

Себестоимость применения беспилотной авиационной системы для внесения пестицидов и удобрений

Леонид Анатольевич Марченко,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: marchenko1312@mail.ru;
Игорь Геннадьевич Смирнов,
доктор технических наук, ученый секретарь,
e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru;

Рашид Курбанович Курбанов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Артём Юрьевич Спиридонов,
младший научный сотрудник,
e-mail: artyom-spiridonov@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметили необходимость расчета себестоимости применения воздушных судов для экономической оценки целесообразности их эксплуатации, в том числе в сельском хозяйстве, приобретения новых, а также обоснования тарифов на авиационные перевозки. (*Цель исследования*) Обосновать методику и определить себестоимость применения беспилотной авиационной системы БАС-137 ВИМ для внесения пестицидов, удобрений и других агрохимикатов. (*Материалы и методы*) При разработке методики расчета себестоимости применения беспилотной авиационной системы для внесения пестицидов и удобрений использовали Методические рекомендации по определению себестоимости внутренних и международных рейсов для российских авиакомпаний. (*Результаты и обсуждение*) Получили основные зависимости себестоимости применения БАС-137 ВИМ для внесения рабочих жидкостей: от нормы внесения, длины гона, расстояния полета к месту заправки, рабочей скорости полета. (*Выводы*) Разработали методику расчета себестоимости применения беспилотной авиационной системы для внесения пестицидов и удобрений, включающую эксплуатационные расходы по статьям прямых и косвенных затрат. Установили, что при нормах внесения рабочей жидкости 5-100 литров на гектар диапазон изменения себестоимости применения БАС-137 ВИМ находится в пределах от 280,9 до 1315,5 рубля на гектар. При норме внесения 10 литров на гектар в пределах длины гона 0,3-2,0 километра себестоимость применения составляет 307,1-529,5 рубля на гектар. Определили, что при нормах внесения 5-20 литров на гектар и длине гона 0,6-1,0 километра себестоимость будет наименьшей – 264-369 рублей на гектар при рабочей скорости полета 60 километров в час и 482-587 рублей на гектар при скорости полета 30 километров в час. Показали, что с увеличением рабочей скорости полета БАС-137 ВИМ в 2 раза себестоимость уменьшается в 1,2-1,5 раза.

Ключевые слова: беспилотная авиационная система, внесение пестицидов и удобрений, себестоимость применения, прямые и косвенные затраты.

Для цитирования: Марченко Л.А., Смирнов И.Г., Курбанов Р.К., Спиридонов А.Ю. Себестоимость применения беспилотной авиационной системы для внесения пестицидов и удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №1. С. 53-62. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-53-62.

Operational Costs of Unmanned Aircraft System for Applying Pesticides and Fertilizers

Leonid A. Marchenko,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: marchenko1312@mail.ru;
Igor G. Smirnov,
Dr.Sc.(Eng.), scientific secretary,
e-mail: rashn-smirnov@yandex.ru;

Rashid K. Kurbanov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Artem Yu. Spiridonov,
junior researcher,
e-mail: artyom-spiridonov@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The calculation of aircraft cost is stated necessary to assess the economic feasibility of their operation, as well as in agriculture, the possibility of acquiring new ones, and to justify air transportation tariffs. (*Research purpose*) The research purpose is to substantiate the methodology and calculate the prime cost of using BAS-137 VIM unmanned aerial system for the application

of pesticides, fertilizers and other agrochemicals. (*Materials and methods*) When developing the methodology for calculating the prime cost of using an unmanned aerial system for applying pesticides and fertilizers, the Guidelines for determining the cost of domestic and international flights for Russian airlines were used. (*Results and discussion*) We have obtained the main dependences of the prime cost of using BAS-137 VIM for the introduction of working fluids: on the application rate, the field rut length, the distance of approach to the refueling place, and the operating flight speed. (*Conclusions*) The authors developed a methodology for calculating the prime cost of using an unmanned aerial system for applying pesticides and fertilizers, including direct and indirect operating costs. It was found out that at the working fluid application rates of 5-100 liters per hectare, the changes in the cost of using BAS-137 VIM are within the range from 280.9 to 1315.5 rubles per hectare. At an application rate of 10 liters per hectare within the rut length of 0.3-2.0 kilometers, the application prime cost is 307.1-529.5 rubles per hectare. It was obtained that at the application rates of 5-20 liters per hectare and the rut length of 0.6-1.0 kilometers, the prime cost will be the lowest, within the range of 264-369 rubles per hectare at an operating flight speed of 60 kilometers per hour and within the range of 482-587 rubles per hectare at a flying speed of 30 kilometers per hour. It was shown that with a twofold increase in BAS-137 VIM operating speed, the prime cost decreases by 1.2-1.5 times.

Keywords: unmanned aerial system, application of pesticides and fertilizers, cost of application, direct and indirect costs.

For citation: Marchenko L.A., Smirnov I.G., Kurbanov R.K., Spiridonov A.Yu. Sebestoimost' primeneniya bespilotnoy aviatsionnoy sistemy dlya vneseniya pestitsidov i udobreniy [Operational costs of unmanned aircraft system for applying pesticides and fertilizers]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol.16. N1. 53-62 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-53-62.

Применение беспилотных авиационных систем в аграрном производстве все более набирает популярность и требует создания специальных сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов [1-3].

Разработана технология дифференцированного внесения пестицидов, удобрений и других агрохимикатов, включающая беспилотную авиационную систему (БАС) для последовательного выполнения информационных и технологических операций. Ее основу составляет беспилотный авиационный комплекс (БАК), который включает [4]:

- беспилотные летательные аппараты (БЛА) для мониторинга сельскохозяйственных угодий;
- беспилотные воздушные суда (БВС) для внесения пестицидов, удобрений и других агрохимикатов;
- технические средства для транспортировки к полю, заправки рабочими жидкостями пестицидов, минеральными удобрениями, топливом;
- устройства управления полетом и связи, программное обеспечение.

Для реализации технологии разработано беспилотное воздушное судно вертолетного типа БВС-137 ВИМ для внесения пестицидов и удобрений [5].

Мобильный транспортировщик-заправщик (МТЗ) обеспечивает БВС рабочими жидкостями пестицидов, удобрений и топливом на базе автомобиля ГАЗ 33106 «Валдай» с манипулятором КМУ UNICURV374.

На основании анализа отечественного и зарубежного опыта оценки экономических параметров сельскохозяйственного производства разработана методика расчета экономической эффективности применения беспилотных аэрофотосъемочных комплексов с использованием беспилотных летательных аппаратов [6-40].

Для экономической оценки целесообразности эксплуатации воздушных судов (ВС), приобретения новых, а также обоснования тарифов на авиационные перевозки необходимо знать себестоимость. Ее рассчитывают в соответствии с методическими рекомендациями, утвержденными руководящими органами гражданской авиации России. В них акцентируется внимание на определении себестоимости внутренних и международных рейсов. Этот показатель взят за основу при разработке методики расчета себестоимости применения БАС-137 ВИМ.

Цель исследования – обосновать методику и определить себестоимость применения беспилотной авиационной системы БАС-137 ВИМ для внесения пестицидов, удобрений и других агрохимикатов.

Материалы и методы. БАС-137 ВИМ включает: беспилотное воздушное судно БВС-137 ВИМ с модулем для внесения рабочей жидкости пестицидов, удобрений и других агрохимикатов, мобильный транспортировщик-заправщик рабочей жидкостью и топливом (МТЗ ВИМ) с наземным комплексом контроля полетом БВС-137 ВИМ. Соответственно, ее себестоимость состоит из затрат при их использовании.

Себестоимость внесения агрохимикатов с помощью БВС в пересчете на 1 га сельскохозяйственного поля зависит от типа и часовой производительности судна:

$$C_{\text{га}} = \frac{C_{\text{р.ч}}}{W_{\text{р.ч}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{га}}$ – себестоимость обработки 1 га сельскохозяйственного поля, руб./га;

$C_{\text{р.ч}}$ – себестоимость рабочего часа, руб./р.ч;

$W_{\text{р.ч}}$ – производительность в рабочий час, га/р.ч.

Производительность в рабочий час зависит от времени, затраченного на один производственный полет

и его обслуживание (загрузка рабочей жидкости пестицида, минерального удобрения, заправка топливом и т.д.) и определяется по формуле:

$$W_{p.ч} = \frac{60 Q_{\phi}}{HT_{ц}}, \quad (2)$$

где $W_{p.ч}$ – производительность БВС-137 ВИМ в рабочий час, га /р.ч;

Q_{ϕ} – фактическая разовая загрузка рабочей жидкостью пестицидов, удобрений, кг;

H – норма внесения рабочей жидкости, л/га;

$T_{ц}$ – рабочее время одного производственного цикла, мин.

Последний показатель состоит из продолжительности одного производственного полета и времени на разовую загрузку БВС рабочей жидкостью пестицидов, удобрений:

$$T_{ц} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 = \frac{600 Q_{\phi}}{HB_p} + \frac{10 Q_{\phi} T_p}{HLV} + \frac{120 R}{V} + T_4 + T_5 + T_6, \quad (3)$$

где T_1 – время основной работы (распыливания рабочей жидкости над обрабатываемым участком), мин;

T_2 – время на развороты для захода на очередной гон, мин;

T_3 – время полета от места заправки до начальной точки обработки поля, мин;

T_4 – время на взлет и посадку, мин (по установленным нормативам);

T_5 – время заправки рабочей жидкостью бака модуля опрыскивателя ВС, мин;

T_6 – время заправки топливом, мин;

T_p – время одного разворота, мин (по установленным нормативам);

R – расстояние от места заправки до начальной точки обрабатываемого участка, км;

B_p – ширина рабочего захвата при внесении рабочей жидкости, м;

L – длина обрабатываемого участка (длина гона сельскохозяйственного поля), км;

V – рабочая скорость над обрабатываемым участком, км/ч.

Фактическая площадь обработанных сельскохозяйственных угодий за один производственный полет зависит от полезной нагрузки БВС, определяющей фактическую разовую загрузку рабочей жидкости пестицидов, удобрений и нормы их внесения на каждом элементарном участке обрабатываемого сельскохозяйственного поля:

$$S = \frac{Q_{\phi}}{H}, \quad (4)$$

где S – площадь, обработанная за один полет, га.

Себестоимость рабочего часа БВС представлена прямыми и косвенными затратами:

$$C_{p.ч} = \mathcal{E}_{пр} + \mathcal{E}_{кос}, \quad (5)$$

где $C_{p.ч}$ – себестоимость рабочего часа, руб./р.ч;

$\mathcal{E}_{пр}$ – прямые расходы, руб./р.ч.;

$\mathcal{E}_{кос}$ – косвенные расходы, руб./р.ч.

Косвенные расходы – наземные, включают затраты на аэродромное обслуживание и аэронавигационное обеспечение. При расчете себестоимости рабочего часа БВС-137 ВИМ их не включаем в перечень затрат.

Прямые расходы определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{пр} = \mathcal{E}_{гсм} + \mathcal{E}_{ам} + \mathcal{E}_{то} + \mathcal{E}_{зп} + \mathcal{E}_{сс}, \quad (6)$$

где $\mathcal{E}_{гсм}$ – расходы на горюче-смазочные материалы, руб./р.ч;

$\mathcal{E}_{ам}$ – амортизационные отчисления по плану с оборудованием и двигателями, руб./р.ч;

$\mathcal{E}_{то}$ – расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт БВС, руб./р.ч;

$\mathcal{E}_{зп}$ – расходы по заработной плате обслуживающего БВС персонала, руб./р.ч;

$\mathcal{E}_{сс}$ – прочие прямые летные расходы, включающие расходы на страхование БВС, руб./р.ч.

Расходы на горюче-смазочные материалы зависят от среднечасового расхода топлива, марки и сорта топлива, оптовой цены 1 т топлива:

$$\mathcal{E}_{гсм} = g_{топ} \cdot (C_t + K_{см} \cdot C_{см}), \quad (7)$$

где $g_{топ}$ – нормативный расход топлива, кг/ч (л/ч);

C_t – стоимость топлива с учетом его цены, доставки и хранения, руб./кг (руб./л);

$K_{см}$ – коэффициент, учитывающий расход масла в зависимости от расхода топлива ($K_{см} = 0,05$);

$C_{см}$ – стоимость смазочных материалов, руб./кг (руб./л).

Нормативный расход топлива БВС-137 ВИМ составляет $g_{топ} = 17$ л/ч. Стоимость топлива (бензин марки А-92) $C_t = 45$ руб./л, смазочных материалов – $C_{см} = 46,65$ руб./л. Тогда:

$$\mathcal{E}_{гсм} = g_{топ} \cdot (C_t + K_{см} \cdot C_{см}) = 17 \cdot (45 + 0,05 \cdot 46,65) = 804,65 \text{ руб./р.ч.} \quad (8)$$

Расходы на ГСМ на единицу обрабатываемой площади равны:

$$\mathcal{E}_{гсмга} = \frac{\mathcal{E}_{гсм}}{W_{p.ч}}, \quad (9)$$

Расходы на амортизацию БВС рассчитываются исходя из стоимости планера и двигателей БВС, норм амортизации на полное восстановление (реновацию) и годового производственного налета часов на авиационных работах:

$$\mathcal{E}_a = \frac{a_{п} \cdot C_{п} + a_{д} \cdot C_{д}}{100 \cdot T_{гапр}}, \quad (10)$$

где $a_{п}$, $a_{д}$ – нормы амортизационных отчислений на полное восстановление соответственно по плану и двигателю, % от балансовой (первоначальной) стоимости;

$C_{п}$, $C_{д}$ – первоначальная стоимость планера и дви-

гателя соответственно, руб.;

$T_{\text{гарх}}$ – годовой производственный налет часов БВС на авиационных работах, ч.

Начисление амортизации по плану и авиационным двигателям БВС, сданным в аренду, проводится арендодателем. По плану и авиадвигателю БВС-137 ВИМ АО «Камов» установлен амортизационный срок службы 20 лет, нормы амортизационных отчислений на полное восстановление – 5%.

Амортизационные затраты на один гектар обработки сельскохозяйственных угодий составляют:

$$\mathcal{E}_{\text{ага}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ага}}}{W_{\text{р.ч}}}, \quad (11)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ага}}$ – амортизационные затраты на один гектар, руб./га.

Отчисления в ремонтный фонд предусмотрены для погашения за счет этого фонда расходов по капитальному ремонту. По плану и двигателю БВС-137 ВИМ они пропорциональны налету часов, с учетом количества капитальных ремонтов планеров и двигателя за амортизационный срок их службы в летных часах и стоимости их капитальных ремонтов:

$$\mathcal{E}_{\text{кр}} = \frac{\frac{n_{\text{кр.пл}} \cdot C_{\text{кр.пл}}}{T_{\text{а.пл}}} + \frac{n_{\text{кр.дв}} \cdot C_{\text{кр.дв}} \cdot f}{T_{\text{а.дв}}}}{T_{\text{г}}}, \quad (12)$$

где $\mathcal{E}_{\text{кр}}$ – затраты на капитальный ремонт, руб./ч;

$C_{\text{кр.пл}}$, $C_{\text{кр.дв}}$ – стоимость капитальных ремонтов планера и двигателей соответственно, руб.;

$n_{\text{кр.пл}}$, $n_{\text{кр.дв}}$ – количество капитальных ремонтов планера и двигателей соответственно;

$T_{\text{а.пл}}$ – амортизационный срок службы планера, ч;

$T_{\text{а.дв}}$ – амортизационный срок службы двигателей, ч;

f – коэффициент, учитывающий работу двигателя на земле ($f > 1$);

$T_{\text{г}}$ – годовой производственный налет часов на БВС, ч.

Количество капитальных ремонтов планера и двигателя определяется из выражения:

$$n_{\text{кр}} = \frac{T_{\text{мр.пл.дв}}}{T_{\text{ам.пл.дв}}}, \quad (13)$$

где $n_{\text{кр}}$ – количество капитальных ремонтов, ед.;

$T_{\text{мр.пл.дв}}$ – межремонтный ресурс планера (двигателя), ч;

$T_{\text{ам.пл.дв}}$ – амортизационный срок службы планера (двигателя), ч.

Количество капитальных ремонтов планера и двигателя также может быть определено по формулам:

$$n_{\text{кр.пл}} = \frac{T_{\text{а.пл.}}}{T_{\text{мр.пл.}}} - 1, \quad (14)$$

$$n_{\text{кр.дв}} = \frac{T_{\text{а.дв.}}}{T_{\text{мр.дв.}}} - 1. \quad (15)$$

Затраты на капитальный ремонт на единицу обрабатываемой площади равны, руб./га:

$$\mathcal{E}_{\text{крга}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{кпр}}}{W_{\text{р.ч}}}, \quad (16)$$

где $\mathcal{E}_{\text{крга}}$ – затраты на капитальный ремонт на единицу обрабатываемой площади, руб./га;

$\mathcal{E}_{\text{кпр}}$ – затраты на капитальный ремонт, руб./ч.

Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт БВС рассчитываются прямым счетом (учетом). Если этого нет, то расчеты ведут на основе объема работ в приведенных единицах на техническое обслуживание (ТО) и фактической себестоимости приведенной единицы ТО в части материальных затрат:

$$\mathcal{E}_{\text{то}} = n_{\text{то}} \cdot C_{\text{то}}, \quad (17)$$

где $\mathcal{E}_{\text{то}}$ – затраты на техническое обслуживание БВС, руб./р.ч;

$n_{\text{то}}$ – количество приведенных единиц технического обслуживания, приходящихся на летный час, прив. ед./ч;

$C_{\text{то}}$ – себестоимость приведенной единицы технического обслуживания в части материальных затрат, руб./р.ч.

Количество приведенных единиц ТО, приходящихся на рабочий час, по типам ВС можно вычислять расчетным путем в соответствии с действующей системой переводных коэффициентов на техобслуживание или отчетными данными организации эксплуатанта. Себестоимость приведенной единицы ТО в части материальных затрат следует дифференцировать по типам ВС путем анализа оценки ТО эксплуатантов БВС.

Расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт можно также определить укрупненно, в размере 30-50% от амортизационных отчислений на один рабочий час:

$$\mathcal{E}_{\text{то}} = (0,3-0,5) \cdot \mathcal{E}_{\text{а}}. \quad (18)$$

Расходы на ремонт и ТО на единицу обрабатываемой площади БВС-137 ВИМ определяем по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{то.га}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{то}}}{W_{\text{р.ч}}}. \quad (19)$$

Расходы на страхование составляют процентное значение страхового тарифа от стоимости БВС-137 ВИМ. В данном случае он принят равным 0,046%.

$$\mathcal{E}_{\text{с}} = \frac{C_{\text{БВС}} \cdot K_{\text{с}}}{100 \cdot T_{\text{г}}}, \quad (20)$$

где $\mathcal{E}_{\text{с}}$ – расходы на страхование, руб./ч;

$C_{\text{БВС}}$ – стоимость БВС, руб.;

$K_{\text{с}}$ – страховой тариф, %;

$T_{\text{г}}$ – годовая загрузка, ч.

Расходы на страхование на единицу обрабатываемой площади поля определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{с}} = \frac{C_{\text{БВС}} \cdot K_{\text{с}}}{100 \cdot T_{\text{гарх}} \cdot W_{\text{р.ч}}}, \quad (21)$$

где $W_{\text{р.ч.}}$ – производительность БВС в рабочий час, га/р.ч.

Прямые эксплуатационные затраты денежных

средств на единицу наработки МТЗ представляют собой сумму денежных средств, формируемых при выполнении технологических операций по транспортировке БВС к сельскохозяйственному полю и обратно к месту базирования, разгрузке и погрузке БВС, снятию и установке посадочной платформы для БВС, заправке БВС рабочей жидкостью, топливом.

Прямые эксплуатационные затраты определяют в соответствии с ГОСТ 53056-2008:

$$ПЭ = 3 + Г + Р + А + Ф, \quad (22)$$

где $ПЭ$ – прямые эксплуатационные затраты денежных средств на единицу наработки, руб./га, руб./ч;

3 – затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб./ед. наработки (руб./га, руб./ч);

$Г$ – затраты на горюче-смазочные материалы, руб./ед. наработки (руб./га, руб./ч);

$Р$ – затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб./ед. наработки (руб./га, руб./ч);

$А$ – затраты на амортизацию, руб./ед. наработки (руб./га, руб./ч);

$Ф$ – прочие прямые затраты на основные и вспомогательные материалы, руб./ед. наработки (руб./га, руб./ч).

Установили исходные данные для расчета (таблица).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. На основании разработанной методики расчета себестоимости применения беспилотной авиационной системы для внесения пестицидов, удобрений и других агрохимикатов проведены расчеты себестоимости применения БАС-137 ВИМ с полезной нагрузкой 100 кг при переменных значениях: нормы внесения $H = 5-100$ л/га; длины гона $L = 0,3-2,0$ км; расстояния от места заправки до начальной точки обрабатываемого участка $R = 0,2-1,0$ км; рабочей скорости полета $V = 30-60$ км/ч (рис. 1-4).

При нормах внесения от 5 до 100 л/га диапазон изменения себестоимости находится в пределах от 280,9 руб./га (при $V = 60$ км/ч, $H = 5$ л/га) до 1315,5 руб./га (при $V = 30$ км/ч, $H = 100$ л/га). При норме внесения 10 л/га в пределах длины гона 0,3-2,0 км себестоимость применения БАС-137 ВИМ составляет 307,1-529,5 руб./га.

Получены основные зависимости себестоимости применения БАС-137 ВИМ при нормах внесения рабочих жидкостей пестицидов 10-20 л/га и азотного удобрения – 30-100 л/га. С увеличением нормы внесения рабочей жидкости себестоимость резко возрастает, независимо от рабочей скорости полета БАС-137 ВИМ (рис. 1). Из расчета наименьшей себестоимости рациональное значение норм внесения рабочей жидкости пестицидов составляет 10-20 л/га при рабочей скорости полета 30-60 км/ч. Нормы внесения 30-100 л/га характерны для некорневой подкормки растений жидкими азотными удобрениями.

Себестоимость применения в зависимости от длины гона и расстояния подлета на заправку изменяет-

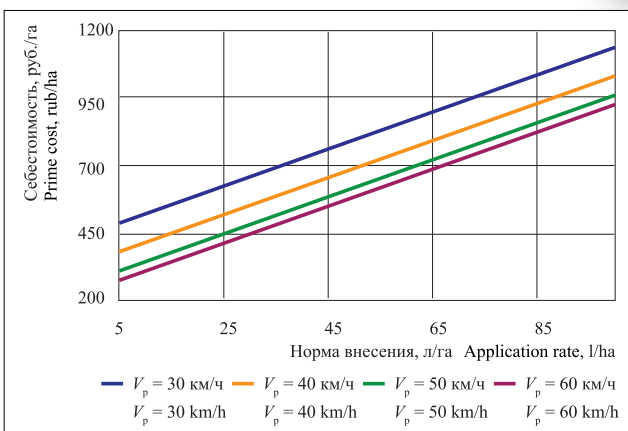


Рис. 1. Зависимость себестоимости применения БАС-137 ВИМ от нормы внесения агрохимикатов и рабочей скорости полета при длине гона обрабатываемого поля 1 км

Fig. 1. The dependence of BAS-137 VIM using cost on the agrochemical application rate of and the operating flight speed at the length of the cultivated field rut of 1 km

ся незначительно при нормах внесения 5-20 л/га (рис. 2, 3). При нормах внесения 5-20 л/га, длине гона 0,6-1,0 км себестоимость наименьшая – 264-369 руб./га при рабочей скорости полета 60 км/ч и 482-587 руб./га скорости 30 км/ч.

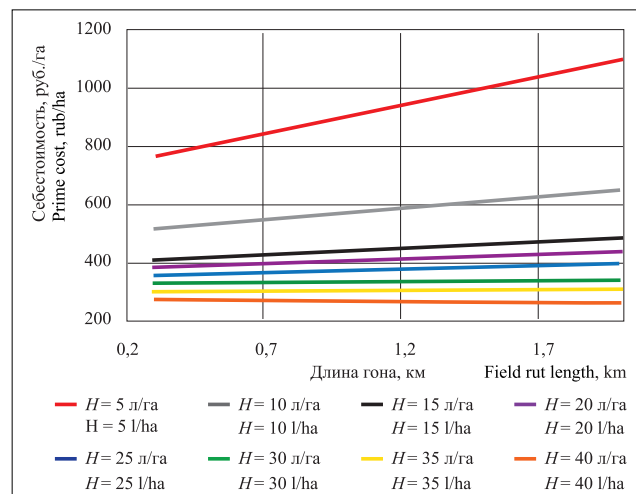


Рис. 2. Зависимость себестоимости применения БАС-137 ВИМ от длины гона и нормы внесения агрохимикатов при рабочей скорости полета 60 км/ч

Fig. 2. The dependence of BAS-137 VIM using cost on the field rut length and the agrochemical application rate of at the operating flight speed of 60 km/h

Влияние длины гона и расстояния подлета на заправку БВС рабочей жидкостью и топливом сказывается при нормах внесения 30-100 л/га.

С увеличением рабочей скорости полета в 2 раза – с 30 до 60 км/ч – себестоимость уменьшается примерно в 1,2-1,5 раза (рис. 4).

Выводы. Разработали методику расчета себестоимости применения беспилотной авиационной систе-

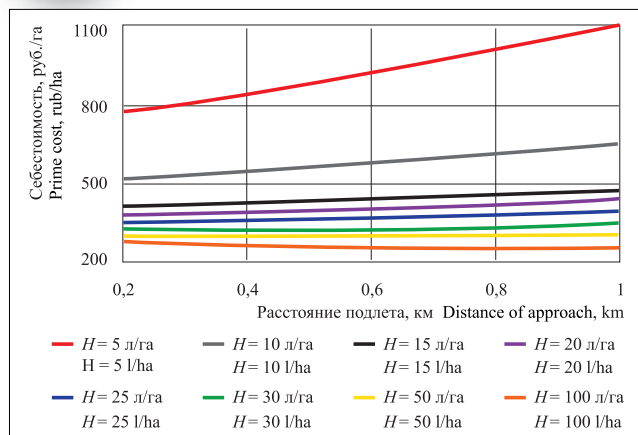


Рис. 3. Зависимость себестоимости применения БАС-137 ВИМ от расстояния подлета к месту заправки и нормы внесения агрохимикатов

Рис. 3. The dependence of BAS-137 VIM using cost on the distance of approach to the refueling place and the agrochemical application rate

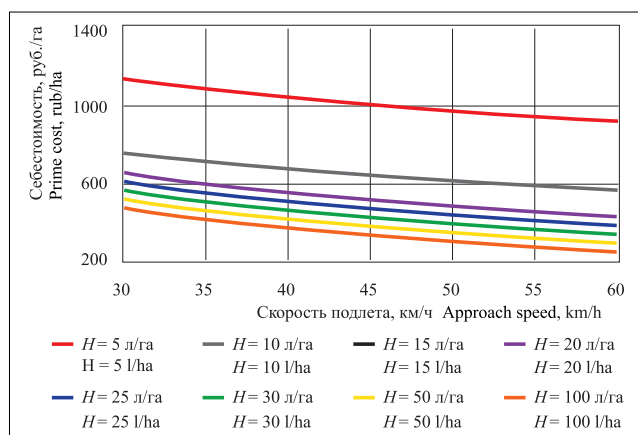


Рис. 4. Зависимость себестоимости применения БАС-137 ВИМ от рабочей скорости полета и нормы внесения агрохимикатов

Fig. 4. The dependence of BAS-137 VIM using cost on the operating flight speed and the agrochemical application rate

мы для внесения пестицидов и удобрений, включающую эксплуатационные расходы по статьям прямых и косвенных затрат. Установили, что при нормах внесения рабочей жидкости 5-100 л/га диапазон изменения себестоимости применения БАС-137 ВИМ находится в пределах от 280,9 руб./га (при $V = 60$ км/ч, $H = 5$ л/га) до 1315,5 руб./га (при $V = 30$ км/ч, $H = 100$ л/га). При норме внесения 10 л/га в пределах длины гона 0,3-2,0 км себестоимость составляет 307,1-529,5 руб./га.

Определили, что при нормах внесения 5-20 л/га и длине гона 0,6-1,0 км себестоимость будет наименьшей – 264-369 руб./га при рабочей скорости полета 60 км/ч и 482-587 руб./га скорости 30 км/ч.

Показали, что влияние длины гона и расстояния подлета на заправку БВС рабочей жидкостью и топливом значительно сказывается при нормах внесения 30-100 л/га, с увеличением рабочей скорости полета БАС-137ВИМ в 2 раза – с 30 до 60 км/ч – себестоимость уменьшается примерно в 1,2-1,5 раза.

Показатели / Indicators	Значение Value
Взлетная мощность двигателя, л.с. Takeoff engine power, hp	60
Взлетная масса, кг / Takeoff weight, kg	280
Масса полезной нагрузки, кг / Payload weight, kg	50-100
Рабочая скорость полета, км/ч Operating flight speed, km/h	40-60
Скорость при перелетах, км/ч / Flight speed, km/h	60
Время на взлет и посадку БВС, мин UAV takeoff and landing time, min	1
Время разворота летательного аппарата для захода на очередной гон, с Aircraft turn time to enter the next rut, s	5
Рабочая ширина захвата, м / Working width, m	5
Разовая загрузка летательного аппарата рабочей жидкости, кг One-time loading of the aircraft of the working fluid, kg	100
Первоначальная стоимость планера, тыс. руб. Airframe initial cost, thousand rubles	2965
Первоначальная стоимость двигателя, тыс. руб. Engine initial cost, thousand rubles.	163
Стоимость БВС, тыс. руб. / UAV cost, thousand rubles	1804
Среднечасовой расход авиационного топлива, л/ч Average hourly consumption of aviation fuel, l/h	17
Оптовая цена 1 т топлива, тыс. руб./т Wholesale price of 1 ton of fuel, thousand rubles/ton	45
Коэффициент, учитывающий расход масла в зависимости от расхода топлива Coefficient taking into account oil consumption depending on the consumption fuel	0,05
Стоимость смазочных материалов, руб./л Lubricant cost, rub./l	40,65
Годовой налет БВС, ч / Annual flight time UAV, h	4000
Годовой налет БВС на авиационно-химических полетах, ч UAVs' annual flying hours of aviation-chemical flights, h	550
Нормы амортизационных отчислений на восстановление соответственно по планеру и двигателю, % от балансовой (первоначальной) стоимости Restoration depreciation rates for the airframe and engine, respectively, % of the book (initial) cost	5
Отчисление на социальное страхование от всех видов заработной платы за один производственный час полета, % Social insurance contribution from all types of wages for one production flight hour, %	30,2
Расстояние от места заправки рабочей жидкостью до обрабатываемого участка, км Distance from the place of working fluid filling to the treated area, km	0,2-1,0
Длина гона сельскохозяйственного поля, км The length of the agricultural field rut, km	0,3-2,0
Норма внесения рабочей жидкости Н, л/га: Application rate of N working fluid, l/ha: для пестицидов / for pesticides для жидких азотных удобрений for liquid nitrogen fertilizers	10-20 30-100

Удельный расход топлива, л/100 км Specific fuel consumption, l/100 km	12
Стоимость МТЗ ВИМ с комплектом технологического оборудования, тыс. руб. The cost of MTZ VIM with a set of technological equipment, thousand rubles	2855,68
Годовая загрузка МТЗ ВИМ, ч Annual loading of MTZ VIM, h	550
Расстояние переезда МТЗ ВИМ к месту работы, км Distance of moving MTZ VIM to the place of work, km	10
Скорость движения МТЗ ВИМ к месту работы, км/ч Speed of MTZ VIM movement to the place of work, km/h	60
Время разгрузки БВС-137 ВИМ с платформы МТЗ ВИМ, ч BVS-137 VIM unloading time from the MTZ VIM platform, h	0,067
Время на установку взлетно-посадочной платформы МТЗ ВИМ и установку на ней БВС-137 ВИМ, ч Time to install the MTZ VIM take-off and landing platform and install BVS-137 VIM on it, h	0,1
Расход топлива двигателем МТЗ ВИМ на холостом ходу, л/ч. Fuel consumption of the MTZ VIM engine at idle, l/h	2
Расход топлива при работе крана манипулятора, л/мото-ч. Fuel consumption during the manipulator crane operation, l/moto-h.	5
Цена дизельного топлива, руб./л / Diesel fuel price, rub./l	36
Производительность насоса для заправки рабочей жидкостью БВС-137 ВИМ, л/мин The performance of the pump for filling BVS-137 VIM working fluid, l/min	109
Напряжение питания топливного насоса от генератора двигателя МТЗ ВИМ, В Voltage of fuel pump supply from MTZ VIM engine generator, V	12

Производительность топливного насоса для заправки топливного бака БВС-137 ВИМ, л/мин Fuel pump performance for BVS-137 VIM fuel tank filling, l/min	50
Расход топлива насоса для заправки топливом БВС-137 ВИМ, л/(кВт·ч) Fuel consumption of the pump for refueling BVS-137 VIM, l/(kWh)	0,459
Стоимость топлива марки АИ-92, руб./л AI-92 fuel cost, rub/l	46
Время заполнения рабочей жидкостью бака модуля опрыскивателя, мин Time to fill the tank of the sprayer module with the working fluid, min	0,92
Средняя зарплата водителя транспортировщика-заправщика, тыс. руб. Average salary of a transporter-refueling driver, thousand rubles	50
Средняя зарплата программиста, тыс. руб. Average salary of a programmer, thousand rubles	80
Средняя зарплата агронома по защите растений, тыс. руб. Average salary of a plant protection agronomist, thousand rubles	34
Коэффициент доплат за вредные условия труда при работе с пестицидами Coefficient of additional payments for harmful working conditions when working with pesticides	1,25
Коэффициент отчислений на ремонт и техническое обслуживание МТЗ ВИМ Factor of deductions for MTZ VIM repairs and maintenance	0,23

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Журавлев В.Н., Журавлев П.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в отраслях экономики: состояние и перспективы // *Научный Вестник МГТУ*. 2016. Т. 19. N4. С. 156-164.
- Марченко Л.А., Мочкова Т.В., Курбанов Р.К., Краснобо-родько В.В. Основные требования к беспилотным летательным аппаратам для внесения удобрений и пестицидов // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4(33). С. 107-112.
- Артюшин А.А., Курбанов Р.К., Марченко Л.А., Захарова О.М. Выбор типоразмерного ряда беспилотных летательных аппаратов и полезной нагрузки для мониторинга сельскохозяйственных полей // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N4(37). С. 36-43.
- 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. N5. С. 38-45.
- Марченко Л.А., Мызин М.В., Кузнецов И.В., Мочкова Т.В., Спиридонов А.Ю. Беспилотное воздушное судно вертолетного типа для внесения пестицидов и удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N1. С. 61-68.
- Никитин В.Н., Раков Д.Н. Оценка экономической эффективности использования беспилотных аэрофотосъемочных комплексов // *Вестник СГУГиТ*. 2013. N4(24). С. 48-46.
- Zakharova R.V., Gainutdinov I.G. The use of an unmanned aerial vehicle for desiccation of oilseeds. *Vector of Economics*. 2018. N11(29). 118.
- Semenova L.L. Modern navigation methods for unmanned aerial vehicles. *Science and Education Today*. 2018. N4(27). 6-8.
- Старцев А.В., Гузенко А.С., Васильев М.А. и др. Перспективы использования авиации в сельском хозяйстве // *АПК России*. 2021. Т. 28. N2. С. 258-263.
- Фарков А.Г. Проблемы и перспективы развития сельскохозяйственной авиации в России // *Логистические системы в глобальной экономике*. 2018. N8. С. 247-251.
- Sozzi M., Kayad A., Gobbo S., Cogato A., Sartori L., Marinello F. Economic Comparison of Satellite, Plane and UAV-Acquired NDVI Images for Site-Specific Nitrogen Application: Observations from Italy. *Agronomy*. 2021. N11. 2098.
- Елисеев А.Н., Федоров Д.М., Кондратьев Р.Ю. Оценка экономической эффективности применения БПЛА // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. 2018. Т. 1. С. 252-253.
- Артеменко И.В., Олешко В.С. Оценка экономической эф-

- фективности НИОКР по перспективным БПЛА // *Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России*. 2020. N1(145). С. 54-58.
14. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Цифровые технологии в почвообработке // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 191-197.
 15. Шевченко А.В., Мигачев А.Н. Обзор состояния мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и их применения в сельском хозяйстве // *Робототехника и техническая кибернетика*. 2019. Т. 7. N3. С. 183-195.
 16. Wang L. Applications and Prospects of Agricultural Unmanned Aerial Vehicle Obstacle Avoidance Technology in China. *Sensors (Basel)*. 2019. Vol. 19. N3. 642.
 17. Mogili U.R., Deepak B.B.V.L. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*. 2018. N133. 502-509.
 18. Эфендиева А.А., Загазежева О.З. Перспективы использования беспилотных устройств в решении прикладных задач в сельскохозяйственной отрасли // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2019. N4(90). С. 54-59.
 19. Линков С.А., Акинчин А.В., Мелентьев А.А. и др. Применение ГИС-технологий в сельскохозяйственном производстве // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2018. N1(17). С. 118-126.
 20. Балабанов В.И., Елесеов В.В., Солдатов П.Д. и др. Беспилотные машины и их применение в сельском хозяйстве // *Наука в центральной России*. 2020. N3(45). С. 31-40.
 21. Дудин М.Н., Шкодинский С.В., Анищенко А.Н. Цифровизация роста: будущее сельского хозяйства России в индустрии 4.0 // *АПК: Экономика, управление*. 2021. N5. С. 25-37.
 22. Миронова Н.А. Цифровая экономика и цифровые платформы в АПК // *Московский экономический журнал*. 2019. N7. С. 19.
 23. Астахова Т.Н., Колбанев М.О., Романова А.А., Шамин А.А. Модель цифрового сельского хозяйства // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Т. 7. N12. С. 63-69.
 24. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.
 25. Комкина Т.А., Никонова М.А., Дубинина М.Г. Техно-экономический анализ отдельных видов сервисных роботов // *Экономический анализ: теория и практика*. 2020. Т. 19. N10(505). С. 1965-1986.
 26. Макарова Ю.А., Дубинина М.Г. Анализ технико-экономических показателей беспилотных транспортных средств // *Концепции*. 2018. N1(37). С. 28-44.
 27. Абдуллаев А.А. Тенденция развития беспилотных летательных аппаратов конвертопланового типа // *Тенденции развития науки и образования*. 2020. N63-1. С. 84-90.
 28. Дубинина М.Г. Анализ технико-экономических показателей профессиональных квадрокоптеров // *Концепции*. 2019. N1(38). С. 27-35.
 29. Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // *Исследования: теория и эксперимент*. 2019. N1. С. 48-50.
 30. Романенкова М.С., Балабанов В.И. Применение цифровых технологий в растениеводстве // *Наука в центральной России*. 2020. N2(44). С. 74-82.
 31. Коноплин Н.А., Морозов А.В., Попов А.И. Анализ физических параметров энергоэффективности агроинженерных систем // *Международный технико-экономический журнал*. 2018. N2. С. 47-53.
 32. Пашута А.О. Научные основы повышения эффективности земельных отношений в сельском хозяйстве // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2018. N3(36). С. 36-43.
 33. Utepkaliyeva K.M., Sabirova R.K., Dingazieva M.D., Tazhidanova A.R. Improvement of the economic efficiency of vegetable production in the agrarian sector. *Bulletin of Karaganda University. Economy Series*. 2019. Vol. 96. N4. 93-98.
 34. Нургалиева А.А., Ахметова Д., Бейсембина А. и др. Пути повышения экономической эффективности развития сельского хозяйства // *Велес*. 2020. N1-1(79). С. 47-51.
 35. Дадобоев А.Т. Некоторые аспекты совершенствования экономического механизма повышения эффективности сельского хозяйства // *Вестник Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики. Серия общественных наук*. 2018. N4(77). С. 68-75.
 36. Китиева М.И., Богатырева А.И. Факторы повышения экономической эффективности производства в сельском хозяйстве // *Заметки ученого*. 2021. N3-1. С. 180-183.
 37. Бабаева З.Ш. Вопросы повышения эффективности использования экономических ресурсов в ходе производственного процесса в сельском хозяйстве // *Экономика и предпринимательство*. 2019. N12(113). С. 949-956.
 38. Край К.Ф., Хаджиева М.И. Экономическая эффективность внедрения инновационных технологий в сельское хозяйство в эпоху сквозной цифровизации // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2020. N6(98). С. 155-164.
 49. Gandorfer M., Meyer-Aurich A. Economic Potential of Site-Specific Fertiliser Application and Harvest Management. *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. 2017. 79-92.
 40. Ørum J.E., Kudsk P., Jensen P.K. Economics of Site-Specific And Variable-Dose Herbicide Application. *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. 2017. 93-110.

REFERENCES

1. Zhuravlev V.N., Zhuravlev P.V. Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v otraslyakh ekonomiki: sostoyanie i perspektivy [The use of unmanned aerial vehicles in economic sectors: current situation and prospects]. *Nauchnyy Vestnik MGTU*. 2016. Vol. 19. N4. 156-164 (In Russian).
2. Marchenko L.A., Mochkova T.V., Kurbanov R.K., Krasnob-

- orod'ko V.V. Osnovnye trebovaniya k bespilotnym letatel'nyim apparatam dlya vneseniya udobreniy i pestitsidov [Basic requirements for unmanned aerial vehicles for fertilizer and pesticides]. *Vestnik VIESKH*. 2018. N4(33). 107-112 (In Russian).
3. Artyushin A.A., Kurbanov R.K., Marchenko L.A., Zakharova O.M. Vybory tiporazmernogo ryada bespilotnykh letatel'nykh apparatov i poleznoy nagruzki dlya monitoringa sel'skokhozyaystvennykh poley [The choice of a standard series of unmanned aerial vehicles and payload for monitoring agricultural fields]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N4(37). 36-43 (In Russian).
 4. Marchenko L.A., Artyushin 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'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N5. 38-45 (In Russian).
 5. Marchenko L.A., Myzin M.V., Kuznetsov I.V., Mochkova T.V., Spiridonov A.Yu. Bespilotnoe vozdušnoye sudno vertoletnogo tipa dlya vneseniya pestitsidov i udobreniy [Unmanned helicopter type aircraft for the pesticides and fertilizers application]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 61-68 (In Russian).
 6. Nikitin V.N., Rakov D.N. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti ispol'zovaniya bespilotnykh aerofotosemochnykh kompleksov [Unmanned aerial photography complexes application: cost-effectiveness assessment]. *Vestnik SGUGiT*. 2013. N4(24). 48-46 (In Russian).
 7. Zakharova R.V., Gainutdinov I.G. The use of an unmanned aerial vehicle for desiccation of oilseeds. *Vector of Economics*. 2018. N11(29). 118 (In English).
 8. Semenova L.L. Modern navigation methods for unmanned aerial vehicles. *Science and Education Today*. 2018. N4(27). 6-8 (In English).
 9. Startsev A.V., Guzenko A.S., Vasil'ev M.A., et al. Perspektivy ispol'zovaniya aviatsii v sel'skom khozyaystve [Prospects for using aviation in agriculture]. *APK Rossii*. 2021. Vol. 28. N2. 258-263 (In Russian).
 10. Farkov A.G. Problemy i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennoy aviatsii v Rossii [The problems and perspectives of agricultural aviation]. *Logisticheskie sistemy v global'noy ekonomike*. 2018. N8. 247-251 (In Russian).
 11. Sozzi M., Kayad A., Gobbo S., Cogato A., Sartori L., Marinello F. Economic Comparison of Satellite, Plane and UAV-Acquired NDVI Images for Site-Specific Nitrogen Application: Observations from Italy. *Agronomy*. 2021. N11. 2098 (In English).
 12. Eliseev A.N., Fedorov D.M., Kondrat'ev R.Yu. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya BPLA [Evaluation of UAVs' economic efficiency]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*. 2018. Vol. 1. 252-253 (In Russian).
 13. Artemenko I.V., Oleshko V.S. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti NIOKR po perspektivnym BPLA [Assessment of the economic efficiency of r&d about promising UAVs]. *Oboronnyy kompleks – nauchno-tekhnicheskoyu progressu Rossii*. 2020. N1(145). 54-58 (In Russian).
 14. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Tsifrovyye tekhnologii v pochvoobrabotke [Digital technologies in tillage]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 191-197 (In Russian).
 15. Shevchenko A.V., Migachev A.N. Obzor sostoyaniya mirovogo rynka bespilotnykh letatel'nykh apparatov i ikh primeneniya v sel'skom khozyaystve [Review of the state of the world market of drones and their application for agriculture]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*. 2019. Vol. 7. N3. 183-195 (In Russian).
 16. Wang L. Applications and Prospects of Agricultural Unmanned Aerial Vehicle Obstacle Avoidance Technology in China. *Sensors (Basel)*. 2019. Vol. 19. N3. 642 (In English).
 17. Mogili U.R., Deepak B.B.V.L. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*. 2018. N133. 502-509 (In English).
 18. Efendieva A.A., Zagazheva O.Z. Perspektivy ispol'zovaniya bespilotnykh ustroystv v reshenii prikladnykh zadach v sel'skokhozyaystvennoy otrasli [Prospects for the use of unmanned devices in solving applied problems in the agricultural industry]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchno tsentra RAN*. 2019. N4(90). 54-59 (In Russian).
 19. Linkov S.A., Akinchin A.V., Melent'ev A.A., et al. Primenenie GIS-tekhnologiy v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [The application of GIS technologies in agricultural production]. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2018. N1(17). 118-126 (In Russian).
 20. Balabanov V.I., Eleseev V.V., Soldatov P.D., et al. Bespilotnye mashiny i ikh primenenie v sel'skom khozyaystve [Unmanned vehicles and their application in agriculture]. *Nauka v tsentral'noy Rossii*. 2020. N3(45). 31-40 (In Russian).
 21. Dudin M.N., Shkodinskiy S.V., Anishchenko A.N. Tsifrovizatsiya rosta: budushchee sel'skogo khozyaystva Rossii v industrii 4.0 [Digitalization of growth: the future of Russian agriculture in industry 4.0]. *APK: Ekonomika, upravlenie*. 2021. N5. 25-37 (In Russian).
 22. Mironova N.A. Tsifrovaya ekonomika i tsifrovyye platformy v APK [The digital economics and the digital platforms in the agriculture]. *Moskovskiy ekonomicheskyy zhurnal*. 2019. N7. 19 (In Russian).
 23. Astakhova T.N., Kolbanev M.O., Romanova A.A., Shamin A.A. Model' tsifrovogo sel'skogo khozyaystva [Model of digital agriculture]. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Vol. 7. N12. 63-69 (In Russian).
 24. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologiy i mashin [Aspects of digitalization of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).
 25. Komkina T.A., Nikonova M.A., Dubinina M.G. Tekhniko-ekonomicheskyy analiz otdel'nykh vidov servisnykh robotov [Technical and economic analysis of certain types of service robots]. *Ekonomicheskyy analiz: teoriya i praktika*. 2020. Vol. 19. N10(505). 1965-1986 (In Russian).
 26. Makarova Yu.A., Dubinina M.G. Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley bespilotnykh transportnykh sredstv

- [Analysis of technical and economic indicators of unmanned vehicles]. *Konceptsiy*. 2018. N1(37). 28-44 (In Russian).
27. Abdullaev A.A. Tendentsiya razvitiya bespilotnykh letatel'nykh apparatov konvertoplanovogo tipa [The development trend of tiltrotor unmanned aerial vehicles]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2020. N63-1. 84-90 (In Russian).
 28. Dubinina M.G. Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley professional'nykh kvadrokoptero [Analysis of technical and economic indicators of professional quadcopters]. *Konceptsiy*. 2019. N1(38). 27-35 (In Russian).
 29. Zubarev Yu.N., Fomin D.S. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaystve [Use of uncleaned aircraft in agriculture]. *Issledovaniya: teoriya i eksperiment*. 2019. N1. 48-50 (In Russian).
 30. Romanenkova M.S., Balabanov V.I. Primenenie tsifrovyykh tekhnologiy v rasteniyevodstve [Application of digital technologies in plant crops]. *Nauka v tsentral'noy Rossii*. 2020. N2(44). 74-82 (In Russian).
 31. Konoplin N.A., Morozov A.V., Popov A.I. Analiz fizicheskikh parametrov energoefektivnosti agroinzhenernykh sistem [Analysis of the physical parameters of energy efficiency of engineering systems]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal*. 2018. N2. 47-53 (In Russian).
 32. Pashuta A.O. Nauchnye osnovy povysheniya effektivnosti zemel'nykh otnosheniy v sel'skom khozyaystve [Scientific basis for improving the efficiency of land relations in agriculture]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2018. N3(36). 36-43 (In Russian).
 33. Utepkaliyeva K.M., Sabirova R.K., Dingazieva M.D., Tazhidanova A.R. Improvement of the economic efficiency of vegetable production in the agrarian sector. *Bulletin of Karaganda University. Economy Series*. 2019. Vol. 96. N4. 93-98 (In English).
 34. Nurgalieva A.A., Akhmetova D., Beysembina A., et al. Puti povysheniya ekonomicheskoy effektivnosti razvitiya sel'skogo khozyaystva [Ways to improve the economic efficiency of agricultural development]. *Veles*. 2020. N1-1(79). 47-51 (In Russian).
 35. Dadoboev A.T. Nekotorye aspekty sovershenstvovaniya ekonomicheskogo mekhanizma povysheniya effektivnosti sel'skogo khozyaystva [Some aspects of improvement concerned with economic mechanism serving elevation of agriculture effectiveness]. *Vestnik Tadzhikskogo gosudarstvennogo universiteta prava, biznesa i politiki. Seriya obshchestvennykh nauk*. 2018. N4(77). 68-75 (In Russian).
 36. Kitieva M.I., Bogatyreva A.I. Faktory povysheniya ekonomicheskoy effektivnosti proizvodstva v sel'skom khozyaystve [Factors for increasing the economic efficiency of production in agriculture]. *Zametki uchenogo*. 2021. N3-1. 180-183 (In Russian).
 37. Babaeva Z.Sh. Voprosy povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya ekonomicheskikh resursov v khode vosproizvodstvennogo protsessa v sel'skom khozyaystve [Issues of increasing the efficiency of using economic resources during the reproduction process in agriculture]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2019. N12(113). 949-956 (In Russian).
 38. Kray K.F., Khadzhieva M.I. Ekonomicheskaya effektivnost' vnedreniya innovatsionnykh tekhnologiy v sel'skoye khozyaystvo v epokhu skvoznoy tsifrovizatsii [Cost-effectiveness of the introduction of innovative technologies in agriculture in the era of end-to-end digitalization]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2020. N6(98). 155-164 (In Russian).
 39. Gandorfer M., Meyer-Aurich A. Economic Potential of Site-Specific Fertiliser Application and Harvest Management. *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. 2017. 79-92 (In English).
 40. Ørum J.E., Kudsk P., Jensen P.K. Economics of Site-Specific And Variable-Dose Herbicide Application. *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. 2017. 93-110 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Марченко Л.А. – общее научное руководство, формирование схемы расчетных исследований, анализ основных технико-экономических показателей, подготовка и доработка текста.

Смирнов И.Г. – анализ исследований по теме, оперативный анализ и графическое представление полученных результатов.

Курбанов Р.К. – работа с графическим материалом, анализ и обобщение данных литературы.

Спирidonov А.Ю. – уточнение методики расчетов, сравнительный анализ технико-экономических показателей, формирование общих выводов и редактирование.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Marchenko L.A. – general scientific guidance, computational scheme design, analysis of the main technical and economic indicators, manuscript preparation and revision.

Smirnov I.G. – analysis of the existing literature on the topic, operational analysis and graphical presentation of the results.

Kurbanov R.K. – work with graphic material, literature analysis.

Spiridonov A.Yu. – methodology refinement calculation, comparative analysis of technical and economic indicators, general conclusions and manuscript draft editing.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

17.01.2022
02.03.2022