

УПРАВЛЕНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ СТАДА КОРОВ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

Managing the reproduction of a herd of cows using automated sensor systems

Скворцов Е. А., кандидат экономических наук, доцент,
Уральский государственный экономический университет,
г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62

Скворцова Е. Г., кандидат экономических наук, доцент,
Уральский государственный аграрный университет,
г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42

Аннотация. Улучшение репродуктивных показателей коров является ключевой задачей молочных ферм, и эффективное распознавание половой охоты имеет решающее значение для содействия этому. Однако из-за интенсивной модели управления животноводством эффективность и частота обнаружения остаются на относительно низком уровне. Наиболее часто используемым методом выявления охоты у молочных коров является визуальное наблюдение. Частота выявления с его помощью ниже 50%, что приводит к неясным экономическим выгодам от использования. Молочное скотоводство использует протоколы синхронизации охоты на основе гормонов, которые могут вызывать овуляцию и устанавливать время искусственного осеменения без необходимости определения охоты. Однако они требуют многократных инъекций, профессиональной подготовки, дополнительных расходных материалов. В связи с этим было разработано множество автоматизированных устройств для определения коров в охоте. К ним относятся автоматизированные технологии, которые измеряют изменения в двигательной активности, температуру тела коровы, вокализацию относительно периода охоты. Преимущества использования автоматизированных технологий заключаются в том, что они не требуют значительных затрат, обеспечивают анализ в режиме реального времени и измеряют широкий спектр параметров (поведенческих и физиологических), тем самым повышая точность обнаружения охоты. Точность автоматического определения охоты варьируется в научной литературе от 50% до 90% в зависимости от различных факторов. Большие различия в точности автоматизированного определения охоты, в дополнение к недостатку информации об экономической эффективности, привели к тому, что общее внедрение данных технологий в молочной промышленности низкое по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова: скотоводство, автоматизированные сенсорные системы, управление воспроизводством, информационные технологии, точное животноводство

Summary

Improving the reproductive performance of cows is a key objective for dairy farms and effective heat detection is critical to facilitate this. However, due to the intensive livestock management model, efficiency and detection rates remain relatively low. The most commonly used method for heat detection in dairy cows is visual observation. Its detection rate is below 50%, resulting in unclear economic benefits from its use. Dairy farming uses hormone-based estrus timing protocols that can induce ovulation and set the timing of artificial insemination without the need for estrus detection. However, they require multiple injections, professional training, additional consumables. In this regard, many automated devices have been developed to identify cows in heat. These include automated technologies that measure changes in locomotor activity, cow body temperature, and vocalization relative to estrus. The advantages of using automated technologies are that they do not require significant labor costs, provide real-time analysis and measure a wide range of parameters (behavioral and physiological), thereby increasing the accuracy of heat detection. The accuracy of automatic heat detection varies in the scientific literature from 50% to 90% depending on various factors. The large differences in the accuracy of automated estrus detection, in addition to the lack of information on cost-effectiveness, have meant that the overall adoption of these technologies in the dairy industry is low compared to traditional methods.

Keywords: cattle breeding, automated sensory systems, reproduction management, information technology, precision animal husbandry

Введение. Репродуктивные показатели являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на прибыльность молочного скотоводства из-за его прямой связи с производством молока, потребностью в замене животных, потенциалом генетического улучшения и долговечностью скота. С экономической точки зрения, своевременное и эффективное обнаружение эструса необходимо для управления воспроизводством молочного скота.

Наиболее распространенным способом является визуальное наблюдение. Оно основано на выявлении беспокойства, отежности вульвы, выделений. Визуальное наблюдение за активностью половой охоты субъективно и непрактично для больших стад при беспривязном содержании. Кроме того, снижение интенсивности и продолжительности эструса у современных высокопродуктивных молочных коров, затрудняют его обнаружение. Визуальное наблюдение за течкой часто ошибочно воспринимается как наиболее экономичный метод.

Методы исследования. Выполнен поиск публикаций в базе научных статей Researchgate по ключевым словам «управление воспроизводством», «выявление половой охоты», «точное животноводство». Найденные публикации позволяют провести анализ исследований по теме.

Результаты. Эффективное обнаружение половой охоты у коров является постоянной проблемой для управления воспроизводством. В этом контексте всестороннее знание поведения, связанного с половой охотой, является основополагающим для достижения оптимальных показателей ее выявления. В этом случае основное внимание уделяется вторичным симптомам эструса (двигательная активность, агрессивное и агонистическое поведение). Поскольку традиционное обнаружение охоты с помощью визуального наблюдения отнимает много времени и малоэффективно, за последние 15 лет произошло значительное усовершенствование средств обнаружения. По этой причине необходимы разработки стратегий и технологий улучшения управления воспроизводством на молочных фермах.

Альтернативы визуальному наблюдению для определения течки включают использование различных электронных устройств, многие из которых, как также было установлено, более точны при беспривязном способе содержания скота. Основными причинами внедрения технологий с использованием подключенных устройств являются оптимизация репродуктивных показателей стада и сокращение трудозатрат. К настоящему времени доступен ряд полностью автоматизированных технологий, включая системы измерения давления, измерители активности, видеокамеры, записи вокализации, а также измерения температуры тела и концентрации прогестерона в молоке. Эти системы отличаются по многим аспектам, касающимся эффективности, которые являются ключевыми для их внедрения. Согласно текущим исследованиям, одним из наиболее практичных способов выявления охоты является ее обнаружение, основанное на мониторинге активности с поддержкой датчиков, особенно акселерометрических систем. Из-за различий в индивидуальной интенсивности и продолжительности охоты многовариантный анализ может помочь специалистам в определении начала охоты.

Известно о многочисленных автоматизированных методах обнаружения половой охоты, позволяющих избежать необходимости визуального наблюдения. Акселерометры стали широко использоваться для измерения увеличения физической активности коров, при этом частота обнаружения поведения во время течки составляет от 80 до 90%, однако частота ошибок может варьироваться от 17 до 55%.

Для оценки поведения во время эструса используется несколько методов поведенческой классификации, основанных на данных о повышении активности и местоположении. Описаны связанные с охотой изменения параметров, автоматически регистрируемых CowManager SensOor (Agis Automatisering, Хармелен, Нидерланды), DVM bolus (DVM Systems LLC, Грили, Колорадо), HR Tag (SCR Engineers Ltd., Нетания, Израиль), IceQube (IceRobotics Ltd., Эдинбург, Великобритания) и Track a Cow (Animart Inc., Бивер-Дам, WI). Также используется ушная метка (SCR Engineers Ltd., Нетания, Израиль) для

идентификации коров в охоте с чувствительностью 91% [2]. Было показано, что для определения эструса необходимо измерение трехмерных уровней движения. Разработка алгоритмов обнаружения охоты на основе индекса активности (включая движение и местоположение) предоставляет адекватное решение, позволяющее устранить необходимость классификации поведения.

Исследования методов обнаружения половой охоты, сочетающих информацию об увеличении активности и изменении местоположения коров, в значительной степени зависят от эффективности классификации поведения. Настройки параметров, количество обучающих выборок и процесс обучения этим методам, также неизбежно влияют на результат обнаружения.

Обнаружению эструса у скота эффективно помогают электронные метки активности или шагомеры. Охарактеризовать интенсивность и продолжительность эструса также можно по данным активности. Разработаны и применяются алгоритмы для обнаружения и характеристики поведения на основе ежечасно регистрируемых данных об активности. Алгоритм основан на отклонениях от экспоненциально сглаженных почасовых показателей активности и используется для определения начала, продолжительности и интенсивности эструса. Данные перманентного мониторинга активности представляют ценную информацию о признаках фертильности. Однако для достоверности параллельно применяется определение концентрации прогестерона в крови или молоке.

Определение концентрации прогестерона считается одним из наиболее надежных методов обнаружения и верификации наступления эструса. Тем не менее, стоимость этого метода гормонального мониторинга высока. Измерения уровня прогестерона в крови или молоке эффективно для определения периода охоты, но не имеет большого значения для определения того, когда охота началась.

Животноводы, как правило, инвестируют только в одну технологию, исходя из предположения, что эта система обнаружит большинство, если не всех коров в охоте. Однако известно, что эти технологии не имеют 100% эффективность. Автоматическое определение охоты может иметь большую результативность при объединении датчиков, например, увязку активности с данными о жвачке, показателями термометрии и т.д. До сих пор эффективность сочетания различных технологий не изучалась по причине того, что на одной ферме, как правило, используется только одна технология.

Основными физиологическими параметрами, отслеживаемыми отдельно или в сочетании подключенными устройствами, являются активность коровы, температура тела и жвачка. Сочетание нескольких показателей в одном датчике может максимально повысить эффективность определения охоты и отела. Также важно спрогнозировать тяжелые отелы, требующие помощи человека.

Дополнительным ограничением визуальных или электронных методов обнаружения эструса является то, как обнаружить овуляцию коров при отсутствии явных признаков эструса (т.е. скрытой охоты). Поэтому были изучены неповеденческие методы определения либо эструса, либо овуляции, которые в качестве индикаторов фокусируются на использовании повышенной температуры тела во время эстрального периода с последующим снижением температуры во время овуляции.

Например, во время эструса происходит повышение основной температуры тела на $0,6 \pm 0,3^\circ\text{C}$. Однако коэффициент вариации для измерений основной температуры тела составляет 50%, что делает его ненадежным показателем, если использовать его в отрыве от других биомаркеров. Кроме того получение основных температур тела (например, ректальных температур) отнимает много рабочего времени и вызывает стресс у животных, особенно в больших стадах.

В отличие от этого, инфракрасная термография (IRT) является неинвазивной технологией, которая предоставляет тепловые данные в режиме реального времени для оценки различных физиологических состояний крупного рогатого скота (например, инфекционных заболеваний). Тепло, излучаемое с поверхности тела, измеряется IRT, которое затем

отображается в виде изображения распределения температуры. Каждый пиксель в радиометрическом тепловом изображении представляет измерение температуры, которое можно отслеживать, записывать и анализировать. Талукдер и др. (2014) продемонстрировали, что IRT может предсказать овуляцию за 24-48 ч на основе изменений температуры кожи [7]. Инфракрасные термограммы регистрировали на глазу, морде, щеке, шее, передней правой ноге, передней левой ноге, крупе, боках, области вульвы, затылочной части и холке. Колебания излучаемой температуры, измеренные в определенных анатомических местах, а также частота движений хвостом и двигательная активность могут быть использованы в качестве неинвазивных предупреждений о начале половой охоты.

Однако на общую точность метода IRT влияют несколько факторов, включая тепловой стресс, методы управления фермой, уровень молочной продуктивности и тип коровника.

В исследованиях подтверждено, что скорость вокализации коров увеличивается в день начала половой охоты (Schön et al., 2007), а анализ вокализации позволяет отличить коров в этот период раньше, чем наблюдение за их активностью [8]. Поэтому идентификация по вокализации для обнаружения эструса стала предметом пристального внимания.

К настоящему времени было разработано множество устройств акустического обнаружения. В них используются два подхода. Одним из них является использование устройств, таких как акустические метки или цифровые камеры, которые устанавливаются вблизи ограждающих конструкций для записи вокализации коров. Этот метод сопряжен с проблемой распознавания вокализаций отдельных животных. Другой способ заключается в прикреплении акустического записывающего устройства к шее каждого животного. Этот подход позволяет различать особей, но частота ошибочной идентификации неизбежно возрастает, когда другие члены группы вокализуют вблизи акустической метки коровы. Таким образом, необходима технология фильтрации шума путем эффективной фильтрации звуков, производимых вентиляторами, разговоров между сотрудниками, сельскохозяйственной техникой, вокализации других членов стада и других окружающих шумов на молочной ферме. В исследованиях по фильтрации шума на молочных фермах обычно используют фильтр Баттерворта нижних частот второго порядка и фильтр верхних частот. Однако из-за различных частотных диапазонов и амплитудных характеристик окружающего шума на молочных фермах этим методам не хватает возможности фильтровать с использованием фиксированных параметров, что затрудняет оценку того, был ли шум эффективно отфильтрован.

Выбор параметров звуковых характеристик и алгоритмов обнаружения охоты оказывает непосредственное влияние на ее идентификацию. Y. Chung и др. использовали низкочастотные коэффициенты Кепстрала (MFCC) и модель машины опорных векторов (SVM) для идентификации коров в период охоты с точностью более 94% [10]. Хотя этот метод может обеспечить приемлемую дискриминацию путем выбора комбинации параметров вокализации коровы с одним признаком и методов машинного обучения, точность распознавания может быть повышена за счет интеграции нескольких признаков. Например, были объединены интенсивность, высота тона, продолжительность и формант с линейной дискриминантной функцией, чтобы идентифицировать мычание коров в период охоты с точностью 86,2%. Очевидно, что метод, основанный на многофункциональных параметрах, может представлять звуковую информацию более полно, чем другие методы. Однако, поскольку эти параметры определяются на основе опыта, обычно используется низкоконтрастная информация, что не приводит к заметному улучшению точности и резкому увеличению вычислительной сложности по мере увеличения числа параметров.

Заключение. Подключенные устройства для воспроизводства крупного рогатого скота изначально были разработаны и научно оценены для определения охоты, в основном на основе измерений активности, поведения или гормонального фона. В настоящее время их показания, как правило, распространяются на диагностику стельности, определения срока отела. Эти устройства открывают широкие перспективы в области воспроизводства: помимо улучшения репродуктивных показателей крупного рогатого скота, они могут привести к

улучшению качества жизни животноводов. Основными проблемами, связанными с использованием автоматизированных сенсорных систем, являются большие финансовые вложения, отсутствие экономического анализа и ограниченные навыки пользователей по управлению соответствующими технологиями. В ближайшем будущем подключенные устройства могут позволить точное фенотипирование репродуктивных признаков и признаков здоровья животных и могут помочь улучшить благосостояние животных и общественное восприятие продукции животноводства.

Библиографический список

1. Marie Saint-Dizier, Sylvie Chastant-Maillard, Potential of connected devices to optimize cattle reproduction, *Theriogenology*, Volume 112, 2018, Pages 53-62, ISSN 0093-691X
2. K.A. Dolecheck, W.J. Silvia, G. Heersche, Y.M. Chang, D.L. Ray, A.E. Stone, B.A. Wadsworth, J.M. Bewley, Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring technologies, *Journal of Dairy Science*, Volume 98, Issue 12, 2015, Pages 8723-8731, ISSN 0022-0302
3. K.D. Redden, A.D. Kennedy, J.R. Ingalls, T.L. Gilson, Detection of Estrus by Radiotelemetric Monitoring of Vaginal and Ear Skin Temperature and Pedometer Measurements of Activity, *Journal of Dairy Science*, Volume 76, Issue 3, 1993, Pages 713-721, ISSN 0022-0302.
4. К. Кампхейс, К. Хейпс и Х. Хогевин. Приложения для точного животноводства., 2015. Рр 279-286.
5. Левендаль П., Чагунда М.Г.. Об использовании мониторинга физической активности для выявления эструса у молочных коров. *J Dairy Sci.* 2010 Jan;93(1):249-59. doi: 10.3168/jds.2008-1721. PMID: 20059923.
6. Jashim Uddin, David M McNeill, Clive J C Phillips Infrared thermography as a tool for the measurement of negative emotions in dairy cows. *Int J Biometeorol.* 2023 Feb;67(2):219-231. doi: 10.1007/s00484-022-02410-2.
7. Talukder S, Kerrisk KL, Ingenhoff L, Thomson PC, Garcia SC, Celi P (2014) Инфракрасная технология для определения течки и как предиктор времени овуляции у молочных коров в системе, основанной на пастбище. *Териогенология.*81:925-935.
8. P C Schön, K Hämel, B Puppe, A Tuchscherer, W Kanitz, G Manteuffel Altered vocalization rate during the estrous cycle in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2007 Jan; 90(1):202-6. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(07)72621-8.
9. H. J. Perez Marquez, D. J. Ambrose, A. L. Schaefer, N. J. Cook, and C. J. Bench, Infrared thermography and behavioral biometrics associated with estrus indicators and ovulation in estrus-synchronized dairy cows housed in tiestalls. *J. Dairy Sci.* 102:4427–4440 doi:10.3168/jds.2018-15221
10. Chung Y, Lee J, Oh S, Park D, Chang H, Kim S. Automatic Detection of Cow's Oestrus in Audio Surveillance System. *Anim Biosci* 2013;26(7):1030-1037. DOI: 10.5713/ajas.2012.12628