

УДК 631.133.6

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-17-23

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ПЕСТИЦИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Марченко Л.А.*,
канд. техн. наук;
Личман Г.И.,
докт. техн. наук;

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

Колесникова В.А.,
канд. техн. наук

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

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве является инновацией для России и имеет большой потенциал, особенно при реализации задач точного земледелия. Рассмотрены направления использования БПЛА в сельском хозяйстве. Показано, что для дифференцированного внесения удобрений и пестицидов наиболее целесообразно использовать БПЛА вертолетного и винтокрылого типов, летающие на малых скоростях (30-40 км/ч) и небольших высотах (0,5-1,5 м) с большой полезной нагрузкой (300-400 кг), поскольку они наиболее полно соответствуют экологическим и природоохранным требованиям и обеспечивают безопасность функционирования современных систем «человек – машина». Разработаны основные требования к качеству выполнения технологической операции по дифференцированному внесению удобрений и пестицидов с помощью беспилотных летательных аппаратов: нормы внесения рабочих жидкостей удобрений 50-200 л/га с дискретностью доз 10-15 кг д.в./га (25-40 л/га), пестицидов – 10-20 л/га с дискретностью доз 5 л/га, медианно-массовый диаметр капель – 250-300 мкм, неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата – не более 15 процентов, снос рабочих жидкостей за пределы обрабатываемого участка – не более 20 процентов, время установки заданной дозы на границах выделенных участков – не более 1,1 с; рабочая скорость полета – не более 40 км/ч, высота полета при внесении удобрений и пестицидов – 1,0-1,5 м.

Ключевые слова: точное земледелие, беспилотные летательные аппараты, почвенное плодородие, фитосанитарное состояние посевов, внутриапольная вариабельность, дифференцированное внесение удобрений и пестицидов.

■ **Для цитирования:** Марченко Л.А., Личман Г.И., Смирнов И. Г., Мочкова Т.В., Колесникова В.А. Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №3. С. 17-23

VARIABLE RATE APPLICATION OF FERTILIZERS AND PESTICIDES USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Marchenko L.A.*,
Ph.D.(Eng.);
Lichman G.I.,
D.Sc.(Eng.);

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

Kolesnikova V.A.,
Ph.D.(Eng.)

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

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in agriculture is an innovation for Russia and has great potential, especially when implementing the tasks of precision farming. The directions of using UAV in agriculture are considered. It is shown that for the differentiated application of fertilizers and pesticides, it is most expedient to use UAVs of helicopter and rotary-wing type flying at low speeds (30-40 km/h) and low altitudes (0.5-1.5 m) with a large payload (300-400 kg), as they most fully meet ecological and environmental requirements and ensure the safety of modern human-machine systems. The basic requirements to the quality of the technological operation for the variable rate application of fertilizers and pesticides with the help of unmanned aerial vehicles have been developed: the rate of application of fertilizer working fluids 50-200 l/ha

with a discreteness of doses of 10-15 kg active fraction per hektar (25-40 l/ha), pesticides –10-20 l/ha with discreteness of 5 l/ha, median mass diameter of droplets – 250-300 mkm, uneven distribution of working fluid over the operating width is no more than 15 percent, demolition of working fluids outside the treated area is no more than 20 percent, time of control index setting at the boundaries of the allocated plots is no more than 1.1 s; operating speed of the flight is not more than 40 km/h, the altitude of the flight when applying fertilizers and pesticides equals 1.0-1.5 m.

Keywords: Precision agriculture; Unmanned aerial vehicles; Soil fertility; Phytosanitary state of crops; Intrafield variability; Variable rate application of fertilizers and pesticides.

For citation: Marchenko L.A., Lichman G.I., Smirnov I.G., Mochkova T.V., Kolesnikova V.A. Variable rate application of fertilizers and pesticides using unmanned aerial vehicles. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 17-23. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-17-23. (In Russian)

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве для России имеет большой потенциал. С каждым годом интерес к их использованию растет, особенно при реализации задач точного земледелия [1-3].

В настоящее время БПЛА широко используют для получения оперативной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий: оценки состояния биомассы растений по нормализованному вегетационному индексу (*NDVI*), распознавания ареалов распространения болезней и вредителей культурных растений, оценки эродированности и влажности почвы, содержания в ней основных питательных элементов, состояния почвенного покрова (изреженность посевов после перезимовки, их полнота, фазы развития растений). Съемка наземного покрова с использованием БПЛА – наиболее дешевая и оперативная альтернатива использованию спутников при проведении картографирования и мониторинга почв и посевов на уровне отдельных полей, поскольку обеспечивает высокое пространственное разрешение и возможность подоблачной съемки. Кроме того, применяемые для мониторинга сельскохозяйственных земель специализированные БПЛА (Геоскан101, Птеро-СМ, Supercam S350f, Trimble UX5, Геоскан200) не требуют взлетно-посадочных полос, взлетая с катапульты или с руки оператора и приземляясь на парашютной основе в отличие от аппаратов самолетного типа [4, 5].

Существующие технологии дифференцированного внесения удобрений и химических средств защиты растений в системе точного земледелия осуществляют как правило наземной техникой. Предназначенные для этого машины невозможно использовать при повышенной влажности почвы, на сложных рельефах поля, горных склонах, в поздние периоды роста и развития зерновых и высокостебельных культур (кукуруза, подсолнечник, рапс) и в сжатые агротехнические сроки из-за низкой производительности, что приводит к рискам, связанным с недобором урожая и снижением его качества, убыткам сельхозтоваропроизводителей.

В этой связи особую актуальность приобретает использование БПЛА не только для составления карт-заданий, но и для дифференцированного внесения удобрений и пестицидов в системе точного земледелия.

Цель исследований – обосновать оптимальные параметры технологии и режимы работы устройства для дифференцированного внесения минеральных удобрений и пестицидов с помощью БПЛА в системе точного земледелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Выбор и обоснование основных параметров технологии дифференцированного внесения удобрений и пестицидов проведены на основании Федерального регистра технологий производства продукции растениеводства (система технологий) и Методических рекомендаций по применению средств химизации в системе точного земледелия [6-8]. Время установки заданной дозы внесения рабочей жидкости удобрений на границе выделенных участков в соответствии с картой-заданием определяли путем взвешивания улавливающих поверхностей, расположенных на границах участков до и после прохождения опытного образца машины для дифференцированного внесения агрохимикатов на заданном участке поля.

Результаты и обсуждение. При дифференцированном внесении удобрений и пестицидов в режиме *off-line* карту-задание на выполнение технологической операции вводят в бортовой компьютер, который с помощью навигационного оборудования определяет местоположение машины-удобрителя на поле и в соответствии с информацией, содержащейся в карте-задании, определяет норму внесения рабочей жидкости удобрения, рассчитанную с учетом пространственной неоднородности почвенного плодородия на каждом выделенном участке поля, и передает команду на исполнительные механизмы, осуществляющие дозирование и внесение удобрений. Этот процесс происходит с некоторой задержкой и как следствие приводит к несоответствию заданной дозы внесения и фактической. В соответствии с агротехническими требованиями отклонение фактической дозы внесения от

заданной не должно превышать 10%, то есть:

$$\frac{D_{\text{факт.}} - D_{\text{зад.}}}{D_{\text{зад.}}} \cdot 100 \leq 10\%, \quad (1)$$

где $D_{\text{факт.}}$ – фактическая доза внесения рабочей жидкости, л/га;

$D_{\text{зад.}}$ – заданная доза внесения рабочей жидкости, л/га.

Однако неоднократное изменение дозы внесения удобрений по ходу движения агрегата усложняет выполнение указанной задачи, так как в момент перехода с одной дозы на другую в соответствии с картой-заданием неравномерность внесения удобрений увеличивается, что снижает прибавку урожая от удобрений на плодородных почвах на 35-45% [9-10].

Устранить несоответствие фактических доз внесения удобрений карте-заданию, обусловленное запаздыванием или опережением начала поступления удобрений дозой на i -й участок, можно путем корректирования размещения приемника сигналов ГЛОНАСС или GPS на агрегате.

Месторасположение приемника сигналов следует рассчитывать по формуле:

$$L_{\text{прием.}} = L_a - v_a t_3, \quad (2)$$

где $L_{\text{прием.}}$ – величина смещения приемника сигналов относительно передней линии трактора, м;

L_a – общая длина трактора и посевной машины, м;

v_a – скорость движения агрегата, км/ч.

t_3 – время запаздывания, ч.

Разработанный алгоритм может быть использован при разработке программного обеспечения контроля и управления работой устройств для дифференцированного внесения удобрений и других средств химизации наземной техникой и летательными аппаратами, работающими в системе *off-line*.

Время задержки установки дозы складывается из времени получения бортовым компьютером данных GPS (считывание сигнала GPS), определения положения машины на карте внесения, подачи на контроллер сигнала о требуемой норме расхода рабочей жидкости на данном участке поля, перенастройки рабочих органов дозирования и внесения удобрений.

При дифференцированном внесении удобрений в режиме *on-line* время установки заданной дозы складывается из времени сканирования сенсорными датчиками растительного покрова, передачи показаний и их обработки в соответствии с тарифовочными графиками для заданной культуры в принятом программном обеспечении, выдачи контроллеру опрыскивателя значения нормы внесения рабочей жидкости удобрений или пестицидов.

Исследования показали, что время перенастройки дозирующего аппарата машины для диф-

ференцированного внесения твердых удобрений с одной дозы на другую при средней дозе внесения 60-90 кг д.в./га составляет 2-3 с.

По зарубежным данным, точное внесение заданных доз рабочих жидкостей удобрений на выделенных картой-заданием участках обеспечивается машиной для дифференцированного внесения удобрений при скорости 3 м/с (10,8 км/ч) [11-13].

При дифференцированном внесении твердых удобрений отклонение фактической дозы от заданной зависит не от конструкции туковывсевающего аппарата, а от значения минимальной на двух смежных участках дозы внесения и величины ее изменения на их границе. Результаты исследований показали, что отклонение дозы не превысит 10% при условии, если изменение дозы при переходе с одной дозы на другую на границе участков не превышает величину, равную 0,222 от минимальной дозы на одном из этих участков [14].

Время установки заданной дозы рабочей жидкости удобрений и пестицидов зависит от способов ее дозирования. Так, в машинах с системами прямого внесения пестицидов, когда заданный препарат впрыскивается в систему подачи воды, время задержки колеблется от 15 до 55 с [15]. Для сокращения указанного времени созданы 3-камерные опрыскиватели для различных рабочих жидкостей или пестицидов, в управлении которых задействованы 3 бортовых компьютера и 3 контроллера [15, 16].

Время задержки установки заданной дозы рабочей жидкости, регулируемой путем изменения рабочего давления, составляет 2,35 с в связи с запаздыванием сигнала GPS и действий контрольного клапана [15].

Существуют различные способы классификации влияния задержки на отклик системы. Согласно исследованиям, время отклика определяется временем, затрачиваемым для перехода от 10 до 90% заданного значения дозы. Точность внесения заданной дозы обратно пропорциональна времени отклика [13].

Результаты проведенных нами исследований показали, что время установки заданной дозы внесения рабочих жидкостей опытным образцом машины для дифференцированного внесения удобрений на границах выделенных участков поля не превышает 2 с при скорости движения 8 км/ч (рис. 1). Площадь переходной зоны составляет 96 м² при ширине захвата агрегата 24 м. Следовательно, для дифференцированного внесения агрохимикатов с помощью БПЛА с рабочей скоростью полета 30-40 км/ч и шириной захвата 8 м необходимо использовать быстродействующие электрогидравлические клапаны, обеспечивающие установку заданных доз на границах смежных участков за время не

более 1,1 с.

Погрешность установки заданной дозы на границах выделенных картой-заданием участков, зависит от точности работы GPS-системы в динамических условиях, высоты обработки, скорости полета, скорости и направления ветра, времени установленного для компенсации запаздывания GPS-антенны, и реагирования гидравлической системы [13-15]. Причем на границе смежных участков средняя ошибка места осаждения капель составила 5,1

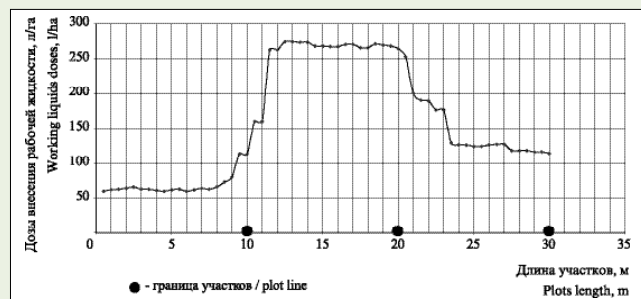


Рис. 1. Изменение доз внесения рабочих жидкостей удобрений опытным образом машины для дифференцированного внесения агрохимикатов

Fig. 1. Change in the doses of application of fertilizer working liquids by prototype of the machine for differentiated application of agrochemicals

м, средняя погрешность установки дозы – 3,04% при изменении доз от 28 до 56 л/га [13].

Средние дозы внесения жидких азотных удобрений (КАС) и жидких комплексных удобрений (ЖКУ) под зерновые культуры в основное внесение, под предпосевную культивацию в основных зерносеющих регионах страны составляют 60-90 кг д.в./га, то есть 150-230 л/га указанных удобрений плотностью 1,3 кг/см³. Средняя разовая доза внесения КАС в первую ранневесеннюю подкормку зерновых культур составляет не более 45 кг N на 1 га.

Следовательно, при внесении КАС без разбавления вместимость бака БПЛА должна быть не менее 150 л, при разбавлении 1:1 – не менее 300 л.

Во избежание ожогов растений зерновых культур в последующие фазы развития, а в отдельных случаях и в фазу кушения, некорневые подкормки КАС производят менее концентрированными растворами (при разбавлении водой 1:2 или 1:3). Для внесения средней дозы азота в эти фазы, равной 30 кг/га, необходимо, соответственно, 200 или 300 л рабочей жидкости [17, 18].

При внесении пестицидов, разрешенных к применению с помощью авиации, расход рабочей жидкости должен составлять 20-50 л/га. Следовательно, вместимость бака для рабочих жидкостей, равная 200 л, вполне достаточна для производительной работы БПЛА.

Известно, что производительность обработки

посевов летательными аппаратами зависит от норм внесения рабочей жидкости, полезной нагрузки и рабочей скорости полета. Мы установили зависимость площади обработки от норм внесения рабочих растворов при различных значениях грузоподъемности летательного аппарата (рис. 2).

Следовательно, для обеспечения высокой производительности дифференцированного внесения удобрений и пестицидов необходимо использовать БПЛА с полезной нагрузкой не менее 300-400 кг.

Скорость полета БПЛА вертолетного типа не должна превышать 40 км/ч. Иначе увеличивается снос мелких капель рабочей жидкости из зоны обработки, то есть исчезают его преимущества по сравнению с самолетом в характере осаждения об-

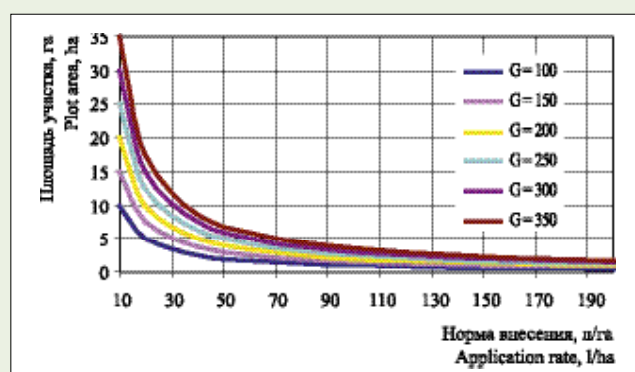


Рис. 2. Зависимость площади обработанного поля от нормы внесения рабочей жидкости удобрений при различных значениях грузоподъемности летательного аппарата

Fig. 2. Dependence of the area of the treated field on the application rate of working fluid of fertilizers at various values of carrying capacity of the aircraft

разующегося облака рабочей жидкости [19].

При переходе на методологию точного земледелия для каждой планируемой технологической операции внесения удобрений следует определить число градаций доз. Ограничительными уровнями при определении градаций доз внесения удобрений являются способность ее достоверно влиять на урожайность возделываемых культур и величина затрат на исполнение технологической программы при перенастройке органов машины перед каждым переходом на последующий выделенный элементарный участок. Увеличение числа градаций приводит к повышению числа контуров и затрат на получение необходимой информации об их почвенном плодородии.

Анализ результатов полевых опытов Географической сети в Нечерноземной зоне по основным культурам (из зерновых – по озимой пшенице и ячменю, из пропашных – по картофелю и сахарной свекле) показывает, что прибавка урожая на каждые 10 кг д.в. удобрения колебалась в определенных пределах (таблица).

В пределах допустимого 10%-ного уровня точности проводимых опытов, а также в соответствии с агротехническими требованиями к внесению жидких минеральных удобрений возможно установить градацию доз для дифференцированного применения в следующих размерах:

для зерновых – 10 кг N , 15 кг P_2O_5 и 15 кг K_2O ;

для картофеля и сахарной свеклы – 20 кг N , 20 кг P_2O_5 и 20 кг K_2O .

Table		Таблица	
ПРИБАВКА УРОЖАЯ НА КАЖДЫЕ 10 КГ Д.В. УДОБРЕНИЯ, % HARVEST INCREASE ON EACH 10 KG OF ACTIVE INGREDIENT OF FERTILIZERS, %			
Культуры / Crop	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница Winter wheat	3,4-4,9	1,2-3,0	1,2-3,3
Ячмень Barley	1,7-5,0	1,3-2,1	0,4-2,1
Картофель Potatoc	1,2-1,8	0,9-1,6	0,5-1,5
Сахарная свекла Sugar beet	0,7-1,8	0,6-1,9	0,5-1,5

Установленная дискретность доз азотных удобрений согласуется с результатами исследований эффективности азотных удобрений в 582 краткосрочных полевых опытах с районированными сортами пшеницы, возделываемой по фосфорно-калийному фону (40-60 РК) [20].

Проведен анализ факторов, влияющих на качество внесения удобрений с помощью авиации. Качество распределения рабочих жидкостей при авиационно-химических работах в силу особенностей процесса формирования и осаждения волны веществ в поле индуктивных скоростей воздушного судна зависит прежде всего от выбора рациональных технологических параметров обработок (скорости и высоты полета, расхода рабочих жидкостей, диспергирования, выбора и размещения форсунок) в соответствии с внешними условиями. Главное отличие авиационного опрыскивания от наземного заключается в повышенном сносе мелких капель рабочей жидкости за пределы обрабатываемого поля из-за большой высоты полета и из-за влияния образующихся аэродинамических возмущений. При этом превышение ПДК действующего вещества пестицида в приземном слое атмосферы в зависимости от скорости боковой составляющей ветра может достигать от нескольких сотен метров до нескольких километров [21]. Руководством по авиационным работам ИКАО установлено, что величина сноса агрохимикатов ветром служит главным критерием выбора воздушных судов в целом и вертолетов в частности для их использования в сельскохозяйственных авиационных работах [22].

В соответствии с СанПиН «Гигиенические тре-

бования к безопасности процессов испытаний, хранения, перевозки, реализации, применения, обезвреживания и утилизации пестицидов и агрохимикатов» обработку полей с использованием авиации проводят при скорости ветра не более 4 м/с. Высота полета при авиационно-химических работах регламентируется Федеральными авиационными правилами «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации» и составляет при обработке участков (полей, садов, виноградников и т.п.) в равнинной местности не ниже 5 м, а над верхушками отдельных деревьев леса не ниже 10 м. Установлено, что при предельно допустимых для внесения средств защиты растений значениях метеоусловий критический размер полностью испарившихся капель может достигать 120 мкм при авиаопрыскивании с высоты полета 5 м. В этой связи с технологических позиций минимизации непроизводительных потерь пестицидов и удобрений от сноса и испарения при авиационном способе внесения необходимо использовать БПЛА, оснащенные пилотажно-навигационными комплексами для низковысотного полета, обеспечивающими автоматический полет летательного аппарата на всех режимах, безопасный полет на высоте 1,0-1,5 м с огибанием рельефа сельскохозяйственного поля, уход от возможных препятствий, поддержание связи с наземной системой контроля и управления, а также с другими летательными аппаратами в рамках самоорганизующейся mesh-сети, управление полезной нагрузкой в режиме реального времени с дифференциацией норм внесения и монодисперсным распылом рабочей жидкости с диаметром капель не менее 250-300 мкм.

Выводы

Анализ типоразмеров и летно-технических характеристик беспилотных летательных аппаратов показывает, что для дифференцированного внесения удобрений и пестицидов наиболее целесообразно использовать БПЛА вертолетного и винтокрылого типов, летающие на малых скоростях (30-40 км/ч) и небольших высотах (1,0-1,5 м) с большой полезной нагрузкой (300-400 кг). Они наиболее полно удовлетворяют экологическим и природоохранным требованиям и обеспечивают безопасность функционирования современных систем «человек – машина».

Разработаны основные требования к качеству выполнения технологической операции по дифференцированному внесению удобрений и пестицидов с помощью БПЛА: нормы внесения рабочих жидкостей удобрений 50-200 л/га с дискретностью доз 10-15 кг д.в./га (25-40 л/га), пестицидов – 10-20 л/га с дискретностью доз 5 л/га, медианно-массовый диаметр капель – 250-300 мкм, неравномерность распределения рабочей жидкости по шири-

не захвата – не более 15%, снос рабочих жидкостей за пределы обрабатываемого участка – не более 20%, время установки заданной дозы на границах

выделенных участков – не более 1,1 с; рабочая скорость полета – не более 40, км/ч, высота полета при внесении удобрений и пестицидов – 1,0-1,5 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник докладов XII Международной научно-практической конференции. Ч. 1. М.: ВИМ. 2012. С. 31-44.
2. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Экспериментальные системы интеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сборник докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2014. С. 379-382.
3. Михайленко И.М. Беспилотная авиация в сельском хозяйстве // Агрофизика. 2015. N2. С. 16-23.
4. Корнилов Т.В. Перспективы применения беспилотной авиации // Защита и карантин растений. 2008. N5. С. 48-49.
5. Годжаев З.А., Марченко Л.А., Степанов Б.Е., Козлова А.И. Автожир для внесения жидких средств химизации и обоснование его технологических параметров // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N2. С. 22-25.
6. Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. 2011. N4. С. 89-93.
7. Савин И.Ю., Вернюк Ю.И., Фараслис И. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности полей // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2015. Вып. 80. С. 95-105.
8. Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Колесникова В.А., Личман Г.И., Марченко Н.М., Марченко А.Н., Марченко Л.А., Мочкова Т.В., Смирнов И.Г. Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия. М.: ВИМ, 2016. 100 с.
9. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сборник докладов Международной научно-технической конференции. Ч. 1. М.: ВИМ, 2010. С. 47-58.
10. Личман Г.И., Марченко Н.М., Колесникова В.А., Марченко А.М. Переходные режимы дозирующих органов машин для внесения удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. N4. С. 30-34.
11. Forouzanmehr E., Loghavi M. Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system. CIGR Journal. 2012; 14 (4): 255. URL: <http://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1977> (Accessed 05.05.2017).
12. Chattha H.S. Evaluation of a modified variable rate granular fertilizer spreader for spot-specific fertilization in wild blueberry fields. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science at Dalhousie University Halifax, Nova Scotia. 2013: 129.
13. Thomson S.J., Smith L.A., Hanks J.E. Evaluation of Application Accuracy and Performance of a Hydraulically Operated Variable-Rate Aerial Application System. Transactions of the ASABE. 2009; 52(3): 715-722.
14. Пономаренко И.Г. Повышение качества дифференцированного внесения минеральных удобрений в режиме off-line // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. N2. С. 48-51.
15. Anglund E.A., Ayers P.D. Field Evaluation of Response Times for Variable (Pressure – Based and Injection) Liquid Chemical Applicator. Applied Engineering in Agriculture. 2003. Vol. 19(3): 273-282 (doi: 10.13031/2013.13659).
16. Шпаар Д., Захаренко А. В., Якушев В.П. и др. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture). СПб., Пушкин, 2009. 397 с.
17. Кормановский Л.П., Колесникова В.А., Мочкова Т.В. и др. Технология и технические средства для применения жидких минеральных удобрений. М.: Колос, 1995. 126 с.
18. Мочкова Т.В., Башкирова Т.Н., Марченко Л.А. Агрохимические аспекты дифференцированного применения жидких средств химизации // Система технологий и машин для инновационного развития АПК: Сборник научных докладов научно-технической конференции. Ч. 2. М.: ВИМ, 2013. С. 276-279.
19. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве. М.: Печатный Город, 2010. 200 с.
20. Аникст Д.М. Удобрение яровой пшеницы. М.: Россельхозиздат, 1986. 142 с.
21. Горбачев И.В., Марченко Л.А., Кузьмин А.Ю. Технологические аспекты внесения пестицидов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. N6. С. 13-16.
22. Лысов А.К. Оценка физических потерь рабочей жидкости при опрыскивании // Материалы международного конгресса «Агрорусь 2014». СПб.: ЭФ-Интернэшнл, 2014. С. 174.



REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture. *Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem*: Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 1. Moscow: VIM, 2012: 31-44. (In Russian)
2. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. Experimental systems of intellectual automation of technical means of agricultural purpose. *Innovatsionnoe razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy*: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow: VIM, 2014: 379-382. (In Russian)
3. Mikhaylenko I.M. Small unmanned aircraft in agriculture. *Agrofizika*. 2015; 2: 16-24. (In Russian)
4. Kornilov T.V. Prospects for use of small unmanned aircraft. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2008; 5: 48-51. (In Russian)
5. Godzhaev Z.A., Marchenko L.A., Stepanov B.E., Kozlova A.I. Agiropplane for application of liquid products of chemicalization and its technological parameters justification. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 2: 22-27. (In Russian)
6. 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)
7. Savin I.Yu., Vernyuk Yu.I., Faraslis I. The possible use of pilotless aircrafts for operative monitoring of soil productivity. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*. 2015; 80: 95-105. (In Russian)
8. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Kolesnikova V.A., Lichman G.I., Marchenko N.M., Marchenko A.N., Marchenko L.A., Mochkova T.V., Smirnov I.G. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu sredstv khimizatsii v sisteme tochnogo zemledeliya [Methodical recommendations about application of means of chemicalization in precision agriculture system]. Moscow: VIM. 2016: 100. (In Russian)
9. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Management and information support by innovative technological processes in plant industry. *Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve*: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 1. Moscow: VIM, 2010: 47-58. (In Russian)
10. Lichman G.I., Marchenko N.M., Kolesnikova V.A., Marchenko A.M. Transitional modes of dosing elements of machines for fertilization. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2010; 4: 30-34. (In Russian)
11. Forouzanmehr E., Loghavi M. Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system. *CIGR Journal*. 2012; 14(4): 255. URL: <http://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1977> (Accessed 05.05.2017). (In English)
12. Chattha H.S. Evaluation of a modified variable rate granular fertilizer spreader for spot-specific fertilization in wild blueberry fields. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science at Dalhousie University Halifax, Nova Scotia. 2013: 129. (In English)
13. Thomson S.J., Smith L.A., Hanks J.E. Evaluation of Application Accuracy and Performance of a Hydraulically Operated Variable-Rate Aerial Application System. *Transactions of the ASABE*. 2009; 52(3): 715-722. (In English)
14. Ponomarenko I.G. Improvement of quality of the differentiated mineral fertilizers application in the on-line mode. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014; 2: 48-51. (In Russian)
15. Anglund E.A., Ayers P.D. Field Evaluation of Response Times for Variable (Pressure – Based and Injection) Liquid Chemical Applicator. *Applied Engineering in Agriculture*. 2003. Vol. 19(3): 273-282 (doi: 10.13031/2013.13659). (In English)
16. Shpaar D., Zakharenko A. V., Yakushev V.P., et al. Precision Agriculture. St.Petersburg, Pushkin, 2009: 397. (In Russian)
17. Kormanovskiy L.P., Kolesnikova V.A., Mochkova T.V., et al. Tekhnologiya i tekhnicheskie sredstva dlya primeneniya zhidkikh mineral'nykh udobreniy [Technology and technical means for liquid mineral fertilizers application]. Moscow: Kolos, 1995: 126. (In Russian)
18. Mochkova T.V., Bashkirova T.N., Marchenko L.A. Agrochemical aspects of differentiated application of liquid chemicals. *Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK*: Sbornik nauchnykh dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 2. Moscow: VIM, 2013: 276-279. (In Russian)
19. Nikitin N.V., Spiridonov Yu.Ya., Shestakov V.G. Nauchno-prakticheskie aspekty tekhnologii primeneniya sovremennykh gerbitsidov v rastenievodstve [Scientific and practical aspects of technology of modern herbicides application in crop production]. Moscow: Pechatnyy Gorod, 2010: 200. (In Russian)
20. Anikst D.M. Udobrenie yarovoy pshenitsy [Spring wheat fertilization]. Moscow: Rossel'khozizdat, 1986: 142. (In Russian)
21. Gorbachev I.V., Marchenko L.A., Kuz'min A.Yu. Technological aspects of pesticides introduction. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 6: 13-16. (In Russian)
22. Lysov A.K. Assessment of physical losses of working liquid when spraying. *Materialy mezhdunarodnogo kongressa «Agrorus' 2014»*. SPb.: EF-Interneshnl, 2014: 174. (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.