

ГИРУЦКИЙ И.И.<sup>1</sup>, СЕНЬКОВ А.Г.<sup>2</sup>, РАКЕВИЧ Ю.А.<sup>1</sup>

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫМЕНИ КОРОВЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МАСТИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ БАЙЕССА

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ГП «Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси», г. Минск, Республика Беларусь

Сформулирована математическая задача многогипотезного обнаружения субклинического и клинически выраженного мастита у молочных коров по получаемым в результате цифровой обработки тепловых изображений вымени максимальным значениям температуры вымени. Численным методом последовательного перебора значений определены оптимальные пороговые значения температуры, соответствующие байесовскому критерию минимального среднего риска в указанной выше задаче многогипотезного обнаружения.

**Ключевые слова:** диагностика мастита, критерий Байеса, цифровая обработка изображений, термография.

### Введение

В биотехнической системе производства молока болезни вымени (скрытый или клинический мастит) связаны с большими потерями молока за счет ухудшения качества получаемого молока, уменьшения молочной продуктивности, сокращения срока хозяйственного использования коров [1, 2]. В молочно-товарных хозяйствах Республики Беларусь выбраковывается ежегодно по причине мастита не менее 17 % коров. У 50 % и более лактирующих животных выявляется скрытая форма мастита [1]. Поэтому важным является развитие и автоматизация методов диагностики мастита на ранней, субклинической стадии, что позволит оперативно реагировать на развивающееся заболевание.

Одной из новых технологий в исследовании молочной железы крупного рогатого скота является тепловидение, основанное на регистрации видимого изображения собственного инфракрасного излучения поверхности тела с помощью специальных приборов – термографов [3]. Основа термографии – изменение интенсивности инфракрасного излучения патологического очага: увеличение вследствие усиления кровоснабжения и метаболических процессов или уменьшение в областях с пониженным региональным кровотоком. Достоинством метода тепловидения является возможность быстрого (длительность времени сканирования не более 3,2 сек.) бесконтактного получения изображения зон аномальной температуры молочной железы; при этом он может быть использован на большом количестве животных [3-7]. Температура вымени является случайной величиной вследствие множества факторов: индивидуальных особенностей конкретного животного, температуры окружающей среды, времени суток, степени наполнения вымени молоком и т.д.

Поэтому задача диагностики мастита на основе измеряемого максимального значения температуры вымени является задачей статистического обнаружения. В данной работе предлагается математическая формулировка задачи обнаружения как субклинического, так и клинически выраженного мастита, а также численный метод расчета соответствующих пороговых значений температуры.

### Основная часть

Всех коров в стаде с точки зрения диагностики заболевания маститом следует разделить на четыре исходные группы  $H_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ : здоровые; сомнительные, т.е. группа, промежуточная между здоровыми и субклинической формой мастита; субклиническая форма заболевания маститом и клиническая форма заболевания маститом. При анализе максимальной температуры вымени коровы необходимо принять статистически обоснованное решение об отнесении исследуемой коровы к одной из 4-х групп животных  $A_k$ ,  $k = 1, 2, 3, 4$ : отрицательный тест, принимается решение о том, что корова здорова; сомнительный тест, принимается решение о том, что корова относится к сомнительной группе; принято решение о субклинической форме заболевания маститом; принято решение о клинической форме заболевания маститом.

Информационный сигнал на входе обнаружителя – максимальное значение температуры вымени коровы  $\theta$ , определяемое по результатам обработки теплового изображения вымени, – представляет собой случайную величину. Статистический анализ экспериментальных данных при однократных измерениях [5-7] позволяет сделать вывод о нормальном распределении плотности вероятности максимальной температуры вымени коровы  $p(\theta)$  для всех 4-х групп животных:

$$p_i(\theta) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta - m_i)^2}{2\sigma_i^2}}, i = 1, 2, 3, 4, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, 3, 4$  – номер группы животных;  
 $m_i, \sigma_i$  – значения математического ожидания и средне-  
 квадратичного отклонения (СКО) для  $i$ -й группы,  
 приведенные ниже в таблице 1.

Таблица 1

Статистические характеристики нормального распределения максимального значения температуры вымени коровы [5–7]

Показатели	$H_1$ – здоровые коровы (-)	$H_2$ – сомнительные коровы (+)	$H_3$ – субклинический мастит (++)	$H_4$ – клинический мастит (+++)
Объем выборки (число коров)	30	30	30	30
$m_i, ^\circ\text{C}$	36,2	37,3	38,5	39,6
$\sigma_i, ^\circ\text{C}$	0,650	0,217	0,198	0,209

Задача обнаружения сигнала является вероятностной. В соответствие с подходом Байеса [8], поставим в соответствие каждому из возможных событий  $H_i A_k$  некоторый риск  $C_{ik}$ , характеризующий стоимость последствий, которые наступают вслед за возникновением той или иной ситуации. События  $H_1 A_1, H_2 A_2, H_3 A_3$  и  $H_4 A_4$  соответствуют случаям, когда принимается правильное решение, поэтому можно изначально положить соответствующие риски равными нулю:

$$C_{11} = C_{22} = C_{33} = C_{44} = 0.$$

Путем выбора значений рисков для остальных 12 возможных ситуаций можно задать, какая из них является более нежелательной. В качестве примера в таблице 2 приведен с соответствующими обоснованиями один из практически возможных наборов численных значений рисков для задачи обнаружения мастита. В общем случае соответствующие числовые значения рисков должны определяться с использованием методов экспертных оценок [9] с привлечением в качестве экспертов специалистов-зоотехников.

Оптимальным по критерию Байеса является правило принятия решения, обеспечивающее минимальное значение среднего риска [8]:

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 C_{ij} P(H_i A_j) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Преобразуем выражение для среднего риска с учетом теоремы о произведении событий [8]:

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 C_{ij} P(H_i) P(A_j / H_i). \quad (3)$$

Введя в рассмотрение для четырех групп животных, соответственно, три не известные пока пороговые значения температуры  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ , схематически показанные на рис. 1, условные вероятности из формулы (3) определим далее в следующем виде:

$$\begin{aligned} P(A_1 / H_i) &= \int_{-\infty}^{\theta_1} p_i(\theta) d\theta, \\ P(A_2 / H_i) &= \int_{\theta_1}^{\theta_2} p_i(\theta) d\theta, \\ P(A_3 / H_i) &= \int_{\theta_2}^{\theta_3} p_i(\theta) d\theta, \\ P(A_4 / H_i) &= \int_{\theta_3}^{+\infty} p_i(\theta) d\theta, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $i = 1, 2, 3, 4$  – номера соответствующих гипотез;  $p_i$  – плотность вероятности максимальной температуры вымени при выполнении гипотезы  $H_i$ , рассчитываемая по формуле (1).

Значения априорных вероятностей  $P(H_1), P(H_2), P(H_3), P(H_4)$  в общем случае также должны определяться с использованием методов экспертных оценок. Так, например, по данным работ [10, 11] разовые диагностические исследования 19864 коров в 30 хозяйствах Республики Беларусь показали, что воспалительные процессы в вымени обнаруживаются в среднем в 12 % случаев (заболеваемость коров маститами колебалась от 6,8 % до 21,3 %). При этом субклинический мастит среди других форм воспаления вымени составляет в среднем 62,5 %, в то время как клинически выраженный

регистрируется от 1,6 % (геморрагический) до 21,1 % (катаральный) [12]. Исходя из этих данных, с учетом ограничения:

$$\sum_{i=1}^4 P(H_i) = 1,$$

(6)

получим следующие значения априорных вероятностей:

$$\begin{aligned} P(H_3) &= 0.12 \cdot 0.625 = 0.075, \\ P(H_4) &= 0.12 \cdot 0.211 = 0.0253, \\ P(H_1) = P(H_2) &= \frac{(1 - P(H_3) - P(H_4))}{2} = \frac{(1 - 0.075 - 0.0253)}{2} \approx 0.45. \end{aligned} \quad (7)$$

Таблица 2

Примерные практические значения рисков, соответствующие возможным ситуациям в задаче идентификации мастита

Событие	Риск	Примечание
$H_1 A_2$	$C_{12} = 0$	Здоровая корова отнесена к сомнительным
$H_1 A_3$	$C_{13} = 1$	Здоровая корова отнесена к субклиническим: ущерб – лишние затраты труда на лабораторную диагностику
$H_1 A_4$	$C_{14} = 0$	Здоровая корова отнесена к субклиническим: ущерб – лишние затраты труда на лабораторную диагностику
$H_2 A_1$	$C_{21} = 2$	Сомнительная корова отнесена к здоровым: ущерб – возможный пропуск начальной стадии мастита, возможное ухудшение качества получаемого молока
$H_2 A_3$	$C_{23} = 3$	Сомнительная корова отнесена к субклиническим: ущерб – лишние затраты труда на лабораторную диагностику
$H_2 A_4$	$C_{24} = 3$	Сомнительная корова отнесена к клиническим: ущерб – лишние затраты труда на лабораторную диагностику
$H_3 A_1$	$C_{31} = 10$	Субклиническая корова отнесена к здоровым: ущерб – пропуск больной коровы, снижение надоя, ухудшение качества получаемого молока
$H_3 A_2$	$C_{32} = 10$	Субклиническая корова отнесена к сомнительным: ущерб – пропуск больной коровы, снижение надоя, ухудшение качества получаемого молока
$H_3 A_4$	$C_{34} = 0$	Субклиническая корова отнесена к клиническим: пропуска больной коровы нет, лишних затрат труда на диагностику нет, т.к. лабораторная диагностика нужна в любом случае
$H_4 A_1$	$C_{41} = 15$	Клиническая корова отнесена к здоровым: ущерб – пропуск больной коровы, снижение надоя, ухудшение качества получаемого молока
$H_4 A_2$	$C_{42} = 15$	Клиническая корова отнесена к сомнительным: ущерб – пропуск больной коровы, снижение надоя, ухудшение качества получаемого молока
$H_4 A_3$	$C_{43} = 0$	Клиническая корова отнесена к субклиническим: пропуска больной коровы нет, лишних затрат труда на диагностику нет, т.к. лабораторная диагностика нужна в любом случае

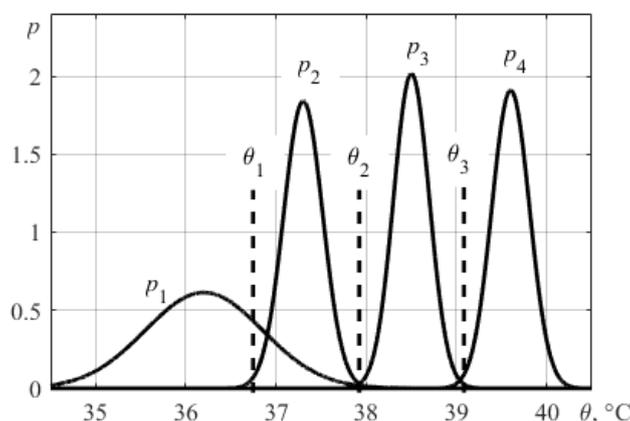


Рисунок 1. Распределение плотности вероятности максимальной температуры вымени коровы для 4-х групп животных по степени заболевания маститом

Таким образом, подставляя выражения (4), (6) в формулу (3), с учетом оптимизационного критерия (2) получим оптимизационную задачу для поиска пороговых значений  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  квазиоптимальной системы обнаружения мастита. Решив данную задачу численно в среде *Matlab*, получим следующие пороговые значения:

$$\theta_1 = 36,8 \text{ }^\circ\text{C}; \theta_2 = 38,0 \text{ }^\circ\text{C}; \theta_3 = 39,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

### Заключение

В работе сформулирована математическая задача многогипотезного обнаружения субкли-

нического и клинически выраженного мастита у молочных коров по получаемым в результате цифровой обработки тепловых изображений вымени максимальным значениям температуры вымени. Предложен пример экспертного задания значений рисков. Численным методом последовательного перебора значений определены оптимальные пороговые значения температуры, соответствующие байесовскому критерию минимального среднего риска в указанной задаче многогипотезного обнаружения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Лучко, И.Т.** Воспаление молочной железы у коров (этиология, патогенез, диагностика, лечение и профилактика) : монография / И.Т. Лучко. – Гродно: ГГАУ, 2019. – 184 с. – ISBN 978-985-537-141-1.
2. **Организационно-технологические требования при производстве молока на молочных комплексах промышленного типа** (Одобрены Постановлением коллегии Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 4 июня 2018 г. № 16) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://mshp.gov.by/documents/animal/trebovaniya\\_moloko.pdf](https://mshp.gov.by/documents/animal/trebovaniya_moloko.pdf), свободный. – Яз. рус.
3. **Колчина, А.Ф.** Перспективы применения инфракрасной термографии в исследовании молочной железы коров / А.Ф. Колчина, А.К. Липчинская // *Аграрный вестник Урала*. – 2010. – № 9(75)6. – С. 94-97.
4. **Rodríguez C., Matamoros A., Valilla J.** Application of the thermography study of big ruminants udder and its possible pathological complications // *RCCV*. – Vol. 2 (2). – 2008. – P. 66-72.
5. **Гируцкий, И.И.** Анализ инфракрасного изображения вымени коров / И.И. Гируцкий, В.И. Передня, Ю.А. Ракевич // *Агропанорама*. – 2018. – № 6. – С. 9-12.
6. **Ракевич, Ю.А.** Использование инфракрасной термографии для выявления мастита коров / Ю.А. Ракевич // *Агропанорама*. – 2020. – № 5. – С. 19-22.
7. **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. Senkov // *International scientific journal «Mechanization in agriculture & conserving of the resources: Bulgaria, 2021* – P. 14-18.
8. **Ван Трис Г.** Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том III. Обработка сигналов в радио- и гидролокации и прием случайных гауссовых сигналов на фоне помех. Нью-Йорк, 1971. Пер. с англ. Под ред. проф. В.Т. Горяинова. М., «Сов. радио», 1977, 664 с.
9. **Орлов А.И.** Экспертные оценки. Учебное пособие. – М.: 2002. – 31 с.
10. **Богущ, А.А.** Заболеваемость коров маститами на животноводческих фермах / А.А. Богущ, В.И. Иванов, В.Г. Голынец // *Ветеринарная медицина Беларуси*. – 2001. – № 1. – С. 41-42.
11. **Богущ, А.А.** Мастит / А.А. Богущ, В.И. Иванов // *Ветеринарная газета*. – 2000. – № 19. – С. 3.
12. **Новиков, О.Г.** Рациональные методы применения диофура для лечения больных маститом коров: автореф. дис. ... канд. вет. наук: 16.00.07 / О.Г. Новиков; Всерос. н.-и. вет. ин-т патологии, фармакологии и терапии. – Воронеж, 1996. – 20 с.

### REFERENCES

1. **Luchko, I.T.** Inflammation of the mammary gland in cows (etiology, pathogenesis, diagnosis, treatment and prevention): monograph / I.T. Luchko. – Grodno: Grodno State Agrarian University, 2019. – 184 p. – ISBN 978-985-537-141-1.
2. **Organizational and technological requirements for the production of milk at industrial-type dairy complexes** (Approved by the Resolution of the Board of the Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus of June 4, 2018, No. 16) [Electronic resource]. Access mode: [https://mshp.gov.by/documents/animal/trebovaniya\\_moloko.pdf](https://mshp.gov.by/documents/animal/trebovaniya_moloko.pdf), free. – lang. rus.
3. **Kolchin, A.F.** Prospects for the use of infrared thermography in the study of the mammary gland of cows / A.F. Kolchina, A.K. Lipchinskaya // *Agrarian Bulletin of the Urals*. – 2010. – № 9(75)6. – Pp. 94-97.
4. **Rodríguez C., Matamoros A., Valilla J.** Application of the thermography study of big ruminants udder and its possible pathological complications // *RCCV*. – Vol. 2(2). – 2008. – Pp. 66-72.
5. **Girutsky, I.I.** Analysis of the infrared image of the udder of cows / I.I. Girutsky, V.I. Perednya, Yu.A. Rakevich // *Agropanorama*. – 2018. – № 6. – Pp. 9-12.
6. **Rakevich, Yu.A.** Using infrared thermography to detect mastitis in cows / Yu.A. Rakevich // *Agropanorama*. – 2020. – № 5. – Pp. 19-22.

7. **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. Senkov // International scientific journal «Mechanization in agriculture & conserving of the resources: Bulgaria, 2021 – Pp. 14-18.
8. **Van Tries G.** Theory of detection, estimates and modulation. Vol. III. Processing of signals in radio and sonar and reception of random Gaussian signals against the background of noise. New York, 1971. Translate from English. Ed. prof. V.T. Goryainov. M., “Soviet radio”, 1977, 664 p.
9. **Orlov A.I.** Expert assessments. Tutorial. – M.: 2002. – 31 p.
10. **Bogush, A.A.** Morbidity of cows with mastitis on livestock farms / A.A. Bogush, V.I. Ivanov, V.G. Golynets // Veterinary Medicine of Belarus. – 2001. – № 1. – Pp. 41-42.
11. **Bogush, A.A.** Mastitis / A.A. Bogush, V.I. Ivanov // Veterinary newspaper. – 2000. – № 19. – P. 3.
12. **Novikov, O.G.** Rational methods of using Diofur for the treatment of cows with mastitis: Abstract of the thesis. dis. ...cand. vet. Sciences: 16.00.07 / O.G. Novikov; All-Russian Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy. – Voronezh, 1996. – 20 p.

*HIRUTSKY I.I.<sup>1</sup>, SENKOV A.G.<sup>2</sup>, RAKEVITCH Y.A.<sup>1</sup>*

## STATISTICAL BAYESIAN ALGORITHM FOR PROCESSING THERMOGRAPHIC IMAGES OF THE COW UDDER FOR DIAGNOSING MASTITIS

<sup>1</sup>*Belarusian State Agrarian Technical University*

<sup>2</sup>*Radio Engineering Center of the National Academy of Sciences of Belarus  
Minsk, Republic of Belarus*

*The article presents results of our experiments carried out to study the invariance of the digital description of the image. There in the paper is formulated a mathematical problem of multi-hypothetical detection of subclinical and clinical mastitis in dairy cows by the maximum values of udder temperature measured by digital processing of the udder thermal images. The optimal temperature threshold values corresponding to the Bayesian criterion of the minimum average risk in the above multi-hypothesis detection problem are determined by numerical modelling.*

**Keywords:** *diagnosis of mastitis, Bayes criterion, digital image processing, thermography.*



**Гируцкий Иван Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры АСУП БГАТУ, область научных интересов – автоматизация технологических процессов биотехнических объектов АПК.

**E-mail:** gir\_50@mail.ru



**Сеньков Андрей Григорьевич**, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела математического моделирования ГП «Центр радиотехники НАН Беларуси».

**Senkov Andrey, G.**, Ph.d., associate professor, head of the department of mathematical modeling, The Republican Science-and-Production Unitary Enterprise “Radio Engineering Center of the National Academy of Sciences of Belarus”.



**Ракевич Юрий Александрович**, магистр технических наук, научный сотрудник РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в лаборатории «Научного обеспечения испытаний и информационно - технических технологий».

**Rakevich Yury Aleksandrovich**, Master of Technical Sciences, researcher of the Republican Unitary Enterprise “SPC of the National Academy of Sciences of Belarus for the mechanization of agriculture” in the laboratory “Scientific support of testing and information and technical technologies”.

**E-mail:** rakevich.1991@mail.ru