

СИДОРЕНКО МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ



**МЕТОД И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
МОНИТОРИНГА НАЧАЛА ОТЕЛА У КОРОВ**

05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2016 г.

Работа выполнена на кафедре Автоматизации и механизации животноводства Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент,  
**Иванов Юрий Григорьевич**

Официальные оппоненты: **Гришин Иван Иванович**,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры Электротехники и  
физики, ФГБОУ ВО «Рязанский  
государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева»

**Курзин Николай Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой физики, ФГБОУ  
ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Белгородский  
государственный аграрный университет  
имени В.Я. Горина»

Защита состоится «31» мая 2016 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 006.037.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИЭСХ) по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте (<http://viesh.ru>) ФГБНУ ВИЭСХ.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим отправлять по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2.

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Некрасов Алексей Иосифович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Одной из важнейших причин недополучения молодняка и снижения молочной продуктивности являются осложнения течения родового акта у коров из-за несвоевременного родовспоможения. По данным Кривенко Д.В. частота осложненных родов у коров в среднем составляет 6,84 %, при этом наиболее часто страдают высокопродуктивные коровы – 28 %, первотелки – 8,6 %, и коровы в возрасте более 5 отелов – 6 %. По оценкам специалистов в США, ущерб от смертности КРС при родах составляет около 1 млрд. долларов ежегодно.

Изучение этой проблемы показывает, что на практике отсутствуют средства оперативного контроля и оповещения обслуживающего персонала, которые бы позволили оказать своевременное родовспоможение. В связи с этим разработка электротехнических средств (ЭТС), обеспечивающих мониторинг соответствующих признаков у коров, с дистанционной передачей сообщения обслуживающему персоналу о начале родов в режиме реального времени является актуальной задачей.

**Степень разработанности темы исследования.** Несмотря на насущную потребность предприятий крупного рогатого скота в средствах определения времени начала родов у коров, разработке технических средств для этих целей посвящено немного публикаций, например, работы О.В. Ужик и Я.В. Ужик (Россия), Е. Малтц (США) и других. Известны используемые за рубежом технические средства, предназначенных для решения этой задачи, например, системы фирм «Medria Technologies» и «Deutsche Telekom» (Франция, Германия), «iVET» (Германия), «Radco» (Бельгия), «Databel Trading» (Бельгия), «MaGiiX» (США). Методы детектирования, используемые в этих технических решениях, не позволяют однозначно определить явления начала родов, при этом отечественные разработки отсутствуют.

**Цели и задачи исследования.** Целью работы является разработка метода и электротехнических средств мониторинга начала отела у коров, обеспечивающих оповещение персонала фермы о начале родовых схваток в режиме реального времени для своевременного родовспоможения.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

1. Проанализировать научные предпосылки и тенденции развития методов и технических средств для определения начала родов у коров.
2. Определить признаки родового акта коровы, которые можно представить в виде сигналов, пригодных для регистрации электротехническими средствами дистанционной передачи сообщений персоналу фермы в режиме реального времени.
3. Разработать математические модели вариантов электротехнических измерительных преобразователей напряжения мышц корня хвоста животного.
4. Разработать, изготовить и исследовать варианты электротехнических измерительных преобразователей напряжения мышц корня хвоста животного и выбрать наиболее предпочтительный вариант.

5. Разработать алгоритм обработки сигналов электротехнических измерительных преобразователей напряжения мышц корня хвоста животного с помощью специализированного программного обеспечения для достоверной идентификации начала родов у коров.
6. Разработать программу, методики и установки для проведения экспериментальных исследований.
7. Создать комплект электротехнических и программных средств для дистанционного мониторинга начала отела у коров и передачи сообщений персоналу в режиме реального времени.
8. Провести экспериментальные исследования электротехнических средств.
9. Произвести производственную проверку электротехнических средств.
10. Провести оценку экономической эффективности применения электротехнических средств.

**Научная новизна.** Выполненные исследования позволили получить совокупность новых положений и результатов, заключающихся:

– в разработке миографического метода для контроля признаков начала родового акта коровы и их представления в виде сигналов, пригодных для регистрации электротехническими средствами;

– в разработке математических моделей вариантов электротехнических измерительных преобразователей напряжения мышц корня хвоста животного и алгоритма обработки сигнала для идентификации родового акта коровы;

– в разработке, изготовлении и апробации электротехнического и программного комплекса, обеспечивающего высокую достоверность обнаружения родового акта, с дистанционным мониторингом в режиме реального времени.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработаны новые электротехнические средства, обеспечивающие мониторинг начала родов у коров в режиме реального времени и передачу сообщения обслуживающему персоналу с помощью современных телекоммуникационных средств связи. Производственная проверка ЭТС проведена на молочной ферме зоостанции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Техническая новизна разработанных ЭТС подтверждена патентом РФ №134782 "Система определения начала отела" и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616713 "Драйвер микросхемы радиointерфейса nRF24L01 для микроконтроллеров с ядром AVR".

**Методология и методы исследования.** В ходе теоретических исследований были использованы методы математического анализа, математического и компьютерного моделирования, программирования. Использовались средства микропроцессорной и компьютерной техники. Результаты экспериментов обрабатывались в соответствии с общепринятыми методиками с использованием программных продуктов MathCAD 14, Microsoft Office Excel 2007, Microsoft Visio 2007, AVR Studio 6, Visual Studio 2012.

**Положения, выносимые на защиту:**

– миографический метод мониторинга начала отела у коров, основанный на регистрации напряжения мышц корня хвоста, сопровождающего схватки и потуги животного, электротехническими средствами;

- математические модели измерительных преобразователей напряжения мышц корня хвоста животного в электрический сигнал;
- алгоритм обработки сигналов от электротехнического измерительного преобразователя напряжения мышц корня хвоста животного, обеспечивающего достоверную идентификацию начала родов у коров;
- конструкция и принцип работы измерительного преобразователя напряжения мышц корня хвоста животного на основе изменения электропроводности чувствительного элемента.
- комплект электротехнических и программных средства для мониторинга начала отела у коров.

**Степень достоверности и апробация результатов** подтверждена высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами опытов и производственных испытаний, разработанных технических и программных решений. По материалам диссертации опубликованы семь статей, из них пять – в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ. Получен патент РФ и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные положения диссертационной работы были доложены, обсуждены и одобрены на: Всероссийской конференции студентов, аспирантов и ученых с международным участием «Основные направления развития техники и технологии в АПК, легкой и пищевой промышленности» (Княгинино, НГИЭИ, 2012 г.); 17-й Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства производства продукции животноводства с интеллектуальными системами управления механизированными процессами» (Москва, ВНИИМЖ, 2014 г.); 9-ой Международной научно-технической конференции "Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве" (Москва, ВИЭСХ, 2014 г.); 18-й Международной научно-практической конференции «Стратегия развития механизации и автоматизации животноводства на период до 2030 года» (Москва, ВНИИМЖ, 2015 г.), Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию академика К.У. Медеубекова «Зоотехническая наука Казахстана: прошлое, настоящее, будущее» (Алматы, 2014 г.).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлена характеристика состояния вопроса, обоснована актуальность темы исследований и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** «Анализ состояния проблемы. Цели и задачи исследования». Значительный вклад в интенсификацию воспроизводства крупного рогатого скота внесли ученые В.С. Авдеенко, А.П. Алексеев, Г.П. Дюльгер, Д.В. Кривенко, Д.Д. Логвинов, А.Г. Нежданов, В.Я. Никитин, В.А. Павлов, А.М. Семиволос, А.П. Студенцов, В.В. Храмцов, В.С. Шипилов и другие. К сожалению, имеющиеся научные достижения не в должной мере используются на практике. В патологии крупного рогатого скота одним из узких мест остаются осложненные роды. Известно, что отел должен проходить под наблюдением, так как нельзя заранее пре-

дугадать, как будут протекать роды. Проведенный анализ известных методов и технических средств определения начала родов у коров показал их невысокую эффективность (Таблица 1).

Анализ показал, что одним из наиболее перспективных путей для определения начала родов у коров является применение метода, основанного на регистрации мышечного напряжения коровы при родах, сопровождающихся также напряжением мышц корня хвоста, который отводится в сторону, освобождая путь для рождающегося теленка.

**Таблица 1** – Сравнительные характеристики методов и ЭТС определения начала у родов коров

№ п/п	Методы контроля	Достоинства	Недостатки	Существующий аналог или патент
1	Тепловизионное распознавание образа родового акта	Использование стандартного оборудования; прямое определение родового акта	Сложность реализации компьютерного распознавания образа родового акта, дорогостоящее оборудование, сложность эксплуатации, низкая надежность оборудования	Аналог или патент не найдены
2	Мониторинг изменения температуры животного и температуры внешней среды	Прямое определение родового акта	Возможны ошибки определения родового акта при патологических родах	Система Vel'Phone
3	Определение ускорения выпадения датчика из влагалища	Прямое определение родового акта	Возможны ошибки определения родового акта при патологических родах	Система iVET
4	Мониторинг количества шагов животного и времени, проведенного им лежа	Простота реализации системы	Косвенное определение родового акта; работа в составе с другими системами определения предвестников родов	Пат. US 2010/0331739 A1
5	Определение центра стада, положения животного относительно этого центра и времени, проводимого им в удалении от центра	Неограниченная зона покрытия системы	Сложность системы; корова должна находиться в стаде; работа в составе с другими системами определения предвестников родов	Система Agrimonitor
6	Определение сокращений мышц брюшного пресса (потуги)	Прямое определение родового акта	Работа в составе с другими системами определения предвестников родов	Система Agrimonitor
7	Определение сокращений мышц матки (схватки)	Прямое определение родового акта	Работа в составе с другими системами определения предвестников родов	Система Agrimonitor
8	Определение положения корня хвоста животного в пространстве	Прямое определение родового акта	Возможны ошибки из-за несоответствия относительного положения хвоста при родах стоя и лежа	Система Alert'Vel
9	Мониторинг мышечного напряжения хвоста животного во время родового акта	Прямое определение родового акта	Необходимо рациональное техническое и программное решение ЭТС	Разрабатываемое ЭТС

Проведенные исследования на молочной ферме РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и фермы ЗАО «Агрофирма «Бунятино» Дмитровского района Московской области позволили установить, что в процессе родов схватки (сокраще-

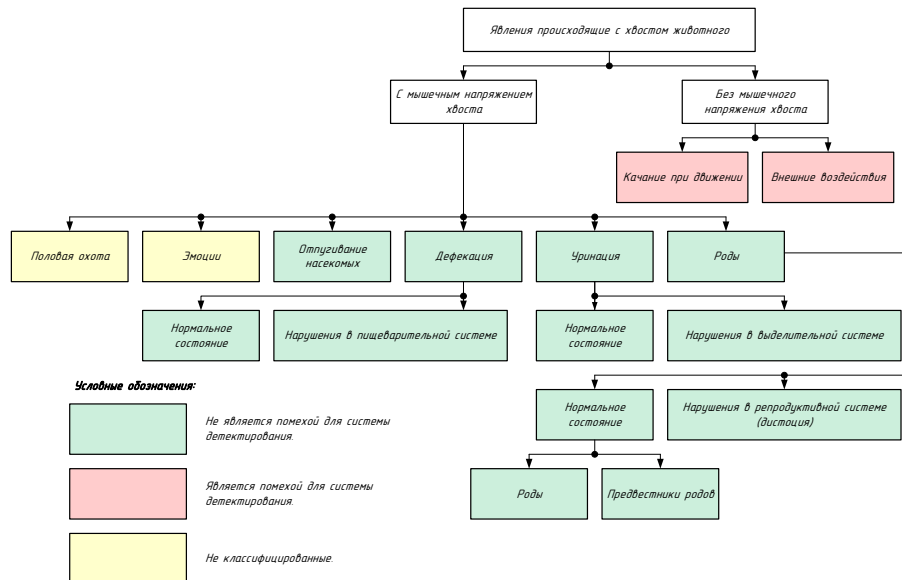
ние мышц матки) и потуги (сокращение мышц брюшной полости) сопровождаются также напряжением мышц корня хвоста, который при этом приподнимается.

В связи с этим предложен новый миографический метод мониторинга начала родов у коров, основанный на регистрации напряжения мышц корня хвоста животного, наблюдаемого при родах, с последующей дистанционной передачей сообщения обслуживающему персоналу в режиме реального времени.

Для реализации метода необходима разработка электротехнических средств, обеспечивающих измерение напряжения мышц корня хвоста животного и преобразование механических изменений в электрические сигналы.

**Вторая глава.** «Теоретическое обоснование параметров ЭТС для мониторинга начала отела у коров».

Физиологические проявления у коров, сопровождаемые явлениями, происходящими с хвостом, с точки зрения их детектирования могут быть классифицированы так, как это представлено на рисунок 1.



**Рисунок 1** – Классификация явлений, происходящих с хвостом животного

Анализ показывает высокую информативность поведения хвоста животного, который периодически меняет свое положение. Сопровождаемый изменением напряжения мышц, оно позволяет детектировать начало родов, частоту дефекации (диарею у телят) и уринации (проблемы в мочеполовой системе, например, эндометрит), активизацию кровососущих насекомых. Имеется также потенциал определения половой охоты коров при использовании быка в стаде и реакций на внешние раздражители (эмоций), не рассматриваемых в настоящей работе.

Функционирование разрабатываемого ЭТС основано на оперативном анализе мышечной активности корня хвоста животного. Разработаны и исследованы три типа электротехнических измерительных преобразователей (ЭТИП) мышечного напряжения корня хвоста животного в электрический сигнал, использующие разные физические принципы работы, но отражающие одинаковую сущность регистрируемого процесса.

*Математическая модель ЭТИП напряжения мышц корня хвоста животного на основе измерения давления на чувствительный элемент.* Техническая реализация ЭТИП давления основана на применении манжеты с герметичной камерой из упругого материала (резина). При этом камера заполняется воздухом до заданного значения давления. Манжета с камерой крепится к корню хвоста, обхватывая его. Для преобразования избыточного давления в электрический сигнал используется аналоговый пневмоэлектрический преобразователь.

Математическую модель для выражения давления, зависящего от изменения диаметра хвоста, действующего на тензочувствительный элемент (ТЧЭ) можно представить в виде:

$$P = \left[ \left( \frac{I \cdot R_0 \cdot \left( 1 + \frac{\gamma \cdot S}{k \cdot L_0} \cdot \left( \frac{m \cdot R_{\text{газ}} \cdot T}{a \cdot b \cdot (h - d + d_0)} \right) \right)}{U_{\text{оп}}} \right) \cdot (2^{n-14} - 1) - 0.1 \right] \cdot \left( \frac{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}}{0.8} \right) + P_{\text{min}} \cdot 6894,76. \quad (1)$$

Математическая модель (1) позволяет получить зависимость  $P = f(d)$ , где  $I$  (А) – электрический ток, протекающий через ТЧЭ;  $R_0$  (Ом) – постоянная составляющая сопротивления ТЧЭ;  $\gamma$  (В/м) – тензочувствительность;  $k$   $\left( \frac{\text{кг}}{\text{с}^2} \right)$  – коэффициент упругости материала, из которого изготовлен ТЧЭ;  $S$  ( $\text{м}^2$ ) – площадь рабочей поверхности ТЧЭ;  $L_0$  (м) – постоянная составляющая длины ТЧЭ;  $R_{\text{газ}}$   $\left( \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right)$  – универсальная газовая постоянная  $8,31441 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ ;  $\mu$  (кг/моль) – молярная масса рабочего вещества (воздуха) рабочего тела ТЧЭ –  $28,98 \cdot 10^{-3}$  кг/моль;  $m$  (кг) – масса рабочего вещества (воздуха) рабочего ТЧЭ;  $T$  (К) – температура окружающей среды рабочего тела ТЧЭ;  $a$  (м) – ширина рабочего тела ТЧЭ;  $b$  (м) – длина рабочего тела ТЧЭ;  $h$  (м) – глубина (высота) рабочего тела ТЧЭ;  $d$  (м) – диаметр хвоста;  $d_0$  (м) – постоянная составляющая диаметра хвоста;  $U_{\text{оп}}$  – опорное напряжение, используемое АЦП (аналого–цифровой преобразователь);  $n$  – разрядность АЦП,  $P$  (Па) – давление.

*Математическая модель ЭТИП напряжения мышц корня хвоста на основе измерения деформации чувствительного элемента.* Техническая реализация ЭТИП основана на применении манжеты из упругого токопроводящего элемента (токопроводящая резина). Манжета крепится к корню хвоста. Для преобразования напряжения мышц корня хвоста в электрический сигнал используется АЦП со схемой коррекции сигнала.

Выражение (2) является математической моделью ЭТИП на основе ТЧЭ деформации ( $N = f(d)$ ).

$$N = \frac{2^n - 1}{2 + \gamma \cdot \frac{d - d_0}{d_0}}, \quad (2)$$

где  $N$  (См) – цифровое значение проводимости ТЧЭ;  $\gamma$  (В/м) – тензочувствительность токопроводящей резины.



Выражение (2) позволяет получить аналоговый сигнал от ТЧЭ, пропорциональный диаметру хвоста животного.

*Математическая модель ЭТИП напряжения мышц корня хвоста животного на основе измерения относительного удлинения длины окружности ТЧЭ, наполненного электропроводящим раствором.* Разработанный измерительный преобразователь напряжения мышц основан на изменении электрического сопротивления наполнителя (раствор NaCl в концентрации 100 г/л) в зависимости от его растяжения. В ТЧЭ применяется силиконовая трубка, наполненная электропроводящим раствором, к концам которой прикреплены манжеты из малорастяжимого материала (нейлон).

Электрическое сопротивление ТЧЭ равно:

$$R_{\text{ТЧЭ}}(d) = \frac{\rho_{\text{раствора}}}{V_0} \cdot (\pi \cdot d)^2, \quad (3)$$

где  $\rho_{\text{раствора}}$  (Ом) – удельное сопротивление (константа);  $V_0$  (м<sup>3</sup>) – объем силиконовой трубки (константа).

Напряжение на выходе рабочего элемента ТЧЭ ( $U_{\text{Вых}}$ ) равно:

$$U_{\text{Вых}}(d) = I_0 \cdot R_{\text{ТЧЭ}}(d). \quad (4)$$

Таким образом, сигнал на выходе ТЧЭ (вывод выражения опущен), соответствующий сокращению мышц хвоста составит:

$$U_{\text{Вых}}(d) = k \cdot d^2, \quad (5)$$

где  $k = \frac{I_0 \cdot \rho_{\text{раствора}} \cdot \pi^2}{V_0}$  (шт.) – чувствительность ТЧЭ, величина постоянная.

Напряжение мышц вызывает увеличение диаметра хвоста в плоскости крепления ТЧЭ, что приводит к такому же увеличению длины рабочего тела ТЧЭ. Расслабление мышц вызывает уменьшение диаметра хвоста в плоскости крепления ТЧЭ, при этом уменьшается и длина рабочего тела ТЧЭ. Электрическое сопротивление ТЧЭ возрастает пропорционально увеличению длины рабочего тела. В результате изменяется напряжения на выходе ТЧЭ, что соответствует напряжению мышц корня хвоста.

Сигнал с ТЧЭ, пропорциональный напряжению мышц корня хвоста животного, поступает на вход АЦП МК, преобразующий с заданной частотой аналоговый сигнал в цифровой поток данных, который через интерфейс и устройство сопряжения поступает в программу интерпретации показаний ЭТИП, установленную на персональной электронно-вычислительной машине (ПЭВМ).

Программа интерпретирует поток данных с ЭТИП и с учетом математических моделей физиологических явлений, заложенных в нее, сообщает обслуживающему персоналу о времени начала родов у коровы.

В качестве типовых явлений, происходящих с хвостом животного, выбраны явления, связанные с уринойцией и дефекацией, так как они присутствуют у всех животных вне зависимости от пола и возраста, их периодичность несопоставимо более высокая, чем у больных или беременных животных, они просты для наблю-

дения, регистрации и интерпретации. Перечисленные обстоятельства позволяют разработать и реализовать относительно простую математическую модель детектирования таких явлений. Исключение протектированных явлений уринации и дефекации из общего потока явлений позволяет интерпретировать оставшиеся явления как проблемы в мочеполовой, выделительной и пищеварительной системах, требующие акцентирования внимания со стороны персонала.

В процессе работы ЭТИП мы располагаем только полученным ранее и текущим оцифрованным значением сигнала. В этом случае целесообразно использовать причинный фильтр, где время – независимая переменная и реакция фильтра возможна только на прошедшие значения (причины). Для компенсации фазового сдвига нами были использованы фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр), описываемые общим выражением:

$$y_n = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k u_{n-k},$$

где  $u_n$  – входные данные,  $c_k$  – постоянные фильтра,  $y_n$  – выходные сигналы.

Коэффициенты фильтра  $c_k$  предполагаются постоянными в течение большей части времени, соответственно, фильтр является инвариантным во времени.

Алгоритм детектирования сигналов ЭТИП мышечного напряжения (физиологических явлений) реализован следующим образом: поток данных с измерительного преобразователя подается на первое звено (6) и (7) полосового цифрового фильтра второго порядка.

$$H0(i) = \frac{\sum_i H_i}{S}, \quad (6)$$

$$H1(i) = \frac{\sum_i H_i}{M}, \quad (7)$$

где  $H$  – поток оцифрованных данных с ЭТИП;  $S$  – сглаживающая весовая функция по  $n$  точкам;  $M$  – сглаживающая весовая функция по  $n/2$  точкам;

Полученные значения  $H0$  и  $H1$  подаются на второе звено (8) и (9) полосового цифрового фильтра второго порядка.

$$H2(i) = \frac{\sum_i H0_i}{S}, \quad (8)$$

$$H3(i) = \frac{\sum_i H1_i}{M}. \quad (9)$$

Фильтром второго порядка отфильтровывается высокочастотная составляющая во входном сигнале с ЭТИП.

Очищенный от высокочастотной составляющей помехи сигнал (8) и (9) поступает на дифференциальное звено цифрового фильтра (10), отфильтровывающее низкочастотную составляющую во входном сигнале с ЭТИП.

$$H4(i) = (H3_i - H2_i). \quad (10)$$

Очищенный от высокочастотной и низкочастотной составляющей сигнал (10) поступает на вход усилителя полезного сигнала (11).

$$H5(i) = |H4_i \cdot 100|^4. \quad (11)$$

Полученные значения (11) поступают в модуль распознавания образа явления. Принцип работы по распознаванию образа сводится к сравнению гистограммы текущего явления с эталонными гистограммами явлений. Для этого используется критерий  $\chi$ -квадрат:

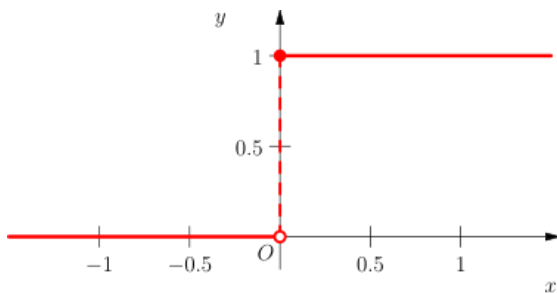
$$H_6 = \sum_i \frac{(H_5(i) - H_{\text{э}}(i))^2}{H_5(i) + H_{\text{э}}(i)}, \quad (12)$$

где:  $H_5$  – поток эталонных данных.

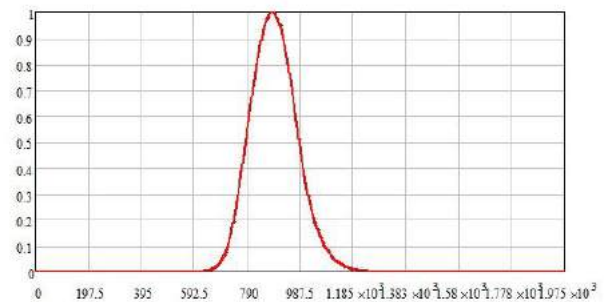
Результатом работы является значение  $H_6$  в диапазоне от 0 до  $\infty$ , где 0 – полное совпадение гистограмм, а значит и полное совпадение детектированного явления с эталонным явлением, а  $\infty$  – их полное несовпадение. Из этого следует, что редактируя пороговый уровень  $H_6$  для конкретной эталонной гистограммы, можно корректировать чувствительность системы на конкретное явление.

Работа построенного фильтра проверяется реакцией на функцию Хэвисайда (13) (рисунок 2).

$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (13)$$



**Рисунок 2** – Графическое представление функции Хэвисайда (13)



**Рисунок 3** – Графическое представление реакции СЦФ (12) на функции Хэвисайда (13)

Результат работы фильтра на функцию (13) приведен на рисунке 3. Из него видно, что разработанный алгоритм детектирования сигналов ЭТИП напряжения мышц (СЦФ) (12) пригоден для работы. Он устойчив на единичное воздействие – отсутствует затухающий переходный процесс, а само событие перехода из одного состояния в другое резко выражено.

Критерии идентификации в ЭТС сигналов коров формируются на основе контроля параметров:  $t_d$  – продолжительность рабочего сигнала (импульса) от ЭТИП, возникающего при напряжении мышц корня хвоста, с;  $N$  – количество импульсов, шт.;  $t_u$  – контролируемый временной интервал, мин.  $t_n$  – временной интервал, характеризующий патологические роды.

Сигнал – начало родов. Критерии идентификации:

$$\begin{cases} t_d > 600 \text{ с.} \\ N = 1 \\ t_n > 180 \text{ мин.} \end{cases} \quad (14)$$

Сигнал – дефекация или уринация. Критерии идентификации:

$$\begin{cases} t_d > 5 \text{ с.} \\ N = 1. \end{cases} \quad (15)$$

Сигнал – стресс, возникающий, например, во время дойки, кормления, взвешивания или сортировки коров. Критерии идентификации:

$$\begin{cases} t_d > 5 \text{ с.} \\ t_{\text{и}} > 60 \text{ мин.} \\ N > 3. \end{cases} \quad (16)$$

Сигнал – угроза насекомых, возникающий, например, при отпугивании хвостом слепней или оводов. Критерии идентификации:

$$\begin{cases} t_d = 1 \dots 5 \text{ с.} \\ t_{\text{и}} > 10 \text{ мин.} \\ N = 3 \dots 10. \end{cases} \quad (17)$$

Указанные критерии не являются фиксированными значениями и могут корректироваться программными средствами с учетом индивидуальных особенностей животных, возраста, породных различий или предрасположенностью к дистонии.

Выражения 1...12 и 14...17 представляют собой общую математическую модель мониторинга начала отела у коров микропроцессорной системой.

**Третья глава.** «Программа, методика и экспериментальная установка для проведения исследований».

Для проведения исследований был создан опытный образец ЭТС (далее «Прототип»); три типа ЭТИП с различными чувствительными элементами; модель хвоста животного; стенд, состоящий из ПЭВМ, компрессора, цифрового осциллографа; цифровой мультиметр, манометр МТИ, а также разработано специализированное программное обеспечение (СПО) для ПЭВМ (рисунок 4). Особенность прототипа заключается в передаче данных с ЭТИП в ПЭВМ с помощью проводного интерфейса RS-485, что на начальном этапе позволяет ускорить процесс разработки комплекта ЭТС.

Проведены четыре класса экспериментов: 1 – на модели хвоста животного; 2 – на руке человека; 3 – на хвосте животного; 4 – при родах животного. Экспериментальные исследования проведены на молочной ферме зоостанции РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева и фермы ЗАО «Агрофирма «Бунятино».

*Методика исследований ЭТС на модели хвоста животного.* Целью исследований является определение статической характеристики ТЧЭ при радиальном воздействии силы растяжения и установлении рабочего диапазона ТЧЭ по полученной статической характеристике.

Детектируемые явления с хвостом животного происходят вне зависимости от положения в пространстве тела животного, т.к. в любом случае положение хвоста относительно тела животного связано с сокращением мышц корня хвоста.



**Рисунок 4** – Модель хвоста коровы с закрепленным прототипом (слева) и стенд для проведения исследований (справа)

Модель хвоста животного представляет собой резиновую камеру, расширение которой под давлением воздуха из компрессора происходит в узкой области, на которой закреплен ЭТИП (рисунок 4). Диаметр камеры соответствует усредненному диаметру хвоста взрослого животного. Имитация тонуса мышц корня хвоста производится изменением давления воздуха в камере, что приводит к изменению диаметра камеры и реакции ТЧЭ.

*Методика исследований ЭТС при измерении мышечного напряжения на руке человека.* Целью исследований является получение динамической характеристики явлений напряжения и расслабления мышц, характеризующихся соответствующими неизменными формами сигнала, получаемого с ТЧЭ, что позволит сделать вывод о возможности детектирования мышечного напряжения хвоста животного.

ТЧЭ закрепляется на руке человека, имитирующей мышечные сокращения корня хвоста животного.

*Методика исследований ЭТС при измерении мышечного напряжения на хвосте животного.* Целью исследований является проверка работоспособности разработанных ЭТИП и математической модели детектирования явлений, происходящих с хвостом животного, и получение базового материала для построения математической модели (алгоритма) детектирования явления родов у коровы.

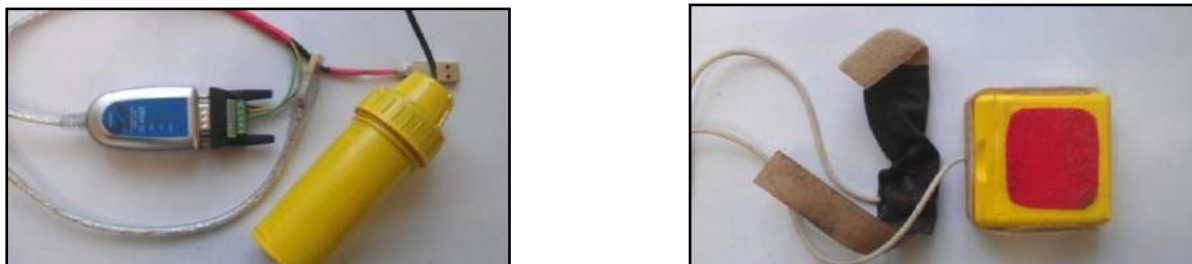
При проведении эксперимента осуществляется видеозапись, синхронизированная с сигналом ТЧЭ. С помощью специального приспособления на хвосте исследуемого животного прикрепляется ЭТИП с питанием от аккумуляторной батареи, регистрирующий мышечное напряжение корня хвоста в реальном масштабе времени и передающий актуальные данные в ПЭВМ.

*Методика исследований ЭТС при родах животного.* Целью исследований является проверка работоспособности ЭТИП и алгоритма детектирования явления родов у коровы.

Автономно работающий ЭТИП закреплялся на готовящемся к родам животном с помощью специального приспособления за пять дней до предполагаемого отела. При проведении эксперимента осуществлялась видеозапись и регистрация сигнала ТЧЭ с передачей данных на ПЭВМ с разработанным ПО.

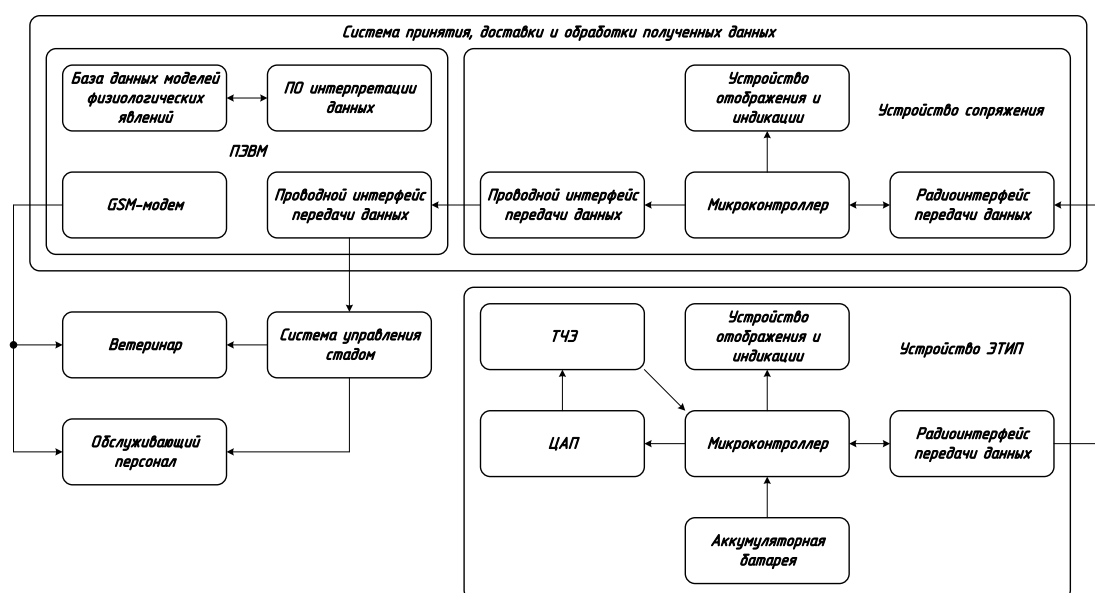
**Четвертая глава.** «Электротехнические средства для мониторинга начала отела у коров».

ЭТС обеспечивает автоматический дистанционный контроль за животным и оповещение персонала в режиме реального времени о следующих событиях: 1 – начало родов у коров, для оказания своевременной помощи; 2 – проявления диспепсии новорожденных телят, вызываемые проблемами пищеварительной системы в адаптационный период; 3 – нарушения дефекации и уринации, вызываемые переходом с одного типа кормления на другой или низким качеством кормов, а также проявлением стрессов, например, при приучении коров к доению.



**Рисунок 5** – ЭТС для мониторинга начала родов у коров. Слева – устройство сопряжения с ПЭВМ. Справа – измерительный преобразователь

ЭТС включает: ЭТИП, устройство сопряжения, ПЭВМ с разработанным специализированным программным обеспечением для интерпретации полученных данных. Измерительный преобразователь состоит из следующих модулей: ТЧЭ, микроконтроллера (МК), интерфейса передачи данных. ЭТС интегрирована с системами сотовой связи.



**Рисунок 6** – Структура электротехнических средств для мониторинга начала отела у коров

ЭТИП закрепляется на животном. Он осуществляет регистрацию физиологических явлений, происходящих с животным, и преобразование этих явлений в форму, удобную для дальнейшей обработки ЭТС. Он соединяется с устройством сопряжения с помощью радиоинтерфейса передачи данных. Питается от аккумуляторной батареи. Предусмотрено, что конструктивно в ЭТИП могут монтироваться различные первичные преобразователи данных. Например, это могут быть: МЭМС–модуль акселерометра, магнитометра, гироскопа, измерительный преобразователь температуры, влажности и др.

ПЭВМ с разработанным специализированным ПО является центром обработки информации, полученной с ЭТИП. СПО подключено к базе данных моделей физиологических явлений, являющейся неотъемлемой его частью.

К ПЭВМ подключается стандартный GSM–модем, с помощью которого СПО дистанционно оповещает обслуживающий персонал о наступлении события через

SMS–сообщение. В сообщении передаются следующие параметры: 1 – наименование события; 2 – идентификационный номер животного; 3 – время события. Подключение модема к ПЭВМ осуществляется по стандартному последовательному порту. Управление модемом и передача данных ведется с использованием стандартных команд AT. Благодаря дистанционному мониторингу начала родов в режиме реального времени, обслуживающий персонал, получив соответствующее SMS–сообщение, может немедленно подойти к животному и оказать квалифицированную помощь.

Комплект ЭТС рассчитан на шесть животных, одновременно находящихся в состоянии ожидания родов и включает шесть ЭТИП мышечного напряжения корня хвоста, устройство сопряжения, ПЭВМ и специальное программное обеспечение для интерпретации полученных данных.

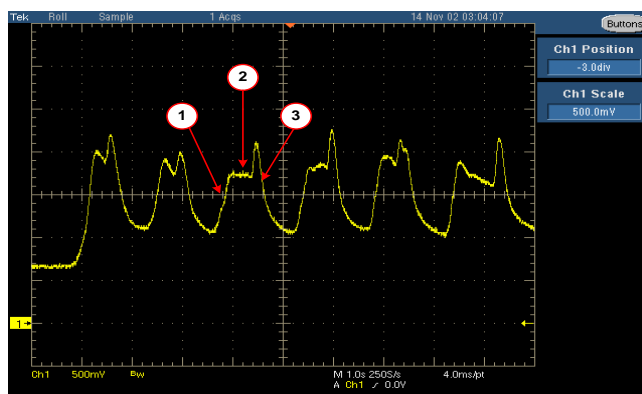
Проведены расчеты, показавшие высокую надежность ЭТС при среднем времени наработки на отказ, составляющем 1476470 час.

**Пятая глава.** «Результаты экспериментальных исследований».

*Результаты исследований ЭТС на модели хвоста животного.* Из проведенных экспериментальных исследований на модели хвоста животного следует, что чувствительность исследованного ТЧЭ составляет:  $k_q = 67 \text{ \%}/(\text{н}/\text{м}^2)$ .

Эксперименты на модели хвоста животного позволили определить статическую характеристику ТЧЭ при радиальном воздействии силы растяжения и установить рабочий диапазон ТЧЭ.

*Результаты исследований ЭТС при измерении мышечного напряжения на руке человека.* На рисунке 7 приведена реакция ТЧЭ на серию воздействий напряжения и расслабления мышц.



**Рисунок 7** – Реакция ТЧЭ на серию воздействий напряжения и расслабления мышц

Как видно из представленной зависимости, форма реакций на воздействия подобны, а различия заключаются в крутизне и амплитуде фронта. Значение фронта (1) (размах от "подошвы", предшествующий моменту напряжения мышц, до "пика", связанного с окончанием процесса напряжения мышц) пропорционально напряжению мышц. "Полка сигнала" (2) отражает значение напряжения мышц. При расслаблении мышц после всплеска, возникающего в момент расслабления, происходит спад сигнала с одинаковой крутизной (3). Это говорит об одинаковом (полном) расслаблении мышц в каждом акте серии. Из полученных результатов следует: явления напряжения и расслабления мышц характеризуются соответ-



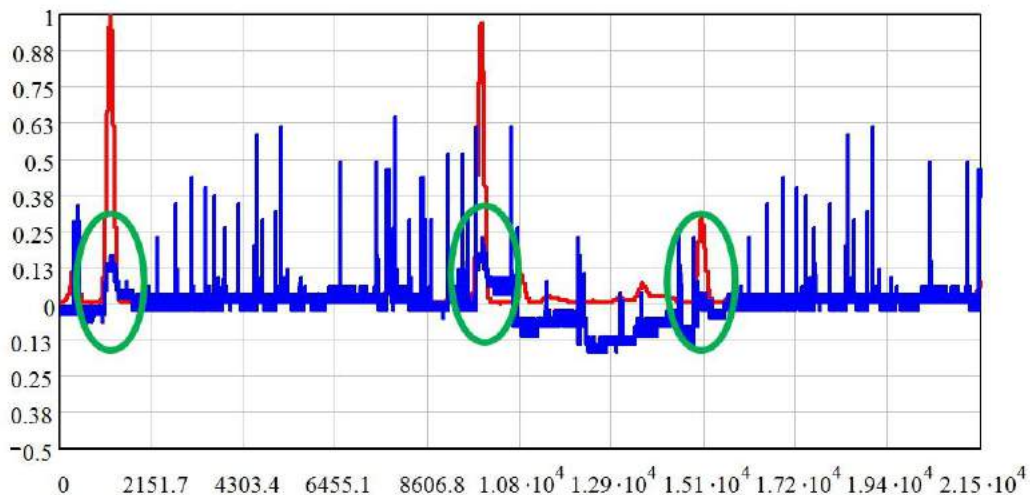
вующими неизменными формами сигнала, получаемого с ТЧЭ, что позволяет сделать вывод о возможности детектирования мышечного напряжения хвоста животного и, как результат, – явлений, происходящих с хвостом животного.

*Результаты исследований ЭТС при измерении мышечного напряжения на хвосте животного.* ЭТИП эксплуатировали в режиме измерения проводимости ТЧЭ с частотой 16 Гц. Фиксировались явления дефекации и уринации. Сопоставление видеозаписи и данных, полученных с ЭТИП, показало полную адекватность фиксируемых явлений.

Анализ пиков, провалов, углов наклона графика, построенного на основании полученных экспериментальных данных, представленных в виде временной зависимости, позволяет однозначно, с несущественной задержкой, вызванной временем реакции оборудования и математической обработкой данных, определить время начала и окончания процесса дефекации и уринации.

На рисунке 8 представлена временная диаграмма с зафиксированными явлениями. Неоднородность среднего значения в центре обусловлена соскальзыванием ЭТИП с корня хвоста до момента его повторной фиксации.

Хорошо видно, что разработанный ЭТИП и математическая модель обработки сигнала надежно и своевременно детектируют явление дефекации и уринации, а явления, не представляющие интерес (корова размахивает хвостом, отгоняет насекомых и т.п.), – игнорирует.



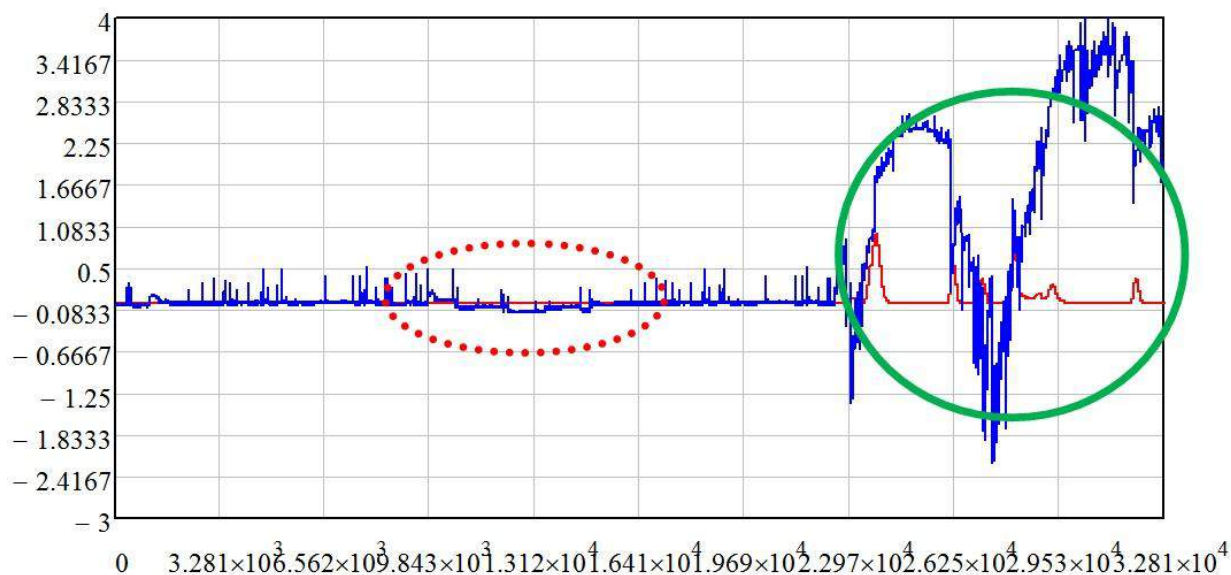
**Рисунок 8** – Временная диаграмма с зафиксированными процессами дефекации и уринации (выделено зеленым). Слева направо: два явления дефекации, явление уринации. Синяя временная диаграмма – поток данных, поступающих на вход математической модели автоматического обнаружения явлений, происходящих с хвостом животного. Красная временная диаграмма – поток данных на выходе СЦФ. По оси абсцисс отложены номера выборок, по оси ординат отложены значения данных, нормированные на максимальное значение

*Результаты исследований ЭТС при родах животного.* ЭТИП эксплуатировали в том же режиме, что и при измерении мышечного напряжения на хвосте животного. Анализ пиков, провалов, углов наклона графика, построенного на основании полученных экспериментальных данных и представленных в виде времен-



ной зависимости, позволяет однозначно определить время начала и окончания схваток животного во время отела.

На рисунке 9 представлена временная диаграмма с зафиксированными явлениями. Видно, что явление начала родов четко различимо на временной диаграмме (временной масштаб изменен). В поток данных о начале родов искусственно внедрены данные с рисунка 8 с явлением дефекации и уринации (красная пунктирная линия), чтобы наглядно продемонстрировать работу СЦФ, настроенного на определение начала родов.



**Рисунок 9** – Временная диаграмма с зафиксированными явлениями начала родов (выделено зеленым). Синяя временная диаграмма – поток данных поступающих на вход математической модели автоматического обнаружения явлений происходящих с хвостом животного. Красная временная диаграмма – поток данных на выходе СЦФ. По оси абсцисс отложены номера выборок, по оси ординат отложены значения данных, нормированные на максимальное значение

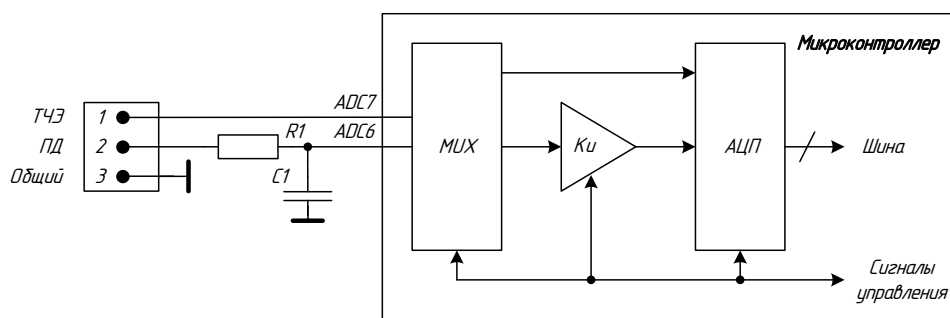
Хорошо видно, что ЭТИП, созданный на основе разработанной математической модели надежно и своевременно детектирует явления родов, а явления, не представляющие интерес (дефекации, уринация, размахивание хвостом и т.п.), – игнорирует.

Нами были разработаны и испытаны три типа ЭТИП напряжения мышц корня хвоста животного, использующие разные физические принципы работы. Все ЭТИП показали идентичные результаты работы, но измерительный преобразователь, в основе которого лежит измерение изменения электрического сопротивления наполнителя зарекомендовал себя наилучшим образом (массогабаритные показатели, простота в изготовлении, невысокая стоимость).

**В шестой главе** «Достоверность детектирования родовых схваток и аппаратная надежность электротехнических средств мониторинга отела у коров».

При мониторинге начала отела возможны два класса ошибок: 1 – «обнаружение» родовых схваток тогда, когда родовых схваток не было; 2 – необнаружение родовых схваток тогда, когда родовые схватки были.

Достоверность детектирования родовых схваток сводится к надежной интерпретации сигналов, поступающих с ЭТИП. Для этого предложено подключение дополнительного опорного ЭТИП родовых схваток, функционирующего по иному принципу, чем базовый. В качестве опорного сигнала и, соответственно, опорного ЭТИП используется электрический потенциал действия (ПД), вызывающий сокращение мышц. Опорный ЭТИП представляет собой электромиограф, подключенный через встроенный в микроконтроллер аналоговый мультиплексор ко входу АЦП микроконтроллера, расположенный на теле животного (рисунок 10). Вход ОУ представляет собой фильтр верхних частот первого порядка, состоящий из конденсатора С1 (2,2 нФ) и резистора R1 (180 кОм). Частота среза входного фильтра высокой частоты (ФВЧ) близка к 400 Гц. Фильтр необходим для подавления постоянной составляющей сигнала, вызванной электрогальваническими явлениями на границе раздела электрод–кожа животного, а также подавления помехи тока промышленной частоты 50 Гц в 8 раз. Верхняя граница спектра сигнала ПД простирается до 1000–10000 Гц, поэтому фронт сигнала ПД проходит через ФВЧ практически без подавления. Далее отфильтрованный сигнал ПД поступает на вход усилителя с коэффициентом усиления  $K_u=200$ . С выхода усилителя сигнал поступает на вход АЦП.



**Рисунок 10** – Схема электрическая структурная канала опорного сигнала

Исходя из эмпирически полученных значений сигналов родового акта и помех установлено, что вероятность возникновения ошибки первого класса составит  $10^{-5}$ . То есть персонал будет ложно оповещен о наличии родовых схваток один раз на 100000 случаев, что, в случае нахождения в родильном отделении 100 голов, составит не чаще, чем один раз в год. Ошибка второго класса, которая приводит к более негативным последствиям вплоть до гибели коровы и теленка, будет значительно меньше, так как родовые схватки возникают не один раз, и если в первый раз детектирование родовых схваток ошибочно не произойдет с вероятностью  $10^{-5}$ , то во второй раз произойдет с вероятностью  $1-10^{-5}$ . Таким образом, вероятность пропуска серии из двух родовых схваток составит  $10^{-5} \cdot 10^{-5} = 10^{-10}$ . Поскольку родовые схватки происходят не один и не два раза, а значительно больше, то пропуск родового акта системой практически невозможен.

Радикальное увеличение аппаратной надежности элементов системы достигается путем мониторинга работы элементов системы в реальном масштабе времени и периодическом информировании о текущей работоспособности системы. Таким образом, организация работы системы по известным алгоритмам может

обеспечить сколь угодно высокую защиту от сбоя функционирования аппаратных средств.

**В седьмой главе** «Экономическая эффективность применения ЭТС для мониторинга начала отела у коров» определены факторы экономической эффективности применения электротехнической системы для своевременного оповещения о начале родов у коров, рассчитана стоимость ЭТС и затраты на его обслуживание, а так же произведен расчет показателей экономической эффективности применения электротехнической системы для своевременного оповещения о начале родов у коров.

Установлено, что при внедрении разработанного ЭТС на молочной ферме на 100 голов дойного стада коммерческий эффект составит 298951,79 руб. При этом прирост прибыли составит более 6%.

Срок окупаемости капиталовложений составит 85 дней, рассчитанный коэффициент экономической эффективности во много раз превышает нормативное значение, что означает – внедрение ЭТС экономически целесообразно.

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

1. Разработан миографический метод мониторинга начала отела у коров, основанный на регистрации напряжения мышц корня хвоста, сопровождающего схватки и потуги животного, электротехническими средствами, обеспечивающий оповещение персонала о начале родовых схваток в режиме реального времени для своевременного родовспоможения, а также, дополнительно, контроль уринации, дефекации и отпугивания насекомых.

2. Разработана математическая модель измерительного преобразователя напряжения мышц корня хвоста животного в электрический сигнал, позволяющая реализовать измерительный преобразователь пригодный для взаимодействия с современными высокоточными АЦП (от 10 до 24 разрядов).

3. Разработан алгоритм обработки сигналов от измерительного преобразователя напряжения мышц корня хвоста животного для мониторинга начала отела у коров, позволяющий за пять шагов идентифицировать явления, происходящие с животным. Это достигается путем обработки низкочастотной, высокочастотной составляющих сигнала и усилением полезной составляющей, а так же с использованием критерия  $\chi$ -квадрат для сравнения гистограмм текущего состояния хвоста животного с гистограммами эталонных явлений. Для достоверного мониторинга предусмотрен синхронный анализ сигналов, поступающих от измерительного преобразователя электрического потенциала действия мышц.

4. Разработан электротехнический преобразователь напряжения мышц корня хвоста животного, принцип работы которого основан на измерении электропроводности рабочего тела, представляющего собой электролит – 10% раствор NaCl в воде, помещенного в гиппоалергенную оболочку, обеспечивающий надежное регистрируемое изменение электропроводности в диапазоне 450-520 мкСм, пропорциональное площади сечения корня хвоста в плоскости, охватываемой преобразователем.

5. Разработан, изготовлен и прошел производственную проверку комплекс электротехнических и программных средств для мониторинга начала отела у коров с дистанционной передачей данных персоналу фермы в режиме реального времени в составе: измерительный преобразователь напряжения мышц корня хвоста, измерительный преобразователь потенциала действия, устройство сопряжения с ПЭВМ, СПО для интерпретации полученных данных.

6. Проведены расчеты, показавшие высокую надежность разработанных ЭТС при среднем времени наработки на отказ, составляющем 1476470 час. Оригинальность технических и программных средств подтверждена патентом РФ на полезную модель № 134782 и свидетельством о регистрации программы для ЭВМ № 2016616713.

7. Оценка экономической эффективности применения комплекта электротехнических средств для мониторинга начала родов у коров показывает, что ожидаемый прирост прибыли молочной фермы на 100 голов дойного стада составляет более 6% при сроке окупаемости капиталовложений 85 дней, что обусловлено невысокой стоимостью ЭТС по отношению к стоимости возможных материальных потерь.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:**

1. Сидоренко, М.С. Дистанционный мониторинг функциональной деятельности органов промежности коровы / Ю.Г. Иванов, В.А. Голубятников, М.С. Сидоренко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 4. – С. 16 – 19.

2. Сидоренко, М.С. Системы дистанционного контроля сигналов коров / Ю.Г. Иванов, Г.П. Дюльгер, М.С. Сидоренко // Зоотехния. – 2014. – № 12. – С. 6 – 7.

3. Сидоренко, М.С. Исследование микропроцессорной системы контроля функциональной деятельности органов промежности коровы / Ю.Г. Иванов, Г.П. Дюльгер, М.С. Сидоренко // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – № 6. – С. 11 – 13.

4. Сидоренко, М.С. Исследования микропроцессорной системы дистанционного мониторинга сигналов коров / Ю.Г. Иванов, В.А. Голубятников, М.С. Сидоренко // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина. – 2015. – № 2 (66). – С. 7 – 14.

5. Сидоренко, М.С. Дистанционный контроль сигналов коров / Ю.Г. Иванов, В.А. Голубятников, М.С. Сидоренко // Сельский механизатор. – 2015. – № 10. – С. 26 – 27.

### **Патенты и свидетельства:**

6. Пат. 134782 Российская Федерация, МПК А61D 17/00. Система определения на начала отела / Иванов Ю.Г., Голубятников В.А., Дюльгер Г.П., Сидоренко М.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. – № 2013125623/13 заявл. 04.06.2013; опубл. 27.11.2013, Бюл. № 33

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616713 от 19 июня 2015 г. Драйвер микросхемы радиointерфейса nRF24L01 для микроконтроллеров с ядром AVR / Иванов Ю.Г., Дюльгер Г.П., Голубятников В.А., Сидоренко М.С.

**В других изданиях:**

8. Сидоренко, М.С. Первичные электронно–технические средства для определения родового акта коровы / Ю.Г. Иванов, В.А. Голубятников, М.С. Сидоренко // Материалы Всероссийской конференции студентов, аспирантов и ученых с международным участием 13 декабря 2012г. «Основные направления развития техники и технологии в АПК, легкой и пищевой промышленности», г. Княгинино, НГИЭИ. – 2013. – С. 188 – 193.

9. Сидоренко, М.С. Радиотехнические системы мониторинга животных на молочной ферме / Ю.Г. Иванов, Г.П. Дюльгер, М.С. Сидоренко // Материалы Международной научно–практической конференции, посвященной 85–летию академика К.У. Медеубекова «Зоотехническая наука Казахстана: прошлое, настоящее, будущее», г. Алматы. – 2014. – С. 295 – 300.

10. Сидоренко, М.С. Микропроцессорная система контроля функциональной деятельности органов промежности коровы / Ю.Г. Иванов, Г.П. Дюльгер, В.А. Голубятников, М.С. Сидоренко // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – № 3 (16). – С. 60 – 63.

11. Сидоренко, М.С. Структура технических и программных средств дистанционного контроля сигналов коров / Ю.Г. Иванов, В.А. Голубятников, М.С. Сидоренко // Вестник ВНИИМЖ. – 2015. – № 3 (19). – С. 109 – 112.