

Технология внесения пестицидов и удобрений беспилотными летательными аппаратами в цифровом сельском хозяйстве

Леонид Анатольевич Марченко,

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: marchenko1312@mail.ru;

Анатолий Алексеевич Артюшин,

член-корреспондент Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, ведущий специалист;

Игорь Геннадьевич Смирнов,

доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru;

Татьяна Васильевна Мочкова,

кандидат сельскохозяйственных наук, главный специалист, e-mail: naukavim@mail.ru;

Артем Юрьевич Спиридонов,

младший научный сотрудник, e-mail: artuom-spiridonov@yandex.ru;

Рашид Курбанович Курбанов,

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: celebra@outlook.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Цифровое сельское хозяйство предопределяет развитие роботизированных агротехнологий применения пестицидов и удобрений с использованием беспилотных авиационных систем, основу которых составляют беспилотные летательные аппараты с определенной полезной нагрузкой для мониторинга сельскохозяйственных угодий и внесения агрохимикатов. *(Цель исследований)* Разработать технологию дифференцированного внесения пестицидов и удобрений с помощью беспилотных летательных аппаратов в цифровом сельском хозяйстве. *(Материалы и методы)* В ходе работы использовали Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия (ВИМ), нормативно-техническую документацию на беспилотные авиационные системы. *(Результаты и обсуждение)* Показали, что разрабатываемая технология включает последовательное выполнение информационных и технологических операций в режимах off-line и on-line. Установили, что норма внесения рабочей жидкости пестицидов 10-20 литров на гектар сокращает потери вследствие сноса из зоны обработки и обеспечивает наибольшую производительность внесения пестицидов с применением беспилотных летательных аппаратов. Определили, что производительность обработки поля возрастает с повышением длины гона и уменьшается с увеличением нормы расхода рабочей жидкости. Выявили рациональные значения длины гона – 0,8-3,2 километра. Установили требования к качеству авиационного опрыскивания. Доказали, что для увеличения производительности беспилотных летательных аппаратов при подкормке растений необходимо использовать их с большой полезной нагрузкой – 300-400 килограммов. *(Выводы)* Разработали технологию дифференцированного внесения пестицидов и удобрений с помощью беспилотных летательных аппаратов, алгоритмы подготовки аппаратов к полету, мониторинга сельскохозяйственных угодий, создания ортофотоплана полей, электронных карт вегетационных индексов, фитосанитарного состояния посевов, дифференцированного внесения пестицидов и удобрений.

Ключевые слова: цифровое сельское хозяйство, точное земледелие, беспилотные летательные аппараты, пестициды, удобрения, дифференцированное внесение.

■ **Для цитирования:** Марченко Л.А., Артюшин А.А., Смирнов И.Г., Мочкова Т.В., Спиридонов А.Ю., Курбанов Р.К. Технология внесения пестицидов и удобрений беспилотными летательными аппаратами в цифровом сельском хозяйстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №5. С. 38-45. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-5-38-45.

Technology of Pesticides and Fertilizers Application with Unmanned Aerial Vehicles in Digital Agriculture

Leonid A. Marchenko,

Ph.D.(Eng.), key research engineer;

Anatoliy A. Artushin,

corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc.(Eng.), professor, leading specialist;

Igor G. Smirnov,

Dr.Sc.(Agr.), key research engineer;

Tatyana V. Mochkova,

Ph.D.(Agr.), chief specialist;

Artem Yu. Spiridonov,

junior research engineer;

Rashid K. Kurbanov,

Ph.D.(Eng.), key research engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation



Abstract. Digital agriculture predetermines the development of robotic agricultural technologies for the application of pesticides and fertilizers using unmanned aerial systems, which are based on unmanned aerial vehicles (UAVs) with a certain working load for monitoring agricultural land and applying agrochemicals. (*Research purpose*) To develop a technology for variable-rate application of pesticides and fertilizers using unmanned aerial vehicles in digital agriculture. (*Materials and methods*) In the process of study, the authors used the methodological recommendations on the application of chemicals in the precision farming system (offered by VIM), as well as the normative and technical documentation for unmanned aircraft systems. (*Results and discussion*) It was shown that the developed technology includes the sequential execution of information and technological operations in off-line and on-line modes. It was found that the application rate of the liquid pesticides of 10-20 liters per hectare reduces losses due to drift from the treatment area and ensures the highest productivity of pesticide application using unmanned aerial vehicles. It was determined that the field processing performance increases as the run length increases, and decreases with the increasing flow rate of the liquid chemical. The rational run length was established to equal 0.8-3.2 kilometers. The authors established requirements for the spraying quality of unmanned aerial vehicles. It was proved that to increase the productivity of unmanned aerial vehicles during plant top-dressing, it is necessary to use unmanned aerial vehicles with a larger working load of 300-400 kilograms. (*Conclusions*) The authors have developed a technology for variable-rate application of pesticides and fertilizers using unmanned aerial vehicles, algorithms for preparing them for flight, monitoring agricultural lands, making a field orthophotomap, electronic maps of vegetation indices, the phytosanitary status of crops, and variable-rate application of pesticides and fertilizers.

Keywords: digital agriculture, precision farming, unmanned aerial vehicles, pesticides, fertilizers, variable-rate application.

■ **For citation:** Marchenko L.A., Artushin A.A., Smirnov I.G., Mochkova T.V., Spiridonov A.Yu., Kurbanov R.K. Tekhnologiya vneseniya pestitsidov i udobreniy bespilotnymi letatel'nyimi apparatami v tsifrovom sel'skom khozyaystve [Technology of pesticides and fertilizers application with unmanned aerial vehicles in digital agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N5. 38-45 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-5-38-45.

В проекте «Цифровое сельское хозяйство», разработанном Минсельхозом РФ, поставлена задача превратить сельское хозяйство в высокотехнологичную отрасль, обеспечивающую население России высококачественным продовольствием на основе реализации цифровых технологий.

Цифровое сельское хозяйство требует более высокого уровня технического обеспечения, основанного на комплексах автоматических или дистанционно-управляемых беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для мониторинга агроценозов, управления агротехнологиями путем дифференцированного внесения пестицидов и удобрений. БЛА обеспечивают качественное внесение средств защиты растений и удобрений в оптимальные агротехнические сроки, при высокой влажности почвы, на сложных рельефах поля, горных склонах садов и виноградников, рисовых полях, в поздние периоды развития агроценозов, что минимизирует риски, связанные с недобором урожая и снижением его качества, убытками сельхозтоваропроизводителей. В то же время, несмотря на широкое применение в развитых странах мира точного земледелия, дифференцированное внесение удобрений и пестицидов осуществляется в основном наземной техникой.

По оценкам *J'son & Partners Consulting* основную долю беспилотных летательных аппаратов сельскохозяйственного назначения на мировом рынке в 2018 г. занимали мультикоптеры – 56% и дроны-планеры – 39%. При этом 69% БЛА используют для мониторинга сельскохозяйственных угодий и только 24% при-

меняют для внесения средств защиты растений и удобрений.

За последнее время отмечен рост производства российских БЛА в связи с увеличением спроса на них, переходом на импортозамещение в условиях санкций, бюджетным, грантовым и частным финансированием разработок беспилотной авиационной техники [1].

В сельскохозяйственном производстве России БЛА применяют в основном для мониторинга сельскохозяйственных и лесных угодий, создания электронных карт полей с определением нормализованного вегетационного индекса, прогноза урожайности, оценки фитосанитарного состояния посевов, экологического мониторинга, контроля объемов и качества выполнения сельскохозяйственных работ. Обоснованы основные параметры БЛА сельскохозяйственного назначения [2-4]. БЛА с полезной нагрузкой до 10 кг применяют для обработки посевов биологическими средствами защиты растений, в частности для внесения трихограммы, а также разбрасывания приманок для борьбы с полевыми грызунами. Для внесения удобрений и пестицидов требуются БЛА с полезной нагрузкой 80-400 кг.

Технологии точного земледелия требуют более высокого уровня технического обеспечения, основанного на программируемых, полностью автономно функционирующих или дистанционно управляемых беспилотных авиационных системах (БАС), содержащих комплексы автоматических или дистанционно управляемых БЛА для мониторинга агроценозов, управления агротехнологиями путем дифференци-

рованного внесения минеральных удобрений, пестицидов и других агрохимикатов [5-7].

Цель исследований – разработать технологию дифференцированного внесения пестицидов и удобрений беспилотными летательными аппаратами в цифровом сельском хозяйстве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Разработку проводили на основании Методических рекомендаций по применению средств химизации в системе точного земледелия (М.: ВИМ, 2016), нормативно-технической документации: ГОСТ Р 57258-2016. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения; ГОСТ 56122-2014. Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования; Циркуляра 328 ИКАО. Беспилотные авиационные системы (БАС); Правил 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».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Основу технологии дифференцированного внесения пестицидов и удобрений с использованием БЛА составляет беспилотная авиационная система (БАС), которая включает беспилотный авиационный комплекс (БАК), содержащий определенное число БЛА для мониторинга сельскохозяйственных угодий, внесения пестицидов, удобрений и других агрохимикатов, технические средства их транспортировки к полю, заправки рабочими жидкостями пестицидов и удобрений, взлетно-посадочные технические средства, устройства управления и связи с пунктом управления полетом и программное обеспечение. Отдельными модулями входят средства интеграции с другими

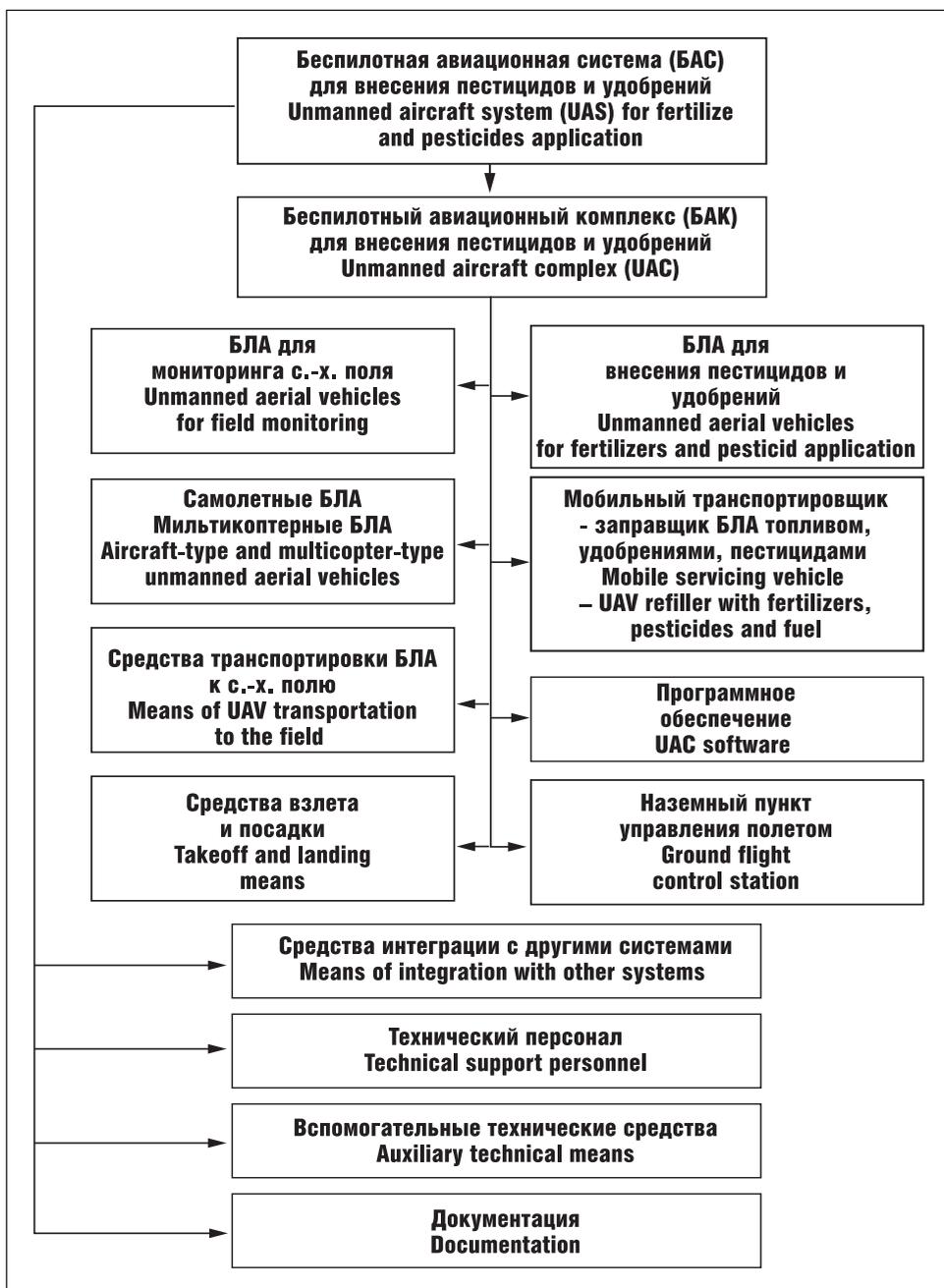


Рис. 1. Блок-схема беспилотной авиационной системы для внесения удобрений и пестицидов
 Fig. 1. Block diagram of an unmanned aircraft system for fertilizers and pesticides application

системами в воздушном пространстве, средства ремонта и технического обслуживания, вспомогательные средства, эксплуатационно-техническая документация и технический персонал (рисунки).

Для дифференцированного внесения средств защиты растений и удобрений предпочтительны БЛА многократного использования, безаэродромного базирования, с небольшой разбежкой для взлета или с 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.

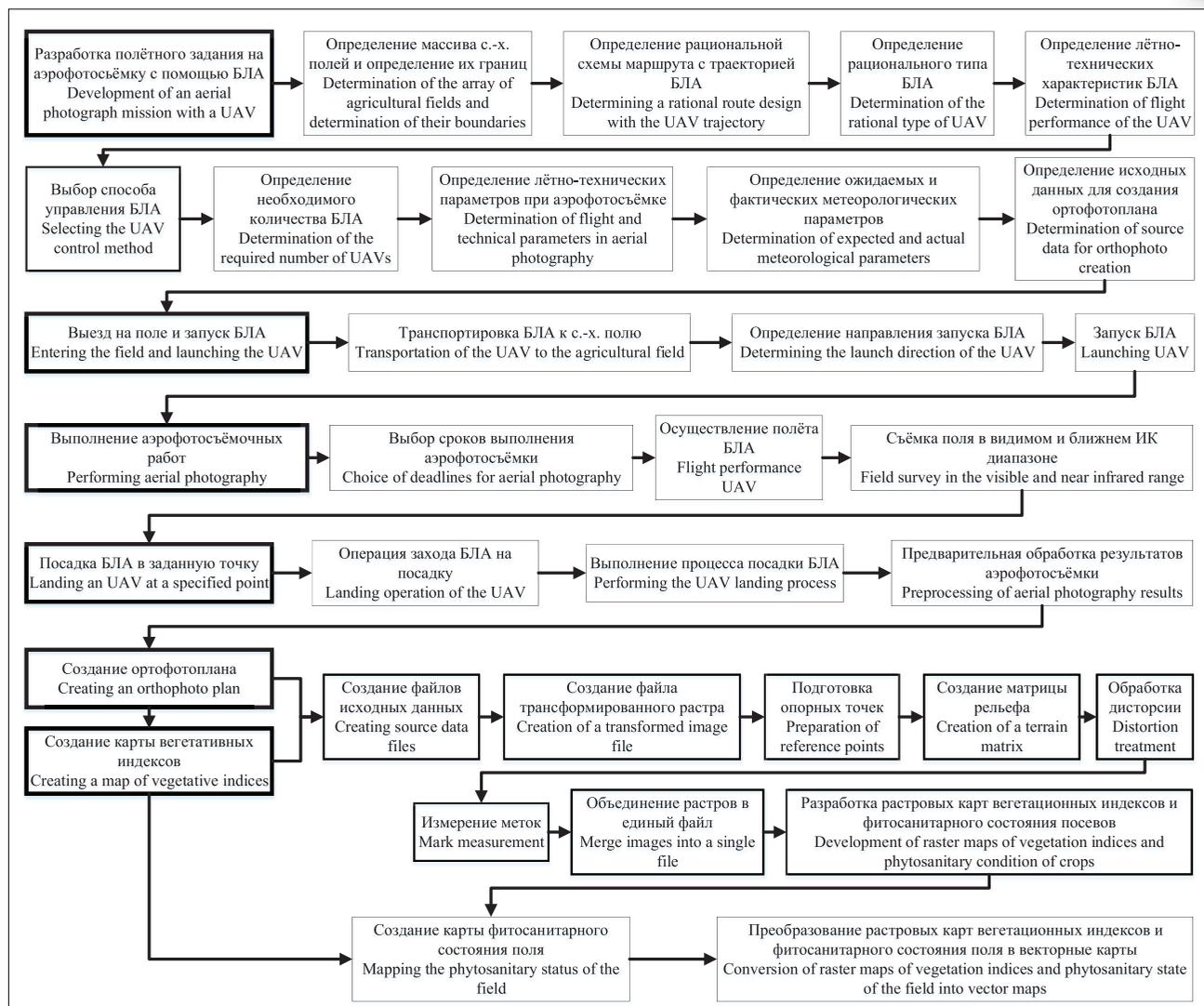


Рис. 2. Блок-схема основных операций по сбору исходной информации для дифференцированного внесения пестицидов и удобрений и разработки карт-заданий для БЛА
 Fig. 2. Block diagram of basic operations to collect initial information for differentiated application of pesticides and fertilizers and the development of task maps for UAVS

Технология дифференцированного внесения удобрений и пестицидов при возделывании сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия выполняется в режимах *off-line* и *on-line*.

Реализация технологической операции в режиме *off-line* предусматривает предварительную подготовку на стационарном компьютере карты-заданий на дифференцированное внесение пестицидов, удобрений и других агрохимикатов в виде электронной карты, где указывают их дозы для каждого выделенного и пространственно привязанного с помощью GPS-приемника элементарного участка поля.

Алгоритм разработки карт-заданий для дифференцированного внесения пестицидов и удобрений (представлен на рисунке 2) предусматривает:

- составление полетного задания на аэрофотосъемку, включающего определение массива сельскохозяйственных полей и их границ, выбор сроков выполнения

аэрофотосъемки, рациональную схему маршрута БЛА с траекторией полета, выбор рационального типа БЛА с необходимыми лётно-техническими характеристиками для аэрофотосъемки при создании ортофотоплана, количество БЛА в полете, способ управления БЛА, ожидаемые и фактические метеорологические параметры;

- транспортировку БЛА к сельскохозяйственному полю, определение направления запуска БЛА и его непосредственный запуск;

- выполнение аэрофотосъёмочных работ, состоящих из полета комплекса БЛА по заданным траекториям и осуществление съёмки поля в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне;

- посадку БЛА в заданную точку, включающую заход БЛА на посадку;

- разработку ортофотоплана, включающую предварительную обработку результатов аэрофотосъемки, создание файлов входных данных и файлов транс-

формированного раstra, подготовку опорных точек, создание матрицы рельефа, обработку дисторсии, измерение меток, объединение растров в единый файл;

- создание карты вегетационных индексов, предусматривающее разработку растровых карт вегетационных индексов и фитосанитарного состояния посевов и их преобразование в векторные соответствующего назначения.

Алгоритм технологического процесса дифференцированного внесения пестицидов и удобрений с применением БЛА включает разработку полетного задания, предполетную подготовку, взлет, программируемый полет БЛА с внесением рабочих жидкостей пестицидов или удобрений, посадку БЛА в заданную точку.

Полетное задание содержит выбор рационального типа БЛА с заданной полезной нагрузкой для внесения пестицидов и удобрений, регистрационный номер БЛА, дату полета, маршрут полета (траекторию при обработке каждого сельскохозяйственного поля) и его регистрацию, электронную карту-задание на обработку пестицидами и внесение удобрений с координатами участков поля, реперные точки начала полета, участков разворота, рабочую скорость и высоту полета.

Предполетная подготовка БЛА предусматривает доставку БЛА, вспомогательных технических средств, топлива, удобрений, пестицидов к месту начала работы, подготовку модуля опрыскивания и бортового оборудования БЛА к полету, заправку соответствующих емкостей топливом, рабочими жидкостями пестицидов или удобрений, мониторинг метеоусловий, загрузку в автопилот электронной карты-задания на полет, установку БЛА на исходную позицию, запуск двигателя.

Технологическая операция дифференцированного внесения пестицидов и удобрений включает взлет БЛА, набор высоты, подлет к реперной точке, установление заданных параметров полета (высоты, скорости, стабилизации углов ориентации), программируемый полет по заданной траектории, внесение рабочей жидкости пестицидов или удобрений, контроль параметров полета и нормы внесения рабочей жидкости, контроль уровня топлива и расхода рабочей жидкости, посадку БЛА к месту заправки топливом и рабочей жидкостью.

Режим *on-line* предполагает только предварительную разработку агротехнических требований для заданной операции – количественную зависимость дозы удобрений от показаний, установленных на БЛА оптических датчиков.

В режиме *on-line* дозы внесения удобрений БЛА по элементарным участкам определяются бортовым компьютером непосредственно во время выполнения технологического процесса на основании показаний датчиков, установленных на БЛА, и агротехнических требований (количественных зависимостей дозы от показаний датчиков), заложенных предварительно в

программу бортового компьютера. Этот режим внесения удобрений используют при подкормке растений азотными удобрениями в период их вегетации на зерновых культурах, начиная с фазы начала выхода в трубку.

Из поставляемых сельскому хозяйству азотных удобрений наиболее эффективными и технологичными для применения в точном земледелии считаются жидкие азотные удобрения – карбамид-аммиачная смесь (КАС, ТУ 113-03-629-90), содержащая три формы азота (аммонийную, нитратную и амидную), что обеспечивает пролонгированное питание растений. При активной вегетации азот, внесенный в форме КАС, усваивается растениями быстрее (в течение 2-6 ч), чем при использовании твердых азотных удобрений (2-6 сут.) [8].

Азотные удобрения вносят под озимые зерновые культуры (пшеницу, рожь, тритикале), размещенные по занятым парам и непаровым предшественникам до посева (основное внесение). Дозы азота составляют 20-30 кг/га, с учетом показателей почвенной диагностики минерального азота. Практикуется также поздняя осенняя некорневая подкормка (доза азота – 20-30 кг/га) по данным диагностики состояния посевов.

Первую весеннюю подкормку проводят в фазу кущения озимых культур. Дозы азота составляют 60-70 кг/га (по данным почвенной и растительной диагностики). Подкормку растений проводят с целью ускорения отрастания посевов для усиления мощности кущения в максимально сжатые сроки (не более 10 дней), так как при более поздних сроках подкормки формируются непродуктивные боковые побеги, которые не успевают созреть до уборки урожая.

Вторую подкормку проводят в фазу начала выхода в трубку, когда закладывается основной потенциал урожайности озимых зерновых культур (длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна одного колоса). Рекомендуемые дозы азота по результатам растительной диагностики – 35-40 кг/га.

Третью подкормку проводят в фазу выхода в трубку для получения высокой урожайности зерна. Оптимальная доза – 20-25 кг азота на 1 га.

Четвертая подкормка озимых зерновых совпадает с фазой колошения, когда синтез белковых веществ в зерне протекает в результате реутилизации азота из вегетативных органов, поскольку в почве к этому сроку остаются только следы минерального азота.

Азотные удобрения при возделывании яровых зерновых культур вносят весной под предпосевную культивацию (основное внесение) в дозах 60-70 кг азота на 1 га (2/3 нормы) по результатам почвенной диагностики содержания минерального азота. Первую подкормку проводят в фазу начала выхода в трубку (1 узел), средняя доза азота составляет 20-40 кг/га по результатам растительной диагностики. Вторую подкормку яровых зерновых культур планируют в фазу вы-

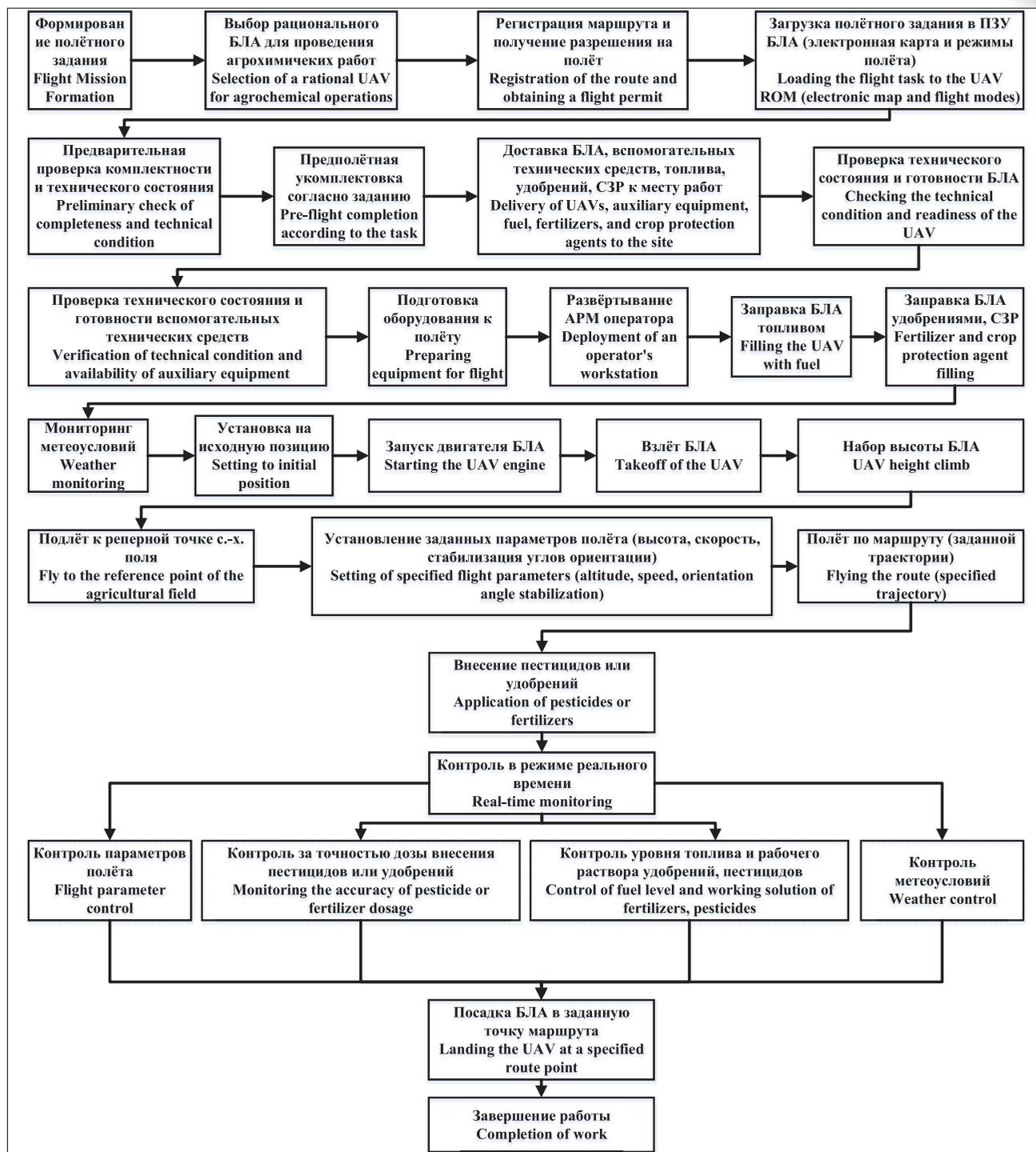


Рис. 3. Блок-схема алгоритма подготовки беспилотного летательного аппарата к полету и дифференцированного внесения удобрений и пестицидов

Fig. 3. Block diagram of the algorithm for preparing an unmanned aerial vehicle for flight and differentiated application of fertilizers and pesticides

хода в трубку в дозах 30-40 кг азота на 1 га. Для повышения содержания белка в зерне рекомендуется проводить некорневую подкормку в фазу колошения. Дозы в соответствии с результатами тканевой диагностики составляют 15-20 кг азота на 1 га.

При второй и последующих подкормках озимых и яровых зерновых культур для предотвращения ожо-

гов растений КАС разводят водой в соотношении 1:2 или 1:3 в фазу колошения, либо используют 10%-ный раствор мочевины в фазу выхода в трубку и 30%-ный раствор в фазы колошения – начала цветения [8].

С использованием БЛА можно вносить микроудобрения, регуляторы роста растений при расходе рабочей жидкости 20-50 л/га.

Определены основные параметры технологических процессов дифференцированного внесения удобрений и пестицидов с помощью БЛА и требования к качеству авиационного опрыскивания:

- нормы внесения рабочих жидкостей азотных удобрений 50-200 л/га с дискретностью доз 25-40 л/га, пестицидов – 10-20 л/га с дискретностью доз 5 л/га;
- отклонение фактической дозы рабочей жидкости от заданной – не более 5%;
- диапазон медианно-массовых диаметров в спектре распыла при внесении инсектицидов и фунгицидов – 80-120 мкм, гербицидов – 150-300 мкм, удобрений 700-1500 мкм;
- неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата – не более 10%;
- снос рабочих жидкостей за пределы обрабатываемого участка – не более 10%;
- время установки заданной дозы на границах выделенных участков площадью 0,5 га при рабочей ширине захвата 5 м и скорости полета 40 км/ч – не более 4,5 с;
- рабочая скорость полета – 40-70 км/ч;
- высота полета при внесении удобрений и пестицидов – 0,5-1,5 м;
- точность позиционирования на границах, выделенных на карте-задании участков поля, – 0,1 м.

Производительность БЛА при обработке сельскохозяйственного поля в летный час в первом приближении является функцией летно-технических и технологических параметров:

$$W = f(G, H, \rho, B_p, V_p, L_r, L_n, T_{вп}, T_{раз}, T_n),$$

где W – производительность БЛА;

- G – полезная нагрузка;
- H – норма внесения рабочей жидкости;
- ρ – плотность рабочей жидкости;
- B_p – рабочая ширина внесения;
- V_p – скорость полета;
- L_r – длина гона сельскохозяйственного поля;
- L_n – расстояние перелета с одного поля на другое;
- $T_{вп}$ – время на взлет и посадку;
- $T_{раз}$ – время разворота при заходе на очередной гон;
- T_n – время подготовки на очередной полет.

Установлено, что норма внесения рабочей жидкости пестицидов 10-20 л/га сокращает потери вследствие сноса из зоны обработки и обеспечивает наибольшую производительность внесения пестицидов с применением БЛА. Производительность обработки сельскохозяйственного поля БЛА возрастает с повышением длины гона и уменьшается с увеличением нормы расхода рабочей жидкости. Рациональные значения длины гона, обеспечивающие незначительное изменение производительности БЛА в установленных пределах, составляют 0,8-3,2 км. При некорневой подкормке растений, в частности растворами азотных удобрений, нормы внесения увеличиваются до 200 л/га, что вызывает снижение производи-

сти БЛА более чем в 2 раза. Для увеличения производительности БЛА при подкормке растений необходимо использовать БЛА с большой полезной нагрузкой – 300-400 кг.

Для реализации технологии на базе государственно-частного партнерства ФНАЦ ВИМ, АО «Камов» и ООО «Гироплан-РУС» разработали беспилотную авиационную систему БАС-137 ВИМ на базе беспилотного воздушного судна БВС-137 ВИМ соосной схемы (взлетная масса 280 кг, полезная нагрузка 80 кг) и БЛА на базе гироплана (взлетная масса 750 кг, полезная нагрузка до 400 кг) для дифференцированного внесения пестицидов и удобрений.

Расчеты показывают, что технология внесения пестицидов и удобрений с помощью БЛА в системе точного земледелия повышает урожайность сельскохозяйственных культур до 20%, окупаемость минеральных удобрений – в 1,5-1,8 раза, уменьшает нормы внесения пестицидов – на 20-50% и, как следствие, снижает экологическую нагрузку на окружающую среду.

Выводы. Технология дифференцированного внесения пестицидов и удобрений с применением беспилотных летательных аппаратов в цифровом сельском хозяйстве включает последовательное выполнение в режимах *off-line* и *on-line* информационных и технологических операций формирования банка данных внутрипольной неоднородности плодородия каждого элементарного участка, фитосанитарного состояния посевов, составляемого на основе дистанционного мониторинга почвы и агроценозов с помощью БЛА, для получения программируемой урожайности с учетом ограничений и допустимых рисков, создания электронной карты-задания на применение удобрений и пестицидов и их дифференцированного внесения с использованием беспилотной авиационной системы, состоящей из определенного числа БЛА с необходимой и достаточной полезной нагрузкой для мониторинга сельскохозяйственных угодий, внесения пестицидов, удобрений и других агрохимикатов, мобильных технических средств транспортировки БЛА к сельскохозяйственному полю, заправки их рабочими жидкостями пестицидов и удобрений, взлетно-посадочных технических средств, устройств управления и связи.

Представлены алгоритмы подготовки БЛА к полету, мониторинга сельскохозяйственных угодий, создания ортофотопланов полей, электронных карт вегетационных индексов и фитосанитарного состояния посевов, дифференцированного внесения пестицидов и удобрений.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2018. №9. С. 1-19.
2. Марченко Л.А., Мочкова Т.В., Курбанов Р.К., Краснобородко В.В. Основные требования к беспилотным летательным аппаратам для внесения удобрений и пестицидов // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №4(33). С. 107-112.
3. 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.
4. Спиридонов А.Ю., Курбанов Р.К. Обоснование параметров беспилотного летательного аппарата для дифферен-

цированного внесения трихограммы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №4(33). С. 101-106.

5. 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.

6. Марченко Л.А., Смирнов И.Г., Личман Г.И., Мочкова Т.В., Колесникова В.А. Дифференцированное внесение пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. №4. С. 17-23.

7. Михайленко И.М. Беспилотная малая авиация в сельском хозяйстве // *Агрофизика*. 2015. №2. С. 16-24.

8. Семенов Н.Н. Прогрессивные системы применения азотных удобрений. Минск: Хата. 2003. 162 с.

REFERENCES

1. Kuznetsov G.A., Kudryavtsev I.V., Krylov Ye.D. Retrospektivnyy analiz, sovremennoe sostoyanie i tendentsii razvitiya otechestvennykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Retrospective analysis, current status, and development trends of domestic unmanned aerial vehicles]. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii*. 2018. №9. 1-19 (In Russian).
2. Marchenko L.A., Mochkova T.V., Kurbanov R.K., Krasnoborod'ko V.V. Osnovnye trebovaniya k bespilotnym letatel'nykh apparatam dlya vnesheniya udobreniy i pestitsidov [Basic requirements for unmanned aerial vehicles for applying fertilizers and pesticides]. *Vestnik VIESH*. 2018. №4(33). 107-112 (In Russian).
3. 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 (In English).
4. Spiridonov A.Yu., Kurbanov R.K. Obosnovanie parametrov bespilotnogo letatel'nogo apparata dlya differentsirovannogo vnesheniya trikhogrammy [Determination of the parameters of

an unmanned aerial vehicle for variable-rate introduction of trichograms]. *Vestnik VIESH*. 2018. №4(33). 101-106. (In Russian)

5. 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).

6. Marchenko L.A., Smirnov I.G., Lichman G.I., Mochkova T.V., Kolesnikova V.A. Differentsirovannoe vneshenie pestitsidov s ispol'zovaniyem bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Variable-rate application of pesticides by means of unmanned aerial vehicles]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. Vol. 11. №4. 17-23 (In Russian).

7. Mikhaylenko I.M. Bespilotnaya malaya aviatsiya v sel'skom khozyaystve [Use of unmanned small aircraft in agriculture]. *Agrofizika*. 2015. №2. 16-24 (In Russian).

8. Semenenko N.N. Progressivnye sistemy primeneniya azotnykh udobreniy [Advanced nitrogen fertilizer application systems]. Minsk: Khata. 2003. 162 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 01.11.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 01.11.2019

Статья принята к публикации 29.11.2019
The paper was accepted
for publication on 29.11.2019