

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ЧИСЛА БЕСПРОВОДНЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫПАСОМ ЖИВОТНЫХ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И МУЛЬТИКОПТЕРОВ

ALGORITHM FOR SELECTING THE NUMBER OF WIRELESS CHANNELS FOR ANIMAL GRAZING CONTROL BASED ON THE INTERNET OF THINGS AND MULTICOPTERS

Karwi Jalal Qais Jamil
K. Polshchikov

Summary. The article considers the process of animal grazing control based on the use of unmanned aerial vehicles (multicopters) and the Internet of Things. The timeliness of multicopters performing animal movement control tasks largely depends on the performance of network gateways receiving messages about the location of each controlled individual. An algorithm for selecting the number of wireless channels used to transmit geolocation data is proposed. The use of the algorithm allows you to set the values of the parameters of the controlled process, which ensure the safety of grazing animals.

Keywords: animal grazing control, multicopter, internet of things, location, tracker.

Карви Джалал Каис Джамил

Аспирант, Белгородский государственный
национальный исследовательский университет
jalalalqaisy1@gmail.com

Польщиков Константин Александрович

доктор технических наук, профессор,
Белгородский государственный национальный
исследовательский университет
polshchikov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается процесс контроля выпаса животных на основе применения беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров) и сети интернета вещей. Своевременность выполнения мультикоптерами задач по управлению перемещением животных во многом зависит от производительности сетевых шлюзов, принимаемых сообщения о местоположении каждой контролируемой особи. Предложен алгоритм выбора числа беспроводных каналов, используемых для передачи геопозиционных данных. Применение алгоритма позволяет установить значения параметров контролируемого процесса, при которых обеспечивается безопасность выпасаемых животных.

Ключевые слова: управление выпасом животных, мультикоптер, интернет вещей, местоположение, трекер.

В настоящее время в различных сферах активно применяются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Они востребованы, в частности, для мониторинга территориально распределенных объектов [1]. На базе БПЛА могут создаваться беспроводные самоорганизующиеся сети, служащие для передачи данных в условиях деструктивных воздействий [2–3]. На основе БПЛА создаются цифровые системы «умного животноводства» [4]. В них предложено использование мультикоптеров для наблюдения за процессом выпаса скота [5–7]. В случае необходимости, эти БПЛА могут с помощью звуковых эффектов направлять животных в безопасную область пастбища. Основной недостаток этих решений состоит в том, мультикоптерам необходимо длительное время находиться в полете. Альтернативная концепция предполагает наблюдение за выпасаемыми животными с помощью геопозиционных трекеров, прикрепляемых к каждой особи [8–10]. Эти устройства способны передавать данные о местоположении животных по сети интернета вещей, функционирующей, в частности, на основе

протокола LoRaWAN [11–12]. Мультикоптеры при этом значительную часть времени находятся в режиме ожидания и задействуются только в тех случаях, когда необходимо возвратить животное в безопасное место.

В рамках наших исследований в целях обеспечения безопасности выпасаемых животных предлагается использовать различные классы их местоположения. Границы этих классов обозначены на рисунке 1.

Класс местоположения животного определяется его удаленностью RT от центра пастбища в соответствии со следующими критериями:

местоположение 0 класса: $RT \leq R0$;

местоположение 1 класса: $R0 < RT \leq R0 + D0$;

местоположение 2 класса:

$$R0 + D0 < RT \leq R0 + D0 + D1;$$

местоположение 3 класса: $RT > R0 + D0 + D1$.



Рис. 1. Фрагмент пастбища с границами классов местоположения

Животные, имеющие местоположение 0 класса, находятся в безопасной части пастбища и относятся к категории обычного наблюдения. Местоположение 1 класса имеют животные, за которыми требуется особое наблюдение, чтобы своевременно обнаружить их возможное перемещение в область местоположения 2 класса. При обнаружении перемещения животного в область местоположения 2 класса требуется немедленная передача команды на применение мультикоптера для того, чтобы с его помощью направить эту особь в более безопасное место. Перемещение животного в область местоположения 3 класса является недопустимым событием. Если оно произошло, то необходимо, так же, как и в предыдущем случае, воспользоваться мультикоптером, однако это не позволит гарантировать обеспечение безопасности животного.

Для своевременного обнаружения перемещения животных в опасные области пастбища требуется правильно выбрать значения периода отправки сообщений об их местоположении. Эти значения, с одной стороны, не должны быть слишком большими, чтобы можно было успеть вовремя направить мультикоптер в нужное место пастбища. С другой стороны, чрезмерное уменьшение этих значений может привести к перегрузке сетевых шлюзов, имеющих ограниченную производительность. При этом важную роль приобретает правильный выбор числа беспроводных каналов, которым характеризуются сетевые шлюзы.

Разработан алгоритм выбора числа каналов сетевых шлюзов, используемых в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотных летательных аппаратов. Блок-схема алгоритма показана на рисунке 2.

Алгоритм предполагает выполнение шагов, представленных ниже.

Шаг 1. Начало алгоритма.

Шаг 2. Вводятся исходные данные: N — число выпасаемых животных; $N1$ — число выпасаемых животных,

относящихся к категории особого наблюдения; R — радиус пастбища; AR — площадь, необходимая для выпаса одного животного; VCM — максимальная скорость длительного перемещения животного по пастбищу; VU — средняя скорость полета мультикоптера; τ — среднее время приема одного сообщения; m — максимальное число сообщений, которые могут находиться в ожидании отправки (освобождения каналов); I — интенсивность поступления команд на исполнение мультикоптеру; AT — среднее время исполнения мультикоптером одной задачи без учета времени на полет в нужную точку пастбища; k — число используемых мультикоптеров; TN — число задач, которые могут ожидать исполнения мультикоптером. Текущее число беспроводных каналов Cn , используемых для передачи сообщений, может принимать значения, кратные 8. Начальное значение Cn равно 0.

Шаг 3. Выполняется процедура, в ходе которой последовательно вычисляются следующие величины:

среднее время ожидания начала выполнения задачи мультикоптером (при условии $I \cdot AT < k$):

$$WU = \frac{\frac{(I \cdot AT)^k}{k!} \cdot \sum_{s=k}^{k+TN} \left(\frac{I \cdot AT}{k}\right)^{s-k}}{\left(\frac{(I \cdot AT)^k}{k!} \cdot \sum_{s=1}^{TN} \left(\frac{I \cdot AT}{k}\right)^s + \sum_{z=0}^k \left(\frac{I \cdot AT}{z!}\right)^z\right) \cdot \left(\frac{k}{AT} - I\right)};$$

радиус безопасной части пастбища:

$$R0 = \sqrt{\frac{N \cdot AR}{\pi}};$$

расстояние от границы местоположения 2 класса до границы пастбища:

$$D2 = \left(\frac{2 \cdot R}{VU} + WU\right) \cdot VCM;$$

расстояние от границы местоположения 0 класса до границы местоположения 2 класса:

$$D01 = R - R0 - D2;$$

минимальное время, в течение которого животное сможет преодолеть расстояние от границы 0 класса до границы 2 класса:

$$T01 = \frac{D01}{VCM}.$$

Устанавливаются начальные значения:

рекомендуемого расстояния от границы местоположения 1 класса до границы местоположения 2 класса: $D1 = D01$;

текущего периода отправки сообщений трекерами, находящимися в области местоположения 0 класса: $CPR0 = \lfloor T01 \rfloor + 1$;

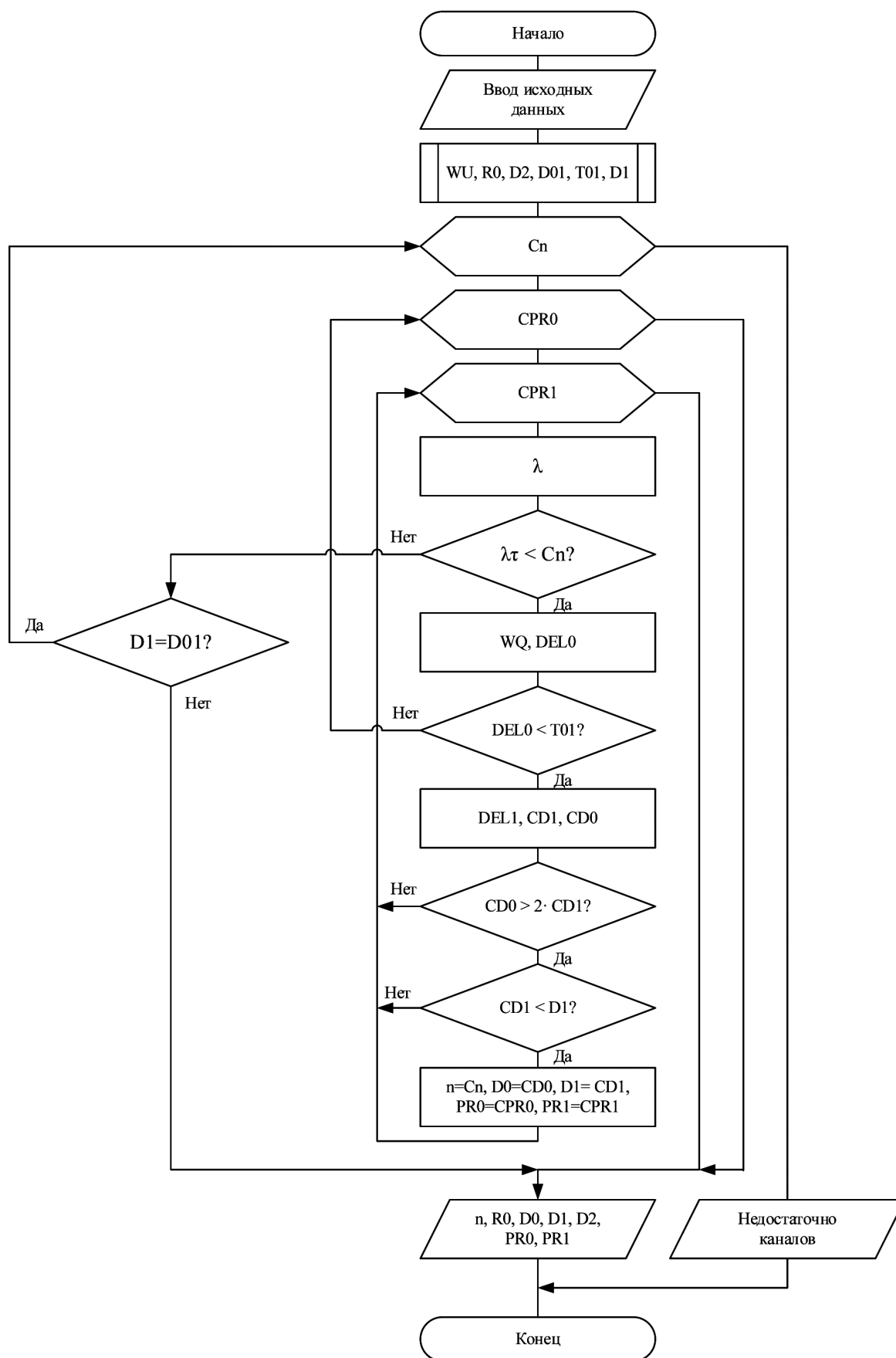


Рис. 2. Блок-схема предлагаемого алгоритма

текущего периода отправки сообщений трекерами, находящимися в областях местоположения 1, 2 или 3 классов: $CPR1 = CPR0 - 1$.

Шаг 4. Текущее число беспроводных каналов Cn увеличивается на 8. Если текущее число каналов превышает значение 64, то осуществляется переход к шагу 17. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 5.

Шаг 5. Текущее значение периода $CPR0$ уменьшается на 1. Если $CPR0 = 0$, то осуществляется переход к шагу 16. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 6.

Шаг 6. Текущее значение периода $CPR1$ уменьшается на 1. Если $CPR1 = 0$, то осуществляется переход к шагу 16. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 7.

Шаг 7. Вычисляется интенсивность передачи сообщений трекерами на сетевой шлюз:

$$\lambda = \frac{N1}{PR1} + \frac{N - N1}{PRO}.$$

Шаг 8. Проверяется выполнение условия: $\lambda \cdot \tau < Cn$. Если данное условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 9. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 15.

Шаг 9. Вычисляется время ожидания передачи сообщения из трекера на сетевой шлюз, обусловленное временным отсутствием свободных каналов:

$$WQ = \frac{\frac{(\lambda \cdot \tau)^{Cn}}{Cn!} \cdot \sum_{u=Cn}^{Cn+m} \left(\frac{\lambda \cdot \tau}{Cn} \right)^{u-Cn}}{\left(\frac{(\lambda \cdot \tau)^{Cn}}{Cn!} \cdot \sum_{u=1}^m \left(\frac{\lambda \cdot \tau}{Cn} \right)^u + \sum_{x=0}^{Cn} \left(\frac{\lambda \cdot \tau}{x!} \right)^x \right) \cdot \left(\frac{Cn}{\tau} - \lambda \right)}.$$

Вычисляется интервал времени между моментами доставки на панель оператора данных, отправляемых трекером, который находится в области местоположения 0 класса:

$$DELO = CPR0 + WQ.$$

Шаг 10. Проверяется выполнение условия: $DELO < T01$. Если данное условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 11. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 5.

Шаг 11. Последовательно вычисляются:

интервал времени между моментами доставки на панель оператора данных, отправляемых трекером, находящимся в области местоположения 1, 2 или 3 классов:

$$DEL1 = CPR1 + WQ;$$

текущее расстояние от границы местоположения 1 класса до границы местоположения 2 класса:

$$CD1 = VCM \cdot DEL1;$$

текущее расстояние от границы местоположения 0 класса до границы местоположения 1 класса:

$$CD0 = D01 - CD1.$$

Шаг 12. Проверяется выполнение условия: $CD0 > 2 \cdot CD1$. Если данное условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 13. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 6.

Шаг 13. Проверяется выполнение условия: $CD1 < D1$. Если данное условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 14. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 6.

Шаг 14. Искомые величины принимают следующие значения:

рекомендуемое число используемых беспроводных каналов $n = Cn$;

рекомендуемое расстояние от границы местоположения 0 класса до границы местоположения 1 класса $D0 = CD0$;

рекомендуемое расстояние от границы местоположения 1 класса до границы местоположения 2 класса $D1 = CD1$;

рекомендуемый период отправки сообщений трекерами, находящимися в области местоположения 0 класса $PRO = CPR0$;

рекомендуемый период отправки сообщений трекерами, находящимися в областях местоположения 1, 2 или 3 классов $PR1 = CPR1$.

Выполнение алгоритма возвращается к шагу 6.

Шаг 15. Проверяется выполнение условия: $D1 = D01$. Если данное условие выполняется, то осуществляется переход к шагу 4. В противном случае выполнение алгоритма переходит к шагу 16.

Шаг 16. Вывод рекомендуемых значений $n, R0, D0, D1, D2, PRO, PR1$. Выполнение алгоритма переходит к шагу 18.

Шаг 17. Вывод сообщения «Недостаточно каналов».

Шаг 18. Конец алгоритма.

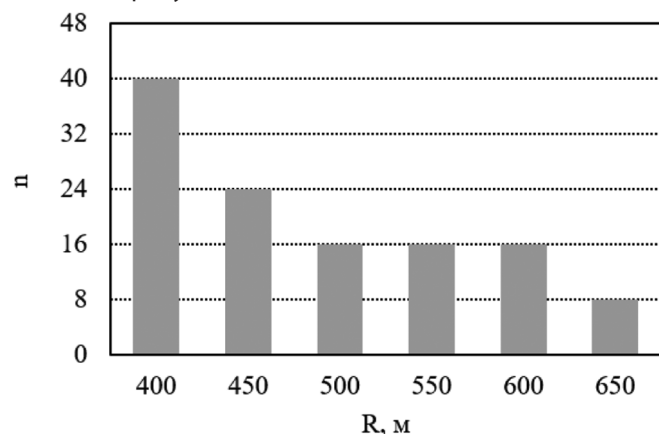
Для оценивания работоспособности предложенного алгоритма проведены вычислительные эксперименты, в которых использовались исходные данные, показанные в таблице 1.

Таблица 1.

Исходные данные

№ п/п	Величины	Значения	Единицы измерения
1	N	1000	–
2	$N1$	20	–
3	AR	100	м ²
4	VCM	2,5	м/с
5	VU	16	м/с
6	m	1000	–
7	τ	0,6	с
8	I	2	час ⁻¹
9	AT	180	с
10	k	1	–
11	TN	1000	–

В ходе проверки работоспособности разработанного алгоритма получены данные о значениях числа беспроводных каналов n , рекомендуемых к использованию в зависимости от размеров пастбища, определяемых его радиусом. Эти данные отображены на диаграмме, показанной на рисунке 3.

Рис. 3. График зависимости величины n от значений R

Анализ диаграммы показывает, что с помощью предлагаемого алгоритма при увеличении размеров пастбища рекомендуется использование меньшего числа беспроводных каналов. Это объясняется тем, что с ростом размеров пастбища увеличивается время, необходимое животному, чтобы преодолеть расстояние от границы

местоположения 0 класса до границы местоположения 2 класса, поэтому для отслеживания локации контролируемых особей можно увеличить период отправки трекерами геопозиционных сообщений. В процессе работы алгоритма получены также рекомендуемые значения параметров $R0$, $D0$, $D1$, $D2$, $PR0$ и $PR1$, представленные в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты вычислительных экспериментов

Величины	$R, \text{м}$					
	400	450	500	550	600	650
$R0, \text{м}$	178,4					
$D0, \text{м}$	40,7	72,3	98,4	141,8	178,7	176,2
$D1, \text{м}$	5,9	8,6	16,9	7,9	5,4	42,2
$D2, \text{м}$	175,0	190,6	206,3	221,8	237,5	253,1
$PR0, \text{с}$	18,0	31,0	44,0	59,0	73,0	85,0
$PR1, \text{с}$	2,0	3,0	6,0	3,0	2,0	15,0

Анализ содержимого таблицы 2 показывает, что применение разработанного алгоритма позволяет существенно расширить относительно безопасную область пастбища. При этом область местоположения 2 класса занимает значительно меньшую часть пастбища, что позволяет снизить число случаев использования БГЛА. Кроме того, при использовании предлагаемого алгоритма величина $PR0$ многократно превышает величину $PR1$. Благодаря этому рекомендуемые значения периода отправки сообщений подавляющим количеством трекеров достаточно велики, что позволяет, во-первых, уменьшить нагрузку на сетевые шлюзы и, во-вторых, снизить энергопотребление трекеров в процессе передачи геопозиционных данных.

Таким образом, разработан алгоритм выбора числа каналов сетевых шлюзов, используемых в процессе управления выпасом животных на основе применения сети интернета вещей и беспилотных летательных аппаратов. Функционирование алгоритма осуществляется с учетом предложенной классификации местоположения животных в пределах пастбища. Оценивание работоспособности алгоритма на основе проведения вычислительных экспериментов показало, что его применение позволяет минимизировать число используемых беспроводных каналов сетевых шлюзов и выбрать такие значения периода отправки сообщений геопозиционными трекерами, при которых с помощью беспилотных летательных аппаратов обеспечивается безопасность выпасаемых животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mahdi T.N., Jameel J.Q., Polshchykov K.A., Lazarev S.A., Polshchykov I.K., Kiselev V.E. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2021. Vol. 9, No. 4. PP. 1138–1145.
2. Константинов И. С., Пилипенко О. В., Польщиков К. А., Ивашук О. Д. К вопросу обеспечения связи в процессе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах строительства. *Строительство и реконструкция*. 2016. № 1 (63). С. 40–46.
3. Константинов И.С., Польщиков К.А., Лазарев С.А. Имитационная модель передачи информационных потоков в мобильной радиосети специального назначения. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика*. 2015. № 13(210). С. 156–163.
4. Bretas I.L., Dubeux J.C.B., Cruz P.J.R., Oduor K.T., Queiroz L.D., Valente D.S.M., Chizzotti F.H.M. Precision livestock farming applied to grazingland monitoring and management — A review. *Agronomy Journal*. 2024. No. 116. PP. 1164–1186.
5. Chen T., Zheng H., Chen J., Zhang Z., Huang X. Novel intelligent grazing strategy based on remote sensing, herd perception and UAVs monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 219. PP. 108807.
6. Ortega J.C.Ú., Rodríguez-Molina J., Martínez-Núñez M., Garbajosa J. A Proposal for Decentralized and Secured Data Collection from Unmanned Aerial Vehicles in Livestock Monitoring with Blockchain and IPFS. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13 (1). PP. 471.
7. Luo W., Zhang Z., Fu P., Wei G., Wang D., Li X., Shao Q., He Y., Wang H., Zhao Z. et al. Intelligent Grazing UAV Based on Airborne Depth Reasoning. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14 (17). PP. 4188.
8. Qazi M.I., Muneer A. Smart Farming: An Enhanced Pursuit of Sustainable Remote Livestock Tracking and Geofencing Using IoT and GPRS. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2020. Vol. 12. PP. 6660733.
9. Wang H., Zhang X., Meng X., Song W. and Chen Z. Electronic Sheepdog: A Novel Method in With UAV-Assisted Wearable Grazing Monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*. 2023. Vol. 10 (18). PP. 16036–16047.
10. Sadiq B.O., Buhari M.D., Danjuma Y.I., Zakariyya O.S., Shuaibu A.N. High-tech herding: Exploring the use of IoT and UAV networks for improved health surveillance in dairy farm system. *Scientific African*. 2024. Vol. 25. PP. e02266.
11. Li Ji., Ling M., Shui J., Huang S., Dan J., Gou B., Wu Y. Smart Grazing in Tibetan Plateau: Development of a Ground-Air-Space Integrated Low-Cost Internet of Things System for Yak Monitoring. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2022. PP. 1870094.
12. Islam N., Rashid M.M., Pasandideh F., Ray B., Moore S., Kadel R. A Review of Applications and Communication Technologies for Internet of Things (IoT) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Sustainable Smart Farming. *Sustainability*. 2021. Vol. 13(4). PP. 1821.

© Карви Джалал Каис Джамил (jalalalqaisy1@gmail.com); Польщиков Константин Александрович (polshchykov@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»