабатываемого поля с фиксированными широтно-долготными координатами X, Y имеет длину L_i и ширину, равную рабочей ширине опрыскивания B_p . Тогда общая площадь обработки будет составлять:

$$S_{\text{офр.}} = \sum_{i=1}^k L_i B_p, \quad (10)$$

где k – количество обрабатываемых участков.

Общая длина обрабатываемых участков равна:

$$L_{\text{офр.}} = \sum_{i=1}^k L_i. \quad (11)$$

Таким образом, дальность полета БПЛА при челночном способе обработки и суммарная длина всех обрабатываемых участков поля могут не совпадать; при этом:

$$0 < L_{\text{офр.}} \leq L_n. \quad (12)$$

Расход рабочей жидкости для дифференцированного внесения на обрабатываемом поле устанавливается исходя из рассчитанных доз пестицидов и удобрений для каждого обозначенного однородного участка поля и количества выделенных на них элементарных участков, которые представляют собой прямоугольники шириной, равной рабочей ширине внесения, и длиной, равной длине выделенного контура.

С учетом того, что норма внесения рабочей жидкости обеспечивается ее расходом через одну форсунку g_{ϕ} , количеством форсунок N_{ϕ} на штанге опрыскивающего оборудования БПЛА, шириной внесения B_p и рабочей скоростью полета V_n , относительную массу рабочей жидкости можно представить в следующем виде:

$$\bar{m}_{\text{ржк}} = B_p \sum_{i=1}^k L_i \left(\frac{N_{\phi} g_{\phi}}{B_p V_n} \right), \quad (13)$$

где k – количество участков, требующих обработки за один полет в соответствии с цифровой картой поля.

В обобщенном виде функциональная связь относительной массы полезной нагрузки с основными ее компонентами и технологическими параметрами будет иметь вид:

$$\bar{m}_n = \Theta(\bar{m}_{\phi}, \bar{m}_{\text{дф}}, \bar{m}_{\text{пф}}, \bar{m}_{\text{пн}}, S_n, k, B_p, L_{\text{офр.}}, N_{\phi}, q_{\phi}, V_n). \quad (14)$$

Используя выражения (3)-(6) и (13), получаем уравнение существования БПЛА для дифференцированного внесения рабочих жидкостей пестици-

дов и удобрений:

$$1 = F(\bar{m}_{\phi}, \bar{m}_{\text{дф}}, \bar{m}_{\text{пф}}) + \Omega(\bar{m}_{\text{дф}}, \bar{m}_{\text{пн}}, \text{до}, \text{мс}, H_n, V_n) + \Phi(\bar{m}_{\text{дф}}, \bar{m}_{\text{пн}}, \bar{m}_{\text{пф}}, \bar{m}_{\text{дф}}, \bar{m}_{\text{пн}}, \bar{m}_{\text{GPS}}) + \Psi(C_m, L_n) + \Theta(\bar{m}_{\phi}, \bar{m}_n, \bar{m}_{\text{дф}}, \bar{m}_{\text{пн}}, S_n, k, B_p, L_{\text{офр.}}, N_{\phi}, q_{\phi}, V_n). \quad (15)$$

Отличие уравнения существования (15) от известных заключается в том, что оно, кроме массовых и летно-технических характеристик БПЛА, отображает также технологические параметры дифференцированного внесения жидких средств химизации для конкретного сельскохозяйственного поля.

Технологический процесс дифференцированного внесения азотных удобрений с учетом разработанных моделей управления технологическими операциями внесения удобрений [4] представлен в виде блок-схемы (рисунок). БПЛА осуществляет мультиспектральный мониторинг сельскохозяйствен-

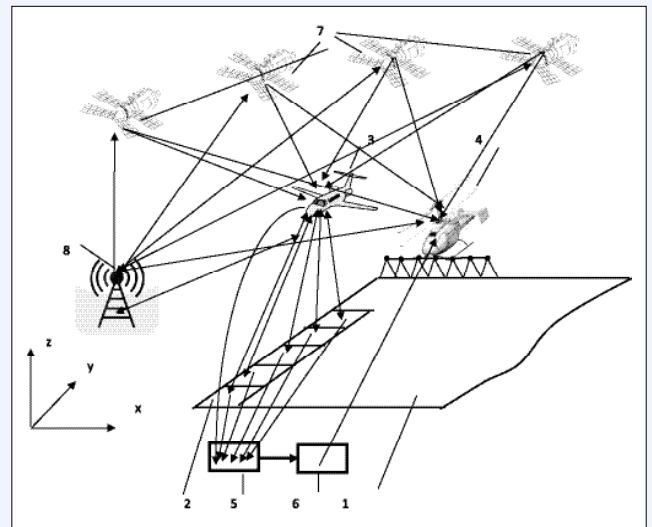


Рис. Блок-схема технологии дифференцированного внесения пестицидов и удобрений с использованием беспилотных летательных аппаратов:

1 – сельскохозяйственное поле; 2 – тестовые площадки сельхозкультур; 3 – БПЛА для зондирования и мониторинга почвы и агроценозов; 4 – БПЛА для внесения удобрений и пестицидов; 5 – информационный блок базы данных; 6 – наземный компьютерный блок анализа, обработки и передачи данных; 7 – искусственные спутники Земли; 8 – наземная опорная базовая станция DGPS с известными координатами X, Y, Z

Fig. Block diagram of the technology of differentiated application of pesticides and fertilizers using unmanned aerial vehicles:

1 – agricultural field; 2 – test sites for crops; 3 – UAV for sounding and monitoring of soil and agrocenoses; 4 – UAV for application of fertilizers and pesticides; 5 – information block of the database; 6 – ground computer unit for analysis, processing and transmission of data; 7 – artificial satellites of the Earth; 8 – ground reference base station DGPS with known coordinates X, Y, Z



ного поля и тестовых площадок. Далее аппарат передает спектральную информацию с привязанными географическими координатами элементарных участков поля в информационный блок базы данных. Одновременно на тестовых площадках отбирают пробы почвы и растений для калибровки данных при обработке спектральных измерений, полученных с БПЛА, лабораторными методами определяют содержание питательных веществ на каждой из площадок и вводят данные в информационный блок, соединенный с блоком анализа, обработки и передачи данных на БПЛА, посредством которого осуществляется дифференцированное внесение пестицидов и удобрений.

Выводы

1. Технология точного земледелия требует более высокого уровня технического обеспечения, основанного на программируемых, полностью автономных или дистанционно управляемых беспилотных авиационных системах, содержащих комплексы автоматических или дистанционно управляемых беспилотных летательных аппаратов для мониторинга агроценозов, дифференцированного внесения пестицидов и удобрений.

2. Установлено, что для дифференцированного внесения пестицидов и удобрений предпочтительны БПЛА многократного использования, безаэродромного базирования, с небольшой разбежкой для взлета или вертикальным взлетом и вертикальной посадкой, низковысотные, вертолетного, вин-

токрылого и мультироторного типов, оснащенные автопилотом и системой дифференцированного распределения рабочих жидкостей удобрений и пестицидов по заданной программе, разработанной в соответствии с агрохимической картограммой и картой фитосанитарного состояния поля.

3. Составлено уравнение массового баланса БПЛА сельскохозяйственного назначения, которое позволяет более точно определить взлетную массу с учетом составляющих масс полезной нагрузки, предназначенной для дифференцированного дозирования и распределения рабочих жидкостей удобрений и пестицидов.

4. Получено уравнение существования БПЛА, отличающееся тем, что оно, кроме массовых и летно-технических характеристик летательного аппарата, отображает технологические параметры дифференцированного внесения пестицидов и удобрений для конкретного обрабатываемого поля.

5. Технологический процесс применения БПЛА в системе точного земледелия включает последовательно выполняемые взаимосвязанные операции: мониторинг и зондирование посевов (с помощью легких БПЛА, оснащенных мультиспектральными камерами), получение, обработку и передачу информации для управления посевами, дифференцированное внесение пестицидов и удобрений по заданной программе обработки поля (посредством БПЛА с большой полезной нагрузкой).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шпаар Д., Захаренко А. В., Якушев В. П. и др. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture). СПб., Пушкин, 2009. 397 с.

2. Личман Г. И., Марченко Н. М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. 2011. N4. С. 89-93.

3. 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.

4. Михайленко И. М. Беспилотная малая авиация в сельском хозяйстве // Агрофизика. 2015. N2. С. 16-24.

5. Измайлов А. Ю., Артюшин А. А., Смирнов И. Г. и др. Концепция развития оперативного управления автотранспортными и другими мобильными техническими средствами, применяемыми в сельском хозяйстве с использованием ГЛОНАСС/GPS. М.: ВИМ, 2014. 63 с.

6. Корченко А. Г., Ильяш О. С. Обобщенная классификация беспилотных летательных аппаратов // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2012. Вып. 4(33). С. 27-36.

7. Ростопчин В., Бурдун И. Беспилотные авиацион-

ные системы. Основные понятия. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2009. N4. С. 82-88.

8. Шейнин В. М., Козловский В. И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1. Весовой расчет и весовое проектирование. М.: Машиностроение, 1977. 344 с.

9. Фетисов В. С., Неугодникова Л. М., Адамовский В. В., Красноперов Р. А. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. Уфа: Фотон, 2014. 217 с.

10. Xinyu Xue, Yubin Lan, Zhu Sun, Chun Chang, W. Clint Hoffman. Develop an unmanned areal vehicle based automatic areal spray system. Computers and Electronics in Agriculture. 2016; 128: 58-66.

11. Дружинин Е. А., Крицкий Д. Н., Захарчук А. И. Особенности массовой модели беспилотного летательного аппарата // Система обработки информации. 2013. Вып. 1(108). С. 44-48.

12. Приймак А. В., Сюлев К. В., Рыжук И. А., Куприенко А. В. Математическая модель выбора основных параметров беспилотного летательного аппарата для решения типовых задач поиска наземных целей // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних

Сил. 2013. Вып. 2(35). С. 28-32.

13. Захарчук А.И., Яшин С.А., Рябков В.И. Особенности массового баланса беспилотного летательного

аппарата гражданского назначения во втором // Открытые информационные и компьютерные технологии. 2013. N58. С. 55-62.

REFERENCES

1. Shpaar D., Zakharenko A. V., Yakushev V.P., et al. Precision Agriculture. St.Petersburg, Pushkin, 2009: 397. (In Russian)
2. Lichman G.I., Marchenko N.M. Use of space monitoring and remote sensing in the system of precise agriculture. *Geomatika*. 2011; 4: 89-93. (In Russian)
3. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Kolesnikova V.A., et al. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu sredstv khimizatsii v sisteme tochnogo zemledeliya [Methodical recommendations on the use of chemical means in the system of precision farming]. Moscow: VIM, 2016: 100. (In Russian)
4. Mikhaylenko I.M. Unmanned small aircraft in agriculture. *Agrofizika*. 2015; 2: 16-24. (In Russian)
5. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Smirnov I.G., et al. Kontseptsiya razvitiya operativnogo upravleniya avtotransportnymi i drugimi mobil'nymi tekhnicheskimi sredstvami, primenyaemymi v sel'skom khozyaystve s ispol'zovaniem GLONASS/GPS [Concept of development of operational management of motor transport and other mobile technical means used in agriculture using GLONASS/GPS]. Moscow: VIM, 2014: 63. (In Russian)
6. Korchenko A.G., Il'yash O.S. Generalized classification of unmanned aerial vehicles. *Zbirnik naukovikh prats' Kharkivs'kogo universitetu Povitryanikh Sil*. 2012; 4(33): 27-36. (In Russian)
7. Rostopchin V., Burdun I. Unmanned aerial systems. Basic concepts. *Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes*. 2009; 4: 82-88. (In Russian)
8. Sheynin V.M., Kozlovskiy V.I. Vesovoye proektirovanie i effektivnost' passazhirskikh samoletov. Vol. 1. Vesovoy raschet i vesovoye proektirovanie [Weight design and efficiency of passenger aircraft. Vol. 1. Weight calculation and weight design]. Moscow: Mashinostroenie, 1977: 344. (In Russian)
9. Fetisov V.S., Neugodnikova L.M., Adamovskiy V.V., Krasnoperov R.A. Bepilotnaya aviatsiya: terminologiya, klassifikatsiya, sovremennoe sostoyanie [Unmanned aircraft: terminology, classification, current status]. Ufa: Foton, 2014: 217. (In Russian)
10. Xinyu Xue, Yubin Lan, Zhu Sun, Chun Chang, W. Clint Hoffman. Develop an unmanned areal vehicle based automatic areal spreying sistem. *Computers and Elektronics in Agrikulture*. 2016; 128: 58-66. (In English)
11. Druzhinin E.A., Kritskiy D. N., Zakharchuk A.I. Features of the mass model of an unmanned aerial vehicle. *Sistema obrobki informatsii*. 2013; 1(108): 44-48. (In Russian)
12. Priymak A. V., Syulev K.V., Ryzhuk I. A., Kuprienko A.V. Mathematical model of the choice of the basic parameters of an unmanned aerial vehicle for solving typical tasks of searching for ground targets. *Zbirnik naukovikh prats' Kharkivs'kogo universitetu Povitryanikh Sil*. 2013; 2(35): 28-32. (In Russian)
13. Zakharchuk A.I., Yashin S.A., Ryabkov V.I. Features of mass balance of unmanned civil aircraft in the second approximation priblizhenii. *Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye tekhnologii*. 2013; 58: 55-62. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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

