

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК 619:618.19-002-073:636.22/28

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-1-68-79>

Поступила в редакцию 05.07.2024

Received 05.07.2024

Ю. А. Ракевич*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по механизации сельского хозяйства, Минск, Республика Беларусь***ТЕХНОЛОГИЯ И СРЕДСТВА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
МАСТИТА КОРОВ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В УСЛОВИЯХ
ПОТОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА**

Аннотация. Представлено перспективное направление развития оптико-электронных методов и средств для контроля за состоянием молочной железы дойной коровы. Разработана схема к определению технических параметров средства относительно теплового поля молочной железы коровы. Теоретически и экспериментально определены технические параметры средства для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока. Угол обзора объектива технического средства в горизонтальной плоскости $\alpha_{\text{гор}} = 33$ град, в вертикальной плоскости $\alpha_{\text{верт}} = 24$ град; фокусное расстояние $f = 0,0075$ м; зона обзора вымени в горизонтальной плоскости $S_{\text{гор}} = 0,57$ м, в вертикальной плоскости $S_{\text{верт}} = 0,42$ м; минимальный элемент разрешения вымени в горизонтальной плоскости $\Delta_{\text{гор}} = 0,0037$ м, в вертикальной плоскости $\Delta_{\text{верт}} = 0,0047$ м; рациональное расстояние от объектива технического средства до вымени $L = 1$ м; рациональное расстояние от объектива технического средства до пола $H = 1$ м. Определены четыре группы животных в заданных температурных условиях: здоровая – животные с отрицательным тестом по кенотесту (–) в диапазоне температур $[34,6^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 36,8^\circ\text{C}]$; сомнительная – с сомнительным тестом по кенотесту (+) в диапазоне температур $[36,8^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 38^\circ\text{C}]$; субклиническая – с субклинической стадией мастита по кенотесту (++) в диапазоне температур $[38^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 39^\circ\text{C}]$ и клиническая – с выраженной стадией мастита по экспресс-тесту (+++) в диапазоне температур $[39^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 40,5^\circ\text{C}]$. Представлена конструктивно-технологическая схема включения термографического метода диагностики мастита в поточную линию доения коров, дана системная оценка методов диагностики мастита.

Ключевые слова: мастит, идентификация, молочная железа, схема, метод, тест, оценка, молоко, температура

Для цитирования: Ракевич, Ю. А. Технология и средства для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока / Ю. А. Ракевич // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 1. – С. 68–79. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-1-68-79>

Yury A. Rakevich*Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization,
Minsk, Republic of Belarus***TECHNOLOGY AND TOOLS FOR CONTACTLESS IDENTIFICATION OF COW MASTITIS BY
THERMOGRAPHIC METHOD UNDER CONDITIONS OF FLOW-LINE MILK PRODUCTION**

Abstract. A promising trend for development of optical-electronic methods and technical means for monitoring the condition of the mammary gland of a dairy cow is presented. A layout has been developed for determining the technical parameters of the tool relative to the thermal field of the cow's mammary gland. The technical parameters of the tool for contactless identification of cow mastitis using the thermographic method in the conditions of continuous milk production were determined theoretically and experimentally. The viewing angle of the lens of the technical tool in the horizontal plane is $\alpha_{\text{hor}} = 33$ degrees, in the vertical plane $\alpha_{\text{vert}} = 24$ degrees; focal length $f = 0.0075$ m; udder viewing area in the horizontal plane $S_{\text{hor}} = 0.57$ m, in the vertical plane $S_{\text{vert}} = 0.42$ m; minimum element of udder resolution in the horizontal plane $\Delta_{\text{hor}} = 0.0037$ m, in the vertical plane $\Delta_{\text{vert}} = 0.0047$ m; the rational distance from the lens of the technical tool to the udder is $L = 1$ m; rational distance from the lens of the technical tool to the floor is $H = 1$ m; four groups of animals were identified under given temperature conditions: healthy – animals with a negative kenotest result (–) in the temperature range of $[34.6^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 36.8^\circ\text{C}]$; intermediate – with an intermediate kenotest result (+) in the temperature range of $[36.8^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 38^\circ\text{C}]$; subclinical – with a subclinical stage of mastitis according to kenotest (++) in the temperature range of $[38^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 39^\circ\text{C}]$, and clinical – with a pronounced stage of mastitis according to rapid test (+++) in the temperature range of $[39^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 40.5^\circ\text{C}]$. A design and technological layout for incorporating the thermographic method for diagnosing mastitis into a production line for milking cows is presented, and a systematic assessment of methods for diagnosing mastitis is given.

Keywords: mastitis, identification, mammary, layout, method, test, assessment, milk, temperature

For citation: Rakevich Yu. A. Technology and tools for contactless identification of cow mastitis by thermographic method under conditions of flow-line milk production. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2025, vol. 63, no. 1, pp. 68–79 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2025-63-1-68-79>

Введение. Значительный вклад в развитие молочной отрасли, включая применение оптико-электронных и технических средств для диагностики мастита термографическим методом, внесли следующие ученые: В. В. Кирсанов, Н. М. Морозов, Ю. А. Цой, Ю. Г. Иванов, С. С. Юрочка, П. П. Казакевич, В. И. Передня, М. В. Барановский, Г. Ф. Медведев, А. Л. Лях, В. Н. Тимошенко, А. В. Тимошенко, А. А. Музыка, Д. А. Григорьев и другие [1–4].

Исследованиями и разработками в этом направлении занимаются в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» (Д. И. Комлач, Н. Г. Бакач, Е. Л. Жилич, В. К. Клыбик и др. [5]).

Стратегической отраслью сельского хозяйства Республики Беларусь традиционно является молочное скотоводство. Республика Беларусь входит в пятерку мировых лидеров по производству молока на душу населения за год – 840 кг. Залогом успешного экономического развития молочного животноводства является получение качественного молока от здорового технологического стада. Несмотря на достигнутые результаты и положительную динамику в развитии молочной отрасли, в сельскохозяйственных организациях еще имеются проблемы и вместе с тем значительные резервы для повышения экономической эффективности производства молока – основного источника поступления финансовых средств. Оно также определяет уровень экономического развития сельскохозяйственных предприятий. На интенсификацию отрасли направляется 26 % материально-денежных средств, вкладываемых в развитие аграрного сектора, расходуется 43 % скармливаемых кормов и используется 22 % трудовых ресурсов, занятых в сельскохозяйственном производстве. От реализации молока сельхозорганизации республики ежегодно получают почти 36 % выручки и 70 % общей суммы прибыли [6, 7].

Получение качественного молока – актуальная задача для всех сельскохозяйственных организаций, занимающихся молочным скотоводством. Одной из причин низкого качества молока на молочно-товарных фермах является заболевание коров маститом (снижается молочная продуктивность, качество молока, продуктивное долголетие коров), в некоторых случаях мастит становится причиной выбраковки животных. В последние десятилетия параллельно с увеличением молочной продуктивности животных частота заболеваемости маститом увеличилась.

При однократном исследовании стад в 12 крупных сельскохозяйственных организациях республики было зарегистрировано проявление клинического мастита у 3–25 %, а субклинического – у 7–42 % дойных коров. Снижение молочной продуктивности за лактацию может достигать от 10 до 25 % в зависимости от возраста, продуктивности и длительности болезни. Причем от одной коровы потери молока могут составлять до 300–400 кг за лактацию. В молочно-товарных хозяйствах Республики Беларусь выбраковывается ежегодно по причине мастита не менее 17 % коров. У 50 % и более лакирующих животных выявляется скрытая форма мастита [8–10].

В ветеринарной практике в качестве золотого стандарта обычно используют калифорнийский метод определения мастита (кенотест), который косвенно измеряет количество соматических клеток в образцах молока. Основным его недостатком является то, что иногда полученные результаты трудно интерпретировать, а метод отличается относительно низкой чувствительностью [11, 12].

Используемые в настоящее время химические методы для идентификации мастита требуют больших затрат труда и времени специалистов. Перспективным физическим методом диагностики состояния биологического объекта является термометрия – бесконтактное определение температуры отдельных областей тела животного путем получения термографического снимка. Кроме того, термометрия может стать эффективным средством физиологической оценки работы доильного аппарата. При выборе доильного оборудования необходимо учитывать биологические характеристики животных, в первую очередь интенсивность и полноту рефлекса молокоотдачи, а также другие физиологические параметры. Термографический метод позволяет определить

физиологические показатели животного до и после доения, а также дать оценку изменениям этих показателей. С помощью технического средства дистанционно измеряют и фиксируют температурные поля, контрольные точки на вымени и сосках до и после доения, а оценку работы доильного аппарата осуществляют путем сравнения полученных цифровых данных. При этом измерения температуры проводят с точностью до 0,02 °C [13].

Идентификация мастита коров на ранней стадии заболевания в условиях беспривязного содержания коров на молочно-товарных фермах требует разработки бесстрессовых методов, работающих в режиме реального времени. Перспективным направлением решения этой актуальной задачи является развитие оптико-электронных методов и технических средств, по причине их многофункциональности и бесконтактности, что является важным качеством для контроля за состоянием молочной железы дойной коровы. Получение и анализ инфракрасных изображений снимков вымени и сосков позволяет осуществлять мониторинг теплового поля, а также изучать воздействие доильного оборудования на молочную железу в зависимости от степени заболевания коров маститом [14–16].

Инфракрасная термометрия представляет собой простой, эффективный, неинвазивный метод, который обнаруживает поверхностное тепло, излучаемое как инфракрасное излучение, и генерирует графические изображения, не вызывая радиационного облучения. Молочная железа является ярким индикатором ответной реакции организма на патологические изменения, характеризующиеся повышенной температурой в области воспаления. Температура поверхности вымени коров является важным показателем для диагностики болезней коровы, а также оценки их физиологического статуса [17].

Термография обнаруживает тепловые поля, излучаемые выменем, что позволяет идентифицировать области, пораженные воспалением. По сравнению с традиционными методами, такими как визуальный осмотр и ручная пальпация, экспресс-тесты, лабораторные методы, термография имеет ряд преимуществ. Позволяет быстро, безболезненно, не требуя физического контакта с выменем и сводя к минимуму стресс для коровы, диагностировать мастит. Термографический метод выявляет на ранней стадии субклинический мастит, который часто остается незамеченным при использовании обычных методов. Чтобы эффективно использовать термографию для диагностики мастита и оценки воздействия машинного доения, необходимо принимать рациональные конструктивные решения. Это включает в себя определение оптимального времени для скрининга, желаемого температурного порога для выявления воспаленных участков, а также подходящего расстояния и угла для получения точных изображений. Интеграция термографии в существующее программное обеспечение системы управления стадом может повысить удобство его использования и эффективность [18].

Таким образом, разработка технических средств для идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока путем мониторинга температуры поверхности молочной железы в режиме реального времени является актуальной задачей, имеющей важное народнохозяйственное значение для АПК Республики Беларусь.

Цель работы – теоретические и экспериментальные исследования для разработки технических требований к средству для бесконтактной идентификации мастита коров в условиях поточного производства молока и получения качественных и достоверных термографических снимков молочной железы в режиме реального времени.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследований использовалось средство с сенсорным ЖК-экраном 3,5' (320 × 240 пикселей). Оптическое поле зрения – 33° × 24°, минимальное фокусное расстояние – 0,3 м. Пространственная разрешающая способность – 3,33 мрад. Детектор (ИК) – 160 × 120 пикселей. Температурный диапазон – от –20 до 150 °C. Анализ результатов измерения – три зоны с минимальным, максимальным и средним значением температуры. Дискретность отсчета – не хуже ± 0,1 °C; точность измерения – ±2 % от величины показаний. Средство устанавливалось на триподе, который позволял изменять высоту расположения объектива от 0,63 до 1,65 м (данную высоту фиксировали метровой рулеткой). Расстояние от объектива средства до биологического объекта – молочной железы дойной коровы фиксировали дистанционно с помощью лазерного дальномера марки SNDWAY SW-TG50. Прибор позволяет определять

расстояние до объекта от 0,05 до 50 м. Точность измерения расстояния составляет ± 2 мм. Коэффициент теплового излучения для биологических объектов – 0,98.

Формирование групп происходило индивидуально: проводился клинический осмотр вымени каждого животного оператором машинного доения (пальпация долей вымени), а также по внешним признакам осуществлялся анализ первых струек молока, сдаиваемого в отдельную посуду для обнаружения в молоке хлопьев, сгустков крови, примеси гноя и других включений. На молочно-товарной ферме для выявления мастита КРС используется экспресс-тест КМТ (калифорнийский маститный тест). Совместно с ветеринарными специалистами исследование проводили с помощью пластинок молочно-контрольных типа ПМК-1 и реагента «Кенотест». В луночку вносили 1 мл тщательно перемешанного молока и к нему добавляли 1 мл 2,5%-го раствора препарата «Кенотест» из флакона с автоматом-кювиком 1 мл. Смешивали препарат с молоком в течение 10 с стеклянной палочкой. Формирование групп и учет реакции проводили по характеру взаимодействия смеси:

- 1-я группа (–) отрицательная (жидкость однородная, водянистая, количество соматических клеток меньше 200 тыс/мл); отсутствие мастита;
- 2-я группа (+) сомнительная (смесь однородная, однако появляется незначительная вязкость, которая исчезает через 30 с, количество соматических клеток от 200 до 500 тыс/мл); риск наличия мастита, необходимо лечение;
- 3-я группа (++) слабоположительная (четко просматривается образование желе, но без формирования концентрированного сгустка, количество соматических клеток от 400 до 1500 тыс/мл); наличие воспалительного процесса, необходимо лечение;
- 4-я группа (+++) положительная (формирование плотного сгустка, количество соматических клеток более 1500 тыс/мл); наличие острого мастита, необходимо лечение.

Результаты и их обсуждение. Экспериментальные исследования проводились на действующем предприятии – в УСП «Совхоз «Порозовский» (Гродненская обл., Свислочский р-н). На ферме содержится 520 гол. дойного стада. Утренняя дойка осуществлялась с 6:00 до 13:00, вечерняя – с 16:00 до 24:00. На ферме установлена доильная установка «Параллель» 2×16 фирмы «Вестфалия» (Германия), которая позволяет обслуживать до 800 гол. дойного стада.

На основании метода исследования разработана схема к определению технических параметров средства относительно теплового поля молочной железы коровы. В общем виде средство для идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока состоит из тепловизионной камеры, объектива, трипода (рис. 1).

Теоретически определены технические параметры средства для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока:

- угол обзора объектива средства в горизонтальной плоскости $\alpha_{\text{гор}} = 33$ град;
- угол обзора объектива средства в вертикальной плоскости $\alpha_{\text{верт}} = 24$ град;
- фокусное расстояние $f = 0,0075$ м;
- зона обзора вымени в горизонтальной плоскости $S_{\text{гор}} = 0,57$ м;
- зона обзора вымени в вертикальной плоскости $S_{\text{верт}} = 0,42$ м;
- минимальный элемент разрешения вымени в горизонтальной плоскости $\Delta_{\text{гор}} = 0,0037$ м;
- минимальный элемент разрешения вымени в вертикальной плоскости $\Delta_{\text{верт}} = 0,0047$ м.

Для получения качественных и достоверных инфракрасных изображений вымени коров средство целесообразно устанавливать на входе в доильный зал совместно с электронной идентификацией номера коровы. В процессе эксперимента на входе в доильный зал сбоку относительно теплового поля молочной железы дойной коровы устанавливалось средство. В момент движения коровы на дойку через место распознавания номера его объектив фиксировал вымя и соски коровы для получения инфракрасных изображений с регистрируемыми температурными показателями в самой горячей области, которые отображались на мониторе средства (рис. 2) [19].

Экспериментально определены технические параметры средства для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока:

- рациональное расстояние от объектива средства до вымени $L = 1$ м;
- рациональное расстояние от объектива средства до пола $H = 1$ м.

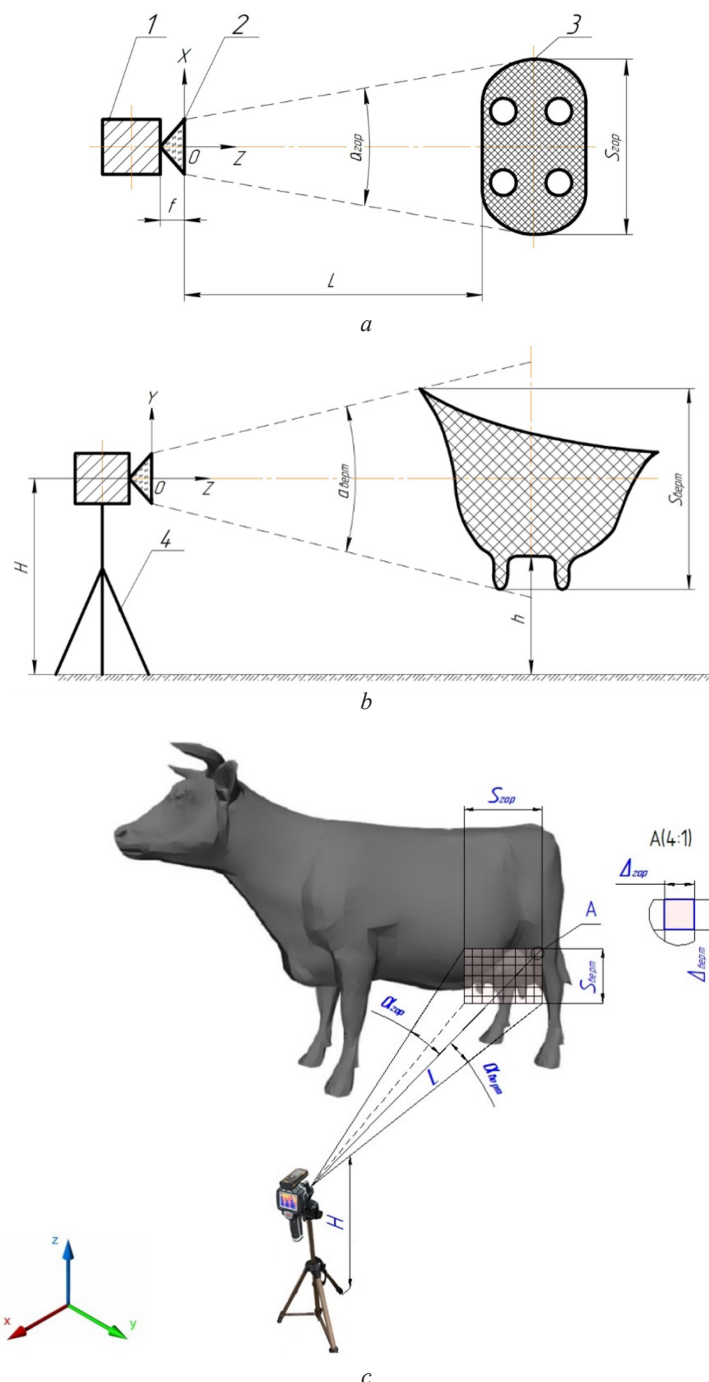


Рис. 1. Схема к определению технических параметров средства относительно теплового поля молочной железы коровы: вид сверху (а); вид сбоку (б); трехмерная модель (с); 1 – тепловизионная камера; 2 – объектив; 3 – молочная железа; 4 – трипод; f – фокусное расстояние, м; α_{hor} – угол обзора объектива средства в горизонтальной плоскости, град; α_{ver} – угол обзора объектива средства в вертикальной плоскости, град; S_{hor} – зона обзора вымени в горизонтальной плоскости, м; S_{ver} – зона обзора вымени в вертикальной плоскости, м; Δ_{hor} – минимальный элемент разрешения вымени в горизонтальной плоскости, м; Δ_{ver} – минимальный элемент разрешения вымени в вертикальной плоскости, м; L – расстояние от объектива средства до вымени, м; H – расстояние от объектива средства до пола, м; h – расстояния от вымени до пола, м

Fig. 1. Layout for determining the technical parameters of the tool relative to the thermal field of the cows mammary gland: top view (a); side view (b); three-dimensional model (c); 1 – thermal imaging camera; 2 – lens; 3 – mammary gland; 4 – tripod; f – focal length, m; α_{hor} – viewing angle of the lens in the horizontal plane, degrees; α_{ver} – viewing angle of the lens in the vertical plane, degrees; S_{hor} – viewing area of the udder in the horizontal plane, m; S_{ver} – viewing area of the udder in the vertical plane, m; Δ_{hor} – minimum element of udder resolution in the horizontal plane, m; Δ_{ver} – minimum element of udder resolution in the vertical plane, m; L – distance from the lens of the tool to the udder, m; H – distance from the lens of the tool to the floor, m; h – distance from the udder to the floor, m

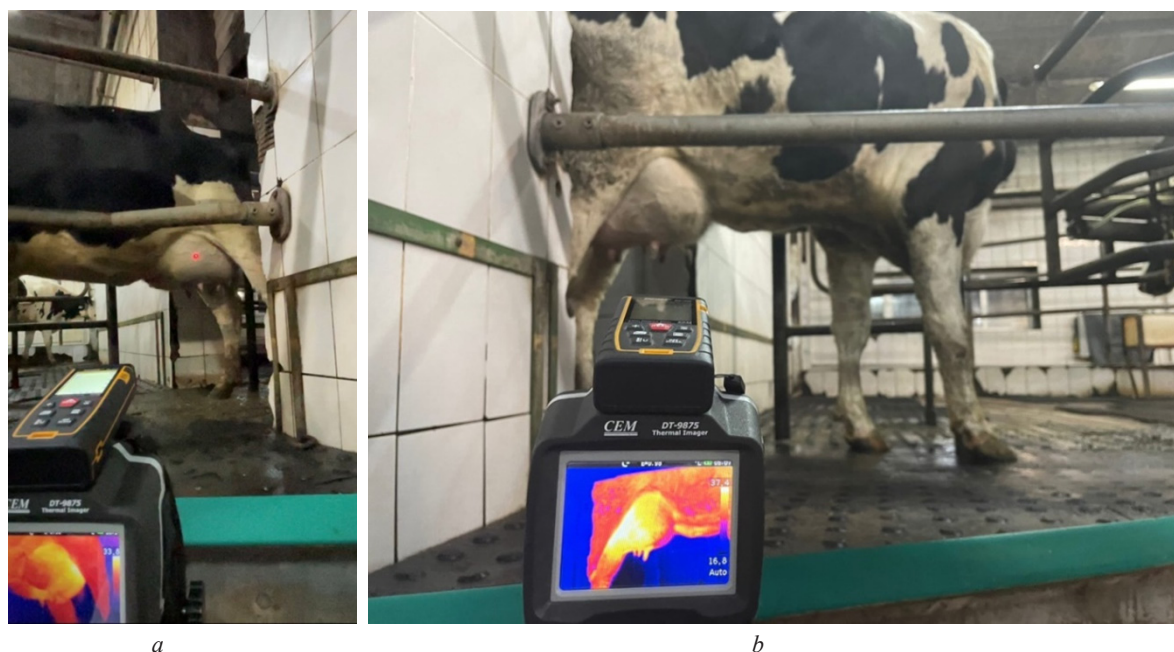


Рис. 2. Размещение средства для бесконтактной идентификации мастита коров в условиях поточного производства молока на доильной установке «Параллель»: правое движение коров в доильный бокс для доения (а); левое движение коров в доильный бокс для доения (b)

Fig. 2. Placement of a tool for contactless identification of cow mastitis in conditions of flow-line milk production on the Parallel milking parlor: right movement of cows into the milking box for milking (a); left movement of cows into the milking box for milking

Экспериментально обосновано использование максимальной температуры отдельных областей неоднородного теплового поля вымени коровы на термографическом снимке в качестве информационного параметра, корреляционная взаимосвязь и статистическое распределение вероятности максимальной температуры отдельных областей неоднородного теплового поля вымени коровы по четырем группам животных – здоровые (средняя максимальная температура $36,2^{\circ}\text{C}$, $\sigma = 0,650$), сомнительные (средняя максимальная температура $37,3^{\circ}\text{C}$, $\sigma = 0,217$), субклиническая (средняя максимальная температура $38,5^{\circ}\text{C}$, $\sigma = 0,198$) и клиническая форма заболевания маститом (средняя максимальная температура $39,6^{\circ}\text{C}$, $\sigma = 0,209$).

Разработан алгоритм идентификации раннего мастита дойных коров по максимальной температуре вымени с использованием критерия Байеса, минимизирующий риски принятия неправильных решений. Если полученные значения применить к экспериментальным данным, имеем следующие результаты:

- 1-я группа (здоровая) – из 30 коров в группе отнесены к здоровым 20, к сомнительным 10; вероятность принятия правильного решения – 66,67 %;
- 2-я группа (сомнительная) – из 30 коров в группе отнесены к сомнительным 27, к здоровым 3; вероятность принятия правильного решения – 90 %;
- 3-я группа (субклиническая) – из 30 коров в группе отнесены к субклинике 28, к сомнительным 2; вероятность принятия правильного решения – 93,33 %;
- 4-я группа (клиническая) – из 30 коров в группе отнесены к клинике 30, к субклинике 0, вероятность принятия правильного решения – 100 %.

Экспериментально определены четыре группы животных в заданных температурных условиях: здоровая группа – это животные с отрицательным тестом по кенотесту (–) в диапазоне температур $[34,6^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}} < 36,8^{\circ}\text{C}]$; сомнительная группа – с сомнительным тестом по кенотесту (+) в диапазоне температур $[36,8^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}} < 38^{\circ}\text{C}]$; субклиническая группа – с субклинической стадией мастита по кенотесту (++) в диапазоне температур $[38^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}} < 39^{\circ}\text{C}]$ и клиническая группа – с выраженной стадией мастита по экспресс-тесту (+++) в диапазоне температур $[39^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}} < 40,5^{\circ}\text{C}]$.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны технические требования к средству для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока (табл. 1).

Таблица 1. Технические требования к средству для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока

Table 1. Technical requirements for a tool for non-contact identification of cow mastitis using the thermographic method in conditions of flow-line milk production

Параметр	Техническая характеристика
Температурный диапазон	34...41 °C
Фокусное расстояние	0,0075 м
Оптическое поле зрения	33° × 24°
Пространственное разрешение (IFOV)	3,6 мрад
Угол обзора (FOV)	570 (горизонталь) × 420 (вертикаль)
Зона обзора вымени по горизонтали	0,57 м
Зона обзора вымени по вертикали	0,42 м
Рациональное расстояние до вымени	1 м
Элемент вымени по горизонтали	0,0037 м
Элемент вымени по вертикали	0,0047 м
Рациональная высота средства	1 м
Коэффициент теплового излучения	0,98
Количество средств	2
Время измерения	В режиме реального времени (online)
Детектор (ИК)	160 × 120 пикселей
Время работы от аккумулятора	> 6 ч
Температурная чувствительность (NETD)	<0,08 °C при +30 °C (+86 °F) /80 мК
Частота обновления кадров	50 Гц
Фокусировка	Автоматическая
Увеличение	1–20-кратное непрерывное, цифровое
Вращение	0–360°, непрерывное, с шагом 1°
Матрица видеопреобразователя (FPA)	Неохлаждаемый микроболометр
Спектральный диапазон	8–14 мкм
Монитор	Сенсорный ЖК-экран, 3,5'
Режим отображение	ИК-область в визуальном изображении
Цветовая палитра (варианты)	GRAY/GRAYINV/IRON/IRONINV/RAINBOW
Дискретность отсчета	±0,1 °C
Точность измерения	±2 % от величины показаний
Область зоны	3 зоны с мин. / макс. /средним значением температуры
Корректировка	Коэффициент теплового излучения, расстояние до вымени
Передача данных	В режиме реального времени (online)
Устройство хранения снимков	32 Гбит Micro SD карта
Защита от загрязнений	Кожух из ПВХ
Видеовыход	Композитный (PAL и NTSC)
Входное напряжение	9–12 В
Система зарядки	Аккумулятор /сетевой адаптер
Габаритные размеры (Д × Ш × В)	0,243 × 0,103 × 0,16 м
Вес	0,92 кг

Реализация термографического метода диагностики мастита коров в условиях поточного производства молока предполагает установку средства на входе в доильный зал с двух сторон относительно вымени коров после электронной идентификации животного и позволяет осуществить диагностику степени заболевания маститом путем анализа температурных показателей термографического снимка вымени.

В момент прохождения коровы через место распознавания номера ее на несколько секунд задерживают автоматическими селекционными воротами. В этот момент два объектива средств направлены на вымя для регистрации температурных показателей в зоне обзора вымени и сосков.

После идентификации маститного заболевания животное направляется на специальные лечебные процедуры, минуя процесс дойки. Количество средств и их расположение будет зависеть от типа доильной установки – «Параллель», «Елочка» или «Карусель» (рис. 3).

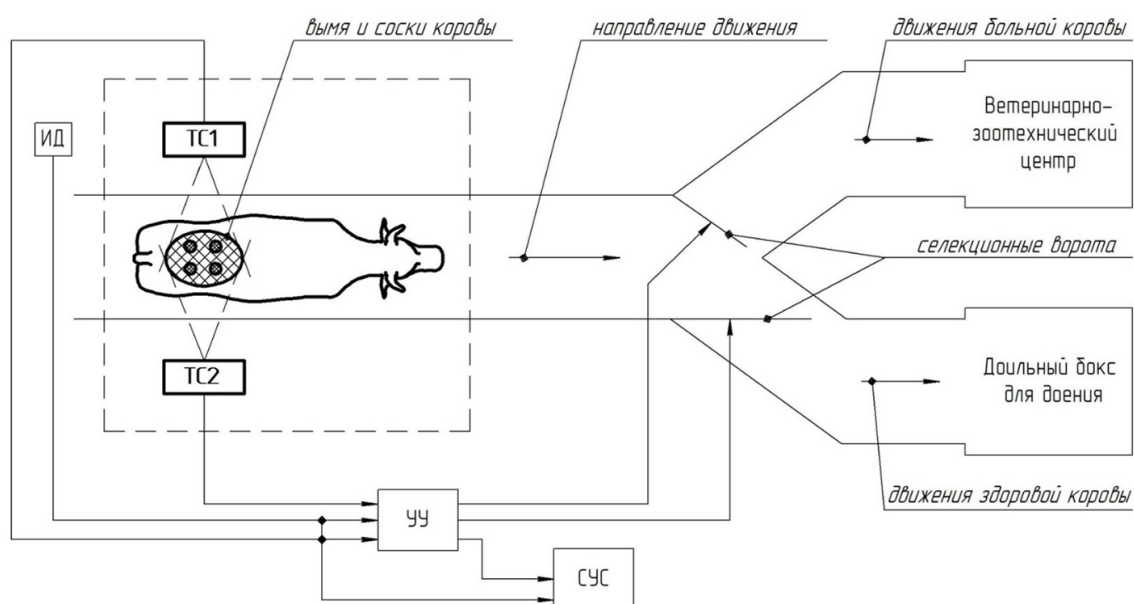


Рис. 3. Конструктивно-технологическая схема включения термографического метода диагностики мастита в поточную линию доения коров: ИД – идентификация коровы; ТС1, ТС2 – техническое средство; УУ – устройство управления; СУС – система управления стадом

Fig. 3. Design and technological layout for incorporating the thermographic method for diagnosing mastitis into the production line for milking cows: ID – cow identification; TC1, TC2 – technical tool; UY – control device; CUC – herd management system

Такая оперативная идентификация предмаститного состояния в режиме реального времени позволяет успешно контролировать бесстрессово и бесконтактно животных, заболевших маститом, своевременно проводить зоотехнические и ветеринарные мероприятия.

При сравнительной оценке различных средств диагностики к наиболее значимым факторам можно отнести вероятность правильной диагностики мастита, оперативность, которая напрямую влияет на своевременность начала лечения и предотвращение использования молока больных животных, а также встраиваемость средств диагностики в поточно-механизированную линию производства молока.

Для снижения заболеваний коров маститом в биотехнической системе производства молока «человек – машина – животное» необходимо совершенствование мастерства операторов машинного доения, целенаправленная селекция коров и одновременное улучшение конструкции и эксплуатации доильного оборудования. Для диагностики мастита в промышленном молочном производстве широко применяется кенотест (вероятность выявления мастита около 94,4 %). На проведение одного исследования специалисту требуется около 5–7 мин на корову, что затрудняет и затягивает диагностику. Данный метод непригоден для поточной диагностики мастита и предотвращения смешивания молока здоровых и больных животных. В настоящее время для предварительной идентификации заболевания животных маститом разрабатываются физические методы.

Так, достаточно распространенным является кондуктометрический метод с установкой в коллекторе доильного аппарата датчиков. Однако жирность и электропроводность молочного продукта сильно меняется, и в результате достоверность распознавания мастита с помощью данного метода варьирует от 50 до 85 % для различных предприятий при большом числе ложных срабатываний.

Системная оценка показывает эффективность применения термографического метода с комбинированными средствами для оперативной диагностики мастита коров (табл. 2) [20].

Таблица 2. Системная оценка методов диагностики мастита для условий поточного производства молока
 Table 2. Systematic assessment of mastitis diagnostic methods in conditions of flow-line milk production

Метод диагностики мастита коров	Показатели эффективности диагностики			
	Вероятность диагностики мастита	Оперативность	Встраиваемость в поточную технологию	Вероятность смешивания молока
Кенотест	0,94	Низкая	Низкая	>0,9
Кондуктометрический	0,5–0,85	Средняя	Средняя	0,15...0,5
Термографический	> 0,9	Высокая	Высокая	<0,1
Термографический + кенотест	> 0,99	Высокая	Высокая	0,1
Термография + кондуктометрия + кенотест	> 0,99	Высокая	Высокая	<0,05

Наиболее соответствует требованиям поточного производства молока термографический метод с возможностью его комбинированного использования с кенотестом и датчиками электропроводности, что показывает наибольшую вероятность определения мастита с наименьшей степенью вероятности смешивания молока больных и здоровых коров.

Закключение. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований для разработки технических требований к средству для бесконтактной идентификации мастита коров в условиях поточного производства молока и получения качественных и достоверных термографических снимков молочной железы в режиме реального времени сделаны следующие выводы.

1. Теоретически определены технические параметры средства для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока: угол обзора объектива технического средства в горизонтальной плоскости $\alpha_{\text{гор}} = 33$ град, в вертикальной плоскости $\alpha_{\text{верт}} = 24$ град; фокусное расстояние $f = 0,0075$ м; зона обзора вымени в горизонтальной плоскости $S_{\text{гор}} = 0,57$ м, в вертикальной плоскости $S_{\text{верт}} = 0,42$ м; минимальный элемент разрешения вымени в горизонтальной плоскости $\Delta_{\text{гор}} = 0,0037$ м, в вертикальной плоскости $\Delta_{\text{верт}} = 0,0047$ м.

2. Экспериментально определены технические параметры средства для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока: рациональное расстояние от объектива технического средства до вымени $L = 1$ м; рациональное расстояние от объектива технического средства до пола $H = 1$ м. Определены четыре группы животных в заданных температурных условиях: здоровая – животные с отрицательным тестом по кенотесту (–) в диапазоне температур $[34,6^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 36,8^\circ\text{C}]$; сомнительная – с сомнительным тестом по кенотесту (+) в диапазоне температур $[36,8^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 38^\circ\text{C}]$; субклиническая – с субклинической стадией мастита по кенотесту (++) в диапазоне температур $[38^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 39^\circ\text{C}]$ и клиническая – с выраженной стадией мастита по экспресс-тесту (+++) в диапазоне температур $[39^\circ\text{C} < T_{\text{max}} < 40,5^\circ\text{C}]$.

3. Разработанные технические требования к средству для бесконтактной идентификации мастита коров термографическим методом в условиях поточного производства молока и представленная конструктивно-технологическая схема включения термографического метода диагностики мастита в поточную линию доения коров в режиме реального времени позволят успешно контролировать бесстрессово и бесконтактно животных, заболевших маститом; своевременно, до процесса доения, направлять больное животное на зоотехнические и ветеринарные мероприятия, тем самым предотвращая смешивание молока заболевших животных с молоком здоровых; уменьшить количество проводимых экспресс-методов диагностики мастита, применяемых в настоящее время; повысить эффективность интенсификации молочного скотоводства в условиях поточного производства молока. Наиболее соответствует требованиям поточного производства молока термографический метод с возможностью его комбинированного использования с кенотестом и датчиками электропроводности, что показывает наибольшую вероятность определения мастита с наименьшей степенью вероятности смешивания молока больных и здоровых коров.

Использование термографического метода диагностики клинического мастита возможно в комплексе с клиническим, цитологическим и бактериологическим методами исследований.

Благодарности. Работа выполнялась при поддержке фонда фундаментальных исследований в рамках Государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства» на 2021–2025 гг., задание 1.3.4. «Робастное интеллектуальное управление в мехатронных технических и биотехнических системах» по теме «Разработка алгоритма статистической обработки инфракрасных изображений вымени коров для диагностики мастита, включая возможности нейросетевых систем».

Acknowledgments. The study was carried out with the support of the Fundamental Research Fund within the framework of the State Public Research Institute “Digital and Space Technologies, Human, Social and State Security” for 2021–2025, task 1.3.4. “Robust intelligent control in mechatronic technical and biotechnical systems” on the topic “Development of an algorithm for statistical processing of infrared images of the udder of cows for the diagnosis of mastitis, including the capabilities of neural network systems”.

Список использованных источников

1. Кирсанов, В. В. Разработка автоматизированного и роботизированного комплекса машин и оборудования с интеллектуальными цифровыми технологиями для развития молочного животноводства / В. В. Кирсанов, Ю. А. Цой, Д. Ю. Павкин // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 2 (46). – С. 24–31. <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-2-24>
2. Юрочка, С. С. Разработка методов определения биометрических и температурных параметров вымени лактирующих животных на основе оптических технологий: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Юрочка Сергей Сергеевич; Федер. науч. агроинженер. центр ВИМ. – М., 2022. – 170 л.
3. Казакевич, П. П. Технологическая концепция «умной» молочной фермы / П. П. Казакевич, В. Н. Тимошенко, А. А. Музыка. – Жодино: Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству, 2021. – 245 с.
4. Передня, В. И. Приоритетные направления по созданию «умной» молочной фермы / В. И. Передня, Н. Г. Бакач, Ю. А. Цой // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 окт. 2019 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: И. Н. Шило (науч. ред.) [и др.] – Минск, 2019. – Ч. 1. – С. 31–39.
5. Бакач, Н. Г. Экспериментальные исследования дистанционного устройства биометрической идентификации предмаститного состояния вымени коров дойного стада / Н. Г. Бакач, Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2024. – Т. 62, № 2. – С. 156–167. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-2-156-167>
6. Ракевич, Ю. А. Использование инфракрасной термографии для выявления мастита коров / Ю. А. Ракевич // Агропанорама. – 2020. – № 5 (141). – С. 19–22.
7. Ракевич, Ю. А. Использование метода термографии для оценки здоровья животных / Ю. А. Ракевич, И. И. Гируцкий // Техника и технологии в животноводстве. – 2023. – № 1 (49). – С. 27–34. <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-1-27>
8. Ракевич, Ю. А. Способ определения мастита дойных коров на основе разности максимальных температур по четвертям вымени / Ю. А. Ракевич // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3. – С. 186–189.
9. Гируцкий, И. И. Анализ инфракрасного изображения вымени коров / И. И. Гируцкий, В. И. Передня, Ю. А. Ракевич // Агропанорама. – 2018. – № 6 (130). – С. 9–12.
10. Гируцкий, И. И. Статистический алгоритм обработки термографических снимков вымени коровы для диагностики мастита с использованием критерия Байеса / И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков, Ю. А. Ракевич // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 1. – С. 42–46. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-1-42-46>
11. Методика диагностики доильного оборудования и коров по термографическому снимку вымени / И. И. Гируцкий, Ю. А. Ракевич, Е. Т. Ербаев [и др.] // Журнал науки и образования (Казахстан). – 2022. – № 4–3 (69). – С. 50–61. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-4-3-50-62>
12. Гируцкий, И. И. Экспериментальные исследования термографического метода диагностики мастита дойных коров / И. И. Гируцкий, Ю. А. Ракевич, А. Г. Сеньков // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 198–203.
13. Ракевич, Ю. А. Физиологическая оценка работы доильного аппарата методом термографии молочной железы лактирующих коров / Ю. А. Ракевич // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству. – Жодино, 2023. – Т. 58, ч. 2: Технология кормов и кормления, продуктивность. Технология производства, зоогигиена, содержание. – С. 221–227.
14. Гируцкий, И. И. Обоснование применения термографического метода диагностики мастита дойных коров в компьютеризированной системе управления стадом / И. И. Гируцкий, Ю. А. Ракевич // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 216–220.
15. Гируцкий, И. И. Совершенствование доильных аппаратов для щадящего доения коров и средства их диагностики / И. И. Гируцкий, Ю. А. Ракевич, В. К. Клыбик // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2023. – Вып. 56. – С. 261–266.
16. Гируцкий, И. И. Перспективы развития средств механизации и автоматизации доильного оборудования / И. И. Гируцкий, В. И. Передня, Ю. А. Ракевич // Инновационные ресурсосберегающие технологии для производства

биобезопасных комбикормов и конкурентоспособного молока: материалы акад. чтений, посвящ. 60-летию науч. деятельности и 85-летию со дня рождения д-ра техн. наук, проф. Владимира Ивановича Передни / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2018. – С. 91–96.

17. Ракевич, Ю. А. Выбор конструктивно-технологической схемы термографирования вымени коров / Ю. А. Ракевич, И. И. Гируцкий, А. Г. Сеньков // Агропанорама. – 2023. – № 5 (159). – С. 7–13. <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-159-5-7-13>

18. Hirutski, I. I. Selection of the information parameter for the thermography method of diagnostics of dairy cows mastitis / I. I. Hirutski, Y. A. Rakevich, A. G. Stankov // Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources. – 2021. – Vol. 67, № 1. – P. 14–18.

19. Ракевич, Ю. А. Конструктивные решения применения термографии при диагностике мастита и оценке воздействия машинного доения на вымя дойной коровы / Ю. А. Ракевич // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения акад. С. И. Назарова (Минск, 19–20 окт. 2023 г.) / НАН Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2023. – С. 182–187.

20. Гируцкий, И. И. Системная оценка средств диагностики мастита коров / И. И. Гируцкий, Ю. А. Ракевич // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: В. П. Чеботарев (науч. ред.) [и др.]. – Минск, 2023. – С. 398–401.

References

1. Kirsanov V. V., Tsoi Yu. A., Pavkin D. Yu. Design of automated and robotic machines' complex and intelligent digital technologies' equipment for dairy farming development. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock*, 2022, no. 2 (46), pp. 24–31 (in Russian). <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-2-24>

2. Yurochka S. S. *Development of methods for determination of biometric and temperature parameters of udder of lactating animals on the basis of optical technologies*. Moscow, 2022. 170 p. (in Russian).

3. Kazakevich P. P., Timoshenko V. N., Muzyka A. A. *Technological concept of a "smart" dairy farm*. Zhodino, Scientific and Practical Center for Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Belarus, 2021. 245 p. (in Russian).

4. Perednya V. I., Bakach N. G., Tsoi Yu. A. Priority directions for creating a "smart" dairy farm. *Tekhnicheskoe i kadrovoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologii v sel'skom khozyaistve: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Minsk, 24–25 oktyabrya 2019 g.* [Technical and personnel support of innovative technologies in agriculture: proceedings of the International scientific and practical conference, Minsk, October 24–25, 2019]. Minsk, 2019, pt. 1, pp. 31–39 (in Russian).

5. Bakach N. G., Zhilich E. L., Rogalskaya Yu. N. Experimental studies of a remote device for biometric identification of the pre-mastitis state of the udder of dairy cows. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2024, vol. 62, no. 2, pp. 156–167 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-2-156-167>

6. Rakevich Yu. A. Use of infrared thermography for detection of cow mastitis. *Agropanorama*, 2020, no. 5, pp. 19–22 (in Russian).

7. Rakevich Yu. A., Girutsky I. I. Using the thermography method for animals' health to assess. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve = Machinery and Technologies in Livestock*, 2023, no. 1 (49), pp. 27–34 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-1-27>

8. Rakevich Yu. A. Method of determining milking cow mastitis on the basis of difference in maximal temperatures in udder quarters. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2023, no. 3, pp. 186–189 (in Russian).

9. Girutskii I. I., Perednya V. I., Rakevich Yu. A. Analysis of infrared image of cow udder. *Agropanorama*, 2018, no. 6, pp. 9–12 (in Russian).

10. Hirutsky I. I., Senkov A. G., Rakevich Y. A. Statistical bayesian algorithm for processing thermographic images of the cow udder for diagnosing mastitis. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika = System Analysis and Applied Information Science*, 2023, no. 1, pp. 42–46 (in Russian). <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-1-42-46>

11. Hirutski I. I., Rakevich Y. A., Yerbayev E. T., Kuptleuova K. T., Lelesh N. V., Utemisova N. E. Methods of diagnostics of milking equipment and cows by thermographic image of the udder. *Nauka i obrazovanie = Science and Education*, 2022, no. 4-3(69), pp. 50–61 (in Russian). <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2022-4-3-50-62>

12. Girutsky I. I., Rakevich Yu. A., Senkov A. G. Experimental studies of thermographic method of diagnostics of mastitis in dairy cows. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik = Mechanization and Electrification of Agriculture: interdepartmental thematic collection*. Minsk, 2020, iss. 54, pp. 198–203 (in Russian).

13. Rakevich Y. A. Physiological assessment of milking machine performance based on thermography of mammary gland of lactating cows. *Zootekhnicheskaya nauka Belarusi: sbornik nauchnykh trudov = Zootechnical Science of Belarus Belarus: collection of scientific papers*. Zhodino, 2023, vol. 58, pt. 2, pp. 221–227 (in Russian).

14. Girutsky I. I., Rakevich Y. A. Substantiation of application of thermographic method for diagnosing mastitis of milk cows in a computerized herd management system. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik = Mechanization and Electrification of Agriculture: interdepartmental thematic collection*. Minsk, 2020, iss. 54, pp. 216–220 (in Russian).

15. Girutsky I. I., Rakevich Yu. A., Klybik V. K. Improvement of milking machines for gentle milking of cows and means of their diagnostics. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik = Mechanization and Electrification of Agriculture: interdepartmental thematic collection*. Minsk, 2023, iss. 56, pp. 261–266 (in Russian).
16. Girutskii I. I., Perednya V. I., Rakevich Yu. A. Prospects for the development of means of mechanization and automation of down equipment. *Innovatsionnye resursosberegayushchie tekhnologii dlya proizvodstva biobezopasnykh kombikormov i konkurentosposobnogo moloka: materialy akademicheskikh chtenii, posvyashchennykh 60-letiyu nauchnoi deyatel'nosti i 85-letiyu so dnya rozhdeniya doktora tekhnicheskikh nauk, professora Vladimira Ivanovicha Peredni* [Innovative resource-saving technologies for the production of biosafe mixed fodder and competitive milk: proceedings of academic readings, devoted to the 60th anniversary of scientific activity and 85th anniversary of the birth of Dr. of Technical Sciences, Prof. Vladimir Ivanovich Perednya]. Minsk, 2018, pp. 91–96 (in Russian).
17. Rakevich Yu. A., Girutskii I. I., Senkov A. G. Selection of a design and technological scheme for thermography of cow udders. *Agropanorama*, 2023, no. 5, pp. 7–13 (in Russian). <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-159-5-7-13>
18. 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, vol. 67, no. 1, pp. 14–18.
19. Rakevich Yu. A. Construction solutions for the application of thermography in diagnostics of mastitis and assessment of impact of machine milking to the udder of a dairy cow. *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve: materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 95-letiyu so dnya rozhdeniya akademika S. I. Nazarova (Minsk, 19–20 oktyabrya 2023 g.)* [Scientific and technological progress in agricultural production: proceedings of the international scientific and technical conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician S. I. Nazarov (Minsk, October 19–20, 2023)]. Minsk, 2023, pp. 182–187 (in Russian).
20. Girutskii I. I., Rakevich Yu. A. Systemic evaluation of cow mastitis diagnostic tools. *Tekhnicheskoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologii v sel'skom khozyaistve: sbornik nauchnykh statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Minsk, 23–24 noyabrya 2023 g.* [Technical support of innovative technologies in agriculture: collection of scientific articles of the International scientific and practical conference, Minsk, 23–24 November 2023]. Minsk, 2023. pp. 398–401 (in Russian).

Информация об авторе

Ракевич Юрий Александрович – научный сотрудник лаборатории научного обеспечения испытаний и информационно-технических технологий, Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина 1, 220049, г. Минск, Республика Беларусь). <https://orcid.org/0000-0003-0169-4983>. E-mail: rakevich.1991@mail.ru

Information about the author

Yury A. Rakevich – Researcher of the Laboratory of Scientific Support for Testing and Information Technology, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization (Knorin Str. 1, 220049, Minsk, Republic of Belarus). <https://orcid.org/0000-0003-0169-4983>. E-mail: rakevich.1991@mail.ru