

УДК 631.171

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-129-135

Ф.Е. Владимиров

А.Р. Хакимов ✉

С.С. Юрочка

Д.Ю. Павкин

С.О. Базаев

Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Россия

✉ arty.hv@gmail.com

Поступила в редакцию: 19.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.07.2025

Принята к публикации: 28.07.2025

© Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р.,
Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Базаев С.О.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-129-135

Fedor E. Vladimirov

Artyom R. Khakimov ✉

Sergey S. Yurochka

Dmitry Yu. Pavkin

Savr O. Bazaev

Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russia

✉ arty.hv@gmail.com

Received by the editorial office: 19.05.2025

Accepted in revised: 13.07.2025

Accepted for publication: 28.07.2025

© Vladimirov F.E., Khakimov A.R.,
Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O.

Эффективность болюсов и ошейников с акселерометрами в мониторинге двигательной активности коров молочного стада

РЕЗЮМЕ

В современных системах точного животноводства для контроля здоровья и продуктивности скота активно применяются носимые и имплантируемые устройства с акселерометрами. В данном исследовании проведена сравнительная оценка двух устройств — ошейника SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и рубцового болюса «Здоровье коров» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Россия) — для классификации активности и жвачки у молочных коров. Эксперимент проводили на базе фермы Кубанского ГАУ в течение 90 дней на коровах голштинской породы. Устройства регистрировали данные с частотой 10 Гц, которые в дальнейшем анализировали с помощью алгоритмов машинного обучения для идентификации ключевых поведенческих паттернов: кормления, жвачки, ходьбы и отдыха. Результаты показали, что ошейники демонстрируют более высокую точность (94,2%) при распознавании кормления и ходьбы, в то время как болюсы превзошли их в мониторинге жвачки (97,8%). Комбинированное использование обоих устройств позволило достичь максимальной общей точности классификации поведения — 98,1%. Дополнительно исследовали эффективность систем в выявлении половой охоты: совместное применение ошейников и болюсов повысило точность детекции на 12% по сравнению с раздельным использованием. Полученные данные подчеркивают взаимодополняющую роль носимых и имплантируемых сенсоров в цифровом животноводстве. Комбинация технологий не только улучшает мониторинг физиологического состояния коров, но и открывает перспективы для создания цифровых двойников животных, что способствует оптимизации управления стадом и повышению экономической эффективности молочных ферм.

Ключевые слова: молочные коровы, акселерометры, болюсы, ошейники для мониторинга, цифровое животноводство, классификация поведения

Для цитирования: Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р., Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Базаев С.О. Эффективность болюсов и ошейников с акселерометрами в мониторинге двигательной активности коров молочного стада. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 129–135. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-129-135>

Efficiency of boluses and collars with accelerometers in monitoring the motor activity of dairy cows

ABSTRACT

In modern precision animal husbandry systems, wearable and implantable devices with accelerometers are actively used to monitor the health and productivity of livestock. In this study, a comparative evaluation of two devices was performed — the SCR Heatime collar (Allflex Livestock Intelligence, Israel) and a rumen bolus “Cow Health” (Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia) — to classify activity and chewing in dairy cows. The experiment was conducted on the basis of a farm of the Kuban State Agrarian University with the participation of Holstein cows for 90 days. The devices recorded data with a frequency of 10 Hz, which was further analyzed using machine learning algorithms to identify key behavioral patterns: feeding, chewing, walking, and resting. The results showed that collars demonstrated higher accuracy (94.2%) in detecting feeding and walking, while boluses surpassed them in monitoring chewing gum (97.8%). The combined use of both devices made it possible to achieve the maximum overall accuracy of behavior classification — 98.1%. Additionally, the effectiveness of the systems in detecting sexual hunting was investigated: the combined use of collars and boluses increased detection accuracy by 12% compared with separate use. The findings highlight the complementary role of wearable and implantable sensors in digital animal husbandry. The combination of technologies not only improves the monitoring of the physiological state of cows, but also opens up prospects for the creation of digital animal twins, which helps optimize herd management and increase the economic efficiency of dairy farms.

Key words: dairy cows, accelerometers, boluses, monitoring collars, digital animal husbandry, behavior classification

For citation: Vladimirov F.E., Khakimov A.R., Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O. The effectiveness of boluses and collars with accelerometers in monitoring the motor activity of dairy cows. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 129–135 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-129-135>

Введение/Introduction

Современные технологии точного животноводства требуют комплексного подхода к мониторингу поведения животных. Особый интерес представляет сравнительный анализ различных типов сенсорных устройств, каждый из которых обладает уникальными преимуществами для регистрации поведенческих паттернов.

В данном контексте особую актуальность приобретает вопрос о том, насколько эффективно носимые и имплантируемые системы справляются с задачей классификации ключевых видов активности у молочных коров и какие перспективы открывает их комбинированное использование.

В Российской Федерации в области АПК существует значительный потенциал развития сельского хозяйства, раскрытие которого возможно произвести, используя инструменты повышения эффективности аграрного производства путем создания и внедрения средств автоматизации, цифровых технологий и искусственного интеллекта [1]. Развитие АПК в настоящее время имеет тренд в направлении использования и внедрения цифровых и интеллектуальных технологий [2]. Внедрение интернет вещей, автоматизированных систем мониторинга и точного животноводства способно повысить продуктивность отрасли, сократив при этом трудозатраты [3].

Точное животноводство (Precision Livestock Farming, PLF) изменило подходы к управлению молочным животноводством, внедрив технологии реального времени для мониторинга поведения, здоровья и продуктивности животных [4]. Акселерометры, интегрированные в носимые (ошейники) и имплантируемые (болюсы) устройства, являются ключевыми инструментами для отслеживания активности, жвачки и физиологических параметров [5]. Ошейники регистрируют движения головы и шеи, что делает их эффективными для анализа внешнего поведения, такого как кормление и передвижение. Болюсы, размещенные в сетке (в 1 из 4 камер желудка КРС), специализируются на мониторинге внутренних процессов, таких как жвачка и частота сокращения рубца, а также физиологических показателей (рН, температура) [6].

Цифровые двойники (виртуальные модели животных, основанные на данных с датчиков) становятся важным инструментом в PLF. Цифровой двойник коровы объединяет данные об активности, физиологии и продуктивности, позволяя прогнозировать здоровье, оптимизировать кормление и улучшать управление стадом. Например, данные с ошейников и болюсов могут формировать цифровую модель, которая в реальном времени отражает состояние коровы, включая раннее выявление заболеваний или половой охоты. Такие технологии повышают эффективность ферм и снижают затраты [4]. Однако для создания точных цифровых двойников необходимы надежные данные, что подчеркивает важность сравнения сенсорных устройств.

Обзор литературы демонстрирует разнообразие исследований, посвященных технологиям, включающим в себя датчик для измерения активности. Биккер и др. (2014 г.) изучали ушные датчики с акселерометрами, показав точность 88% в определении поведения коров в процессе их кормления [7]. Зенер и др. (2017 г.) оценили болюсы для мониторинга жвачки, достигнув точности 95% в сравнении с визуальным наблюдением [8].

Ошейники, такие как SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль), применяются для обнаружения эструса с точностью до 90% [5]. Болюсы, такие как smaXtec (smaXtec animal care technology GmbH, Австрия), обеспечивают раннюю диагностику метаболических нарушений с чувствительностью до 92% [9].

Сравнительные исследования ошейников и болюсов ограничены. Рейтер и др. (2018 г.) сравнивали ошейники Afiflex (Afimilk, Израиль) и болюсы Moonsyst (Moonsyst, Франция), обнаружив, что ошейники лучше определяют передвижение (93%), а болюсы — жвачку (96%) [10]. Васкес Диосдадо и др. (2015 г.) исследовали ошейники CowManager (CowManager BV, Нидерланды) и болюсы smaXtec (smaXtec animal care technology GmbH, Австрия), отметив, что комбинированное использование повышает точность мониторинга эструса на 12% [11].

Исследователи, такие как Мутауакиль и др. (2024 г.), сосредоточены на ошейниках, достигая точности 92% в классификации поведения, но не рассматривают болюсы [12]. Смит и др. (2023 г.) сравнивали ошейники SCR (Milkline, Израиль) и болюсы BolusTech (BolusTech LLC, США), подчеркивая преимущества болюсов в диагностике метаболических нарушений (90% чувствительность) [13]. Эти данные указывают на необходимость дальнейших исследований комплексности устройств.

Цели исследования — сравнить точность мониторинга поведенческих активностей молочных коров с помощью ошейника SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и болюса «Здоровье животных» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Россия), разработанный в Агроинженерном центре ВИМ по четырем параметрам: кормлению, жвачке, ходьбе и отдыху, оценить потенциал интеграции данных с обоих устройств для разработки комплексной системы мониторинга поведения КРС.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили с соблюдением международных этических стандартов работы с сельскохозяйственными животными. Все процедуры одобрены Этическим комитетом Федерального научного агроинженерного центра ВИМ.

Эксперимент проводили с декабря 2024 года по март 2025-го на животноводческой ферме Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ, Краснодарский край, Россия) с участием

10 коров голштинской породы (5 голов 1-й лактации, 5 коров 2-й лактации; период раздоя — 15–105 дней лактации со средней продуктивностью 32 кг/день).

Коров доили 3 раза в день — в 06:00, 14:00, 22:00.

Все коровы имели одинаковый физиологический статус, содержались в одной группе и получали унифицированный рацион, сбалансированный по питательным веществам для лактирующих коров, чтобы минимизировать вариабельность условий. Каждая корова была оснащена ошейником SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) с трехосевым акселерометром (частота сбора данных 10 Гц, рабочая частота RFID 134,2 кГц) для регистрации движений головы и рубцовым болюсом «Здоровье коров» (Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия) с трехосевым акселерометром, датчиками температуры и pH (частота сбора данных 10 Гц, передача данных на 868 МГц, что обеспечивает устойчивую связь на расстоянии до 300 м) для мониторинга жвачки и моторики рубца.

Для оснащения животных ошейники надевали на шею (рис. 1а) с учетом комфорта, а болюсы вводили в рубец (рис. 1б) с помощью специального аппликатора под ветеринарным контролем.

Поведение исследуемых коров (кормление, жвачку, ходьбу, отдых) фиксировали персоналом 10 часов в сутки (08:00 — 18:00) для создания эталонного набора данных.

Данные с ошейников SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и болюсов «Здоровье коров» (Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия) записывали в течение 120 дней, что соответствует сервис-периоду.

Срок эксплуатации болюсов «Здоровье коров» составляет не менее 4 лет, 180 дней из них — с фиксацией pH содержимого рубца [14].

После установки устройств данные передавали на локальный сервер фермы, где происходила предварительная обработка: синхронизация временных меток, фильтрация шумов и сегментация сигналов по активности животных.

Важным аспектом практического применения является интеграция данных. Отечественные болюсы «Здоровье коров» поддерживают экспорт в CSV/JSON-форматах и автоматическую синхронизацию с программами управления стадом других производителей.

Для классификации поведенческих паттернов использовали алгоритм случайного леса (Random Forest, библиотека scikit-learn). В качестве признаков применяли среднее ускорение по осям, стандартное отклонение, частотные маркеры.

Эффективность классификации оценивали по точности, прецизионности, полноте и F1-оценке с 10-кратной перекрестной проверкой.

Рис. 1. Установка ошейников (а) и имплантация болюсов (б). Фотография сделана авторами на животноводческой ферме КубГАУ

Fig. 1. Installation of collars (a) and implantation of boluses (b). The photo was taken by the authors at the KubGAU livestock farm



а) установка ошейников;
a) installation of collars



б) имплантация болюса;
b) bolus implantation

Точность классификации паттернов поведения рассчитывали как:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN},$$

где TP — истинно положительные, TN — истинно отрицательные, FP — ложно положительные, FN — ложно отрицательные предсказания.

F1-оценку определяли как:

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Rcall}}{\text{Precision} + \text{Rcall}}$$

где Precision = TP/(TP + FP), Recall = TP/(TP + FN).

Статистические различия между устройствами оценивали с помощью парного t-теста¹ (p < 0,05).

¹ <https://ru.statisticseasily.com/paired-t-test/>

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В ходе исследования была выявлена значимая согласованность результатов измерений двигательной активности между болюсом и ошейником. Для достоверной верификации согласованности случайным образом были выбраны суточные периоды измерений в декабре, январе и феврале, для которых проведено оценочное сравнение результатов измерений. Ввиду различий в шкалах результатов устройств показатели сравнивали по признаку одновременного повышения или понижения полученных результатов в один момент времени.

На представленной графической интерпретации отчетливо видно, что оба устройства в большинстве случаев одновременно выявляют периоды высокой активности коров (рис. 2).

Данные (табл. 1) обобщают точность классификации для каждого устройства. Ошейник SCR Heatime показал более высокую точность при кормлении (95,1%) и ходьбе (93,8%), но меньшую (89,4%) — при жвачке. Болюс «Здоровье коров» превосходил в определении жвачки (97,8%), но был менее точен при кормлении (87,2%) и ходьбе (85,6%). Для отдыха оба устройства показали схожую точность (92,5% против 93,0%).

Комбинирование данных с обоих устройств значительно повысило общую точность до 98,1% ($p < 0,01$). Парный t-тест подтвердил значимые различия в точности для кормления ($p = 0,002$) и жвачки ($p < 0,001$) между устройствами.

Для оценки индивидуальной вариабельности таблица 2 представляет средние значения точности классификации по каждой корове. Данные агрегированы по всем типам поведения.

Данные (табл. 2) демонстрируют индивидуальные различия в эффективности устройства для каждой из 10 голов коров. Ошейники в среднем показали немного более высокую точность (94,2%), чем болюсы (92,7%), с разницей от +0,4% до 3,1% у большинства животных. Однако у коровы № 3 болюс оказался точнее — на 0,5%, что указывает на вариабельность в зависимости от индивидуальных особенностей животных.

В таблице 3 представлены данные точности выявления половой охоты. Ошейники показали точность 88,5%, болюсы — 85,2%, а комбинированный подход достиг 97,0%.

Рисунок 3 представляет гистограмму, сравнивающую точность классификации для каждого поведения. Ошейники превосходят болюсы для кормления и ходьбы, тогда как болюсы лидируют для жвачки. Как видно из рисунка 3, дифференцированная эффективность устройств имеет четкое физиологическое обоснование.

Рис. 2. Сравнение динамики активности, регистрируемой ошейниками и болюсом (коровы инвентарными номерами: 211774, 211802, 211816, 211846)
Fig. 2. Comparison of the dynamics of activity recorded by collars and bolus (cows with inventory numbers: 211774, 211802, 211816, 211846)

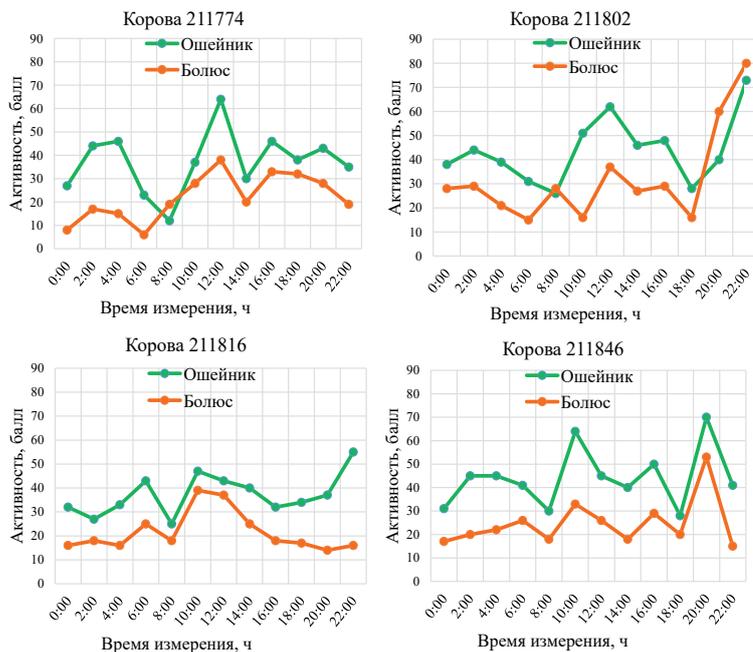


Таблица 1. Точность классификации поведения коров с ошейником SCR Heatime и болюсом «Здоровье коров»

Table 1. Accuracy of classification of cow behavior with SCR Heatime collar and bolus “Cow Health”

Поведение	Точность ошейника, %	Точность болюса, %	Комбинированная точность, %
Кормление	95,1	87,2	97,3
Жвачка	89,4	97,8	98,5
Ходьба	93,8	85,6	96,8
Отдых	92,5	93,0	97,7
Общая	94,2	92,7	98,1

Таблица 2. Средняя точность классификации по коровам
Table 2. Average classification accuracy for cows

Коровы	Средняя точность ошейника, %	Средняя точность болюса, %	Разница, %
1	95,2	93,1	+2,1
2	94,8	92,5	+2,3
3	93,5	94,0	-0,5
4	94,1	92,8	+1,3
5	95,0	91,9	+3,1
6	93,7	93,3	+0,4
7	94,3	92,0	+2,3
8	94,6	93,5	+1,1
9	93,9	92,7	+1,2
10	94,4	93,2	+1,2

Таблица 3. Точность выявления половой охоты у коров
Table 3. Accuracy of detecting heat in cows

Метод	Точность, %	Прецизионность, %	Полнота, %
Ошейник	88,5	87,0	89,2
Болюс	85,2	84,5	86,0
Комбинированный	97,0	96,5	97,3

Преимущество ошейников в регистрации кормления (95,1% против 87,2%) обосновывается их способностью точно фиксировать характерные движения головы, в то время как болюсы, находясь в рубце, не всегда адекватно реагируют на активность шеи. Однако при мониторинге жвачки болюс демонстрирует достаточно высокую точность (97,8%), так как непосредственно регистрирует сокращения рубца, тогда как ошейник вынужден анализировать вторичные проявления данного процесса.

Рисунок 4 показывает гистограмму общей точности классификации и точности выявления половой охоты. Комбинированный подход демонстрирует значительное преимущество.

В ходе исследования было установлено, что комбинированное использование ошейников с акселерометрами и рубцовых болюсов обеспечивает статистически значимое ($p < 0,01$) повышение точности мониторинга поведения крупного рогатого скота. Наибольшая эффективность была достигнута при определении половой охоты, где

комбинированный метод показал точность 97,0%, что на 11,8% превышает результаты болюсов (85,2%), на 8,7% — ошейников (88,5%).

Общая точность классификации поведения при совместном использовании устройств составила 98,1%, демонстрируя их взаимодополняемость: ошейники лучше регистрировали внешнюю активность (кормление — 95,1%, ходьба — 93,8%), тогда как болюсы превосходили в мониторинге жвачки (97,8%). Полученные данные подтверждают, что дифференцированный выбор сенсорных устройств в зависимости от задач мониторинга позволяет достичь максимальной эффективности, а их комбинированное применение формирует основу для развития интеллектуальных систем управления стадом. Результаты устойчивы к погрешностям, что подтверждается высокой воспроизводимостью данных и статистической значимостью различий ($p < 0,01$).

Результаты исследования подтверждают гипотезу, что ошейники более точны для внешних поведений (кормления, ходьбы), тогда как болюсы превосходят в мониторинге жвачки, что согласуется с данными Перейра *и др.* (2021 г.) и Мутауакиль *и др.* (2024 г.) [5, 13].

Размещение болюса smaXtec smaXtec animal care technology GmbH, Австрия) в рубце обеспечивает точное определение жвачки, что подтверждается исследованиями Чжан *и др.* (2024 г.) и Хайнал *и др.* (2022 г.) [6, 9].

Сравнительные исследования других авторов подкрепляют данные выводы. Рейтер *и др.* (2018 г.) сравнивали ошейники Afiflex (Afimilk, Израиль) и болюсы Moonsyst (Moonsyst, Франция), обнаружив, что ошейники достигли точности 93% для передвижения, а болюсы — 96% для жвачки.

Васкес Диосдадо *и др.* (2015 г.) исследовали CowManager (CowManager BV, Нидерланды) и болюсы smaXtec (smaXtec animal care technology GmbH, Австрия), отметив, что ошейники лучше фиксируют активность (92% точности), а болюсы — жвачку (95%) [10]. Их комбинированный подход повысил точность мониторинга эструса на 12%, что близко к нашим 10% улучшения.

Ловатти *и др.* (2024 г.) сравнивали ошейники SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и болюсы BolusTech (BolusTech LLC, США), показав, что болюсы превосходят в диагностике метаболических нарушений (чувствительность 90%), но уступают в определении кормления (85%) [13].

Рис. 3. Сравнение точности классификации поведения коров для ошейника, болюса и комбинированного подхода

Fig. 3. Comparison of the accuracy of classification of cow behavior for the collar, bolus and combined approach

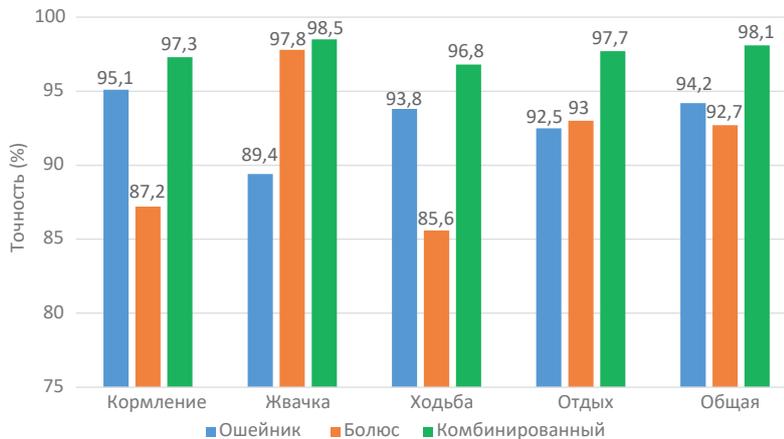
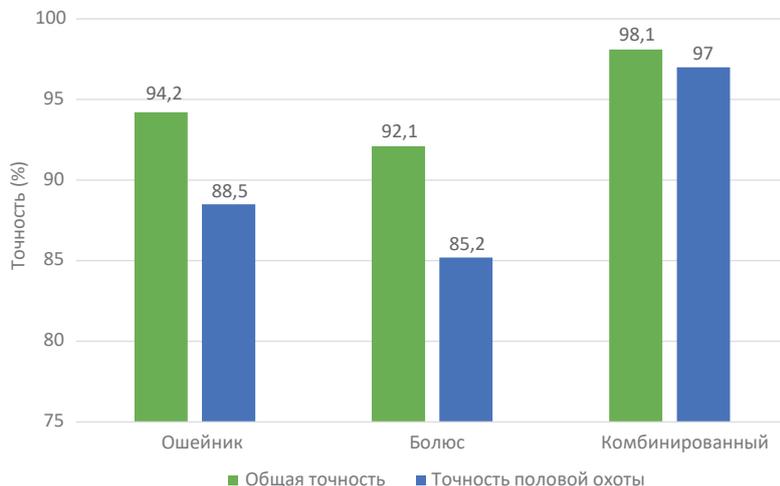


Рис. 4. Общая точность классификации для ошейника, болюса и комбинированного подхода

Fig. 4. Overall classification accuracy for the collar, bolus, and combined approach



Дополнительные исследования подтверждают комплементарность устройств. Биккер и др. (2014 г.) показали, что ушные датчики достигают точности 88% для кормления, но уступают болюсам в мониторинге жвачки [7]. Борхерс и др. (2016 г.) отметили, что болюсы обеспечивают точность 95% для жвачки, но менее эффективны для внешних поведений [8].

Комбинированный подход, как в настоящем исследовании, поддерживают Рейтер и др. (2018 г.), где сенсорное слияние повысило общую точность на 8% [10]. Комбинированный подход значительно повысил точность мониторинга, демонстрируя синергию между внутрирубцовыми болюсами и ошейниками типа Heatime. Стоимость болюсной системы составляет около 18 тыс. рублей на одну голову, а ошейников Heatime — примерно 3500 рублей за одну голову.

Как подтверждают результаты испытаний, система на основе болюсов окупается менее чем за год благодаря снижению потерь от заболеваний (на 30–40%) и повышению продуктивности стада (на 15–20%) [14].

Исследования Рейтер и др. (2018 г.) подтверждают, что методы сенсорного слияния способны минимизировать сложности интеграции данных с разных устройств. Это открывает перспективы для создания комплексной системы мониторинга, объединяющей преимущества болюсов (контроль рН и температуры рубца) и ошейников (фиксация двигательной активности). Такой подход полностью соответствует ключевой цели проекта по разработке универсального решения для животноводства [10].

Результаты, полученные на экспериментальной ферме КубГАУ, доказали эффективность системы

для голштинских коров первых двух лактаций. Однако для подтверждения универсальности технологии требуются дополнительные испытания с другими породами, такими как симментальская или айрширская, а также в различных условиях содержания. Эти работы станут следующим этапом развития технологии.

Экономическая эффективность системы подтверждена полевыми испытаниями в хозяйствах ООО «Каштановка» и ООО «Имени Тимирязева» [14].

Выводы/Conclusions

Комбинированное использование ошейников с акселерометрами и рубцовых болюсов демонстрирует значительное преимущество в мониторинге поведения крупного рогатого скота по сравнению с отдельным применением этих устройств. Максимальная точность классификации (98,1%) достигается при интеграции данных обоих сенсоров, что подчеркивает взаимодополняемость.

Использование ошейников в эксперименте наиболее эффективно для регистрации внешних поведенческих паттернов (кормление — 95,1%, ходьба — 93,8%), тогда как болюсы превосходят их в мониторинге жвачки (97,8%). Это подтверждает важность выбора устройства в зависимости от целевых показателей.

Результаты данного исследования подтверждают, что дифференцированный выбор сенсорных устройств в зависимости от задач мониторинга (внешняя активность и внутренние физиологические процессы) позволяет достичь максимальной эффективности, а их комбинированное применение формирует основу для развития интеллектуальных систем управления стадом.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021; 15(4): 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(2): 4–13. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Фёдоров А.Д., Кондратьева О.В., Слинко О.В. О перспективах цифровизации животноводства. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019; (1): 127–131. <https://elibrary.ru/urcasi>
4. Norton T., Chen C., Larsen M.L.V., Berckmans D. Review: Precision livestock farming: Building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 2019; 13(12): 3009–3017. <https://doi.org/10.1017/S175173111900199X>
5. Pereira G.M., Sharpe K.T., Heins B.J. Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(3): 3736–3750. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18952>

REFERENCES

1. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021; 15(4): 6–10 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Tsench Yu.S. Scientific and Technological Potential as the Main Factor for Agricultural Mechanization Development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(2): 4–13 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Fedorov A.D., Kondratieva O.V., Slinko O.V. The prospects of livestock digitalization about [sic!]. *Journal of VNIIMZH*. 2019; (1): 127–131 (in Russian). <https://elibrary.ru/urcasi>
4. Norton T., Chen C., Larsen M.L.V., Berckmans D. Review: Precision livestock farming: Building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 2019; 13(12): 3009–3017. <https://doi.org/10.1017/S175173111900199X>
5. Pereira G.M., Sharpe K.T., Heins B.J. Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(3): 3736–3750. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18952>

6. Zhang F. *et al.* Research Advances and Prospect of Intelligent Monitoring Systems for the Physiological Indicators of Beef Cattle. *Smart Agriculture*. 2024; 6(4): 1–17 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.12133/j.smartag.SA202312001>
7. Bikker J.P. *et al.* Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(5): 2974–2979. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>
8. Borchers M.R., Chang Y.M., Tsai I.C., Wadsworth B.A., Bewley J.M. A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(9): 7458–7466. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10843>
9. Hajnal É., Kovács L., Vakulya G. Dairy Cattle Rumen Bolus Developments with Special Regard to the Applicable Artificial Intelligence (AI) Methods. *Sensors*. 2022; 22(18): 6812. <https://doi.org/10.3390/s22186812>
10. Reiter S. *et al.* Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(4): 3398–3411. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12686>
11. Vázquez Diosdado J.A. *et al.* Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system. *Animal Biotelemetry*. 2015; 3: 15. <https://doi.org/10.1186/s40317-015-0045-8>
12. El Moutaouakil Kh., Falih N. Deep learning-based classification of cattle behavior using accelerometer sensors. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2024; 13(1): 524–532. <https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i1.pp524-532>
13. Lovatti J.V.R., Dijkstra K.A., Aires J.F., Garrido L.F.C., Costa J.H.C., Daros R.R. Validation and interdevice reliability of a behavior monitoring collar to measure rumination, feeding activity, and idle time of lactating dairy cows. *JDS Communications*. 2024; 5(6): 602–607. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0467>
14. Владимиров Ф.Е. Разработка цифрового устройства для мониторинга физиологического состояния крупного рогатого скота. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2024; 154.

ОБ АВТОРАХ

Фёдор Евгеньевич Владимиров

кандидат технических наук, научный сотрудник
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Артем Рустамович Хакимов

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Сергей Сергеевич Юрочка

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Дмитрий Юрьевич Павкин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
dimqaqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Савр Олегович Базаев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

6. Zhang F. *et al.* Research Advances and Prospect of Intelligent Monitoring Systems for the Physiological Indicators of Beef Cattle. *Smart Agriculture*. 2024; 6(4): 1–17 (in Chinese). <https://doi.org/10.12133/j.smartag.SA202312001>

7. Bikker J.P. *et al.* Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(5): 2974–2979. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>

8. Borchers M.R., Chang Y.M., Tsai I.C., Wadsworth B.A., Bewley J.M. A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(9): 7458–7466. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10843>

9. Hajnal É., Kovács L., Vakulya G. Dairy Cattle Rumen Bolus Developments with Special Regard to the Applicable Artificial Intelligence (AI) Methods. *Sensors*. 2022; 22(18): 6812. <https://doi.org/10.3390/s22186812>

10. Reiter S. *et al.* Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(4): 3398–3411. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12686>

11. Vázquez Diosdado J.A. *et al.* Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system. *Animal Biotelemetry*. 2015; 3: 15. <https://doi.org/10.1186/s40317-015-0045-8>

12. El Moutaouakil Kh., Falih N. Deep learning-based classification of cattle behavior using accelerometer sensors. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2024; 13(1): 524–532. <https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i1.pp524-532>

13. Lovatti J.V.R., Dijkstra K.A., Aires J.F., Garrido L.F.C., Costa J.H.C., Daros R.R. Validation and interdevice reliability of a behavior monitoring collar to measure rumination, feeding activity, and idle time of lactating dairy cows. *JDS Communications*. 2024; 5(6): 602–607. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0467>

14. Vladimirov F.E. Development of a digital device for monitoring the physiological state of cattle. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences Thesis. Moscow. 2025; 154 (in Russian).

ABOUT THE AUTHORS

Fedor Evgenievich Vladimirov

Candidate of Technical Sciences, Researcher
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Artyom Rustamovich Khakimov

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Sergey Sergeevich Yurochka

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Dmitry Yuryevich Pavkin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
dimqaqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Savr Olegovich Bazaev

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia