

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.132-140>

УДК 631.171: 629.735: 621.398



Обоснование параметров беспилотной системы для автоматизированного мониторинга животных на пастбище

© 2023. В. А. Шигимага¹, Р. А. Файзуллин², А. С. Осокина²✉

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина

²ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

В работе приведено обоснование основных параметров беспилотной системы автоматизированного мониторинга стада на пастбище за счет автоматизации измерения текущих физиологических показателей животных для повышения эффективности и оперативности надзора за ними в условиях свободного выпаса. Исследования основывались на теории радиосвязи о распространении радиоволн, а также применен графоаналитический метод для расчета параметров элементов в составе беспилотной системы автоматизированного мониторинга животных на пастбище. Для измерения времени полета беспилотного летательного аппарата (БПЛА) над реальным пастбищем был применен квадрокоптер типа DJI Phantom 4 Advanced. В качестве полезной нагрузки был взят вес 350 г. В качестве пастбища использовали опытное поле в ОХ «Кутузовка» Харьковского района Харьковской области площадью 200 га. Исследования выполнены летом 2021 г. На основе известных исследований процессов, способов и технических средств мониторинга физиологического состояния животных на пастбище установлено, что для дистанционного мониторинга целесообразно применять новейшие технические средства, включая аппараты воздушного базирования. Среди них БПЛА вертолетного типа, а также элементы системы радиотелеметрии (РТМ), индивидуальные бирки и датчики физиологических параметров животного. При этом беспилотная система автоматизированного мониторинга в сочетании с элементами РТМ сможет обеспечить передачу физиологических данных с любых датчиков, находящихся на теле животного или внутри него. Данные передаются на основной пункт приема информации с целью обработки на компьютере и выдачи рекомендаций специалистам (ветеринарам, зоотехникам и т.п.). Рассчитаны мощность аппаратуры ретрансляции на борту БПЛА – не менее 60 мВт и дальность связи с ретранслятором животного – не более 0,8 км. Экспериментально установлены основные параметры полета БПЛА над пастбищем площадью 200 га – высота 20 м, скорость 8,7 км/ч, время 27,5 мин, полезная нагрузка 350 г.

Ключевые слова: радиотелеметрия, беспилотный летательный аппарат, технические характеристики, физиологическое состояние, свободный выпас

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 122040800100-4). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шигимага В. А., Файзуллин Р. А., Осокина А. С. Обоснование параметров беспилотной системы для автоматизированного мониторинга животных на пастбище. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):132-140. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.132-140>

Поступила: 07.10.2022

Принята к публикации: 20.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

The substantiation of the parameters of an unmanned system for automated monitoring of animals on pasture

© 2023. Viktor A. Shigimaga¹, Rafail A. Fayzullin², Anastsiya S. Osokina²✉

¹Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

²Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

The research provides the substantiation of the main parameters of an unmanned automated herd monitoring system on a pasture by automating the measurement of current physiological indicators of animals to improve the efficiency and rate of supervision over them in free grazing conditions. The studies were based on the theory of radio communication about the propagation of radio waves, and also there was used a graphoanalytic method for calculating the parameters of component

elements as parts of an unmanned system for automated monitoring of animals on pasture. The DJI Phantom 4 Advanced quadcopter was used to measure the flight time of an unmanned aerial vehicle (UAV) over the real pasture. As a payload, the weight of 350 g was taken. As a pasture, the experimental field at the farm "Kutuzovka", Kharkiv district, Kharkiv region with an area of 200 ha was used. The research was carried out in summer 2021. According to the results of well-known studies of the processes, methods and technical means of monitoring the physiological state of animals on pasture, it has been established that the advanced technological means including air-based devices should be used for remote monitoring. Among them are helicopter-type unmanned aerial vehicles, as well as elements of the radio telemetry system (RTM), individual tags and sensors of the physiological parameters of the animal. At the same time, an unmanned automated monitoring system in combination with RTM elements is able to provide the transmission of physiological data from any sensors located on the animal's body or inside it. The data are transmitted to the main point of receiving information for processing it on a PC and giving recommendations to specialists (veterinarians, zootechnicians, etc.). The power of the relay equipment on board the UAV is calculated to be at least 60 mW and the communication range with the animal transponder not more than 800 m. The main parameters of the UAV flight over a pasture of 200 hectares have been experimentally established – the height is 20 m, the speed is 8.7 km/h, the time is 27.5 min, the payload is 350 g.

Keywords: radio telemetry, unmanned aerial vehicle, technical characteristics, physiological state, free grazing

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 122040800100-4).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Shigimaga V. A., Fayzullin R. A., Osokina A. S. The substantiation of the parameters of an unmanned system for automated monitoring of animals on pasture. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(1):132-140. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.132-140>

Received: 07.10.2022

Accepted for publication: 20.01.2023

Published online: 27.02.2023

Современные мировые системы обслуживания животных основаны на применении прецизионных технологий. Эти системы имеют подсистемы идентификации, индивидуального учета надоев и качества молока, определения двигательной активности животных, объединенные в комплексную систему управления стадом, а также имеется еще ряд других автоматизированных технических систем [1, 2]. Эти системы необходимо адаптировать к животноводческим хозяйствам всех видов собственности, в том числе и к объектам свободного содержания животных. В частности, на голландских молочных фермах для управления коровами успешно используются сенсорные системы [3]. Внедряются также новейшие роботизированные комплексы для пастбищ, включающие автоматическую аппаратуру, отслеживающую состояние животных в реальном времени и корректирующую рационы питания [4, 5]. Вместе с этим разрабатываются и робототехнические средства контроля качества некоторых продуктов животноводства прямо в процессе их получения [6, 7]. Последнее направление становится все более востребованным, поскольку уже существуют, например, мобильные роботизированные доильные установки, доставляемые на пастбище [4].

С принятием концепции массового перехода на беспривязное содержание животных и внедрение эффективных методов, технических средств мониторинга и управления техноло-

гическими процессами индивидуальный учет и обслуживание животных приобретают особую актуальность [8, 9].

Для приема и передачи полученной физиологической информации от животных на пастбище существуют различные технические средства, среди которых новейшими и перспективными являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны [10]. Обычно, за сельскохозяйственными животными на крупных фермах следят редко, потому что в условиях использования традиционных средств это очень сложно [11]. Это означает, что работники крупной фермы часто не имеют представления, в каком физиологическом состоянии находятся животные. Поэтому на таких фермах целесообразно использовать новейшие технические средства, в частности, роботизированных пастухов. Роботы способны определять больных или травмированных животных с помощью термодатчиков и видеосенсоров [1, 3]. Существуют и автоматизированные системы радиотехнического мониторинга поведения животных [8, 9], а также с помощью дронов [10].

В настоящее время БПЛА активно задействуют в экологических проектах и животноводстве [12, 13]. Например, состояние здоровья животного в стаде на выпасе уже возможно выявлять с воздуха [14]. БПЛА позволяет оценить степень износа пастбища и качество травы, заблаговременно выявить некоторые ядовитые растения. Их можно оснастить оборудованием

для взятия образцов почвы, травы или воды. БПЛА незаменимы при мониторинге дальних пастбищ [15, 16]. БПЛА-курьеры доставляют фермеру заказанные им медикаменты для лечения животных, а материалы анализов больных животных – в местную ветеринарную клинику. С помощью БПЛА можно дистанционно ввести животному на пастбище вакцину или антибиотик [17, 18].

Но остались нерешенными вопросы, связанные с определением конкретных параметров беспилотной системы для автоматизированного мониторинга физиологического состояния животных на пастбище. Причиной этого являются, с одной стороны, объективные трудности работы с биообъектами (животными), которым присуща изменчивость в поведении, а с другой – реальные полевые условия радиосвязи БПЛА с датчиком на животном. Поэтому все эти вопросы актуальны, учитывая новизну применения БПЛА в пастбищном животноводстве.

Необходимо добавить, что при большой скорости полета БПЛА наблюдается эффект Доплера. Этот эффект заключается в смещении частоты радиосигнала передатчика на борту, и вследствие узкополосности приемника на земле ведет к частичной или полной потере информации. Поэтому целесообразно использовать аппараты с низкой скоростью перемещения в пространстве, такими свойствами обладает именно БПЛА вертолетного типа.

Цель исследований – обоснование и разработка основных параметров беспилотной системы автоматизированного мониторинга стада на пастбище, что дает возможность повысить эффективность и оперативность надзора за животными в условиях свободного выпаса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– обосновать и рассчитать основные параметры полета БПЛА и аппаратуры ретрансляции на борту в составе системы беспилотного автоматизированного мониторинга физиологических показателей стада;

– экспериментально установить временные показатели полета БПЛА с полезной нагрузкой.

Научная новизна – состоит в возможности автоматизированного дистанционного монито-

ринга физиологического состояния животных в природных условиях на пастбище.

Материал и методы. В процессе исследования использованы общие положения теории радиосвязи о распространении радиоволн^{1, 2}, а также предложен графоаналитический метод для обоснования технических параметров комплекствующих элементов в составе беспилотной системы автоматизированного мониторинга животных на пастбище.

Метод реализован в 3 этапа:

1. Выполнены расчеты основных технических параметров БПЛА по установлению уверенной радиосвязи аппаратуры ретрансляции на его борту с транспондером радиотелеметрии (РТМ), который расположен в ошейнике животного. Для этого использованы формулы теории радиосвязи: дальности прямой видимости и Введенского^{3, 4}.

2. Построена 3D-графическая зависимость мощности передатчика от высоты полета БПЛА и дальности радиосвязи с животным, так называемый калибровочный график.

3. Проведен анализ процесса сканирования БПЛА территории пастбища с животными, который представлен в виде схемы позиционирования.

Для оценки максимальной погрешности при передаче сигнала РТМ с транспондера животного на ретранслятор БПЛА расчетным методом определили сдвиг частоты полезного сигнала при максимальной скорости полета БПЛА.

Для измерения времени полета БПЛА над реальным пастбищем применили квадрокоптер типа DJI Phantom 4 Advanced. В качестве полезной нагрузки был взят вес 350 г. Пастбищем использовали опытное поле в ОХ «Кутузовка» Харьковского района Харьковской области площадью 200 га, то есть прямоугольник 2×1 км². Исследования выполнены летом 2021 г.

Результаты и их обсуждение. Беспилотная система автоматизированного мониторинга животных на пастбище состоит из БПЛА и радиотехнических средств сбора, первичной обработки и передачи данных о физиологическом состоянии животных на персональный компьютер (ПК). Поэтому следует обосновать и рассчитать основные технические параметры

¹Пермяков В. А., Солодухов В. В., Бодров В. В., Исаков М. В. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: МЭИ, 2006. 184 с.

²Теория электрической связи: учебное пособие для студ. высших учебных заведений. Под общ. ред. Р. Р. Биккенина, М. Н. Чеснокова. М.: Академия, 2010. 329 с.

³Пермяков В. А., Солодухов В. В., Бодров В. В., Исаков М. В. Указ. соч.

⁴Теория электрической связи. 2010

этих составных элементов системы. В отношении БПЛА параметрами, требующими обоснования, являются высота, скорость и время полета, а также полезная нагрузка. Среди важных технических параметров радиоаппаратуры, требующих расчета, является мощность аппаратуры РТМ на борту БПЛА и дальность связи.

1. *Обоснование и разработка параметров перемещения БПЛА над пастбищем и аппаратуры ретрансляции данных РТМ на борту.*

Предположим, что БПЛА совершает полет над пастбищем и периодически выполняет видеофиксацию животных и ретрансляцию данных с датчиков физиологического состояния. Обоснуем нужную высоту полета БПЛА над контролируемым участком пастбища.

Максимальную высоту полета БПЛА определяем, преобразуя формулу дальности прямой видимости:

$$h_2 = \left(\frac{D}{3,85} - \sqrt{h_1} \right)^2, \quad (1)$$

где h_2 – высота полета БПЛА, м;
 D – дальность прямой видимости, км;
 h_1 – высота передатчика на ошейнике животного (принимается 1 м).

Для большинства случаев поиска животных на пастбище можно принять максимальную дальность прямой видимости $D = 20$ км. Отсюда по формуле (1) находим высоту полета

БПЛА – 17,6 м. Учитывая то, что на пастбище могут расти деревья высотой 10-15 м или есть другие препятствия, для надежности выбираем максимальную высоту полета с запасом, то есть 25 м. При этом дальность прямой видимости по формуле (1) составляет более 20 км, что достаточно для выявления животных на площади пастбища более 1000 га.

Следующим этапом было обоснование мощности радиопередатчика данных РТМ, который расположен в транспондере на ошейнике животного, для уверенного приема радиосигнала с помощью приемника ретранслятора на борту БПЛА.

Для этого преобразуем формулу Введенского^{5, 6}:

$$P = \frac{D^4 \cdot \lambda \cdot E}{2,18^2 \cdot G \cdot h_1 \cdot h_2}, \quad (2)$$

где P – мощность передатчика, мВт; D – дальность, км; λ – длина волны передатчика, м; E – напряженность поля в точке приема, мВ/м; G – коэффициент направленного действия; h_1 – высота передатчика на ошейнике, м; h_2 – высота полета БПЛА, м.

Для расчета принимаем следующие данные: $D = 1$ км; $\lambda = 0,69$ м; $E = 0,01$ мВ/м; $G = 1,2$; $h_1 = 1$ м; h_2 принимает значение 5, 10, 15, 20 и 25 м. Рассчитанные данные мощности отражены на графике (рис. 1).

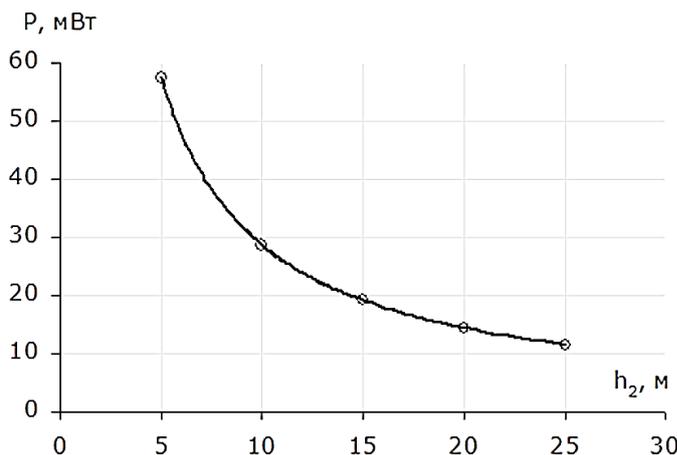


Рис. 1. Зависимость мощности передатчика радиотелеметрии от высоты полета беспилотного летательного аппарата /

Fig. 1. Dependence of the power of the radio telemetry transmitter on the flight altitude of the unmanned aerial vehicle

Далее аналогичным образом рассчитываем значение и строим график зависимости мощности (рис. 2) от дальности связи:

$$D = \sqrt{2,18 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot G \cdot h_1 \cdot h_2}{\lambda \cdot E}}}. \quad (3)$$

⁵Пермяков В. А., Солодухов В. В., Бодров В. В., Исаков М. В. Указ. соч.

⁶Теория электрической связи. 2010.

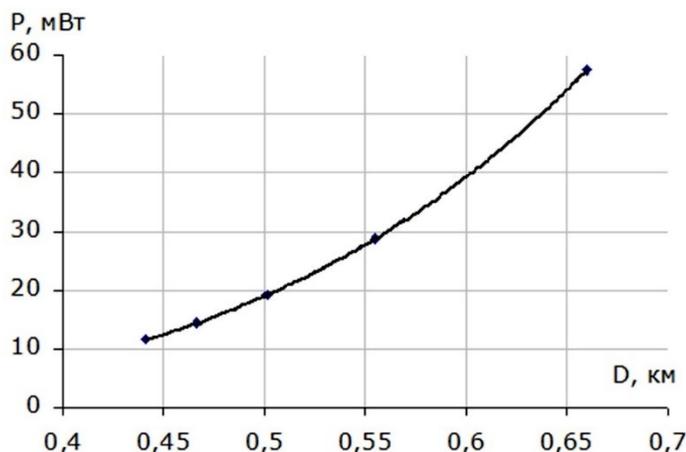


Рис. 2. Зависимость мощности передатчика радиотелеметрии от дальности связи с транспондером животного /

Fig. 2. Dependence of the power of the radio telemetry transmitter on the range of communication with the transponder of the animal

По рисункам 1 и 2 видно, что максимальная мощность составляет около 60 мВт, принимаем стандартное значение 100 мВт. При этой мощности дальность радиосвязи БПЛА с транспондером животного примерно 0,8 км.

Таким образом, имеем функциональную зависимость мощности от двух переменных – высоты h_2 и дальности D (рис. 3).

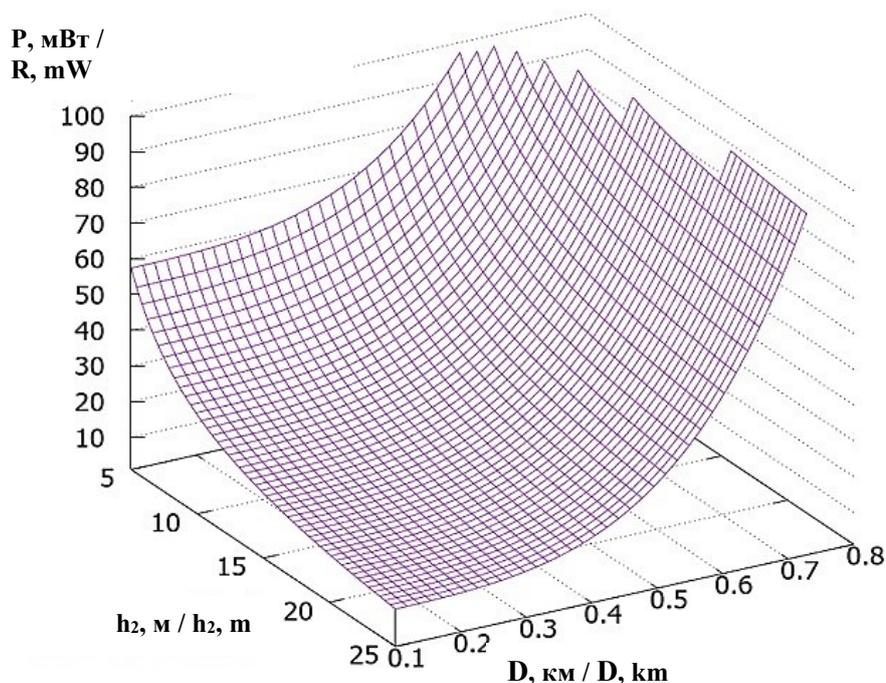


Рис. 3. 3D зависимость мощности от высоты полета беспилотного летательного аппарата и дальности радиосвязи с транспондером животного /

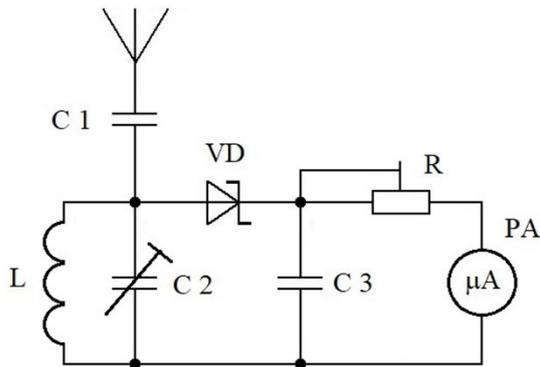
Fig. 3. 3D dependence of the power on the flight altitude of the unmanned aerial vehicle and the range of radio communication with the transponder of the animal

Анализируя график, можно констатировать, что чем больше дальность связи, тем больше необходима мощность транспондера на ошейнике животного. С другой стороны, чем меньше высота полета, тем больше должна быть мощность. Таким образом, по графику (рис. 3) можно найти оптимальные значения сразу двух параметров – дальности и высоты

при заданной мощности. Ввиду этого график можно считать калибровочным для графоаналитического определения этих параметров.

В датчиках нашейных транспондеров животных мощность передатчика составляет 5-7 мВт. Этой мощности достаточно лишь для приема сигнала на расстоянии до 50-100 м, поэтому необходимо увеличить мощность

радиосигнала с помощью нашейного ретранслятора, чтобы обеспечить надежную радиосвязь до 1 км. По параметрам, которые рассчитаны выше, для увеличения мощности выбран стандартный усилитель на 10 дБ, т. е. до 100 мВт. Усилитель размещается рядом с передатчиком транспондера и непосредственно соединяется с ним электрически. Кроме того, для повышения надежности связи к выходу усилителя подсоединяется согласованная гибкая антенна, которая размещается в ошейнике.



Необходимо также отметить, что возникает потребность оценки потери мощности полезного сигнала на линии связи ретранслятор – борт БПЛА. С этой целью были проведены полевые испытания приемо-передающей аппаратуры на дальность бесперебойной связи.

В качестве передатчика использован передающий тракт однокристалльного трансивера типа SI4432 на 433 МГц. Приемник выполнен по принципиальной схеме индикатора напряженности поля, которая показана на рисунке 4.

Рис. 4. Принципиальная схема резонансного индикатора напряженности поля на 433 МГц / Fig. 4. Schematic diagram of the resonant field strength indicator at 433MHz

Результаты измерений относительного уровня мощности сигнала в точке приема в зависимости от расстояния до передатчика представлены на рисунке 5.

Из рисунка 5 следует, что с ростом дальности сигнал затухает сильнее в случае приема

от транспондера лежащего животного. Поэтому при мониторинге животных на пастбище целесообразно их патрулирование БПЛА на расстоянии не далее 0,3 км, независимо от того лежит или стоит животное.

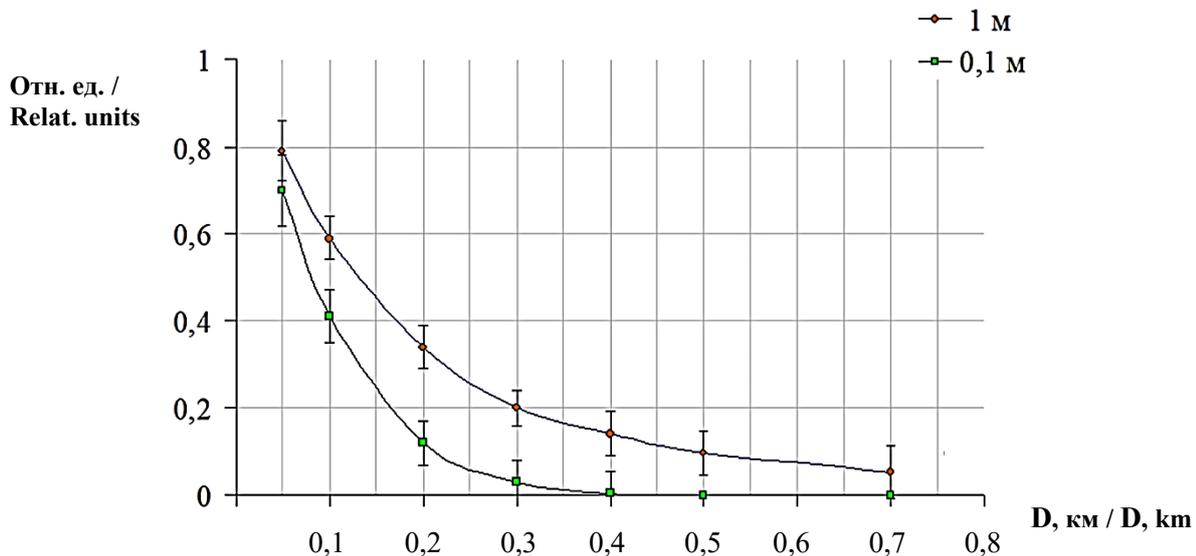


Рис. 5. Зависимость относительного уровня мощности сигнала в точке приема от дальности до передатчика при высоте приема 1,0 и 0,1 м /

Fig. 5. Dependence of the relative signal power level at the receiving point on the range to the transmitter at a receiving height of 1,0 and 0.1 m

Следующий этап обоснования и расчета необходимых технических параметров БПЛА –

определение максимальной скорости полета. Известно, что при относительном перемещении

приемника и передатчика, излучающего радиоволны, происходит сдвиг частоты по эффекту Доплера⁷. Смещение частоты Δf рассчитывали по формуле:

$$\Delta f = \pm \frac{f_0 \left(1 - \frac{V}{c}\right)}{1 - \frac{V}{c}}, \quad (4)$$

где f_0 – рабочая частота передатчика, 433 МГц; V – скорость БПЛА (100 км/ч = 0,03 км/с);

c – скорость света, $3 \cdot 10^5$ км/с.

Рассчитанный сдвиг частоты от 433 МГц составил $\Delta f = \pm 87$ Гц. При этом погрешность при передаче пакетов РТМ определена с учетом точности передачи $\delta = 2$ мс, (или 500 Гц) [19]:

$$\frac{\Delta f}{\delta} = \frac{87}{500} \cdot 100 = 17,4 \%. \quad (5)$$

График зависимости расчетного сдвига частоты от скорости полета БПЛА показан на рисунке 6.

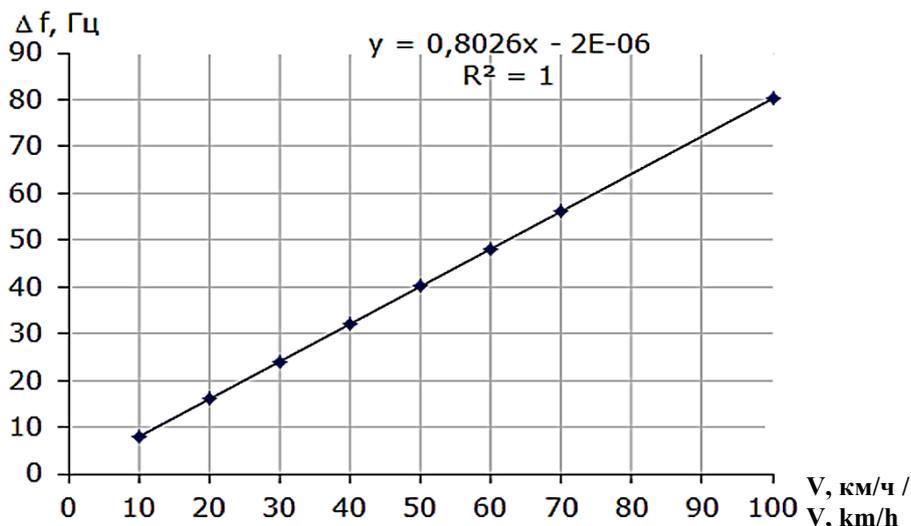


Рис. 6. Зависимость сдвига частоты по эффекту Доплера от скорости полета беспилотного летательного аппарата /

Fig. 6. Dependence of the frequency shift by the Doppler effect on the flight speed of an unmanned aerial vehicle

Для удовлетворительного качества радиосвязи скорость полета БПЛА не должна превышать 20 км/ч. Это необходимо для сведения смещения частоты по графику (рис. 6) до 16 Гц, что уже будет несущественно. Это значение можно определить также по эмпирической формуле линейной регрессии, показанной в верхней части графика. Согласно этому значению по формуле (5) погрешность передачи пакета данных составит 3,2 %, что вполне достаточно для безошибочной связи.

2. Экспериментальные исследования временных и нагрузочных параметров полета БПЛА.

Время полета большинства БПЛА среднего ценового сегмента составляет до 30 мин, что вполне достаточно для сканирования даже больших пастбищ площадью не менее 200 га. Поэтому целесообразно использовать относи-

тельно недорогие модели с техническими характеристиками, приближенными к рассчитанным выше.

В качестве такой модели для экспериментальных исследований параметров полета над реальным пастбищем был выбран БПЛА типа DJI Phantom 4 Advanced. Заявленная грузоподъемность данного типа БПЛА составляет 1,084 кг⁸.

В полезную нагрузку входят (кроме видеокамеры):

Радиомодуль серии RFM – 15 г.

Усилитель на 100 мВт для RFM-модуля – 35 г.

Элементы питания АА х4 – 24х4 = 96 г.

Пластиковый корпус с элементами крепления – 90 г.

Общий вес полезной нагрузки для БПЛА – 236 г.

⁷Эффект Доплера в классической физике. Под редакцией В. Н. Кологривова. М.: МФТИ, 2012. 32 с.

⁸Квадрокоптер DJI Phantom 4 Advanced. [Электронный ресурс].

URL: <https://rozetka.com.ua/104891064/p104891064/> (Дата обращения: 21.09.2021).

Таким образом, грузоподъемности данного БПЛА вполне достаточно для переноса аппаратуры ретрансляции данных от животного на пастбище. В качестве полезной нагрузки для испытаний был взят втрое меньший от заявленной грузоподъемности вес 350 г (стальной

брусек), но несколько больший, чем рассчитанный выше (с запасом).

Для определения времени полета с этой полезной нагрузкой на борту применяли схему полета БПЛА, показанную на рисунке 7.

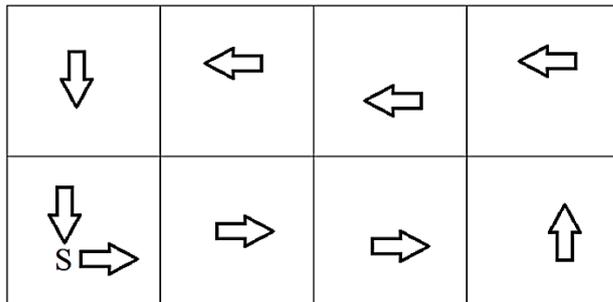


Рис. 7. Схема полета беспилотного летательного аппарата над пастбищем 2×1 км²: S – место старта /

Fig. 7. The flight diagram of an unmanned aerial vehicle over a pasture 2×1 km²: S – is the starting point

По данным (рис. 7) были приняты следующие параметры: дальность до животного 0,25 км, то есть круговая зона захвата ретранслятором БПЛА 500 м, высота полета – 20 м. Площадь пастбища поделена на условные квадраты 0,5×0,5 км

При полете БПЛА над каждым квадратом, который в текущее время охватывает его видеокамера, выполнялось зависание на 2-3 с над площадью сбора информации от животных, чтобы не было потери четкости видеоизображения. Для этого определено количество проходов БПЛА с зависанием над квадратами пастбища:

$$N = \frac{L \cdot H}{0,25} = 8, \quad (6)$$

где L , H – длина и ширина прямоугольной площади пастбища, 2 и 1 км соответственно.

По рассчитанным данным выполнен пролет БПЛА с полезной нагрузкой над опытным пастбищем, которое было разделено на 8 условных квадратов. Предварительные расчеты показали, что максимальное время полета над каждым квадратом не должно превышать 3 мин. С учетом зависания 2-3 с над каждым квадратом и возвращения в место старта общее время полета составило 27 мин и 23 с, то есть примерно 27,5 мин, что меньше максимума полетного времени.

По измеренному времени найдена средняя скорость полета над пастбищем:

$$\frac{500 \cdot 8}{27,5} \approx 145,5 \text{ м/мин}$$

или примерно 8,7 км/ч.

Таким образом, средняя скорость не превысила обоснованное выше значение ввиду возможного смещения частоты по эффекту Доплера.

Выводы: 1. Для системы беспилотного автоматизированного мониторинга физиологических показателей животных на пастбище обоснованы и рассчитаны основные параметры полета БПЛА – скорость не более 20 км/ч, высота не более 25 м.

2. Рассчитана требуемая мощность аппаратуры ретрансляции на борту БПЛА – не менее 60 мВт, дальность связи с транспондером животного – не более 0,8 км. Установлена в виде 3D графика зависимость параметров мощности передатчика на борту БПЛА, высоты полета и дальности связи с системой РТМ на ошейнике животного.

3. Экспериментально установлены следующие основные параметры полета БПЛА над пастбищем площадью 200 га: высота 20 м, скорость 8,7 км/ч, время 27,5 мин, полезная нагрузка 350 г.

References

1. Rutten C. J., Velthuis A. G. J., Steeneveld W., Hogeveen H. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(4):1928-1952. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6107>
2. Steeneveld W., Vernooij J. C., Hogeveen H. Effect of sensor systems for cow management on milk production, somatic cell count, and reproduction. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(6):3896-3905. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9101>
3. Steeneveld W., Hogeveen H. Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(1):709-717. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8595>
4. Shigimaga V. A., Kosulina N. G., Chorna M. O., Borodaj I. I. Prospective aspects in the robotization development of animal husbandry processes. *Engineering of nature management*. 2021;4(22):77-81.
5. Шигимага В. А., Файзуллин Р. А., Косулина Н. Г., Сухин В. В., Коршунов К. С. Автоматические системы контроля и коррекции рационов кормления животных. *The scientific heritage*. 2021;(78-1):45-50. DOI: <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-78-1-45-50>

Shigimaga V., Faizullin R., Kosulina N., Sukhin V., Korshunov K. Automatic control and correction systems ratios for animal feeding. The scientific heritage. 2021;(78-1):45-50. (In Hungary). DOI: <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-78-1-45-50>

6. Шигимага В. А., Файзуллин Р. А. Роботизированные системы контроля и управления качеством первичных продуктов животноводства: монография. Ижевск: Алкид, 2020. 162 с.

Shigimaga V. A., Fayzullin R. A. Robotic systems for quality control and management of primary animal products: monograph. Izhevsk: *Alkid*, 2020. 162 p.

7. Nanka O., Shigimaga V., Paliy A., Sementsov V., Paliy A. Development of the system to control milk acidity in the milk pipeline of a milking robot. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018;3(9(93)):27-33.

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133159>

8. Henry D., Aubert H., Ricard E., Hazard D., Lihoreau M. Automated Monitoring of Livestock Behavior Using Frequency-Modulated Continuous-Wave Radars. Progress In Electromagnetics Research. 2018;69:151-160.

DOI: <https://doi.org/10.2528/PIERM18040404>

9. Rushen J., Chapinal N., De Passille A. M. Automated monitoring of behavioral-based animal welfare indicators. Animal Welfare. 2012;21(3):339-350. DOI: <https://doi.org/10.7120/09627286.21.3.339>

10. Rivas A., Chamoso P., González-Briones A., Corchado J. M. Detection of Cattle Using Drones and Convolution Neural Networks. Sensors. 2018;18(7):2048. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18072048>

11. Hazard D., Bouix J., Chassier M., Delval E., Foulqui D., Fassier T., Bourdillon Y., Franois D., Boissy A. Genotype by environment interactions for behavioral reactivity in sheep. Journal of Animal Science. 2016;94(4):1459-1471.

DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0277>

12. Austin R. Unmanned Aircraft Systems. UAVS Design, Development and Deployment. John Wiley & Sons Ltd. 2010. 368 p. URL: https://www.jar2.com/Files/Reg_Austin_-_Unmanned_Air_Systems_UAV_Design_Development_and_Deployment_-_2010.pdf

13. Wichmann F. A., Drewes J., Rosas P., Gegenfurtner K. R. Animal detection in natural scenes: Critical features revisited. Journal of Vision. 2010;10(4):6. DOI: <https://doi.org/10.1167/10.4.6>

14. Webb P., Mehlhorn S. A., Smartt P. Developing Protocols for Using a UAV to Monitor Herd Health. Proceedings of the 2017 ASABE Annual International Meeting. Spokane, WA, USA. 16-19 July 2017. DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.201700865>

15. Nyamuryekung'e S., Cibils A. F., Estell R. E., Gonzalez A. L. Use of an unmanned aerial vehicle – Mounted video camera to assess feeding behavior of raramuri criollo cows. Rangeland Ecology & Management. 2016;69(5):386-389.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rama.2016.04.005>

16. Ham Y., Han K. K., Lin J. J., Golparvar-Fard M. Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A review of related works. Visualization in Engineering. 2016;4:1.

DOI: <https://doi.org/10.1186/s40327-015-0029-z>

17. Verschor C. R. Conservation Drones for Animal Monitoring. 2016. 25 p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3921.7681>

18. Hodgson J. C., Baylis S. M., Mott R., Koh L. P. A comparison of the accuracy of simulated animal counts using traditional and UAV-assisted methods. Open Science Framework. 2016. DOI: <https://doi.org/10.17605/osf.io/a6n3b>

19. Боев Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. 2012;(2(42)):86-91. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17911550> EDN: PBYXTR

Boev N. M. Analysis of uav radio control and telemetry systems. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M. F. Reshetneva*. 2012;(2(42)):86-91. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17911550>

Сведения об авторах

Шигимага Виктор Александрович, доктор техн. наук, профессор, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, пр. Московский, д. 45, Украина, 61050, e-mail: biovidoc@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2508-8742>

Файзуллин Рафаил Агзамович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, д. 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7655-2272>

✉ **Осокина Анастасия Сергеевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, д. 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9452-139X>, e-mail: anastasia.osokina2017@yandex.ru

Information about the authors

Victor A. Shigimaga, DSc in Engineering, professor, Kharkov Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkov, Moskovskiy avenue, 45, Ukraine, 61050, e-mail: biovidoc@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2508-8742>

Rafail A. Faysullin, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Federal State Budgetary Institution of Science «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», 34, T. Baramzina st., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7655-2272>

✉ **Anastasiya S. Osokina**, PhD in Biological Science, senior researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Federal State Budgetary Institution of Science «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», 34, T. Baramzina st., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9452-139X>, e-mail: anastasia.osokina2017@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author