

Е. Л. Жилич<sup>1</sup>, Н. В. Жешко<sup>2</sup>, А. А. Жешко<sup>1</sup>, Ю. Н. Рогальская<sup>1</sup>

<sup>1</sup> РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: azeshko@gmail.com

<sup>2</sup> РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышелецкого»  
г. Минск, Республика Беларусь

## АППАРАТНАЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРЕДМАСТИТНОГО СОСТОЯНИЯ

*Аннотация.* Рассмотрены особенности аппаратной и программной реализации системы идентификации предмаститного состояния вымени дойного стада КРС.

*Ключевые слова:* мастит, аппаратная и программная реализация, автоматизированная система, тепловизор, потоковое видео.

E. L. Zhilich<sup>1</sup>, N. V. Zheshko<sup>2</sup>, A. A. Zheshko<sup>1</sup>, Yu. N. Rogalskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: azeshko@gmail.com

<sup>2</sup> RUE «Institute of Experimental Veterinary Medicine named after S.N. Vyshellessky»  
Minsk, Republic of Belarus

## HARDWARE AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF AUTOMATED BIOMETRIC IDENTIFICATION SYSTEM OF PRE-MASTITIS STATE

*Abstract.* The features of the hardware and software implementation of the identification system of the mastitis state of the udder of a dairy cattle herd are considered.

*Keywords:* mastitis, hardware and software implementation, automated system, thermal imager, video streaming.

### Введение

Совершенствование автоматизированных систем в животноводстве предполагает не только развитие аппаратной составляющей, но также разработку и сопровождение программного обеспечения, что позволит существенно увеличить точность разрабатываемых систем и повысить качество технологических процессов в животноводстве. В связи с этим актуальной задачей является обоснование аппаратной базы и разработка программной составляющей системы биометрической идентификации предмаститного состояния дойного стада КРС. В настоящей работе рассмотрены особенности конструкции макетной установки, математические основы обработки изображений для выявления предметного состояния и особенности интерфейса программных модулей системы.

### Основная часть

Аппаратная реализация системы состоит из кронштейна, конструкция которого позволяет фиксировать видеокамеру и осуществлять регулировку ее расположения относительно экрана тепловизора в трех плоскостях: приближать и удалять видеокамеру, регулировать ее вертикальное и горизонтальное положение. Регулятор угла наклона тепловизора позволяет осуществлять изменение положения его инфракрасной камеры в горизонтальной плоскости. Штатив является опорой системы биометрической идентификации и позволяет регулировать положение тепловизора по высоте.

Кронштейн обеспечивает регулирование видеокамеры в вертикальной и горизонтальной плоскости, обеспечивая полный захват экрана тепловизора, а также регулирование расстояния от камеры до тепловизора в диапазоне 0,1–0,5 м. Видеокамера предназначена для получения видеопотока изображений с экрана тепловизора с целью последующей их программной и математической обработки для определения предмаститного состояния вымени. Тепловизор необходим для получения потока изображений вымени и дистанционного измерения температуры в его долях. Он обеспечивает измерение температур в интервале 30–40 °С, точность измерения при этом находится в пределах  $\pm 0,5$  °С, оптимальное расстояние измерения должно составлять ориентировочно 1 м, время измерения температуры не должно превышать 0,5 с.

Регулятор угла наклона тепловизора обеспечивает изменение угла съемки инфракрасной камерой тепловизора в интервале 0–30° в вертикальной плоскости. Штатив позволяет регулировать положения инфракрасной камеры тепловизора по высоте в интервале 0,25–0,6 м.

Программный интерфейс автоматизированной системы биометрической идентификации предмаститного состояния вымени дойного стада КРС представлен на рис. 1–6. Основное окно программы 1 (рис. 1) состоит из главного меню 2 и панели вкладок 3, через которые можно осуществлять переход к основному и вспомогательным модулям программы [1].



Рис. 1. Главное окно программы CowsRecognizer: 1 – основное окно; 2 – главное меню; 3 – панель вкладок; 4 – панель инструментов; 5 – элемент с отображением потока видео с видеокамеры; 6 – элемент с отображением потока обработанного видео; 7 – панель настроек; 8 – панель с распознанной температурой тепловизора; 9 – кнопки запуска и остановки распознавания

Основной модуль программы состоит из панели инструментов 4, элементов 5 и 6, в которые транслируется исходное потоковое видео, а также видео с наложенными фильтрами. В правой части основного модуля расположена панель настроек 7, в нижней части имеется информационная панель 8, в которой отображается температура вымени. Также в нижней части основного окна находятся кнопки запуска и остановки распознавания 9.

Элемент с отображением потока обработанного видео (рис. 2) содержит графические примитивы в виде линии 1, которая позволяет настроить горизонтальное расположение камеры при тарировке устройства. Графические примитивы в виде прямоугольников 2 и 3 предназначены для выделения части потокового видео, где предполагается распознавать данные [2]. Один из прямоугольников предназначен для выделения области текущей температуры (в зоне курсора), второй прямоугольник – для выделения области максимальных температур.

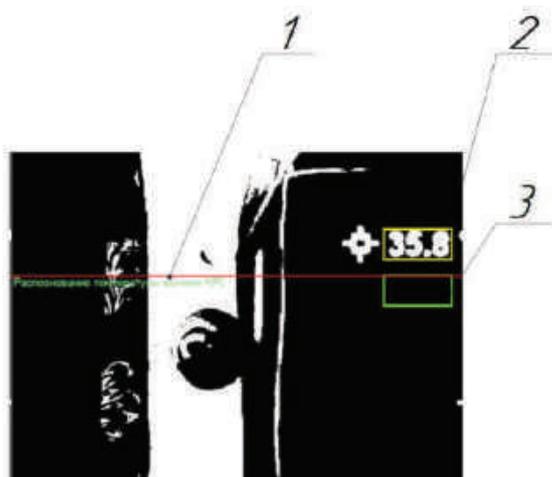


Рис. 2. Элемент с отображением потока обработанного видео: 1 – графический примитив (линия) для настройки горизонтального положения видеокамеры; 2, 3 – графические примитивы (прямоугольники) для выделения «области интересов» ROI на потоковом видео

Панель настроек (рис. 3) состоит из элементов для регулирования параметров «области интересов» ROI для текущей и максимальной температуры. Область для текущей температуры регулируется путем изменения расположения прямоугольника в горизонтальной и вертикальной плоскостях за счет изменения числовых значений в элементах управления 1 и 2, а также ширины и высоты прямоугольника путем изменения числовых значений в элементах управления 3 и 4. Цвет линий прямоугольника регулируется с использованием палитры цветов 6, а регулировка толщины линии – путем изменения цифрового значения в элементе управления 5. Аналогично регулируются параметры «области интересов» путем изменения значений в элементах управления 7 для максимального значения температуры. В нижней части панели настроек расположен флажок 8 для выбора автоматического подключения камеры при запуске программы [3].

Панель инструментов, представленная на рис. 4, состоит из кнопок для сохранения результатов настройки «области интересов» 1, подключения камеры 2, снятия видео с останова 3 и постановки видео на паузу 4.

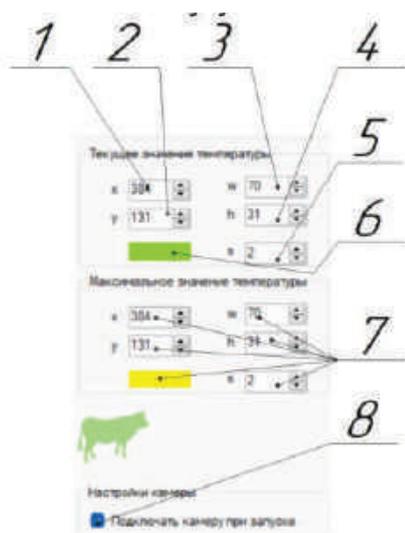


Рис. 3. Панель настроек: 1, 2, 3, 4 – регуляторы горизонтального, вертикального положения ROI, ширины и высоты ROI соответственно; 5, 6 – регуляторы цвета и толщины линии ROI; 7 – настройки ROI для максимального значения температуры; 8 – флажок для подключения видеокамеры при запуске программы

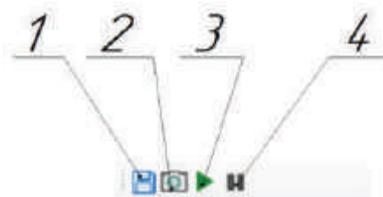


Рис. 4. Панель инструментов: 1 – сохранение настроек положения ROI; 2 – включить камеру; 3 – запуск камеры с паузы; 4 – постановка камеры на паузу

Переход на вкладку «База данных» через панель вкладок 3 (рис. 1) позволяет отобразить каталог термограмм программы (рис. 5). На панели инструментов каталога расположена кнопка обновления содержимого 1, под которой расположен фильтр отображений всех термограмм 2. Для включения фильтров термограмм по долям вымени необходимо нажать соответствующую кнопку фильтра 3 [4].

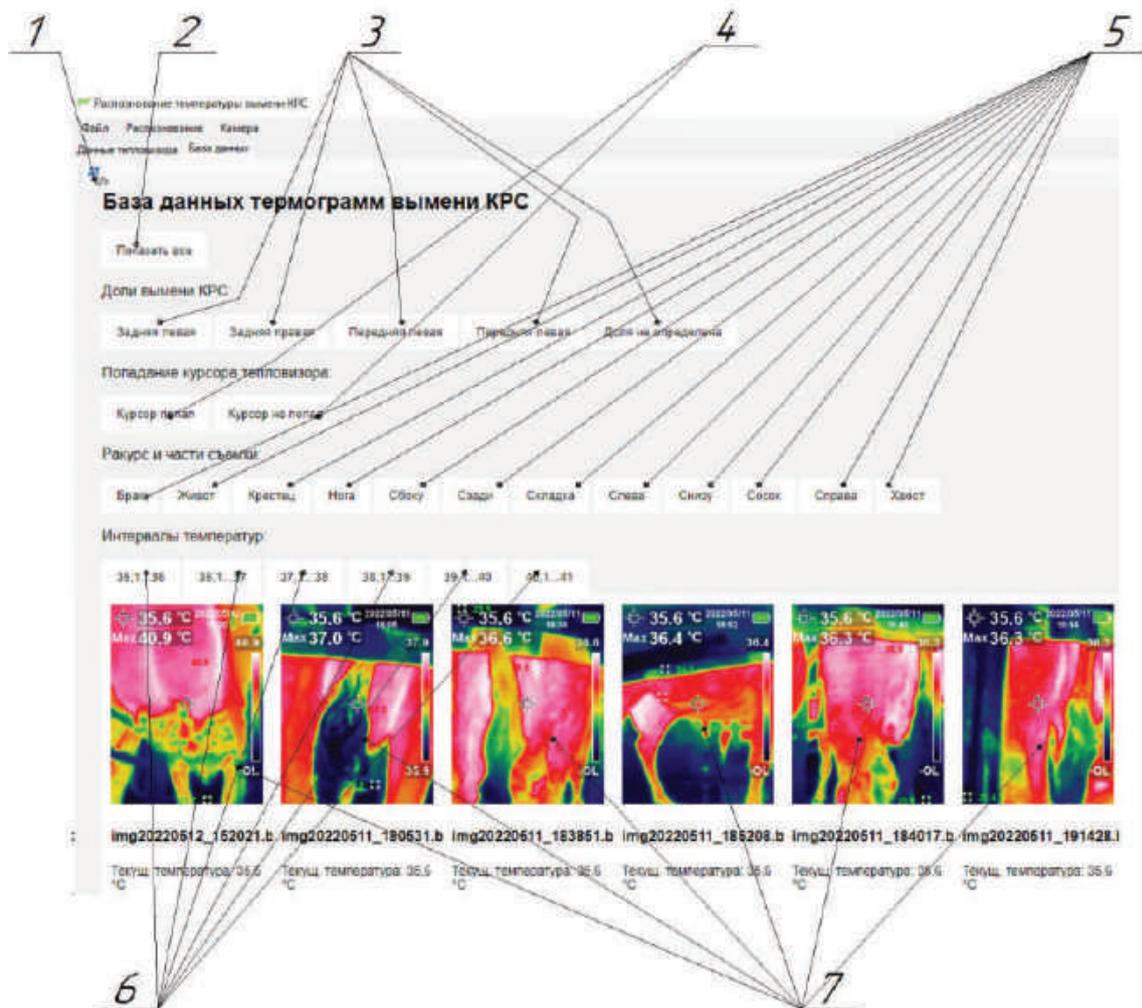


Рис. 5. Окно каталога термограмм программы: 1 – кнопка обновления каталога; 2 – кнопка для отображения всех элементов каталога; 3 – фильтры доли вымени КРС; 4 – фильтры попадания курсора тепловизора; 5 – кнопки фильтров ракурса и частей съемки; 6 – кнопки фильтров интервалов температур; 7 – изображения термограмм вымени

Для фильтрации содержимого по критерию попадания курсора тепловизора необходимо нажать на кнопку 4. Для включения фильтров ракурса и частей съемки необходимо нажать одну из кнопок 5. Для выбора интервалов температур нажать на кнопку 7.

Для приведения изображений вымени к единой системе координат осуществлялась их регистрация, что позволило сравнивать изображения вымени между собой и проводить их анализ.

Изометрическая регистрация изображения здорового вымени позволила вычислить основное изображение и отклонения от него, которые соответствовали вымени в предмаститном состоянии. Каждое изображение базы данных аннотировано координатами долей вымени и других опорных точек, хранящихся в отдельном файле, по которым выполнялось преобразование подобия с масштабированием [5]. Координаты доли вымени получали в следующей форме:  $xlp, ylp$  – координаты левой передней доли,  $xlz, ylz$  – координаты левой задней доли и т.д. [1]. Для вычисления параметров преобразования подобия использовали метод наименьших квадратов, т.е. для каждой точки  $x_i = [x_i, y_i]$  находилось отображение  $[\hat{x}_i, \hat{y}_i]$

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_i \\ \hat{y}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Для всех точек получаем систему

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{y}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{y}_2 \\ \hat{x}_3 \\ \hat{y}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ x_2 & -y_2 & 1 & 0 \\ y_2 & x_2 & 0 & 1 \\ x_3 & -y_3 & 1 & 0 \\ y_3 & x_3 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ t_x \\ t_y \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для решения системы использовали параметрическое представление матрицы подобия

$$\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} = sR, \quad (3)$$

где  $s = \sqrt{a^2 + b^2}$  – коэффициент масштабирования;  $R$  – матрица поворота.

Для запросов с целью поиска изображений затруднительно выполнить их полное сравнение или сопоставить признаки исходного изображения с объектами в базе данных. В случае большого объема базы данных изображений вымени обработка подобных запросов является чрезмерно продолжительной. Для решения подобных задач в настоящее время широко применяются векторные модели. Наибольшее распространение получила модель взвешивания частоты терма и обратной частоты документа. Частота терма  $w$  в документе  $d$  определяется как отношение

$$tf_{w,d} = \frac{n_w}{\sum_j n_j}, \quad (4)$$

где  $n_w$  – количество вхождений терма  $w$  в документе  $d$ ;  $\sum_j n_j$  – суммарное вхождение всех элементов в документе.

Обратная частота определяется по формуле

$$idf_{w,d} = \log \frac{|D|}{|\{d : w \in d\}|}, \quad (5)$$

где  $|D|$  – число документов, описывающих изображения в множестве  $D$ ;  $d : w \in d$  – количество документов  $d$  из  $D$ , которые содержат терм  $w$ .

Перемножение величин, полученных по формулам (4) и (5), позволяет определить вес, что является основой для поиска изображений по содержанию.

На рис. 6 представлен модуль для поиска изображений по содержанию. Для реализации поиска необходимо указать каталог с изображениями термограмм, нажав на кнопку 4. При этом на основном окне модуля будет отображен абсолютный путь к каталогу 6, а на панели 5 отобразятся миниатюры изображений из указанного каталога. Далее необходимо нажать на кнопку «Поиск» 3, после чего пользователю будет предложено указать изображение для поиска схожих ему в каталоге.

После завершения поиска в элементах модуля будут отображены исходное изображение 1, наиболее схожее с исходным изображение 7, процент точности поиска 2. В нижней части программы будут отображены в порядке убывания схожести 8 миниатюры найденных в каталоге похожих изображений 9.

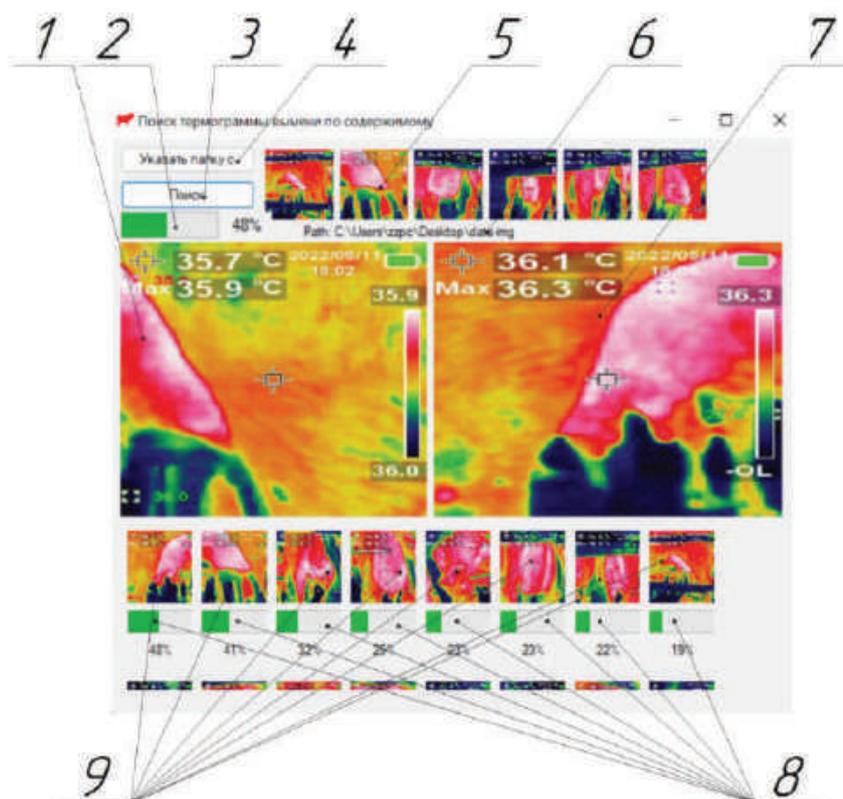


Рис. 6. Модуль программы для поиска изображений по содержанию: 1 – исходное изображение для поиска; 2 – точность совпадения исходного и найденного изображения; 3 – кнопка «Поиск»; 4 – кнопка для выбора каталога с изображениями для поиска исходного; 5 – миниатюры изображений; 6 – путь к каталогу и изображениям; 7 – наиболее схожее с исходным изображение; 8 – точность найденных изображений; 9 – миниатюры найденных изображений

## Заключение

1. Аппаратная часть предложенной системы состоит из тепловизора и камеры для обработки потокового видео, а также вспомогательных элементов для регулирования их взаимного расположения. Такая реализация является относительно простой и позволяет с достаточной степенью точности идентифицировать предмаститное состояние вымени дойного стада КРС.

2. Программная реализация системы содержит основной модуль для идентификации предметного состояния, а также вспомогательные модули для поиска изображений по содержанию и каталогу.

## Список использованных источников

1. Содем, Я. Э. Программирование компьютерного зрения на языке Python / Я. Э. Содем. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 312 с.
2. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / Ю. В. Визильтер [и др.]. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
3. Gopi, E. S. Pattern Recognition and Computational Intelligence Techniques Using Matlab / E. S. Gopi. – Springer Nature Switzerland AG 2020. – 256 p.
4. Обработка изображений с помощью OpenCV / Г. Б. Гарсия [и др.] – М.: ДМК Пресс, 2016. – 210 с.
5. Юрочка, С.С. Разработка методов определения биометрических и температурных параметров вымени лактирующих животных на основе оптических технологий [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С. С. Юрочка ; ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Москва, 2022. – 23 с.