

## МЕТОДИКА ТЕРМОГРАФИРОВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПОТОКЕ КОРОВ

**Слимаков Д.Д., Гируцкий И.И.**

УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет»

Минск, Республика Беларусь

Эффективность диагностики воспалительных процессов молочной железы (мастит) методом инфракрасной термографии в условиях промышленного поточного производства напрямую зависит от научно обоснованного выбора регистрирующего оборудования. Поточное сканирование в транзитных зонах накладывает жесткие технические ограничения на быстродействие и разрешающую способность аппаратуры.

Выбор рабочего длинноволнового инфракрасного диапазона (8–14 мкм) математически обосновывается законом смещения Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (1)$$

где  $b \approx 2898$  мкм·К – постоянная Вина. Согласно исследованиям биометрических и температурных параметров, физиологическая температура поверхности вымени клинически здоровой коровы составляет в среднем  $36,2$  °С, а при развитии мастита локально повышается до  $39,6$  °С (абсолютная температура  $T \approx 311$  К) [1]. Подставляя данное значение в уравнение (1), определяем пиковую длину волны излучения вымени:  $\lambda_{\max} \approx 9,32$  мкм. Полученное значение находится точно в середине спектрального окна 8–14 мкм.

Важнейшим аспектом поточного термографирования является компенсация динамического размытия контуров. По данным натурных измерений, максимальная скорость перемещения коровы шагом в транзитной зоне может достигать  $v = 1,8$  м/с [1]. Смещение объекта  $\Delta S$  за время смены одного кадра определяется зависимостью:

$$\Delta S = \frac{v}{fps} \quad (2)$$

где fps – кадровая частота (кадров в секунду).

При использовании стандартных тепловизоров общепромышленного назначения (fps = 9 Гц) смещение составит  $\Delta S = 1,8 / 9 = 0,20$  м (20 см). Учитывая, что средний диаметр соска вымени составляет всего 2...4 см, смещение в 20 см приведет к критическому размытию и сделает невозможной корректную работу алгоритмов локализации. Для устранения этого эффекта обосновано применение ИК-модулей с частотой не менее 30 Гц, что сокращает межкадровое смещение до допустимых 6 см.

Для автоматического анализа термограмм в условиях шумовых артефактов (элементы станков, блики) предложена гибридная структура нейронной сети. Для первичной локализации вымени выбрана архитектура

одностадийного детектора YOLOv8, демонстрирующая оптимальный баланс между скоростью вывода (до 80–100 fps) и точностью по сравнению с двухстадийными сетями (Рисунок 1) [2].

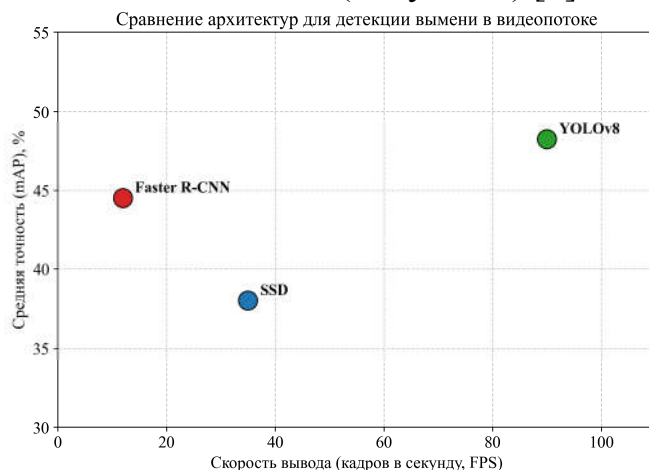


Рисунок 1 – Сравнительный анализ производительности архитектур нейронных сетей для задачи локализации

На втором этапе вырезанный фрагмент подается на полносверточную сеть U-Net [3]. Наличие пропусков признаков между слоями позволяет сети восстанавливать пространственную информацию и формировать точную бинарную маску молочной железы. Предложенная каскадная обработка «YOLO + U-Net» снижает вычислительную нагрузку, отсекая до 80 % фона, и обеспечивает прецизионную попиксельную точность, необходимую для диагностирования мастита с минимальной вероятностью ошибки.

1. Юрочка, С. С. Разработка методов определения биометрических и температурных параметров вымени лактирующих животных на основе оптических технологий : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Юрочка Сергей Сергеевич, 2022. – 170 с. – EDN ITRJPN.

2. YOLO by Ultralytics [Электронный ресурс] / G. Jocher [et al.]. – Режим доступа: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>. – Дата доступа: 28.02.2026.

3. Ronneberger, O. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation / O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. – Springer International Publishing, 2015. – P. 234–241.