

## ТЕХНОЛОГИЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ОЦЕНКИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫМЕНИ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ\*

Сергей Сергеевич Юрочка, кандидат технических наук  
 Дмитрий Юрьевич Павкин, кандидат технических наук  
 Игорь Анатольевич Пехальский, кандидат технических наук  
 Артем Рустамович Хакимов, аспирант  
 Александра Александровна Поликанова, магистрант  
 Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия  
 E-mail: arty.hv@gmail.com

**Аннотация.** Представлены результаты исследования по созданию технологии для бесконтактного обнаружения локального изменения температуры кожи вымени. Направленность технологии – ранняя диагностика заболевания коров маститом, одного из наиболее распространенных и наносящих большой ущерб молочному животноводству, приводящего к снижению удоев. Применение технологии уменьшает дополнительные расходы, связанные с лечением заболевания. В работе представлен алгоритм бесконтактной диагностики температуры кожи вымени коров с применением трех тепловизионных модулей, позволяющих получать термограммы одновременно со всех локальных участков. Нами были выведены формулы основных параметров тепловизионных модулей для расположения их относительно друг друга. Сбор данных можно проводить как в динамичном, так и статичном положении животного. Данный алгоритм присваивает животному один из трех возможных статусов: «здоровое», «подозрение на субклинический мастит», «подозрение на клинический мастит».

**Ключевые слова:** молочное животноводство, мастит, оптические технологии, тепловизионная диагностика

## TECHNOLOGY FOR NON-CONTACT ASSESSMENT OF THE UDDER PHYSIOLOGICAL STATE FOR EARLY DISEASES DIAGNOSIS

S.S. Yurochka, PhD in Engineering Sciences  
 D.Yu. Pavkin, PhD in Engineering Sciences  
 I.A. Pekhalskiy, PhD in Engineering Sciences  
 A.R. Khakimov, PhD Student  
 A.A. Polikanova, Master Student

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia  
 E-mail: arty.hv@gmail.com

**Abstract.** The results of a study on the creation of technology for non-contact detection of local temperature changes in the skin of the udder and teats are presented. The focus of the technology is the early diagnosis of mastitis in cows, since this disease of the udder is one of the most common and causes great damage to dairy farming, leading to a decrease in milk yield. The technology makes it possible to determine the temperature increase in local areas of the udder skin, to carry out early diagnosis and reduce additional costs associated with the treatment of mastitis. This paper presents an algorithm for non-contact temperature diagnostics of local areas of the skin of the udder of cows using 3 thermal imaging modules that allow you to receive thermograms simultaneously from all local areas of the skin of the udder. We have derived formulas for the main parameters of thermal imaging modules for their location relative to each other. Data collection can be carried out both in the dynamic and in the static position of the animal. This algorithm assigns one of 3 possible statuses to the animal: “healthy”, “suspicion of subclinical mastitis”, “suspicion of clinical mastitis”.

**Keywords:** dairy farming, mastitis, optical technologies, thermal imaging diagnostics

Одна из проблем, которая в настоящее время присутствует на фермах, это воспалительные заболевания вымени у коров, в частности маститы разных форм проявления. Маститы наносят экономический ущерб производителям молока из-за его недополучения, снижения качества, преждевременной выбраковки коров, заболеваемости новорожденных телят и затрат на лечение. [1–3, 6, 8] В работе Д.Р. Тогобицкой подробно описан патогенез воспалений молочной железы у коров, одно из проявлений которого – общее повышение темпе-

ратуры тела. [7] Измерение температуры локальных участков кожи вымени с помощью спектрального оборудования – быстрый, автоматизированный и эффективный способ для диагностирования физиологического состояния животного. [13, 17] Инфракрасная температура вымени у коров с заболеванием существенно отличается от таковой у здоровых животных. [14, 19] Важно также разделять воспаление от суточных колебаний температуры вымени и ее изменения в помещении. [9, 11, 18] Эффективные методы диагностики могут привести

\* 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 / The work was supported by 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 – Candidates of Sciences – МК-2513.2022.4.

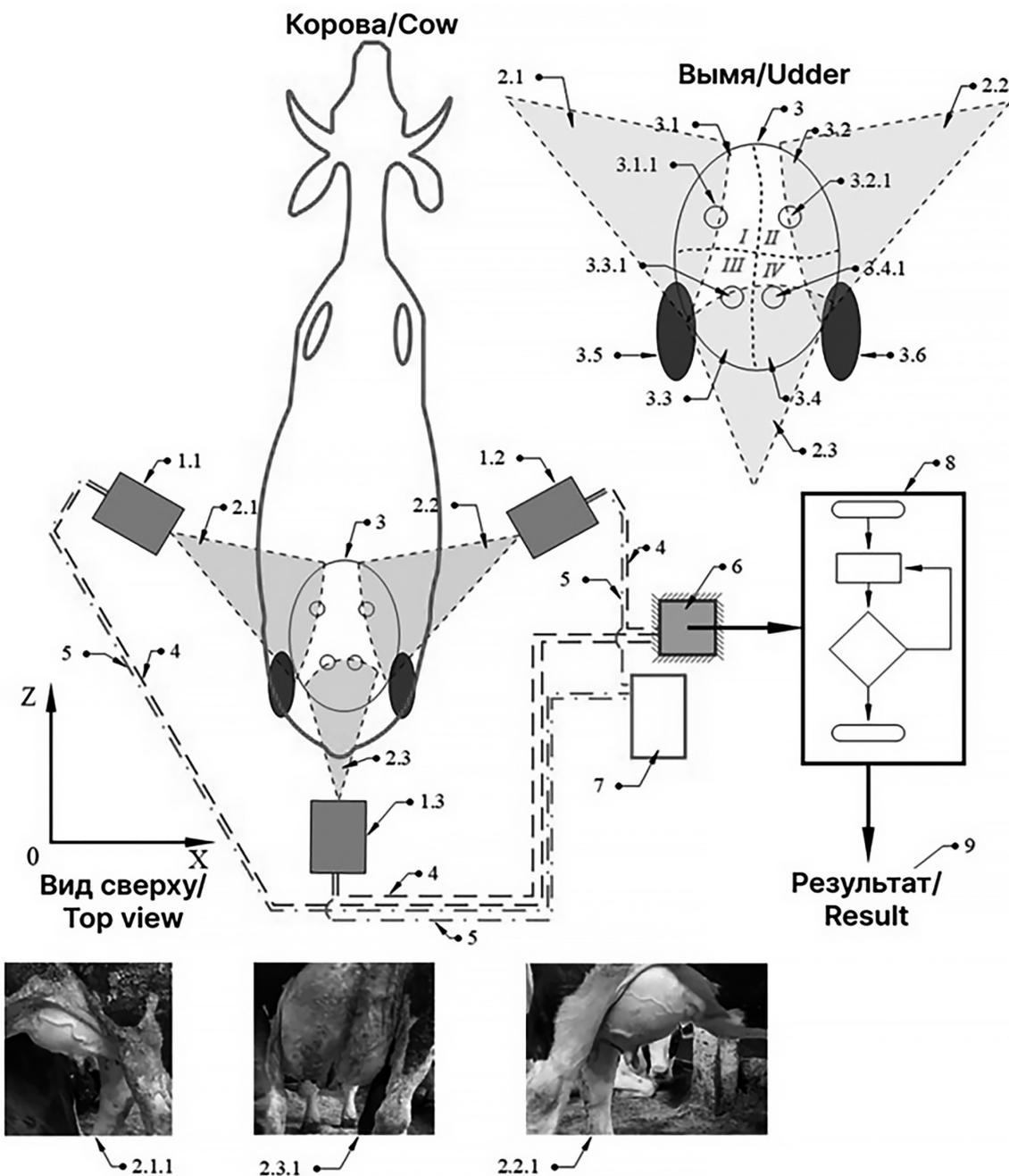


Рис. 1. Схема реализации концепта технологии.

Тепловизионные модули, направленные на определенную четверть вымени (1.1–1.3); угловая апертура для I и III, II и III, III и IV четвертей вымени (2.1–2.3); вымя (3); I–IV четверти вымени (3.1–3.4); соски вымени (3.1.1–3.4.1); способ передачи термограмм в блок обработки данных (4); питание тепловизионного модуля (5); блок обработки данных (6); блок питания (7); работа внутренних алгоритмов по обнаружению локального изменения температуры вымени и сосков крупного рогатого скота (8); формирование результата в необходимом формате (9).

к быстрому контролю мастита и способствовать ответственному использованию противомикробных препаратов. [15]

Наименее ресурсозатратный метод при ранней диагностике маститных заболеваний – оптическое дистанционное измерение температуры вымени коров и отслеживание отклонения от нормы. [10, 12, 16] Существуют устройства, предназначенные для обнаружения локального изменения температуры вымени крупного рогатого скота, устанавливаемые стационарно в местах, где животное бывает по меньшей мере один раз в сутки. Информация передается

в единый центр обработки данных с разработанным алгоритмом функционирования системы.

Цель исследований – разработка технологии для бесконтактного обнаружения локального изменения температуры кожи вымени коров.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Технология предполагает использование одновременно трех тепловизионных модулей под разными углами (рис. 1). На схеме показано, как она применяется при раннем обнаружении локального

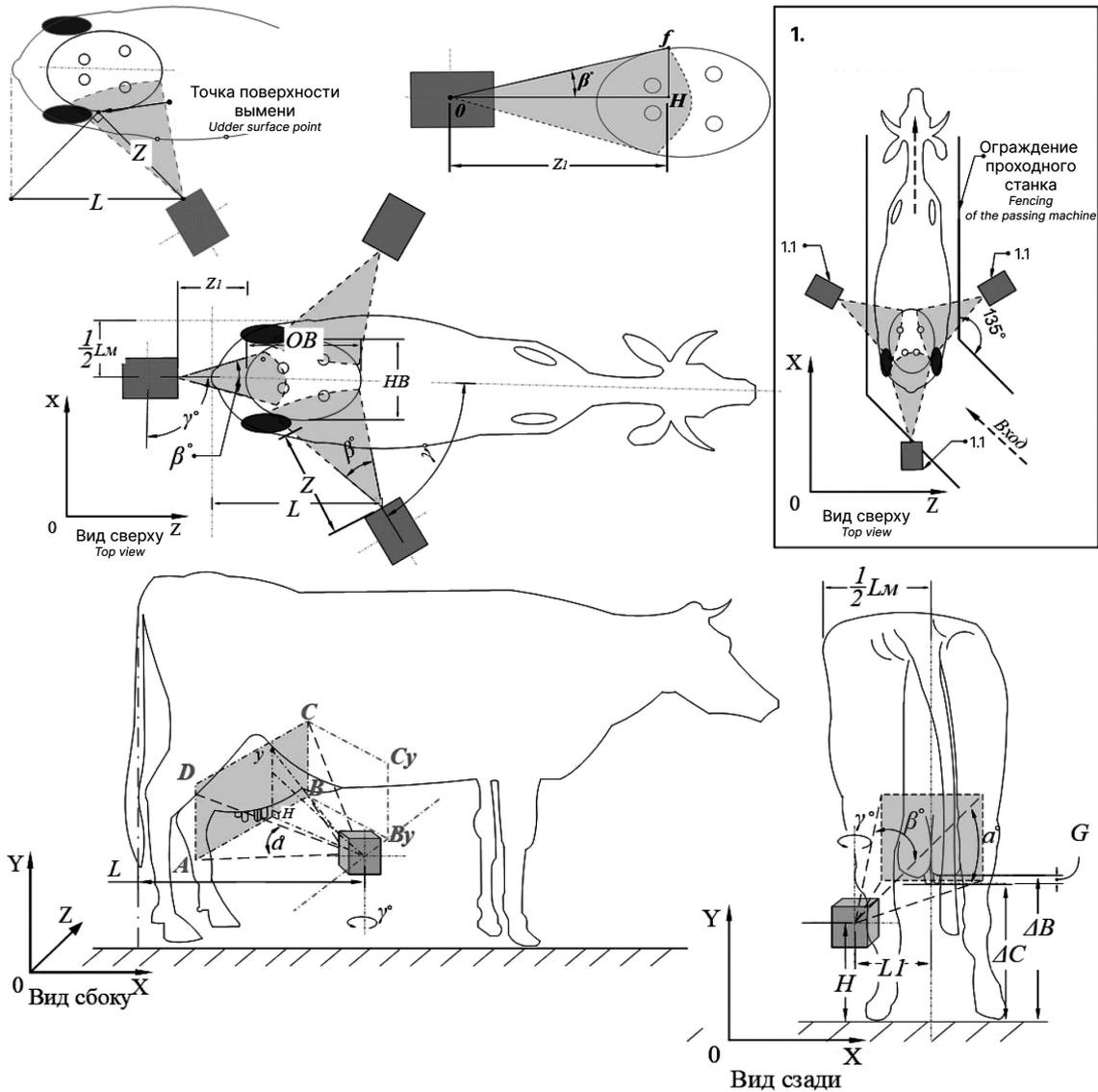


Рис. 2. Параметры установки тепловизионных модулей.

изменения температуры вымени крупного рогатого скота. Необходимо, чтобы корова ежедневно попадала в область действия тепловизионных модулей, которые установлены таким образом, чтобы в совокупности угловая апертура каждого покрывала все четверти и соски вымени.

Установка трех тепловизионных модулей позволяет получать термограммы всех не перекрытых ногами и хвостом участков кожи вымени.

Тепловизионные модули передают любым подходящим способом полученные термограммы участков вымени и сосков. Показания отправляются в блок обработки данных, например, панельный компьютер. Результаты обработки тепловизионных карт выдаются в числовом, текстовом или графическом виде.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для установки тепловизионных модулей в животноводческом оборудовании были рассчитаны основные параметры:  $Z$ ,  $L$ ,  $H$ ,  $\gamma^\circ$  (рис. 2).

Расстояние от внешней линзы тепловизионного модуля до ближайшей поверхности вымени:

$$Z = \frac{0H + Hf}{\tan \frac{1}{2}\beta^\circ} \quad (1)$$

Область видимой части любого из тепловизионных модулей примем как трапецию с прямыми углами. Местоположение объекта определяют по формулам:

$$l_1 = \frac{C_y - B_y}{|AD| - Y} + B_y, \quad (2)$$

$$l_2 = \frac{D_y - A_y}{|AD| - Y} + A_y, \quad (3)$$

$$\cos(\alpha^0) = \frac{|AD|}{|AO|}, \text{ где } \alpha^0 \in [0, \alpha], \quad (4)$$

$$M = \frac{l_2 - l_1}{|AB|} X + l_1, \quad (5)$$

где  $l_1, l_2$  – промежуточные переменные для вершины относительно координат пикселей на изображении в декартовой системе координат;

$|AD|, |AB|$  – разрешение тепловизионного модуля по оси  $OY$  и  $OX$  соответственно;

$A, B, C, D$  – географические координаты вершин трапеции поля зрения камеры;

$X, Y$  – координаты пикселей на изображении в декартовой системе координат, целые числа;

$M$  – вектор координат тепловизионного модуля.

При этом,  $|OB| < |AD|$ ,  $L = Mx$ ,  $H = My$ , а расстояние  $Z$  от внешней линзы до ближайшей поверхности вымени зависит от бокового расстояния от корня хвоста до центральной точки тепловизионного модуля  $L$ :

$$\frac{Z}{L} = \cos(\gamma^\circ). \quad (6)$$

Тогда  $\gamma^\circ = \cos^{-1}(Z/L)$ . Итоговая система уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} l_1 = \frac{C_y - B_y}{|AD| - Y} + B_y, \\ l_2 = \frac{D_y - A_y}{|AD| - Y} + A_y, \\ \cos(\alpha^\circ) = \frac{|AD|}{|AO|}, \text{ где } \alpha^\circ \in [0, \alpha], \\ M = \frac{l_2 - l_1}{|AB|} X + l_1, \\ Z = \frac{OH + Hf}{\tan \frac{1}{2} \beta^\circ}, \text{ где } \beta^\circ \in [0, \beta], \\ L = M_x, \\ H = M_y, \\ \gamma^\circ = \cos^{-1}(Z/L). \end{array} \right. \quad (7)$$

Таким образом, определяются места установки тепловизионных модулей относительно положения животного.

Для проведения ранней диагностики маститных заболеваний технология предполагает работу в нескольких режимах, выбор которого зависит от условий и оборудования (рис. 3).

Технологию можно применять как в стационарных системах (автоматизированные и роботизированные доильные залы), где животное находится в статике, так и в случае, когда животное находится в динамике (например, проходит через сортировочные ворота).

Использование технологии в динамике предполагает режим получения термограмм с минимальной скоростью – от двух в секунду. Режим обосновывается данными линейной оценки экстерьера, в частности, длиной передних долей вымени, измеряемой по горизонтали от точки соединения вымени с туловищем до боковой борозды, может находиться в пределах от 0,13 до 0,27 м. [5] Дополнительно необходимо учитывать, что задняя ногой частично или полностью закрываются III и IV четверти вымени, за длину видимого участка четверти вымени примем расстояние, равное половине максимального размера передней доли вымени – 0,27...0,135 м. Открытый участок четверти вымени может иметь максимальную длину ~0,405 м. По ранее полученным данным нами рассчитано, что средняя кровя проходит расстояние равное длине тела от головы до хвоста (2,2 м) ориентировочно за 5 сек., следовательно за 1 сек. корова преодолевает 0,44 м. Таким образом, установленный режим позволит получить по меньшей мере одну термограмму, пригодную для распознавания температуры локальных участков вымени и сосков. Скорость получения термограмм выше двух в секунду допускается устанавливать при условии, если есть технические возможности устройства обрабатывать значительный поток входящих данных. Алгоритм работы технологии представлен на рисунке 4.

Второй режим работы – наличие технической возможности тепловизионного модуля автоматически перемещаемых точек и областей в термограммах, где производится считывание и вычисление ми-

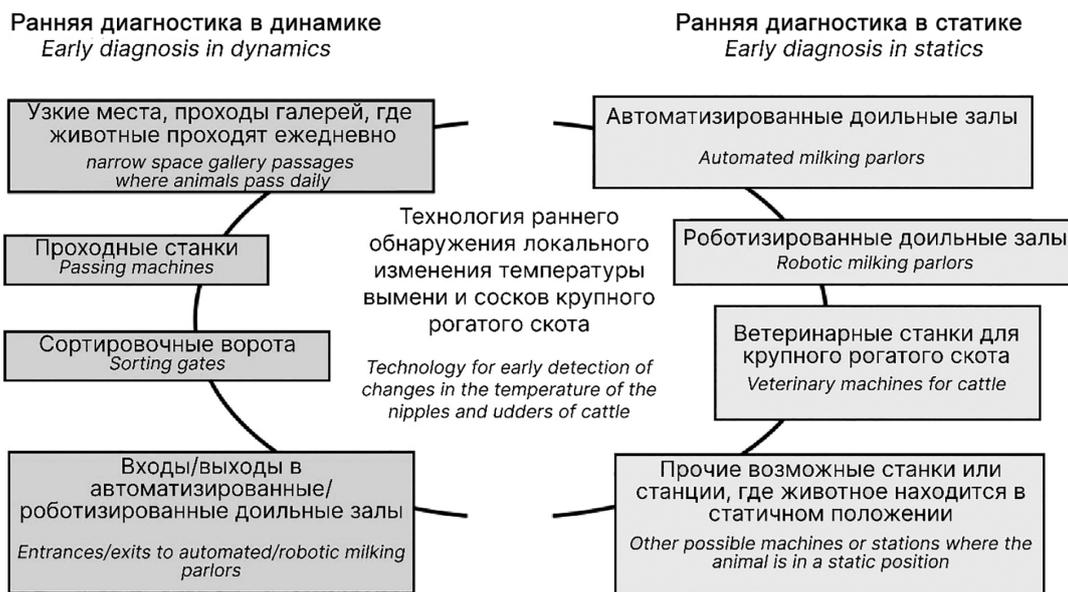


Рис. 3. Оборудование, которое может быть дооснащено технологией раннего обнаружения локального измерения температуры вымени крупного рогатого скота.

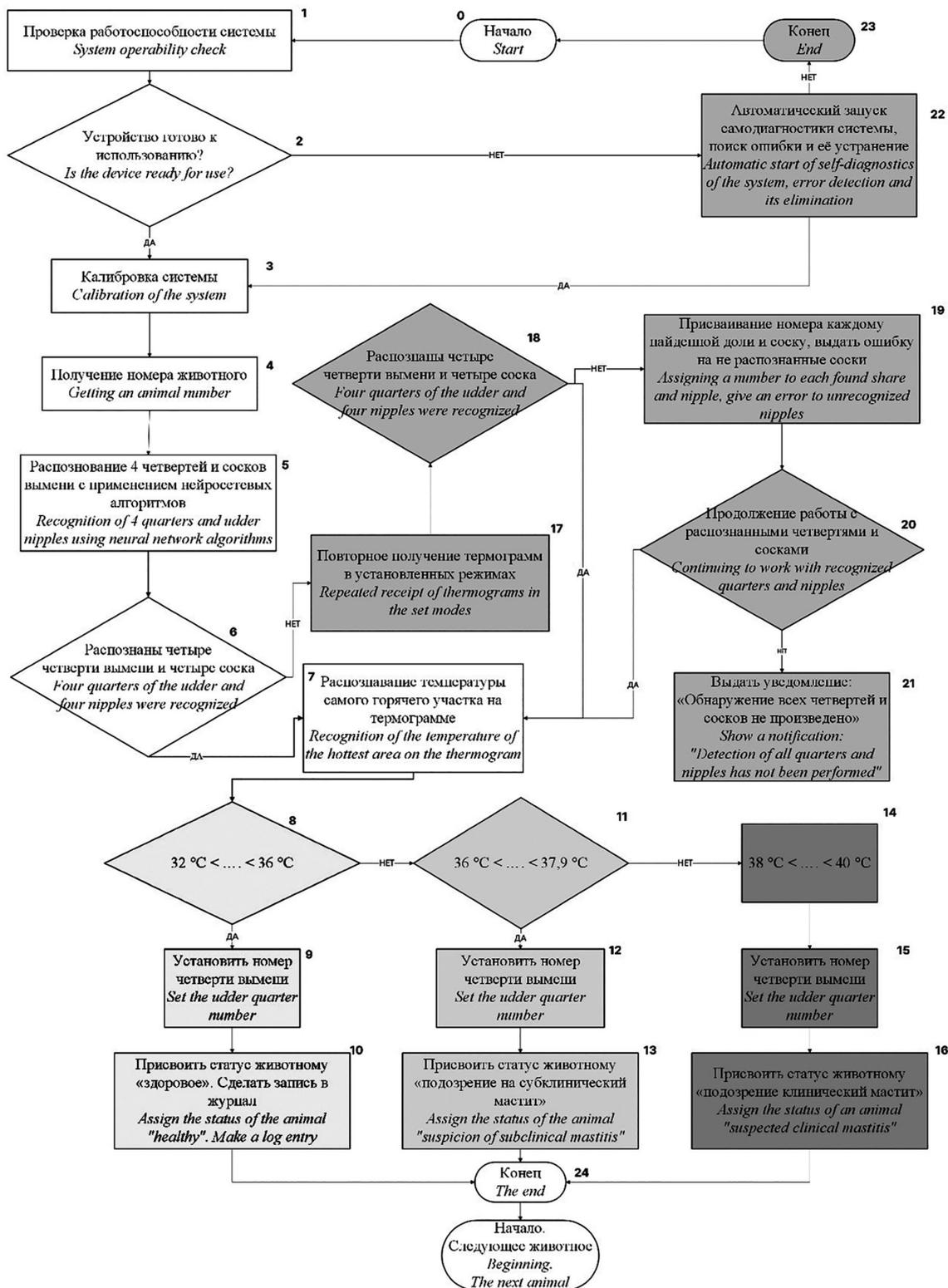


Рис. 4. Алгоритм работы технологии.

нимальной, максимальной и средней температуры в центральной области термограммы, автоматическое определение местоположения.

Работа алгоритма условно разделяется на два блока, в первом (1–7) определяется режим функционирования алгоритма, производится получение термограмм, распознавание всех четвертей вымени, четырех сосков, с присвоением им номеров на термограммах, во втором (8–16) устанавли-

вается физиологический статус животного: «здоровое», «подозрение на субклинический мастит», «подозрение на клинический мастит». Блоки алгоритма 17–23 (вспомогательные) – для отработки возникающих ошибок связанных с картами термограмм и с невозможностью идентифицировать четыре соска.

Внедрение технологии позволит снизить негативное влияние на экологию из-за меньшего потре-

бления лекарственных препаратов. В начале XXI века Европейское агентство по окружающей среде (ЕЕА) обозначило действие активных фармацевтических субстанций на окружающую среду как новую экологическую проблему. [4] Снижение количества заболеваний маститом увеличивает срок производственного использования животных, снижает нагрузку на убойные цеха и уменьшает количество отходов.

**Выводы.** Разработана схема технологии с тремя тепловизионными датчиками, получающими одновременно три термограммы с изображением четырех четвертей вымени и сосков, блоками энергообеспечения и обработки информации с внутренними алгоритмами принятия решений о текущем физиологическом статусе животного. Представлена методика расчета рациональных параметров установки тепловизионных модулей для определения температуры в статике и динамике. Найден алгоритм распознавания температуры вымени и сосков, по результатам которого животному присваивается один из трех физиологических статусов: «здоровое», «подозрение на субклинический мастит», «подозрение на клинический мастит».

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абдрахманов Т.Ж. Изучение физико-химических показателей молока при субклиническом мастите коров // Наука и образование. 2022. № 1-1 (66). С. 86–92.
2. Zubova T.V., Kolokol'ceva E.A., Prohorov O.N., Saparova E.I. Сравнительная эффективность применения препарата белмаст и раствора стрептоцида при лечении коров, больных субклиническим маститом // Успехи современной науки. 2017. № 4 (2). С. 139–141.
3. Коба И.С., Степанишин В.В., Новиков Е.Н., Скориков А.В. Особенности формирования антимикробной резистентности микроорганизмов на животноводческих комплексах при маститах у коров // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2021. № 10. С. 55–62.
4. Ларионов Г.А., Вязова Л.М., Дмитриева О.Н. Динамика поражения четвертей вымени коров при субклиническом мастите в период лактации // Аграрный вестник Урала. 2015. № 4 (134). С. 45–49.
5. Прожерина Ю. Современная экологическая проблема. Фармацевтические отходы // Водоочистка. 2018. № 11. С. 54–62.
6. Семина Л.К. Индикация кокковой микрофлоры в секрете вымени больных маститом коров // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2018. № 3. С. 56–60.
7. Тогобицкая Д.Р. Совершенствование комплексных лечебно-профилактических мероприятий при мастите коров в условиях Республики Башкортостан: дис. ... канд. вет. наук: 06.02.06: защищена 22.05.2019 / Диана Ривхатовна Тогобицкая. Саратов, 2019. 155 с.
8. Халипаев М.Г., Сакидибиоров О.П. Диагностика и лечение субклинического мастита у коров // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 3 (39). С. 202–206.
9. Berry R.J., Kennedy A.D., Scott S.L., Kyle B.L. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection // Canadian journal of animal science. 2003. Vol. 83. 4. PP. 687–693.
10. Borah S., Soren S., Pame K. et al. Application of infrared thermography for animal health study // Emergent Life Sciences Research. 2022. Vol. 8. PP. 152–157.

11. Byrne D.T., Berry D.P., Esmonde H., McHugh N. Investigation of the relationship between udder quarter somatic cell count and udder skin surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography // J Anim Sci. 2018. Vol. 96 (10). PP. 4458–4470.
12. Hirutski I.I., Rakevich Y.A., Stankov A.G. Selection of the information parameter for the thermography method of diagnostics of dairy cows mastitis // Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. 2021. Т. 67. № 1. PP. 14–18.
13. Hovinen M., Siivonen J., Taponen S. et al. Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera // J Dairy Sci. 2008. Vol. 91 (12). 4592. DOI: 10.3168/jds.2008-1218.
14. Metzner M., Sauter-Louis C., Seemueller A. et al. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature // Veterinary Journal. 2014. Vol. 199. PP. 57–62.
15. Pampariene I. Thermography based inflammation monitoring of udder state in dairy cows: sensitivity and diagnostic priorities comparing with routine California mastitis test // Journal of Vibroengineering. 2016. Vol. 18. No. 1. PP. 511–521.
16. Rizanov S., Yakimov P., Stoyanova A., Bonev B. The Role of Thermography in Cattle Smart Farming: A Review // 2022 XXXI International Scientific Conference Electronics (ET). 2022, PP. 1–6. DOI: 10.1109/ET55967.2022.9920269.
17. Sathiyabarathi M., Jeyakumar S., Manimaran A. et al. Infrared thermal imaging of udder skin surface temperature variations to monitor udder health status in *Bos indicus* (Deoni) cows // Infrared Physics & Technology. 2018. Vol. 88. PP. 239–244.
18. Wollowski L., Bertulat S., Kossatz A., Heuwieser W. Short communication: Diagnosis and classification of clinical and subclinical mastitis utilizing a dynamometer and a handheld infrared thermometer // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102 (7). PP. 6532–6539.
19. Zaninelli M., Redaelli V., Luzi F. et al. First Evaluation of Infrared Thermography as a Tool for the Monitoring of Udder Health Status in Farms of Dairy Cows // Sensors 2018. Vol. 18. 862.

#### REFERENCES

1. Abdrahmanov T.Zh. Izuchenie fiziko-himicheskikh pokazatelej moloka pri subklinicheskom mastite korov // Nauka i obrazovanie. 2022. № 1-1 (66). S. 86–92.
2. Zubova T.V., Kolokol'ceva E.A., Prohorov O.N., Saparova E.I. Sravnitel'naya effektivnost' primeneniya preparata belmast i rastvora streptocida pri lechenii korov, bol'nyh subklinicheskim mastitom // Uspekhi sovremennoj nauki. 2017. № 4 (2). S. 139–141.
3. Koba I.S., Stepanishin V.V., Novikov E.N., Skorikov A.V. Osobennosti formirovaniya antimikrobnoj rezistentnosti mikroorganizmov na zhitovnovodcheskih kompleksah pri mastitah u korov // Veterinariya, zootekhnija i biotekhnologiya. 2021. № 10. S. 55–62.
4. Larionov G.A., Vyazova L.M., Dmitrieva O.N. Dinamika porazheniya chetvertej vymeni korov pri subklinicheskom mastite v period laktacii // Agrarnyj vestnik Urala. 2015. № 4 (134). S. 45–49.
5. Prozherina Yu. Sovremennaya ekologicheskaya problema. Farmaceuticheskie othody // Vodoochistka. 2018. № 11. S. 54–62.
6. Semina L.K. Indikaciya kokkovej mikroflory v sekrete vymeni bol'nyh mastitom korov // Problemy veterinarnoj sanitarii, gigeny i ekologii. 2018. № 3. S. 56–60.

7. Togobickaya D.R. Sovershenstvovanie kompleksnyh lecheno-profilakticheskikh meropriyatij pri mastite korov v usloviyah Respubliki Bashkortostan: dis. ... kand. vet. nauk: 06.02.06: zashchishchena 22.05.2019 / Diana Rivhatovna Togobickaya. Saratov, 2019. 155 s.
8. Halipaev M.G., Sakidibirov O.P. Diagnostika i lechenie subklinicheskogo mastita u korov // Problemy razvitiya APK regiona. 2019. № 3 (39). S. 202–206.
9. Berry R.J., Kennedy A.D., Scott S.L., Kyle B.L. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection // Canadian journal of animal science. 2003. Vol. 83. 4. PP. 687–693.
10. Borah S., Soren S., Pame K., Paul D. et al. Application of infrared thermography for animal health study // Emergent Life Sciences Research. 2022. Vol. 8. PP. 152–157.
11. Byrne D.T., Berry D.P., Esmonde H., McHugh N. Investigation of the relationship between udder quarter somatic cell count and udder skin surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography // J Anim Sci. 2018. Vol. 96 (10). PP. 4458–4470.
12. Hirutski I.I., Rakevich Y.A., Stankov A.G. Selection of the information parameter for the thermography method of diagnostics of dairy cows mastitis // Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. 2021. T. 67. № 1. PP. 14–18.
13. Hovinen M., Siivonen J., Taponen S. et al. Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera // J Dairy Sci. 2008. Vol. 91 (12). 4592. DOI: 10.3168/jds.2008-1218.
14. Metzner M., Sauter-Louis C., Seemueller A. et al. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature // Veterinary Journal. 2014. Vol. 199. PP. 57–62.
15. Pampariene I. Thermography based inflammation monitoring of udder state in dairy cows: sensitivity and diagnostic priorities comparing with routine California mastitis test // Journal of Vibroengineering. 2016. Vol. 18. No. 1. PP. 511–521.
16. Rizanov S., Yakimov P., Stoyanova A., Bonev B. The Role of Thermography in Cattle Smart Farming: A Review // 2022 XXXI International Scientific Conference Electronics (ET). 2022, PP. 1–6. DOI: 10.1109/ET55967.2022.9920269.
17. Sathiyabarathi M., Jeyakumar S., Manimaran A. et al. Infrared thermal imaging of udder skin surface temperature variations to monitor udder health status in *Bos indicus* (Deoni) cows // Infrared Physics & Technology. 2018. Vol. 88. PP. 239–244.
18. Wollowski L., Bertulat S., Kossatz A., Heuwieser W. Short communication: Diagnosis and classification of clinical and subclinical mastitis utilizing a dynamometer and a handheld infrared thermometer // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102 (7). PP. 6532–6539.
19. Zaninelli M., Redaelli V., Luzi F. et al. First Evaluation of Infrared Thermography as a Tool for the Monitoring of Udder Health Status in Farms of Dairy Cows // Sensors 2018. Vol. 18. 862.

*Поступила в редакцию 15.05.2023*

*Принята к публикации 29.05.2023*