

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 636.034

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-5-35-39

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ КОПЫТ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА ОСНОВЕ ПРОФИЛЕЙ ТЕРМОГРАММ

КИРСАНОВ ВЛАДИМИР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, чл-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, заведующий отделом
kirvv2014@mail.ru

ПАВКИН ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией
dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

ДОВЛАТОВ ИГОРЬ МАМЕДЯРЕВИЧ, канд. техн. наук, научный сотрудник
dovlatovim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

ВЛАДИМИРОВ ФЕДОР ЕВГЕНЬЕВИЧ, научный сотрудник
fvladimirov21@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

ГЕЛЕТИЙ ДАРЬЯ ГРИГОРЬЕВНА, канд. с.-х. наук, младший научный сотрудник
geletyd@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2209-6221>

ХАКИМОВ АРТЕМ РУСТАМОВИЧ, младший научный сотрудник
arty.hv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

Аннотация. Воспаление в копытах кров приводит к снижению удоев и может стать причиной ранней выбраковки животных. Ранняя диагностика заболевания обеспечивает снижение затрат на лечение, позволяет сохранить здоровье и молочную продуктивность животных. Применение инфракрасной термографии для определения температуры конечностей крупного рогатого скота является быстрым и неинвазивным способом получения достоверной информации о состоянии здоровья животного. С целью разработки математической модели определения состояния конечностей крупного рогатого скота на основе профилей термограмм копыт были обработаны данные 20 коров ярославской породы, находящихся на 2-4-й лактации, с лактационным периодом от 1 до 7 мес. Массив данных формировался с помощью тепловизора Guide C400M в ИК-диапазоне. Данные о физиологическом состоянии КРС вносились в программу Matlab R2019b. Для градации цвета выбрано цветовое пространство RGB. Представленная математическая модель обработки профиля термограмм позволяет собрать информацию о пространственно-временной динамике температур копыт КРС по термофизиологическим категориям. При определении состояния конечностей выделяются области пространственно-временного распределения температуры в копыте в виде преобразованного сегментационного профиля термограммы в матрицу, где к пикселям из каждого фрагмента области присваивается RGB, обозначающее определенную температуру. Превышение значений $R > 230$, $G > 103$, $B < 0$ символизирует температуру выше 40°C и означает наличие воспаления в копыте. Разработанный алгоритм позволит ветеринару хозяйства в автоматическом режиме получать информацию о состоянии копыт каждой коровы, определять очаг воспаления, место его расположения и определять заболевание.

Ключевые слова: молочное животноводство, диагностика заболеваний копыт, ИКТ, Matlab

Формат цитирования: Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Владимиров Ф.Е., Гелетий Д.Г., Хакимов А.Р. Разработка математической модели определения состояния копыт крупного рогатого скота на основе профилей термограмм // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 5. С. 35-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-35-39>.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации на право получения гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук – МК-2513.2022.4.

© Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Владимиров Ф.Е., Гелетий Д.Г., Хакимов А.Р., 2022



ORIGINAL PAPER

DEVELOPING A MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE STATE OF CATTLE HOOVES BASED ON THERMOGRAM PROFILES

VLADIMIR V. KIRSANOV, RAS Corresponding Member, DSc (Eng), Professor, Head of the Department
kirvv2014@mail.ru

DMITRY Yu. PAVKIN, PhD (Eng), Head of Laboratory
dimqaqa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

IGOR M. DOVLATOV, PhD (Eng), Research Engineer
dovlatovim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3058-2446>

FEDOR E. VLADIMIROV, *Research Engineer*

fvladimirov21@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

DARIA G. GELETIY, *PhD (Ag), Junior Research Engineer*

geletiyd@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2209-6221>

ARTEM R. KHAKIMOV, *Junior Research Engineer*

arty.hv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract. Inflammation in the cow hooves leads to a decrease in milk yield and may cause early culling of animals. Early diagnosis of the disease provides a reduction in the cost of treatment, allows maintaining the health and milk production of animals. The use of infrared thermography to determine the temperature of cattle limbs is a fast and non-invasive way to obtain reliable information about the animal's health. To develop a mathematical model for determining the state of cattle limbs based on the profiles of hoof thermograms, the authors processed the data of 20 cows of the Yaroslavl breed, which are on the 2nd-4th lactation, with a lactation period ranging between months 1 and 7. The data array was formed using a Guide C400M thermal imager in the IR range. Data on the physiological state of cattle were entered into the Matlab R2019b program. For color gradation, the RGB color space was selected. The presented mathematical model for processing the profile of thermograms makes it possible to collect information on the spatial and temporal dynamics of cattle hoof temperatures by thermophysiological categories. When determining the state of the limbs, the areas of spatio-temporal distribution of temperature in the hoof are identified in the form of a transformed segmentation profile of the thermogram into a matrix, where RGB is assigned to the pixels from each fragment of the area, indicating a certain temperature. Exceeding the values $R > 230$, $G > 103$, $B < 0$ symbolizes a temperature above 40°C and means the presence of inflammation in the hoof. The developed algorithm will allow a farm veterinarian to automatically receive information about the state of the hooves of each cow, determine the focus of inflammation, its location, and diagnose the disease.

Keywords: dairy farming, diagnostics of hoof diseases, infrared thermography, Matlab

For citation: Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Dovlatov I.M., Vladimirov F.E., Geletiy D.G., Khakimov A.R. Developing a mathematical model for determining the state of cattle hooves based on thermogram profiles. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(5): 35-39. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-35-39>.

Acknowledgments: The work was carried out under the auspices of the Council for Grants of the President of the Russian Federation for the right to receive a grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – PhD holders – МК-2513.2022.4.

Введение. В молочном скотоводстве состояние копыт КРС играет важную роль при производстве продукции. Недостаточный и неправильный уход за поголовьем, дефицит знаний в сфере особенностей профилактики и некачественное лечение конечностей приводят к росту заболеваемости и несвоевременной выбраковке особей [1].

По результатам исследований, проводимых в течение последних лет в РФ, к наиболее часто встречающимся заболеваниям у КРС относятся болезни конечностей. Постоянный непосредственный контакт с землей (при выпасе) или наполненным покрытием (в том числе с лежащими на нем подстилочным материалом, кормом, навозом) приводит к обильному обсеменению копыт патогенными и условно-патогенными микроорганизмами. Несколько видов анаэробных и аэробных бактерий могут оказывать воздействие и вызывать заражение организма [2-7].

Высокопродуктивные породы КРС наиболее часто подвержены заболеваниям копытцев в связи с особенностями их содержания. Больные животные отличаются более низкими показателями упитанности и продуктивности, большей продолжительностью сервис-периода, а выход телят от них снижается на 17%, по сравнению со здоровыми животными. Более 35% коров с заболеваниями конечностей подвергаются выбраковке. Заболевание копыт зачастую сопровождается гнойно-некротическими осложнениями и снижением или полной потерей двигательной активности. Среди причин возникновения болезней дистального отдела конечностей одно из ведущих мест отводится мацерации копытного рога и кожи этой области [8-10].

К современным и перспективным методикам определения заболеваний конечностей КРС можно отнести [11, 12]:

– выявление больных животных по изменениям двигательной активности и потребления воды и корма с использованием болюсов, шагомеров, ушных бирок и т.п.;

- системы оптического захвата движений;
- инерциальные измерительные блоки;
- платформы (весы) для измерения давления, оказываемого каждой конечностью;
- инфракрасную термографию (ИКТ) (рис. 1) [13].



Рис. 1. Проведение ИКТ в ФГБУ «ОС Григорьевское» Ярославской области

Fig. 1. Carrying out infrared thermography in the Federal State Budgetary Institution “OS Grigorievskoe” of the Yaroslavl Region

Цель исследований: разработать математическую модель определения состояния крупного рогатого скота на основе профилей термограмм.

Материалы и методы. Массив данных для разработки математических моделей формировался в 2021 г. с помощью тепловизора Guide C400M, функционирующего в ИК-диапазоне. Диапазон измерения тепловизора составлял 20...60°C, погрешность измерения в диапазоне температур – 32...38°C ≤ ±0,4°C. Коэффициент излучения составлял 0,98.

Для разработки математических моделей использовалась программа «Matlab R2019b» (Matrix Laboratory, компания «The MathWorks», Нэтик, Массачусетс, США), в которую вносились данные о физиологическом состоянии КРС. Обработка

производилась в разных цветовых пространствах – таких, как RGB, HSV, YCbCr и L*a*b*. Как наиболее оптимальное для градации цвета было выбрано цветовое пространство RGB.

Общая численность стада составляла 519 дойных коров ярославской породы животноводческого комплекса ФГБУ «ОС Григорьевское» Ярославской области. Выбраны и обработаны данные по 20 коровам, находящимся на 2-4-й лактации, с лактационным периодом от 1 до 7 мес. Коровы содержались в однородной среде и получали унифицированный рацион. Средняя продуктивность исследованных коров составила 26,4 (± 3) кг/сут. Процент выбраковки стада составлял не более 25%.

Разработанная математическая модель представляет собой описание изображения контура копыта животного на термограмме с выделением различных изменений на тепловой карте. Профиль термограммы конечности КРС можно записать как некоторую функцию, представленную в следующем виде:

$$f(x, y, p(x, y)), \quad (1)$$

где x, y – координаты пикселя изображения; $p(x, y)$ – яркость пикселя в точке с координатами x, y .

Яркость каждого пикселя изображения определяется по формуле:

$$p(x, y) = 0,3 \cdot R(x, y) + 0,59 \cdot G(x, y) + 0,11 \cdot B(x, y), \quad (2)$$

где $R(x, y), G(x, y), B(x, y)$ – значения составляющих RGB соответственно в точке (x, y) .

Евклидово расстояние d между точками А и В для классификации пикселя определялось следующим образом [1]:

$$d(A, B) = \|A - B\| = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2} = \sqrt{(A_R - B_R)^2 + (A_G - B_G)^2 + (A_B - B_B)^2}^{1/2}, \quad (3)$$

где A_R, A_G, A_B – RGB-компоненты вектора А; B_R, B_G, B_B – RGB-компоненты вектора В.

Отклонение температуры профиля термограммы копытца КРС определяется по формуле:

$$\Delta T_{nk} = f(t_b, \varphi_b, \Delta Q_k, \lambda_{\max}), \quad (4)$$

где ΔT_{nk} – отклонение температуры профиля термограммы копытца КРС; t_b – среднее значение температуры в коровнике, °С; φ_b – среднее значение влажности в коровнике, %; ΔQ_k – количество теплоты, передаваемое поверхностью копытца КРС; λ_{\max} – спектр равновесного излучения.

Среднее значение влажности в коровнике находится по формуле:

$$\varphi_b = \rho / \rho_0 \cdot 100\%, \quad (5)$$

где ρ – абсолютная влажность воздуха в коровнике; ρ_0 – плотность насыщенного пара.

Количество теплоты, передаваемое поверхностью копытца КРС, предлагается рассчитывать по формуле:

$$\Delta Q_k = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot \Delta t \cdot (T_k^4 - t_b^4), \quad (6)$$

где S – площадь поверхности профиля копытца КРС, м²; ε – поправочный коэффициент излучательной способности поверхности конечности КРС (равен 0,98); σ – постоянная Стефана-Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м² · К⁴; T_k – средняя температура копытца КРС, °С.

По закону Вина спектр равновесного излучения находится по формуле:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T_k}, \quad (7)$$

где b – коэффициент пропорциональности, постоянная Вина ($b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ МК).

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований получены термограммы воспаленных копыт коров. Для анализа полученных экспериментальных данных была разработана математическая модель, с помощью программы «Matlab R2019b» были обработаны профили термограмм копыт животных.

Разработана математическая модель для выявления состояния копытца крупного рогатого скота на основе профилей термограмм конечностей, учитывающих отклонение температуры в зоне межкопытной щели в зависимости от значений температуры и влажности в коровнике, площади поверхности профиля и т.д., позволяющих классифицировать термограммы на «нормальное состояние» или «воспаление».

$$\left\{ \begin{aligned} & f_k \in \Delta T_{nk}, \Delta T_{nk} \in \{T_{kn}, T_{kv}\}; \\ & f(x, y) = f[x, y, p(x, y)]; \\ & f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } f(x, y) \in D_1; \\ 2, & \text{если } f(x, y) \in D_2; \\ 3, & \text{если } f(x, y) \in D_3; \\ 4, & \text{если } f(x, y) \in D_4; \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \\ & G[f(x, y)] = \begin{cases} G_x = \frac{df}{dx} = f(x, y) - f(x-1, y), \\ G_y = \frac{df}{dy} = f(x, y) - f(x, y-1); \end{cases} \\ & g(x, y) = G[f(x, y)]; \\ & g(x, y) = \begin{cases} 1, & G[f(x, y)] > T \\ 0, & G[f(x, y)] \leq T \end{cases} \\ & x_k = (f, \varphi_k), x_k = \int f(x, y) \varphi_k(x, y) dx dy, \end{aligned} \right. \quad (8)$$

где f_k – функция определения отклонения состояния копыт КРС; T_{kn} – температура копыт в нормальном состоянии, °С; T_{kv} – температура копыт при воспалении, °С; $f(x, y)$ – профиль термограммы копыт КРС, обработанный в программе Matlab; x, y – координаты пикселя на профиле термограммы копыт КРС; $p(x, y)$ – яркость пикселя в точке с координатами x, y ; $R(x, y), G(x, y), B(x, y)$ – значения составляющих R, G, B соответственно в точке (x, y) ; D_1, D_2, D_3, D_4 – классы изображения; $G[f(x, y)]$ – градиент изображения $f(x, y)$ в точке (x, y) ; g – функция определения контуров области воспаления в точке (x, y) , равная величине градиента входного изображения f в этой точке; T – температурный порог; φ_k – система функций извлечения признаков; x_k – количественная мера признака (число).

На рисунке 2 представлен пример профиля термограммы копыта КРС с признаком «Воспаление» во вкладке «ImageTool»

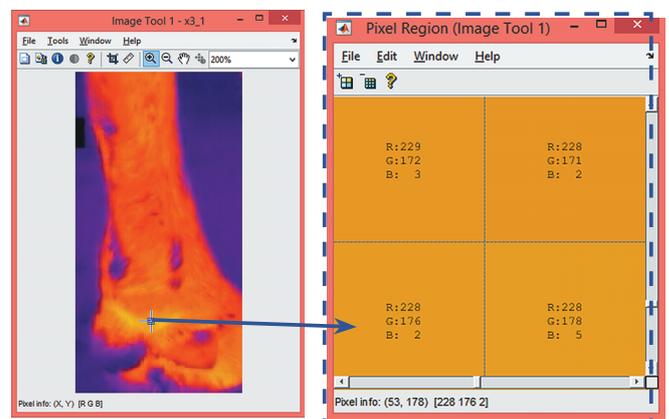


Рис. 2. Пример распознавания профиля
Fig. 2. Profile recognition example

и значения RGB каждого пикселя изображения во вкладке «Pixel-Region (ImageTool), соответствующие состоянию «Воспаление».

Тепловая карта позволяет определять параметры R, G, B в каждом пикселе и местонахождение данного пикселя на профиле термограммы (рис. 3). С помощью тепловой карты можно определить очаг воспаления, место его расположения, а также определить и классифицировать заболевание копыт.

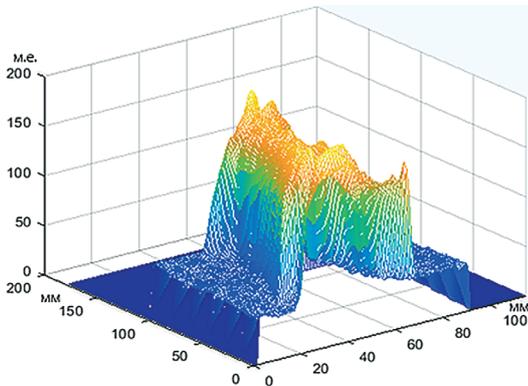


Рис. 3. Тепловая карта изображения копыта на основе термограммы
Fig. 3. Thermal map of the image of the hoof based on the thermogram

Превышение значений $R > 230$, $G > 103$, $B < 0$ символизирует температуру выше 40°C , что означает наличие воспаления в копыте.

На рисунке 4 представлен алгоритм определения отклонения состояния копыт крупного рогатого скота на основе профилей термограмм копыт с учетом разработанной математической модели.

В результате исследований термограмм профилей копыт КРС определены значения границ в формате RGB в соответствии с признаками состояния области конечностей по категориям «Воспаление», «Подозрение на воспаление» (превышение температуры менее чем на $1 \dots 1,5^{\circ}\text{C}$) и «Норма» (когда исследуемый температурный фон области копытца соответствует ветеринарно-санитарным требованиям) (табл.).

Выделение областей с особенностями пространственно-временного распределения температуры всей конечности КРС в нормальном состоянии и при воспалении в виде

преобразованного сегментационного профиля термограммы копыт КРС в матрицу, где к пикселям из каждого фрагмента области присваивается свое значение RGB, обозначающее соответствующую температуру, позволяет определить состояние копыт.

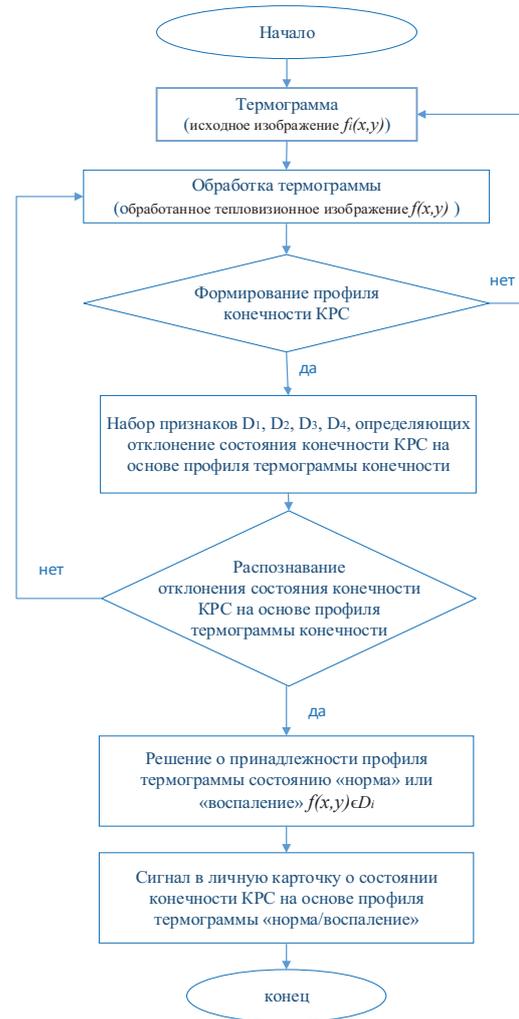


Рис. 4. Алгоритм определения отклонения состояния копыт крупного рогатого скота на основе профилей термограмм
Fig. 4. Algorithm for determining the deviation of the state of cattle hooves based on thermogram profiles

Таблица

Определение отклонения профилей термограмм в зависимости от состояния копыт КРС

Table

Determination of the deviation of thermogram profiles depending on the condition of cattle hooves

Признаки состояния копыта КРС / Indicators of the cattle hoof condition	Значения границ в формате RGB / Border values in the RGB format	
Воспаление / Inflammation	Red [220; 255], Green [80; 130], Blue [0; 3]	
Подозрение на воспаление / Suspicion of inflammation	Red [200; 220], Green [130; 200], Blue [0; 3]	
Норма Normal value	Red [180; 200], Green [200; 245], Blue [0; 10]	Red [0; 5], Green [160; 200], Blue [0; 70]

Выводы

1. Созданная математическая модель обработки профилей термограмм позволяет собрать информацию о пространственно-временной динамике температур копыт КРС по термифизиологическим категориям.

2. При определении состояния копыт выделяются области пространственно-временного распределения температуры в копытах КРС в виде преобразованного сегментационного профиля термограммы в матрицу, где к пикселям из каждого фрагмента области присваивается

RGB, обозначающее определенную температуру. Превышение значений $R > 230$, $G > 103$, $B < 0$ символизирует температуру выше 40°C и означает наличие воспаления в копыте.

Список использованных источников

1. Концевая С.Ю. Биоинертный копытный клей для лечения копыт и копытцев // Эффективное животноводство. 2021. № 2 (168). С. 61-63. EDN: NRKPDХ.
2. Родионов Г.В. Стрессоустойчивость и стрессореактивность // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2006. № 2. С. 41-47. EDN: TEROWX.
3. Ярован Н.И., Смагина Т.В. Морфо-биохимические изменения крови при окислительном стрессе у коров с болезнями копыт // Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: Сборник материалов XX Международной научно-производственной конференции. Белгород: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2016. С. 27-28. EDN: XSXNHF.
4. Самойлов А.А. Некробактериоз крупного рогатого скота (эпизоотология, диагностика и меры борьбы): Автореф. дис. ... д-ра ветеринар. наук. Новосибирск, 1991. С. 25. EDN: ZJFLD.
5. Hansen M.F., Smith M.L., Smith L.N., Abdul Jabbar K., Forbes D. Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device. *Computers in Industry*. 2018; 98: 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.011>
6. Pavkin D.Yu., Dorokhov A.S., Vladimirov F.E., Dovlatov I.M., Lyalin K.S. Algorithms for detecting cattle diseases at early stages and for making diagnoses and related recommendations. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021; 11: 11148. <https://doi.org/10.3390/app112311148>
7. Proshkin Y.A., Smirnov A.A., Sokolov A.V., Dovlatov I.M., Kachan S.A. Study of thermal modes of operation of SMD-LEDs in phyto-lamps. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. «International Conference on World Technological Trends in Agribusiness». 2021; 624: 012091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012091>
8. Moorman V.J., Reiser R.F., Mahaffey C.A., Peterson M.L.; McIlwraith C.W., Kawcak C.E. Use of an inertial measurement unit to assess the effect of forelimb lameness on three-dimensional hoof orientation in horses at a walk and trot. *American journal of veterinary research*. 2014; 75(9): 800-808. <https://doi.org/10.2460/ajvr.75.9.800>
9. Mohling C.M.; Johnson A.K., Coetzee J.F., Karriker L.A., Abell C.E., Millman S.T., Stalder K.J. Kinematics as objective tools to evaluate lameness phases in multiparous sows. *Livestock scienc*. 2014; 165: 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.031>
10. Moorman V.J., Reiser R.E., Peterson M.L., McIlwraith C.W., Kawcak C.E. Effect of forelimb lameness on hoof kinematics of horses at a trot. *American journal of veterinary research*. 2013; 74(9): 1192-1197. <https://doi.org/10.2460/ajvr.74.9.1192>
11. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Довлатов И.М. Методика оптимизации параметров машинного кормления крупного рогатого скота // Агроинженерия. 2021. № 1 (101). С. 10-14. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-10-14>
12. Tijssen M., Hernlund E., Rhodin M., Bosch S., Voskamp J.P., Nielsen M., Serra Bragança F.M. Automatic detection of break-over phase onset in horses using hoof-mounted inertial measurement unit sensors. *PLOS ONE*. 2020; 15(7): e0236181. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236181>
13. Мамедова Р.А. Особенности обработки тепловизионных изображений для диагностики заболеваний конечностей КРС // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 4 (44). С. 37-41. EDN: FLSSZZ.

Критерии авторства

Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Владимиров Ф.Е., Гелетий Д.Г., Хакимов А.Р. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Владимиров Ф.Е., Гелетий Д.Г., Хакимов А.Р. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.04.2022

Одобрена после рецензирования 27.07.2022

Принята к публикации 01.08.2022

3. Разработанный алгоритм позволит ветеринару хозяйства в автоматическом режиме получать информацию о состоянии копыт каждой коровы, определять очаг воспаления, место его расположения и определять заболевание.

References

1. Kontsevaya S.Yu. Bioinertny kopytniy kley dlya lecheniya kopyt i kopytets [Bioinert hoof glue for the treatment of hooves and nails]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2021; 2 (168): 61-63. (In Rus.)
2. Rodionov G.V. Stressoustoychivost' i stressoreaktivnost' [Stress resistance and stress reactivity]. *Veterinariya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh*. 2006; 2: 41-47. (In Rus.)
3. Yarovan N.I., Smagina T.V. Morfo-biokhimicheskie izmeneniya krovi pri okislitel'nom strese u korov s boleznyami kopyt [Morpho-biochemical changes in blood under oxidative stress in cows with hoof diseases]. *Problemy i perspektivy innovatsionnogo razvitiya agrotekhnologii: Sbornik materialov XX Mezhduнародной nauchno-proizvodstvennoy konferentsii. Belgorod: Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin*. 2016: 27-28. (In Rus.)
4. Samoilov A.A. Nekrobakterioz krupnogo rogatogo skota (epizootologiya, diagnostika i mery bor'by) [Necrobacteriosis in cattle (epizootology, diagnosis, and control measures)]: Self-review of DSc (Vet). Novosibirsk, 1991. P. 25. (In Rus.)
5. Hansen M.F., Smith M.L., Smith L.N., Abdul Jabbar K., Forbes D. Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight using a single 3D video capture device. *Computers in Industry*. 2018; 98: 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.011>
6. Pavkin D.Yu., Dorokhov A.S., Vladimirov F.E., Dovlatov I.M., Lyalin K.S. Algorithms for detecting cattle diseases at early stages and for making diagnoses and related recommendations. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021; 11: 11148. <https://doi.org/10.3390/app112311148>
7. Proshkin Y.A., Smirnov A.A., Sokolov A.V., Dovlatov I.M., Kachan S.A. Study of thermal modes of operation of SMD-LEDs in phyto-lamps. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. «International Conference on World Technological Trends in Agribusiness». 2021; 624: 012091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012091>
8. Moorman V.J., Reiser R.F., Mahaffey C.A., Peterson M.L.; McIlwraith C.W., Kawcak C.E. Use of an inertial measurement unit to assess the effect of forelimb lameness on three-dimensional hoof orientation in horses at a walk and trot. *American journal of veterinary research*. 2014; 75(9): 800-808. <https://doi.org/10.2460/ajvr.75.9.800>
9. Mohling C.M.; Johnson A.K., Coetzee J.F., Karriker L.A., Abell C.E., Millman S.T., Stalder K.J. Kinematics as objective tools to evaluate lameness phases in multiparous sows. *Livestock science*. 2014; 165: 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.031>
10. Moorman V.J., Reiser R.E., Peterson M.L., McIlwraith C.W., Kawcak C.E. Effect of forelimb lameness on hoof kinematics of horses at a trot. *American journal of veterinary research*. 2013; 74(9): 1192-1197. <https://doi.org/10.2460/ajvr.74.9.1192>
11. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Dovlatov I.M. Metodika optimizatsii parametrov mashinnogo kormleniya krupnogo rogatogo skota [Methodology for optimizing the parameters of the machine feeding of cattle]. *Agroengineering*. 2021; 1 (101): 10-14. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-10-14>
12. Tijssen M., Hernlund E., Rhodin M., Bosch S., Voskamp J.P., Nielsen M., Serra Bragança F.M. Automatic detection of break-over phase onset in horses using hoof-mounted inertial measurement unit sensors. *PLOS ONE*. 2020; 15(7): e0236181. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236181>
13. Mamedova R.A. Osobennosti obrabotki teplovizionnykh izobrazheniy dlya diagnostiki zabolovaniy konechnostey KRS [Peculiarities of processing thermal images for diagnosing diseases of cattle limbs]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*. 2021; 4 (44): 37-41. (In Rus.)

Contribution

V.V. Kirsanov, D.Yu. Pavkin, I.M. Dovlatov, F.E. Vladimirov, D.G. Geletiy and A.R. Khakimov performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.V. Kirsanov, D.Yu. Pavkin, I.M. Dovlatov, F.E. Vladimirov, D.G. Geletiy and A.R. Khakimov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 01.04.2022

Approved after reviewing 27.07.2022

Accepted for publication 01.08.2022