

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 629.7.069

DOI: 10.22213/2410-9304-2021-3-4-11

### Применение сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для обработки сельскохозяйственных культур

*Д. В. Кудрявцев*, студент, Аэрокосмический институт Оренбургского государственного университета,  
Оренбург, Россия

*А. Г. Магдин*, кандидат технических наук, Аэрокосмический институт  
Оренбургского государственного университета, Оренбург, Россия

*А. Д. Припадчев*, доктор технических наук, профессор, Аэрокосмический институт  
Оренбургского государственного университета, Оренбург, Россия

*А. А. Горбунов*, кандидат технических наук, доцент, Аэрокосмический институт  
Оренбургского государственного университета, Оренбург, Россия

*В работе рассматривается новый способ обработки всех необходимых поверхностей сельскохозяйственных культур за счет применения беспилотного летательного аппарата (БПЛА). На данный момент обработка всех поверхностей высокорослых кустарников и отдельных участков деревьев при точечном распылении химической жидкости в больших агропромышленных масштабах не представляется возможной из-за несовершенства современных способов обработки сельхозкультур. Предлагаемый сельскохозяйственный беспилотный летательный аппарат за счет точечной обработки посевов способен увеличить урожайность и принести дополнительную прибыль агрофермерам. Простота эксплуатации является наиважнейшим достоинством предлагаемого БПЛА, для обработки посевов с помощью данного БПЛА не нужны особые навыки, как, например, при эксплуатации сельскохозяйственных самолетов и наземной техники. В зависимости от типа культур и особенностей местного ландшафта предлагаемый БПЛА сельскохозяйственного назначения будет осуществлять опрыскивание в вертикальном направлении (сверху вниз) или под заданным углом за счет изменения положения рычага и его дальнейшей фиксации на штанге, а также производить обработку в горизонтальной плоскости. Степень непосредственного участия человека в контроле и управлении БПЛА определяется исходя из выбора режима дифференциального внесения удобрения и пестицидов для данного участка – стационарного или динамичного. В идеализированной системе основную роль за контролем движения примет на себя программируемая электронно-вычислительная машина (ЭВМ) в виде компьютера, способная корректировать полет и внесение химических реагентов в постоянном режиме, анализируя показания датчиков приборов. Все это возможно осуществить на практике на должном уровне при соответствующем финансировании, а плоды такого проекта в перспективе откроют новый этап отраслевой обработки посевов и древковых культур.*

**Ключевые слова:** сельскохозяйственный БПЛА, сельское хозяйство, дифференцированное внесение, сельскохозяйственные культуры, химическая жидкость.

#### Введение

Численность населения на земле за последние десятилетия возросла, что, в свою очередь, привело к необходимости увеличения объема сельскохозяйственной продукции. Так, например, по оценке продовольственной и сельскохозяйственной организации, к 2050 году численность населения на планете составит 9,6 млрд человек, то есть численность населения станет на треть больше, чем численность на сегодняшний день. Следовательно, необходимо увеличение объема сельскохозяйственной продукции [1].

Реализация данной задачи возможна при переходе от традиционного метода обработки полей к инновационному способу, основанному на использовании сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата, целью которого будет замена примитивной ручной технологии опрыскивания на точечный метод.

Объем продукции можно увеличить с помощью повышения эффективности хозяйства, то есть с применением передовых технологий. Раньше передовой технологией в сельском хозяйстве считалось применение тракторов и комбайнов, однако на сегодняшний день передовы-

ми технологиями в сельском хозяйстве является управление хозяйством при помощи систем ЭВМ и введением в эксплуатацию авиации и БПЛА сельскохозяйственного назначения [2].

#### **Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в сельскохозяйственных целях**

Первой страной, которая начала применять специализированную беспилотную сельскохозяйственную технику, является Япония. Еще в восьмидесятых годах прошлого столетия японские инженеры активно начали искать альтернативный, более экономичный и простой способ обработки полей. На смену традиционной сельскохозяйственной авиации пришли радиоуправляемые вертолеты небольших размеров [3].

На сегодняшний день многие страны заинтересованы использовать беспилотные летательные аппараты в сельскохозяйственных целях. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) – это летательный аппарат, который способен выполнять длительные полеты по аэродинамическому принципу, без человека на борту [4].

В России актуально использование сельскохозяйственных БПЛА, ведь страна имеет большую посевную площадь. Беспилотные летательные аппараты России в основном применялись в военной сфере и МЧС. Статистика показывает стабильное увеличение количества выпускаемых БПЛА сельхозназначения машиностроительными предприятиями, причем последняя шестилетка отличилась особенно, за счет заинтересованности инвесторов инновациями в конструкторской отрасли – массовое производство превысило весь объем предшествующих лет [5].

Сельскохозяйственные беспилотные летательные аппараты, у которых полезная нагрузка составляет менее 10 килограммов, в основном применяются для внесения трихограммы, а для обработки сельскохозяйственных культур химическими жидкостями применяют БПЛА с полезной нагрузкой от 80 до 400 килограммов. Трихограммы – это очень маленькие перепончатокрылые насекомые, которых размножают в лаборатории, яйца насекомых разбрасывают по полю, в свою очередь они являются биологическим оружием, которые уничтожают вредителей.

Автоматическим или дистанционно управляемым комплексам БПЛА необходим особый, более тщательный подход к уровню обеспечения. В таких системах информационная база интегрируется на фундамент полностью автономно функционирующими и дистанционно

управляемыми беспилотными авиационными системами [6, 7].

Преимущества применения БПЛА аграрного назначения:

- возможность использования БПЛА при повышенной влажности, из-за которой затруднено использование наземной техники;
- отказ от ручного опрыскивания (рабочие больше не будут контактировать с опасной химической жидкостью во время распыления);
- экономия химической жидкости вследствие низкой высоты полета БПЛА в сравнении с другими типами сельскохозяйственных летательных аппаратов (благодаря возможности точечного внесения химических жидкостей);
- окупаемость БПЛА гораздо выше в сравнении с традиционной сельскохозяйственной авиацией, которая окупается только при использовании ее на больших и средних по площади полях, использование ее на малых по площади полях не экономично;
- точечное опрыскивание сельскохозяйственных культур гербицидами или пестицидами (в зависимости от стоящей задачи), на которые не способна традиционная авиация;
- простота опрыскивания сельскохозяйственных культур в условиях холмистой местности, где эффективность ручного труда сокращается [8].

Применение БПЛА в аграрной отрасли помогает решить следующие задачи:

- анализ почвы, создание и обновление трехмерных карт обрабатываемых земель в электронном виде;
- обработка сельскохозяйственных культур методом опрыскивания химической жидкостью или применение трихограммы;
- мониторинг посевов, то есть контроль состояния сельскохозяйственных культур (определение вегетационного периода, зараженности болезнями, прогноз урожайности, планирование посевных работ, обмерка полей, контроль качества сбора урожая наблюдаемых земель). На сегодняшний день с помощью БПЛА можно получить детализированные фотографии полей в реальном времени и предпринять необходимые меры для улучшения показателей посевов;
- посев некоторых сельскохозяйственных культур осуществляется путем «выстрелов» в почву капсул с семенами [9].

Интерес в использовании сельскохозяйственного БПЛА обусловлен следующими причинами:

- приемлемая цена на БПЛА по сравнению с использованием спутниковых технологий

(при построении электронных карт полей), однако они не являются полностью заменой спутников, а лишь дополняют в качестве локальной системы;

- возможность запрограммировать БПЛА на полет по заданному маршруту и точно обрабатывать каждый необходимый участок;

- высокая ремонтпригодность (нет необходимости проводить техническое обслуживание настолько часто, как это необходимо в традиционной сельскохозяйственной авиации) [10].

### Использование БПЛА для дифференцированного внесения средств защиты растений и удобрений

Применение БПЛА многоцветного использования считается предпочтительным для дифференцированного внесения средств защиты и удобрения. Для упрощения контроля над эксплуатацией сельскохозяйственного БПЛА применяют такие БПЛА, у которых взлет и посадка осуществляется вертикально или с помощью взлетно-посадочной полосы малой протяженности. Беспилотные летательные аппараты, которые осуществляют вертикальный взлет и посадку, относятся к вертолетному или мультироторному типу [11, 12].

Данный метод применения БПЛА в сельском хозяйстве осуществляется в бинарной системе ведения обработки полей. В него входят:

- стационарный режим, подразумевающий технологию, при которой отсутствует необходимость постоянного мониторинга БПЛА человеком;

- динамичный режим, при котором контроль перемещения и точечного внесения химических веществ осуществляется в реальном времени, основываясь на онлайн-данных датчиков движения аппарата.

Первый способ чаще всего применяют при малых перепадах высот, простых по геометрии и постоянных по географии местности сельскохозяйственных полей. Построить путь для БПЛА значительно легче и выгоднее в масштабных агропромышленных условиях обработки территорий.

Второй способ технологии процесса базируется на анализе данных бортовым компьютером, поступающих в обработку встроенной программы GPS-приемника для каждого отдельного участка поля. Эффективность данного метода приближается к максимальному значению, если он применяется с целью внесения азотных удобрений для растений в сезоне вегетативного развития [13].

Алгоритм использования каждого из вариантов сводится к разработке полетного задания, предполетной подготовке, запуску или ведению программно-управляемого полета БПЛА по распылению необходимых средств обработки и его размещение на посадочном месте по завершении задачи.

В полетное задание сельскохозяйственного БПЛА входит: регистрационный номер, дата полета, маршрут полета (траектория, по которой будет передвигаться БПЛА), электронная карта-задание, в которой указаны координаты обрабатываемого поля, начальные точки полета, участки разворота, крейсерская скорость и высота полета.

Подготовка БПЛА к эксплуатации включает в себя: доставку БПЛА и вспомогательных технических средств на место обрабатываемого поля, заправку топливом, внесение химической жидкости, подготовку датчиков и бортового компьютера, показания метеоусловий, размещение БПЛА на стартовой точке и запуск двигателя [14].

### Материал и методы исследования

Сельхозпредприятие имеет  $m$  полей для обработки. Каждое поле в длину составляет  $l_i$  метров и в ширину  $B_i$  метров (табл. 1), где  $0 < i < n$  (количество полей). Тогда площадь каждого поля вычисляют по формуле

$$F_i = l_i \cdot B_i.$$

Таблица 1. Размеры полей  
Table 1. Field sizes

$i$	$B_i$ , м	$L_{cp}$ , м
1	250	400
2	750	2000
3	2000	2500
4	2500	3600

Выбор летательного аппарата (ЛА) для обработки осуществляется из  $n$  вариантов, каждый из которых характеризуется средней скоростью  $v_j$  (км/ч), шириной захвата, изменяющейся в пределах  $b_{jmax}$  до  $b_{jmin}$  (м), временем, затрачиваемым на разворот  $t_{pj}$  (ч) и стоимостью одного часа летного времени  $s_j$  (руб/ч), где  $0 < j < n$ . Технические данные ЛА занесены в табл. 2. Определим ЛА, оптимальный по критерию экономичности при обработке всех полей одним ЛА.

Таблица 2. Технические данные летательных аппаратов

Table 2. Aircraft technical data

<i>j</i>	1	2	3	4
Тип ЛА	МИ-2	Предлагаемый БПЛА	Т-115	Ка 226
<i>v</i> , км/ч	40	75	145	50
<i>s</i> , р/ч	24500	25000	30000	35000
<i>t<sub>p</sub></i> , мин	1,3	1,1	1,4	1,1
<i>b<sub>max</sub></i> , м	40	25	17	39

Частное от деления  $B_j$  на  $b_{jmax}$  округляем до большего значения и находим число пролетов каждого конкретного ЛА над любым из полей.

Для исключения двойной обработки ширина захвата корректируется по формуле

$$b_{ij} = b_j^{max} - \Delta N_{ij} / N_{ij},$$

где  $\Delta N_{ij}$  – дробная часть частного от деления  $B_j$  на  $b_{jmax}$ .

Тогда суммарный налет ЛА при обработке поля вычисляют по формуле

$$L_{ij} = l_i \cdot N_{ij}.$$

Время, затраченное на обработку поля, вычисляют по формуле

$$t_{ij} = t_{pi} \cdot N_{ij} + L_{ij} / v_i.$$

Стоимость обработки поля вычисляют по формуле

$$S_{ij} = s_i \cdot t_{ij}.$$

Наиболее экономичным будет тот ЛА, стоимость обработки поля которым будет минимальна. Стоимость обработки всех полей хозяйства вычисляют по формуле и численные значения вносят в табл. 3:

$$S_j = \sum_{i=1}^n S_{ij}.$$

Тогда наиболее оптимальным по критерию стоимости будет тот ЛА, у которого эта стоимость минимальна [15, 16].

### Результаты исследований и их анализ

По формулам, приведенным выше, осуществляется выбор предпочтительного ЛА из набора, представленного в табл. 1.

Анализируя табл. 3, можно сделать вывод, что стоимость обработки выбранного поля с заданной шириной  $B$  и средней длиной  $L_{cp}$  будет наименьшей у предлагаемого БПЛА. Кроме того, летательные аппараты, сравниваемые с предлагаемым, не способны обработать все поверхности посевов одинаково качественно.

Решением данной проблемы будет применение предлагаемого БПЛА.

Таблица 3. Стоимость обработки разных полей каждым типом ЛА

Table 3. Cost of processing of different fields by each type of aircraft

<i>j</i>	1	2	3	4
Тип ЛА	МИ-2	Предлагаемый БПЛА	Т-115	Ка-226
<i>i</i>	$S_{i1}$ , руб	$S_{i2}$ , руб	$S_{i3}$ , руб	$S_{i4}$ , руб
1	5430,83	5916,67	11741,38	6451,67
2	33360,83	33750	50120,69	40833,33
3	103104,2	103333,3	143634,5	124366,7
4	172357	165833,3	213834,5	205508,3
$\sum S_i$ , руб	314253,3	308833,3	419331	377160

### Метод всесторонней обработки посевов путем опрыскивания с БПЛА

Предлагаемый сельскохозяйственный беспилотный летательный аппарат, который осуществляет дифференцированную обработку сельскохозяйственных культур пестицидами или удобрениями, оснащен видеокамерой для позиционирования БПЛА в пространстве и над сельскохозяйственными культурами, емкостью для химической жидкости, подающим устройством – насосом, системой гибких трубок-шлангов, форсунок, для внесения химической жидкости. Форсунки и трубки-шланги закреплены на штанге, расположенной симметрично относительно центра тяжести БПЛА, с установленными на ней поворотными рычагами, на которых закреплены форсунки на шарнирах, позволяющие производить распыление в необходимом направлении.

Сельскохозяйственный БПЛА, который осуществляет опрыскивание в вертикальном направлении (сверху вниз), схематично изображен на рис. 1.

Способ опрыскивания, изображенный на рис. 1, подходит лишь для вертикальной обработки (полевых растений). Для деревьев и высокорослых кустарников, когда требуется точная или точечная обработка в горизонтальном направлении или снизу вверх, таким способом не получится полностью обработать необходимые поверхности. Решение данной проблемы заключается в разработке нового сельскохозяйственного БПЛА. Обработка деревьев и высокорослых кустарников будет происходить с помощью изменения положения рычага, установленного вверх под углом 90°. При таком способе происходит опрыскивание сельскохозяйственных культур в горизонтальном положении (рис. 2).



Рис. 1. Сельскохозяйственный БПЛА, который осуществляет опрыскивание в вертикальном направлении (сверху вниз)

Fig. 1. An agricultural UAV that performs spraying in the vertical direction (from top to bottom)

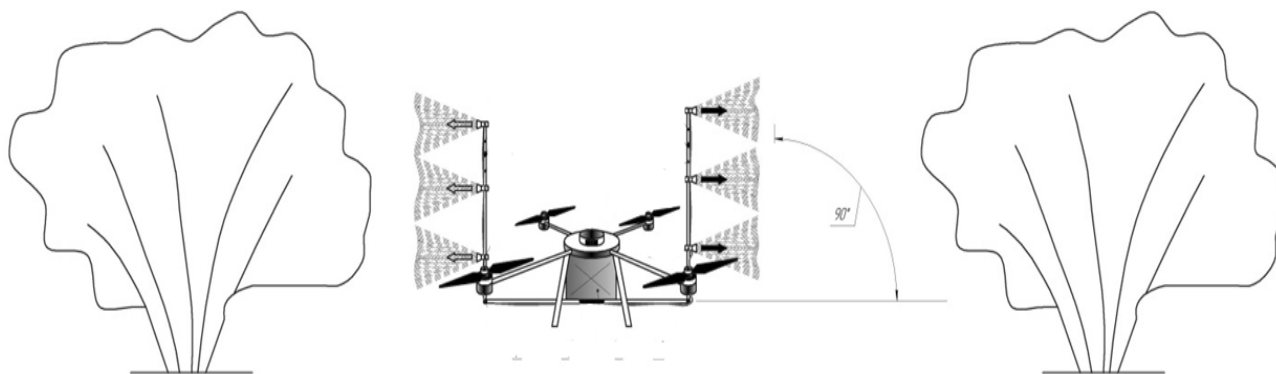


Рис. 2. Сельскохозяйственный БПЛА, который осуществляет опрыскивание в горизонтальном направлении

Fig. 2. An agricultural UAV that performs spraying in the horizontal direction

Сельскохозяйственный БПЛА, представленный на рис. 2, более качественно и точно способен обработать необходимые поверхности высокорослых кустарников с целевым расходом химических веществ, однако для полной обработки поверхностей деревьев этого недостаточно. На рис. 3 представлен способ, при котором сельскохозяйственный БПЛА сможет в полной мере обработать все необходимые поверхности деревьев. На разрабатываемом БПЛА возможность изменения вектора опрыскивания будет осуществляться с помощью системы узловых соединений шарнирно-рычажного типа. Такие системы устанавливаются на опоры, которые регулируются в вертикальной плоскости или в направлении, при котором механизм, отвечающий за выпуск химической жидкости, направлен под углом относительно обрабатываемой поверхности (снизу вверх) [17].

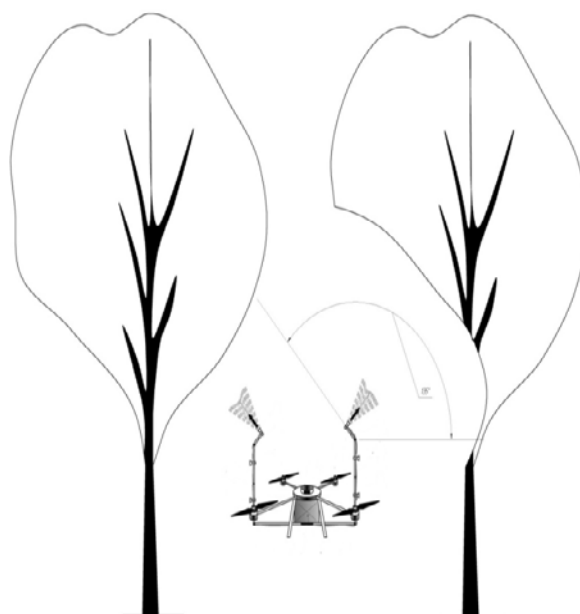


Рис. 3. Сельскохозяйственный БПЛА, который осуществляет выпуск химической жидкости под углом (снизу вверх)

Fig. 3. An agricultural UAV that releases chemical liquid at an angle (from bottom to top)

Изменение положения рычагов на штанге происходит за счет поворотного механизма (шарнира). Схематичное изображение рис. 4 отражает структуру штанги, в конструкцию которой входят рычаги, поворотные механизмы и форсунки. Распыление химической жидкости происходит в трех направлениях и соответствует рис. 4, а–в, а именно:

4, а – сверху вниз в вертикальном направлении;

4, б – в горизонтальном направлении, где рычаг установлен под углом  $90^\circ$ ;

4, в – снизу вверх под некоторым заданным углом, в вертикальном направлении.

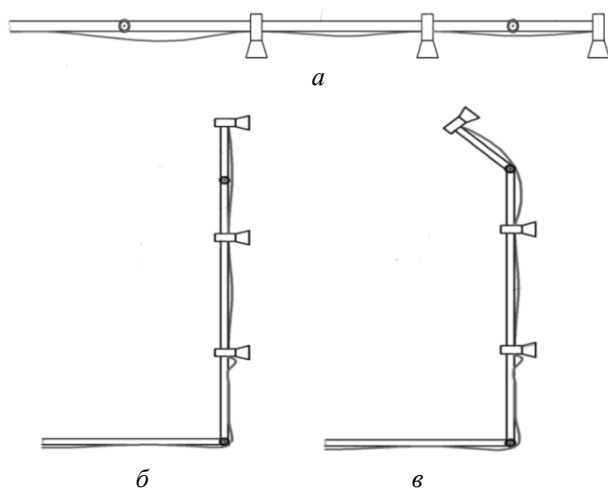


Рис. 4. Штанга с разными положениями рычагов  
Fig. 4. Rod with different lever positions

Эксплуатация предлагаемого сельскохозяйственного БПЛА осуществляется в следующей последовательности: беспилотный летательный аппарат запускают над обрабатываемым сельскохозяйственным участком, заранее установив положение штанги и в зависимости от ширины захвата обрабатываемой полосы и вида обрабатываемой культуры устанавливается угол на рычагах, который в свою очередь зависит от направления опрыскивания поверхности растений, вертикальное (сверху вниз), горизонтальное (в направлении от беспилотного летательного аппарата), вертикальное направление (снизу вверх, под углом необходимым для данного вида обработки), происходит опрыскивание. После этого БПЛА производит полет по заданному маршруту над обрабатываемыми культурами, внося химические вещества непосредственно на целевые поверхности, требующие обработки, а также в зону высокого качества опрыскивания с минимальными потерями химической жидкости, что немаловажно в целях

материальной экономии, экономии времени и точности внесения химических веществ.

### Выводы

В данной работе проанализированы различные способы обработки сельскохозяйственных культур, наиболее эффективным является инновационный дифференциальный метод использования беспилотного летательного аппарата по внесению пестицидов, удобрений и других химических жидкостей, позволяющий реализовать поставленную задачу. Цель можно считать достигнутой, возможности использования БПЛА описаны для различных способов обработки культур.

### Библиографические ссылки

1. Семькин В. А., Пигорев И. Я. Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства Курской области // Региональные проблемы повышения эффективности агропромышленного комплекса : материалы всерос. науч.-практ. конф. 2007. № 1. С. 3–10.
2. Кучкарова Д. Ф., Хаитов Б. У. Современные системы ведения сельского хозяйства // Молодой ученый. 2015. № 12. С. 222–223.
3. Коротаев А. А., Новопашин Л. А. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга сельскохозяйственных угодий и посевных площадей в аграрном секторе // Аграрный вестник Урала. 2015. № 12. С. 38–42.
4. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / Ю. Н. Зубарев, Д. С. Фомин, А. Н. Чашин, М. В. Заболотов // Вестник ПФИЦ. 2019. № 2. С. 47–51.
5. Вторый В. Ф., Вторый С. В. Перспективы экологического мониторинга сельскохозяйственных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Теоретический и научно-практический журнал ИАЭП. 2017. № 92. С. 158–165.
6. Дифференцированное внесение пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов / Л. А. Марченко, И. Г. Смирнов, Г. И. Личман [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 4. С. 17–23.
7. Михайленко И. М. Беспилотная малая авиация в сельском хозяйстве // Агрофизика. 2015. № 2. С. 16–24.
8. King A. Technology: The Future of Agriculture. Nature 544, S21–S23 (2017). <https://doi.org/10.1038/544S21a>.
9. Захаров Р. В., Гайнутдинов И. Г. Применение беспилотного летательного аппарата при десикации масличных культур // Вектор экономики : электронный журнал. URL: <http://www.vectoreconomy.ru> (дата обращения: 13 ноября 2018).
10. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты / А. Ю. Брюханов, С. А. Кондратьев, Н. С. Об-

ломкова [и др.] // Теоретический и научно-практический журнал ИАЭП. 2016. № 89. С. 175–182.

11. Haula, Kitonsa & Sergei, Kruglikov. (2018). Significance of drone technology for achievement of the United Nations sustainable development goals. *R-economy*. 4. 115-120. 10.15826/recon.2018.4.3.016.

12. Шевченко А. В., Мигачев А. Н. Обзор состояния мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и их применения в сельском хозяйстве // Робототехника и техническая кибернетика. 2019. № 3. С. 183–195.

13. Kangunde, V., Jamisola, R.S. & Theophilus, E.K. A review on drones controlled in real-time. *Int. J. Dynam. Control* (2021). <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00737-5>.

14. Технология внесения пестицидов и удобрений беспилотным летательным аппаратами в цифровом сельском хозяйстве / Л. А. Марченко, А. А. Артюшин, И. Г. Смирнов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. № 5. С. 38-45.

15. Магдин А. Г., Припадчев А. Д., Горбунов А. А. Алгоритм целевого выбора воздушного судна // Вестник Брянского государственного технического университета, 2019. № 10 (83). С. 48–54.

16. Kamal, Syed & Jackman, Patrick & Grieve, Bruce. (2014). Minimizing flight time and fuel consumption for airborne crop spraying. *Agricultural Engineering International (CIGR Journal)*. 16. 86–96.

17. Магдин А. Г., Припадчев А. Д., Горбунов А. А. Улучшение качества работы сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата // Автоматизация в промышленности. 2020. № 2. С. 16–18.

## References

1. Semykin V.A., Pigorev I.Ya. *Nauchnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya sel'skogo khozyaistva Kurskoi oblasti* [Scientific support for the innovative development of agriculture in the Kursk region] *Regional'nye problemy povysheniya effektivnosti agropromyshlennogo kompleksa: materialy vseros. nauch.-prakt. konf.* [Proc. Regional problems of increasing the efficiency of the agro-industrial complex: materials of the all-Russian scientific and practical conference]. Kursk, 2007, № 1, pp. 3-10 (in Russ.).

2. Kuchkarova D.F., Khaitov B.U. [Modern farming systems]. *Molodoi uchenyi*, 2015, no. 12, pp. 222-223 (in Russ.).

3. Korotaev A.A., Novopashin L.A. [Application of unmanned aerial vehicles for monitoring agricultural lands and cultivation areas in agrarian sector]. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2015. No. 12. Pp. 38-42 (in Russ.).

4. Zubarev, Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotov M.V. [The use of unmanned aerial vehicles in

agriculture]. *Perm Federal Research Centre Journal*, 2019, no. 2, pp. 47-51 (in Russ.).

5. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. [Prospects for environmental monitoring of agricultural facilities using unmanned aerial vehicles]. *Teoreticheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal IAEP*, 2017, no. 92, pp. 158-165 (in Russ.).

6. Marchenko L.A, Smirnov I.G., Lichman G.I. [Variable rate application of fertilizers and pesticides using unmanned aerial vehicles]. *Agricultural Machinery and Technologies*, 2017, no. 4, pp. 17-23 (in Russ.).

7. Mikhailenko I.M. [Unmanned small aircraft in agriculture]. *Agrophysica*, 2015, no. 2, pp. 16-24 (in Russ.).

8. King, A. Technology: The Future of Agriculture. *Nature* 544, S21–S23 (2017). <https://doi.org/10.1038/544S21a>.

9. Zakharov R.V., Gainutdinov I.G. [The use of unmanned aerial vehicle during desiccation of oilseed crops]. *Vektor ekonomiki : elektronnyi zhurnal*, 2018, no. 11 (in Russ.). Available at: <http://www.vector-economy.ru> (accessed 05.29.2021).

10. Bryukhanov A.Yu., Kondrat'ev S.A., Oblomkova N. S. [Methodology for determining the nutrient load of agricultural production on water bodies]. *Teoriticheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal IAEP*, 2016, no. 89, pp. 175-182. (in Russ.).

11. Haula, Kitonsa & Sergei, Kruglikov. (2018). Significance of drone technology for achievement of the United Nations sustainable development goals. *R-economy*. 4. 115-120. 10.15826/recon.2018.4.3.016.

12. Shevchenko A. V., Migachev A. N. [Review of the state of the world market of drones and their application for agriculture]. *Robotics and technical cybernetics*, 2019, № 3, pp. 183-195 (in Russ.).

13. Kangunde, V., Jamisola, R.S. & Theophilus, E.K. A review on drones controlled in real-time. *Int. J. Dynam. Control* (2021). <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00737-5>.

14. Marchenko L.A., Artyushin A.A., Smirnov I.G. [Technology of pesticides and fertilizers application with unmanned aerial vehicles in digital agriculture]. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019, no. 5, pp. 38-45 (in Russ.).

15. Magdin A.G., Pripadchev A.D., Gorbunov A.A. [Algorithm of aircraft target choice]. *Bulletin of Bryansk State Technical University*, 2019, № 10 (83), pp. 48-54 (in Russ.).

16. Kamal, Syed & Jackman, Patrick & Grieve, Bruce. (2014). Minimizing flight time and fuel consumption for airborne crop spraying. *Agricultural Engineering International (CIGR Journal)*. 16. 86-96.

17. Magdin A.G., Pripadchev A.D., Gorbunov A.A. [Improving the performance of an agricultural drone]. *Automation in industry*, 2020, no. 2, pp. 16-18 (in Russ.).

### Application of Agricultural Unmanned Aerial Vehicle for Processing Agricultural Crops

*D. V. Kudryavtsev*, Student, Aerospace Institute of Orenburg State University, Orenburg, Russia

*A. G. Magdin*, PhD in Engineering, Aerospace Institute, Orenburg State University, Orenburg, Russia

*A. D. Pripadchev*, DSc in Engineering, Professor, Aerospace Institute of Orenburg State University, Orenburg, Russia

*A. A. Gorbunov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Aerospace Institute of Orenburg State University, Orenburg, Russia

*The paper considers a new method of processing all the necessary surfaces of crops through the use of an unmanned aerial vehicle (UAV). At the moment, the processing of all surfaces of tall shrubs and individual sections of trees with spot spraying of a chemical liquid on a large agro-industrial scale is not possible due to the imperfection of modern methods of processing agricultural crops. The proposed agricultural unmanned aerial vehicle, due to spot cultivation of crops, is able to increase yields and bring additional profits to agricultural farmers. Ease of operation is the most important advantage of the proposed UAV, for the processing of crops using this UAV does not require special skills, as, for example, when operating agricultural aircraft and ground equipment. Depending on the type of crops and the characteristics of the local landscape, the proposed UAV for agricultural purposes will be spraying in the vertical direction (top to bottom) or at a given angle by changing the position of the lever and its further fixation on the boom, as well as processing in the horizontal plane. The degree of direct human participation in the control and management of the UAV is determined based on the choice of the mode of differential application of fertilizers and pesticides for a given area - stationary or dynamic. In an idealized system, a programmed electronic computer (ECM) in the form of a computer, capable of adjusting the flight and the introduction of chemical reagents in a constant mode, will assume the main role in controlling the movement by analyzing the readings of the instrument sensors. All this can be implemented in practice at the proper level with appropriate funding, and the results of such a project in the future will open a new stage in the sectoral processing of crops and pole crops.*

**Keywords:** agricultural UAV, agriculture, differential application, crops, chemical liquid

Получено: 22.04.2021