

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**



**САМИНІНА МАРИНА ГЕННАДІЇВНА**

УДК 681.2.08:53.083.62:53.082.6

**МЕТОД ТА ПРИСТРІЙ ДИФЕРЕНЦІЙНОЇ ТЕРМОМЕТРІЇ**  
**ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ РЕПРОДУКТИВНОЇ ФУНКЦІЇ**  
**САМИЦЬ ССАВЦІВ**

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі біотехнології репродукції сільськогосподарських тварин Інституту тваринництва Національної академії аграрних наук України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Шигимага Віктор Олександрович,**  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства ім. П. Василенка,  
доцент кафедри технічних систем і технологій тваринництва

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Злепко Сергій Макарович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
завідувач кафедри проектування медико-біологічної апаратури

кандидат технічних наук, професор  
**Мустецов Микола Петрович,**  
Харківський національний університет  
ім. В.Н. Каразіна,  
професор кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій

Захист відбудеться 29 серпня 2016 р. о 14<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.17 у Лабораторії біомедичної електроніки Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Пушкінська, 79/1.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий 02 липня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Р.С. Томашевський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Активний розвиток сектору допоміжних репродуктивних технологій у сфері біомедицини в даний час сприяє науковій роботі з удосконалення пристроїв та методик, заснованих на контактних вимірюваннях температури тіла самиць для дослідження статевої функції.

Найбільш поширений метод термометрії, що заснований на визначенні базальної температури, використовується у сфері репродуктивної фізіології людини, щоб сприяти або перешкоджати вагітності без застосування фармацевтичних препаратів. Подібний підхід був апробований науковцями у дослідженнях, що пов'язані з вірогідним визначенням статевого статусу у тварин, які найчастіше виступають в якості модельного об'єкту дослідження людини. Результати використання термометрії вказують на перспективність її застосування у діагностиці репродуктивної функції у статевозрілих самиць великої рогатої худоби, а також на доцільність удосконалення або розробки нових пристроїв для тривалого спостереження. Це обумовлено тим, що термометричні методи мають можливість автоматизації передачі та збереження інформації, особливо у випадках, коли необхідно проводити цілодобовий моніторинг біооб'єкту.

Зважаючи на обмежений характер застосування термометричних методів діагностики статевої функції самиць ссавців, термометрія потребує подальшого удосконалення. При цьому, по-перше, для підвищення вірогідності діагностування за температурними показниками доцільно враховувати, що нормальна температура тіла теплокровних тварин знаходиться в межах діапазону одного-двох градусів, а добові ритми та зміни температури тіла під впливом сторонніх чинників мають діапазон порядку одного градуса і маскують ритмічність температури тіла самиць, яка пов'язана зі статевими циклами. По-друге, доцільним є уточнення функціонального зв'язку між розподілом внутрішніх температур у репродуктивних органах та зміною фаз статевого циклу. По-третє, існуючі методики опрацювання отриманих даних для оцінки змін температури в недостатньому ступені нівелюють впливи добових ритмів та температури навколишнього середовища.

Таким чином, розробка методу і пристрою на основі диференційної термометрії для підвищення вірогідності діагностики репродуктивної сфери самиць ссавців є актуальною науково-практичною задачею для біомедичного приладобудування, що визначило напрям досліджень дисертаційної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відділі біотехнології репродукції сільськогосподарських тварин Інституту тваринництва в межах держбюджетних НДР НААН України: «Обґрунтувати та розробити альтернативну концепцію реконструювання ембріонів і напрямки молекулярно-генетичних досліджень для застосування у відтворенні сільськогосподарських тварин» (ДР № 0107U011259); «Розробити і оптимізувати системи клонування, химеризації, гібридизації та біофізичної оцінки якості ооцитів, ембріонів та репродуктивної функції самиць» (ДР № 0111U003445), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів дослі-

джені.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертації є підвищення вірогідності діагностування репродуктивної функції самиць ссавців за температурним показником шляхом розробки методу та технічного засобу диференційної термометрії.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- провести аналіз існуючих технічних пристроїв і методів діагностики стану репродуктивної сфери самиць ссавців за температурними показниками;
- розробити фізико-математичні моделі розподілу температур у статевих шляхах самиць ссавців;
- теоретично обґрунтувати застосування диференційної термометрії на основі електрофізичної моделі формування температурного градієнта у статевих шляхах самиць ссавців;
- розробити метод на основі диференційної термометрії для діагностики фаз статевого циклу та овуляції у самиць ссавців;
- спроектувати автоматизований взірець пристрою для дистанційного діагностування репродуктивної функції самиць ссавців;
- провести експериментальні дослідження відповідності діагностичного температурного показника до об'єктивного стану репродуктивної сфери самиць.

*Об'єкт дослідження* – процес отримання та опрацювання діагностичної інформації за допомогою термометричної апаратури.

*Предмет дослідження* – термометричні методи та засоби з підвищеною вірогідністю діагностики стану репродуктивної сфери самиць ссавців.

**Методи дослідження.** У роботі використані теоретичні і експериментальні методи: теоретичні основи та математичний апарат теорії теплопровідності, теорія диференціальних рівнянь – при аналітичних дослідженнях закономірностей розподілу температури у статевих шляхах самиць ссавців; методи моделювання теплових процесів із використанням положень теорії нерівноважної термодинаміки на основі лінійного співвідношення взаємності Онзагера – при розробці електрофізичної моделі формування температурного градієнта у статевих шляхах; біологічні – при прийнятті рішень стосовно діагнозу об'єктивного стану репродуктивної сфери; принципи й методи проектування радіоелектронної апаратури і метрологічної атестації засобів нестандартної виміральної техніки – при розробці термометричного пристрою; методи математичної статистики для опрацювання результатів експериментальних досліджень.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- вперше розроблено метод визначення фаз статевого циклу та овуляції у самиць ссавців на основі диференційної термометрії з використанням теоретично визначеного рівня різності температур у піхві як порогового критерію, що дало змогу підвищити достовірність діагностики репродуктивної функції.
- отримало подальший розвиток фізико-математичне моделювання теплових процесів у біооб'єкті на основі використання стаціонарного розподілу температури всередині трубки, прийнятої як модель статевих шляхів самиць ссавців, що дало можливість обґрунтувати теоретичні основи методу визначення

фази статевого циклу й овуляції за цим показником та основні технічні параметри для термометричної апаратури.

– вперше на основі розробленої електрофізичної моделі формування температурного градієнта у статевих шляхах самиць ссавців, яка базується на електричній аналогії теплопровідності та імітації механізмів регулювання температури, дано пояснення зниження різності температур у піхві при зміні лютеальної фази на фолікулярну фазу статевого циклу, що дало змогу обґрунтувати застосування диференційної термометрії для діагностики репродуктивної сфери.

**Практичне значення отриманих результатів** для галузі біотехнології репродукції полягає у підвищенні вірогідності діагностування репродуктивної функції самиць ссавців шляхом розробки перспективного методу і пристрою для визначення фази статевого циклу та овуляції за різністю температур у статевих шляхах.

Розроблений пристрій з підвищеною чутливістю вимірювання різності температур (пат. України № 37243) забезпечив роздільну здатність, необхідну точність узгодження з біооб'єктом та дав змогу провести діагностику репродуктивної сфери самиць ссавців, що, зокрема, сприяло підвищенню ефективності запліднення корів на 22,0 % (акт впровадження).

Метод діагностування фази статевого циклу (пат. України № 49631) та наявності овуляції у самиць ссавців за температурним показником використано при проведенні науково-дослідних робіт в ДП «ДГ «Кутузівка» (смт. Кутузівка, Харківська обл.) та СВК «Україна» (м. Зміїв, Харківська обл.).

Удосконалений термометричний датчик у складі портативного пристрою використано в Інституті проблем кріобіології і кріомедицини НАН України (м. Харків) для підвищення вірогідності діагностики прихованих порушень репродуктивної функції, які впливають на кінцеву збереженість кріоконсервованих ембріонів ссавців (акт впровадження).

Теоретичні та практичні результати моделювання теплових полів у статевих шляхах самиць ссавців використані при проведенні науково-дослідних робіт та в навчальному процесі кафедри кібернетики ХНТУСГ ім. П. Василенка (м. Харків, акт впровадження).

**Особистий внесок здобувача.** Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: фізико-математичне моделювання розподілу температур та розробка електрофізичної моделі формування температурного градієнта у статевих шляхах самиць ссавців, розробка методик досліджень, участь у проведенні експериментів, аналіз і узагальнення результатів, розробка портативного пристрою з підвищеною чутливістю вимірювання різності температур та методики його метрологічної атестації, проектування автоматизованого взірця пристрою для дистанційного діагностування репродуктивної функції самиць ссавців та розробка алгоритму роботи мікроконтролера вимірювальної частини і алгоритму програми для обробки даних, що надходять до комп'ютера.

**Апробація результатів дисертації.** Результати та наукові положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на: Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасної біології, тваринництва

та ветеринарної медицини» (Львів, 2010), Міжнародній науково-практичній конференції «Наукомісткі технології у сучасному тваринництві» (Харків, 2013), XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке» (Москва, 2015), II Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (Харків, 2015). Основні положення дисертації доповідались й обговорювались на засіданнях вченої ради та координаційних нарадах Інституту тваринництва НААН (2007-2015 рр.), на засіданнях відділу біотехнології репродукції сільськогосподарських тварин Інституту тваринництва НААН (2007-2015 рр.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації відображено у 13 наукових публікаціях, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України (4 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 1 – у закордонному періодичному фаховому виданні, 2 патенти України, 1 – у матеріалах конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 165 сторінок, з них 45 рисунків по тексту; 9 таблиць по тексту; список використаних джерел з 158 найменувань на 17 сторінках, 12 додатків на 26 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено зв'язок роботи з темами, програмами та планами НДР, сформульовано мету та задачі наукового дослідження, визначено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів дослідження за темою.

У **першому розділі** проведений аналіз термометрії у ссавців та технічного устаткування, надано аналіз причин, які обмежують застосування термометричних методів для діагностування репродуктивної сфери самиць, виконано аналітичний огляд джерел науково-технічної літератури за основним напрямом, що стосується теми дисертації.

Надано загальне значення температури як діагностичного показника фізіологічного стану організму та відзначено надзвичайно складний характер її змін. У зв'язку з активним розвитком сектору допоміжних репродуктивних технологій у сфері біомедицини відпрацювання біотехнологічних методів потребує достовірного визначення змін у статевій сфері самиць тварин, які виступають як модельний об'єкт дослідження. Тому термометричні методи мають певний інтерес, оскільки визначення базальної температури тіла є одним з основних тестів функційної діагностики роботи статевої та ендокринної систем у репродуктивній фізіології людини за правилами, встановленими Всесвітньою організацією охорони здоров'я.

Проведений аналіз свідчить, що в загальному випадку виділяються наступні класи термометричних засобів, які застосовуються для досліджень температури тіла ссавців: ртутні термометри, інфрачервоні термометри, рідиннокрис-

талічні плівкові термоіндикатори, портативні цифрові термометри та імплантовані датчики температури з використанням у якості первинних перетворювачів температури термісторів або термопар. Проте, сучасні тенденції розвитку термометричної апаратури спрямовані на застосування цифрових технологій і значним прогресом є використання дистанційних автоматизованих технологій.

Відзначено, що існуючі методи та апаратура для контролю температури біооб'єкта спрямовані на визначення абсолютної температури. Зміни цього параметра, які пов'язані зі статевими циклами, мають індивідуальну варіабельність та співставні зі змінами, викликаними іншими чинниками. Для наявних алгоритмів опрацювання результатів вимірювань доцільно враховувати фази статевого циклу та підвищувати точність діагностування репродуктивної сфери.

Оскільки терморегуляція в організмі ссавців здійснюється шляхом регулювання зовнішніх та внутрішніх температур, а істотним для інтерпретації результатів дослідів є локалізація, в якій проводиться вимірювання, доцільно визначити питання формування внутрішніх теплових полів у статевих шляхах оцінити можливість застосування диференційної термометрії для підвищення ефективності визначення явищ статевих циклів.

У другому розділі представлено результати фізико-математичного моделювання теплових полів у статевих шляхах самиць ссавців при зміні фаз статевого циклу, що дало змогу визначити основні технічні параметри термометричної апаратури та теоретично обґрунтувати використання диференційної термометрії для розробки методу діагностики статевої функції.

Для порожнистої трубки, яку прийнято як фізичну модель порожнини піхви, з температурами  $T_1$  та  $T_2$  на кінцях трубки, використано математичний апарат теорії теплопровідності шляхом представлення закону Фур'є у вигляді, який застосовується для опису низькочастотних процесів, а саме

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (1)$$

де  $\rho$  – щільність середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $c_v$  – питома теплоємність, Дж/(кг·К);  $k$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);  $x$  – відстань уздовж осі трубки, м.

На основі (1) побудовано рівняння (Сивухін, 1990) для стаціонарного розподілу температур  $T(x)$  уздовж трубки

$$\frac{d}{dx} \left( k \frac{dT}{dx} \right) = 0. \quad (2)$$

Визначено три варіанти рішення рівняння (2).

*Модель № 1. Стаціонарний розподіл температури всередині однорідної трубки ( $k = const$ ).* Ця гіпотеза є основною для спрощеного розрахунку розподілу температури, коли залежність теплопровідності від температури незначна й приймається припущення, що середовище умовно однорідне, за формулою (Сивухін, 1990), яку пропонується використати для аналізу закономірностей розподілу температури у статевих шляхах самиць ссавців

$$T(x) = \frac{T_2 - T_1}{l} x + T_1. \quad (3)$$

*Модель № 2. Стаціонарний розподіл температури всередині однорідної трубки з урахуванням зовнішньої теплопередачі.* Оскільки середовище всередині порожнистої трубки відмінне за теплопровідністю від оточуючих її м'яких тканин, то завдяки процесам теплообміну виникає тепловий потік через межу тіл, обумовлений перепадом температури на цій межі. З урахуванням додаткового теплового потоку через бокову поверхню трубки залежність температури має вигляд

$$T(x) = \frac{2T_1 \text{sh}(\beta(l-x)) + 2T_2 \text{sh}(\beta x)}{\text{sh}(\beta l)} - \frac{T_2 - T_1}{l} x - T_1, \quad (4)$$

де  $\beta$  – проміжний коефіцієнт, що визначається за формулою

$$\beta = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{\alpha p \rho c_v}{S}}, \quad (5)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $S$ ,  $p$  – площа та периметр поперкового перетину трубки, м<sup>2</sup> та м, відповідно.

*Модель № 3. Стаціонарний розподіл температури всередині неоднорідної трубки.* У випадку, якщо середовище всередині трубки неоднорідне з точки зору теплопровідності ( $k = k(x)$ ), яка змінюється з координатою  $x$  за лінійним законом  $a + bx$ , рішення (2) має вигляд

$$T(x) = T_1 + (T_1 - T_2) \frac{\ln \left| \frac{a + bx}{a} \right|}{\ln \left| \frac{a}{a + bl} \right|}. \quad (6)$$

На рис. 1 представлені розподіли температури  $T(x)$  згідно з рівняннями(3), (4) та (6). Для моделі № 2 введено табличні дані щільності, питомої теплоємкості повітря і коефіцієнт теплопередачі між повітрям та гладкою поверхнею. У моделі № 3 коефіцієнти  $a$  та  $b$  підібрані емпірично з урахуванням довідкових даних.

Для оцінки адекватності моделей (3), (4), (6) визначено стаціонарний розподіл температур у статевих шляхах на основі експериментальних досліджень температурних змін у інтактних телиць, взятих як модельний об'єкт. Оцінку інформативності моделей № 1, № 2 та № 3 проведено з використанням нормованого коефіцієнту детермінації, який дорівнював 0,81, 0,92 та 0,98, відповідно. Оскільки ці значення є вищими, ніж 0,5, отже, усі ці моделі є високо інформативними та в різному ступеню відображають досліджувані теплові процеси.

Оцінка вірогідності моделей свідчить, що розраховане значення критерію Фішера при заданому рівні значущості  $\alpha_p=0,01$  та відповідних числах ступенів свободи, що дорівнюють 5, (для моделі № 1:  $F=5,48$ ; для моделі № 2:  $F=5,67$ ; для моделі № 3:  $F=5,77$ ) є меншим, ніж табличне значення  $F_T=10,97$ , тому моделі є вірогідними.

Для характеристики точності кожної моделі визначена середня відносна похибка апроксимації, яка становила для моделей № 1, № 2 та № 3 0,10 %,



0,07 % та 0,03 %, відповідно, що свідчить про хороший рівень точності, але для подальших досліджень використано модель № 3, як найточнішу.

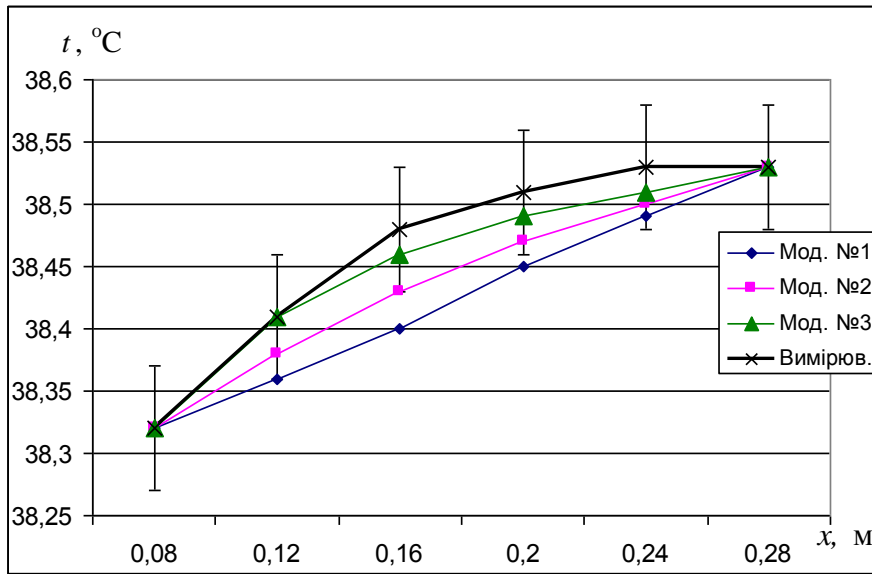


Рисунок 1 – Розподіли температури, отримані шляхом фізико-математичного моделювання та вимірювання ( $M \pm \sigma$ )

На основі моделі (5) визначено (рис. 2), що з підвищенням теплопровідності збільшення теплового потоку може призвести до зниження різниці температур до 0,08 °C на відстанях 12 та 24 см від поверхні тіла. При зниженні теплопровідності різниця температур збільшувалась до 0,13 °C. Використовуючи отримані значення теплопровідності проведено моделювання розподілів температури в лютеальну та фолікулярну фази циклу, що відображає зміни теплових полів.

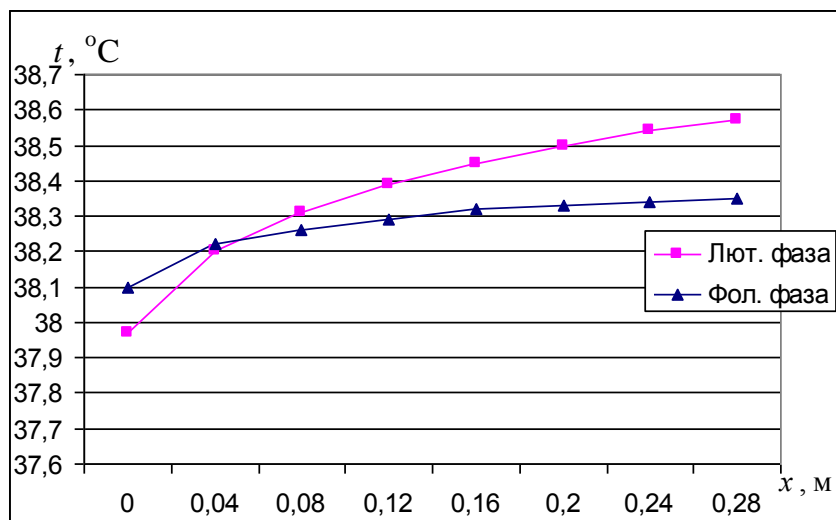


Рисунок 2 – Теоретичні розподіли температур у лютеальну та фолікулярну фази

Висунуто припущення, що подібне регулювання різних частин статевих шляхів можливо пояснити кровопостачанням статевих органів за рахунок різних артерій. Для підтвердження цієї гіпотези застосовано електричну аналогію

теплопровідності на основі використання концепції теорії електричних ланцюгів до аналізу проблем теплопередачі.

Для теплового потоку через порожнину статевих шляхів до поверхні тіла з урахуванням різних живлячих артерій запропоновано еквівалентну електричну схему, яка матиме вигляд, представлений на рис. 3. Тепловий ланцюг системи «кров – статеві шляхи» дозволяє представити шлях теплових потоків від маткової артерії (a. uterina), що характеризується температурою крові  $T_{кр1}$ , та від внутрішньої соромітної артерії (a. pudenda interna), що характеризується температурою крові  $T_{кр2}$ , через термічні опори  $R_{\text{кров-тканини}}$ ,  $R_{\text{півхи}}$ ,  $R_{\text{присінка}}$  і показати вплив  $T_{кр1}$ ,  $T_{кр2}$  та температури вульви  $T_{\text{в}}$  на температури  $T_1'$ ,  $T_2'$ .

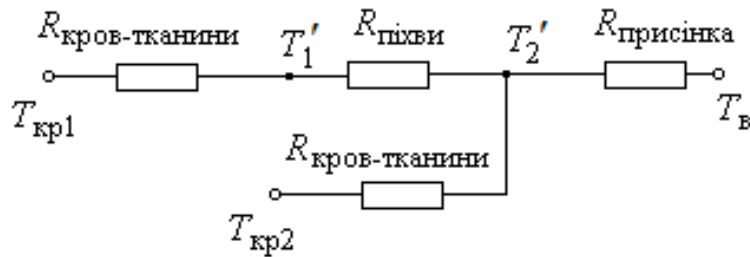


Рисунок 3 – Тепловий ланцюг системи «кров – статеві шляхи»

Біологічні системи характеризуються тим, що практично всі термічні опори, які входять до складу теплового ланцюга, можливо замінити нелінійними, зважаючи на складну форму меж розділів середовищ, неоднорідність репродуктивних тканин, обумовленість судинних реакцій. Тому з урахуванням теплоємностей порожнин у статевих шляхах, тепловий ланцюг пропонується представити у вигляді нелінійної схеми (рис. 4).

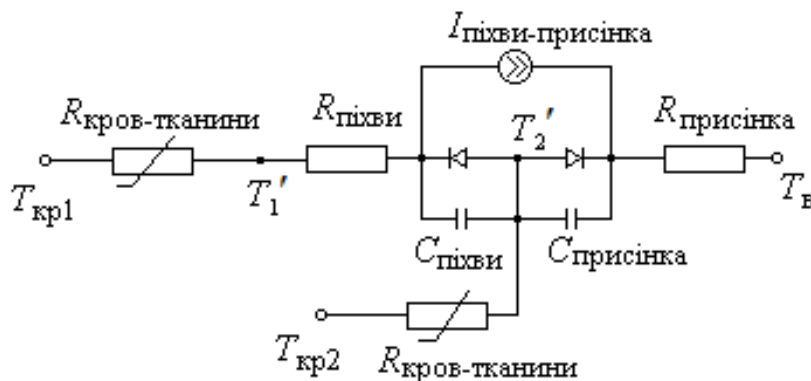


Рисунок 4 – Нелінійний тепловий ланцюг системи «кров – статеві шляхи»

Для імітації механізмів, які визначають температурний градієнт, діодно-ємкісне з'єднання замінено біполярним транзистором, згідно зі спрощеною моделлю Еберса-Молла (рис. 5). Збільшення опору на  $P2$  імітує підвищення температури ближче до поверхні тіла внаслідок підвищення кровообігу в тканинах присінка півхи та вульви у період фолікулярної фази під впливом естрогенів. Збільшення опору на  $P1$  імітує зниження температури ядра тіла внаслідок зниження прогестерону в крові у другу половину лютеальної фази.

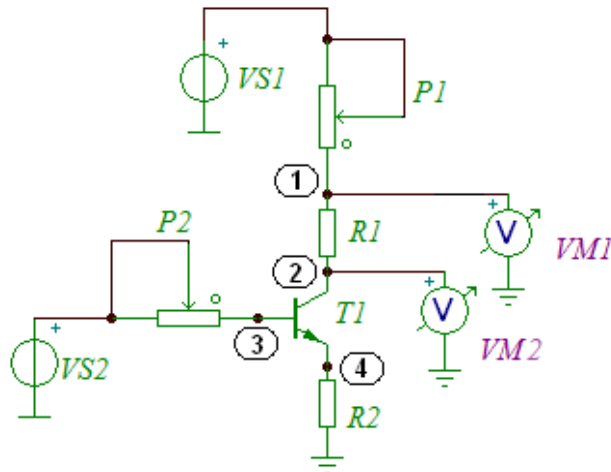


Рисунок 5 – Електрофізична модель формування температурного градієнта у піхві

Аналіз роботи схеми електрофізичної моделі за постійним струмом (рис. 6) свідчить, що при одночасному зменшенні опору на  $P2$  та підвищенні опору на  $P1$  падіння напруги на резисторі  $R1$  зменшується, при цьому спостерігається спочатку зниження потенціалів у точках 1 та 2, а потім їх підвищення, що відповідає динаміці температури тіла при зміні лютеальної фази на фолікулярну. Зокрема в точці 2 підвищення потенціалу починається раніше, що узгоджується з підвищенням температури зовнішніх статевих органів унаслідок підвищення їх кровопостачання з перших діб фолікулярної фази.

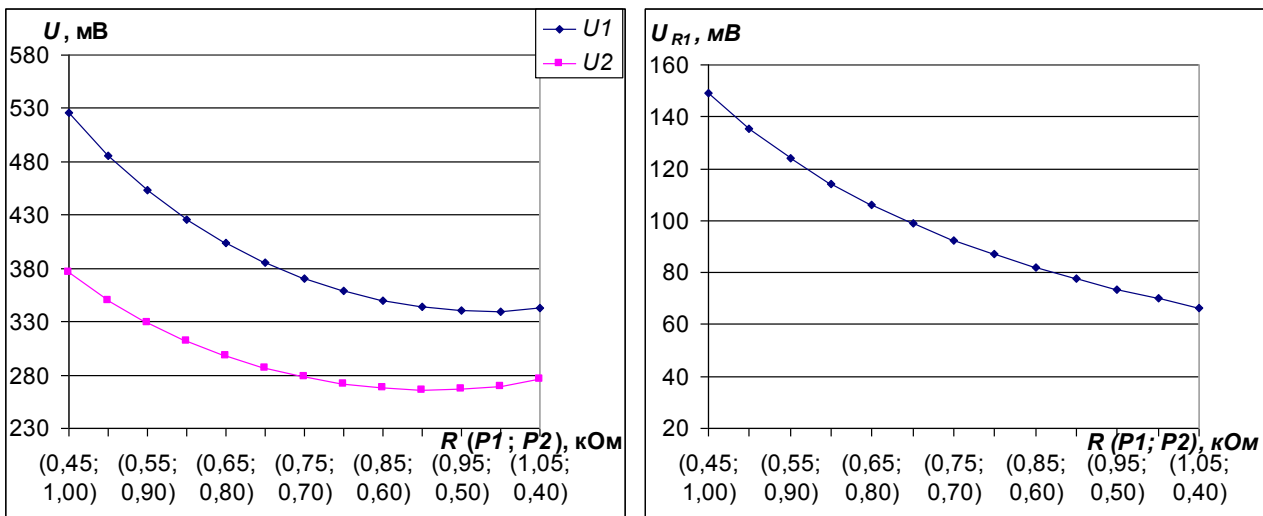


Рисунок 6 – Імітація змін температурного градієнта у порожнині піхви при зміні гормонального фону

У **третьому розділі** наведено результати розробки портативного пристрою, за допомогою якого реалізовано диференційну термометрію при визначенні різності температури у статевих шляхах до сотих часток градуса, аналізу його метрологічних характеристик та результати розробки методу визначення фаз статевого циклу самиць ссавців.

При побудові портативного пристрою за основу взято загальноприйняту схему паралельного підключення напівпровідникового терморезистора та опо-

ру лінеаризації. Для удосконалення первинного перетворювача температури (датчика) досліджено можливість підключення декількох терморезисторів однакового типу для підвищення чутливості та поліпшення роздільної здатності.

Конструктивно портативний пристрій складається з декількох терморезисторів із негативним температурним коефіцієнтом опору (ТКО) одного типу, опору лінеаризації та вимірювального приладу (типу омметра). Опір лінеаризації обчислено за формулою, яка є аналогічною до тієї, що використовується для схеми одного терморезистора

$$R_{л} = R_{TM_{CT}} \frac{B_{CT} - 2T_M}{B_{CT} + 2T_M}, \quad (7)$$

де  $R_{TM_{CT}}$  – опір схеми терморезисторів, що відповідає середньому значенню температури  $T_M$  заданого діапазону від 309 К до 315 К, Ом;  $B_{CT}$  – константа схеми терморезисторів, К. Константу  $B_{CT}$  обчислено за формулою, аналогічною до тієї, що використовується для одного терморезистора

$$B_{CT} = 2,303 \cdot \frac{T_1'' \cdot T_2''}{T_2'' - T_1''} \cdot \ln \left( \frac{R_{CT1}}{R_{CT2}} \right), \quad (8)$$

де  $R_{CT1}$  – опір схеми терморезисторів при температурі  $T_1''$ , Ом;  $R_{CT2}$  – опір схеми терморезисторів при температурі  $T_2''$ , Ом.

Доведено, що підвищення кількості послідовно підключених терморезисторів у вимірювальний ланцюг (рис. 7) призводить не тільки до поліпшення роздільної здатності схеми (рис. 8), але і до зниження розкиду цього параметра у порівнянні з одним термоелементом.

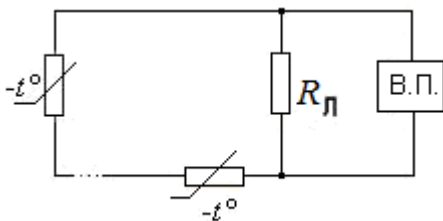


Рисунок 7 – Схема пристрою:  
 $R_{л}$  – опір лінеаризації; В.П. – вимірювальний прилад (омметр)

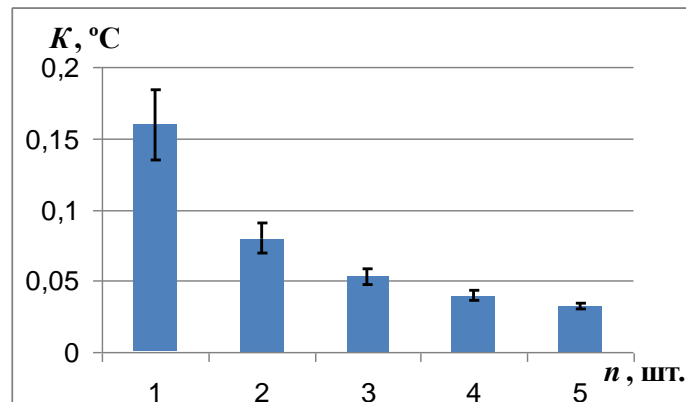


Рисунок 8 – Залежність роздільної здатності схеми лінеаризації терморезисторів від кількості послідовно з'єднаних термоелементів

Враховуючи, що за результатами фізико-математичного моделювання різниця температур становитиме 0,08 °C у період фолікулярної фази, для побудови температурного датчика обрано роздільну здатність у два рази меншу від цієї величини. Тому до складу пристрою входять чотири терморезистори.

Чисельне значення різності температур визначається як результат множення роздільної здатності схеми та різності показань вимірювального прила-

ду. Згідно зі схемою вимірювання проведено теоретичну оцінку метрологічних характеристик пристрою: основної відносної похибки визначення різності температур та її складових – відносної похибки визначення різності опорів, відносного відхилення заданої роздільної здатності схеми та похибки квантування.

Основна відносна похибка визначення різності температур визначена за формулою

$$\delta_{\Delta t} = \pm \sqrt{\delta_{\Delta R}^2 + \delta_K^2 + \delta_{кв.}^2} = \pm 1,1 \%, \quad (9)$$

де  $\delta_{\Delta R} = \delta_R = 0,8 \%$  – відносна похибка результату віднімання показань вимірювального приладу (згідно з паспортом омметра);  $\delta_K$  – відносне відхилення заданої роздільної здатності від дійсного значення;  $\delta_{кв.}$  – відносна похибка квантування

$$\delta_{кв.} = \left( \frac{\Delta_{кв.}}{\Delta t_{\max}} \right) \cdot 100 = 0,7 \%; \quad (10)$$

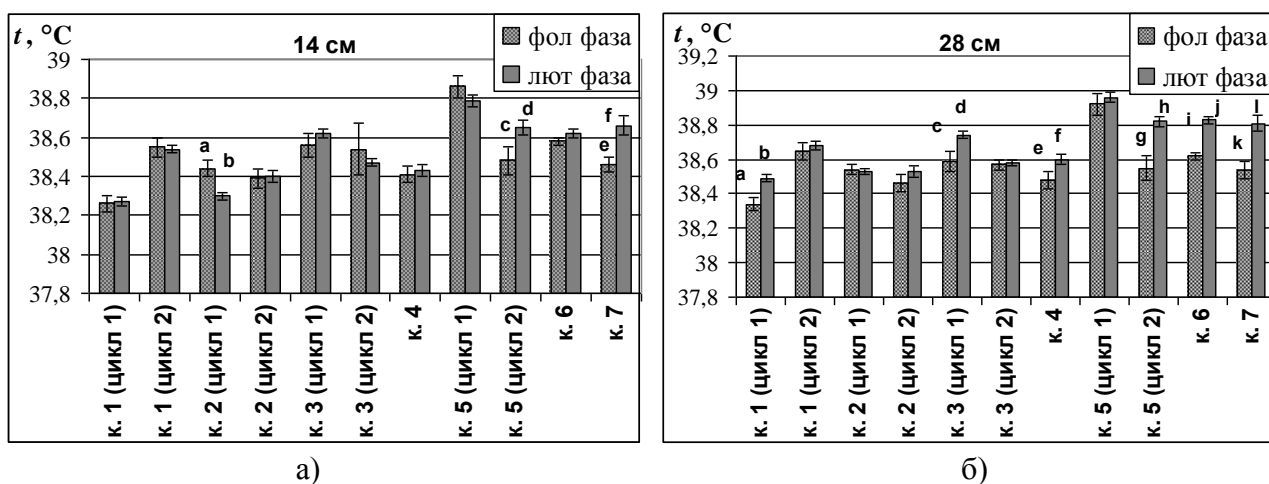
$\Delta t_{\max}$  – діапазон температур, в якому температурна характеристика схеми лінеаризована;  $|\Delta_{кв.}| \leq 0,04 \text{ } ^\circ\text{C}$  – абсолютна похибка квантування.

Параметри вимірювальної схеми згідно з формулами (7)-(8) становили  $V_{CT}=3273 \text{ K}$  та  $R_t=3089 \text{ Ом}$ , тому роздільна здатність схеми становила  $K=0,040085 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Визначено,  $\delta_K=0,2 \%$  як відносна похибка до теоретично можливого значення  $0,04 \text{ } ^\circ\text{C}$  (рис. 8).

За допомогою пристрою в *три етапи* проведено термометричні дослідження для розробки методу, що дає змогу підвищити вірогідність діагностики репродуктивної сфери за температурним показником, та порівняння його з традиційним способом діагностування за значеннями абсолютної температури. Загальна схожість репродуктивної функції самиць ссавців дає можливість провести дослідження на статевозрілих самцях великої рогатої худоби, обраних як модельні об'єкти дослідження. Для підтвердження результатів теоретичного аналізу змін температурного градієнта у статевих шляхах при зміні фаз циклу експериментальні дослідження проведено на фіксованих відстанях: 12 і 24 см для телиць та 14 і 28 см для корів.

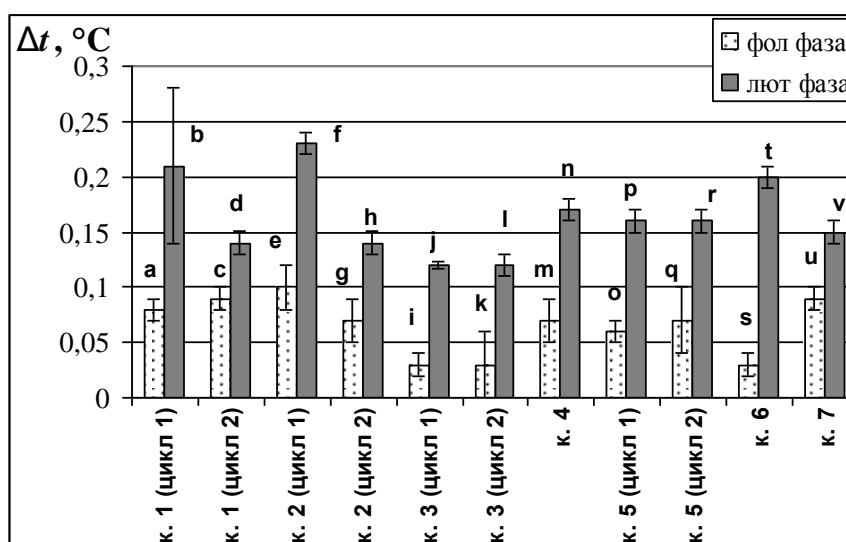
На *першому етапі* експериментальних досліджень проведено порівняння абсолютної температури з різністю температур тіла за ступенем впливу сторонніх чинників. Оскільки середні значення різності температур у ранкові та вечірні часи достовірно не відрізняються, а кореляція з температурою навколишнього середовища є низькою, зроблено висновок, що вплив цих сторонніх чинників на різність температур мінімальний.

На *другому етапі* проведено аналіз достовірності різниці фаз статевого циклу за середніми значеннями абсолютної температури та різності температур за допомогою *t*-критерію. У середньому, значення температури на фіксованих відстанях у фолікулярну (ФФ) та лютеальну (ЛФ) фази вірогідно не відрізнялись й становили: для відстані 14 см  $38,50 \pm 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$  – ФФ,  $38,52 \pm 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$  – ЛФ; для відстані 28 см  $38,57 \pm 0,08 \text{ } ^\circ\text{C}$  – ФФ,  $38,69 \pm 0,10 \text{ } ^\circ\text{C}$  – ЛФ (рис. 9). Проте, зважені середні значення різності температур (рис. 10) вірогідно відрізнялися ( $P \geq 0,999$ ) і становили  $0,07 \pm 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$  – ФФ,  $0,16 \pm 0,02 \text{ } ^\circ\text{C}$  – ЛФ.



а)

б)

Рисунок 9 – Різниця температур у фазі циклу ( $M \pm m$ ):а) на відстані 14 см; а:б, е:ф –  $P \geq 0,99$ ; с:д –  $P \geq 0,95$ ;б) на відстані 28 см; а:б, і:ж, к:л –  $P \geq 0,999$ ; г:х –  $P \geq 0,99$ ; с:д –  $P \geq 0,98$ ; е:ф –  $P \geq 0,95$ Рисунок 10 – Різниця температур у фазі циклу ( $M \pm m$ ):а:б; с:д; е:ф; г:х; і:ж; к:л; м:н; о:п; q:r; s:t; u:v ( $P \geq 0,999$ )

Для визначення можливості застосування теоретично встановленого рівня різності температур як порогового критерію для діагностики фаз статевого циклу розраховано співвідношення ( $f$ ), яке характеризує вірогідність порогового критерію

$$f_i = \frac{n_i^*}{n_i}, \quad (11)$$

де  $i$  – доба статевого циклу;  $n_i$  – загальна кількість вимірювань за добу;  $n_i^*$  – кількість вимірювань, коли різниця температур не перевищувала  $0,08 ^\circ\text{C}$ .

Встановлено, що у ФФ ця вірогідність вища, ніж в інший час (рис. 11).

На *третьому етапі* показано, що за різністю температур наявна достовір-на різниця ( $P \geq 0,99$ ) результатів, отриманих у період статевої охоти (СО) і після овуляції (таблиця). Тому різниця температур може бути використана для діагностування овуляції, що відбулась.

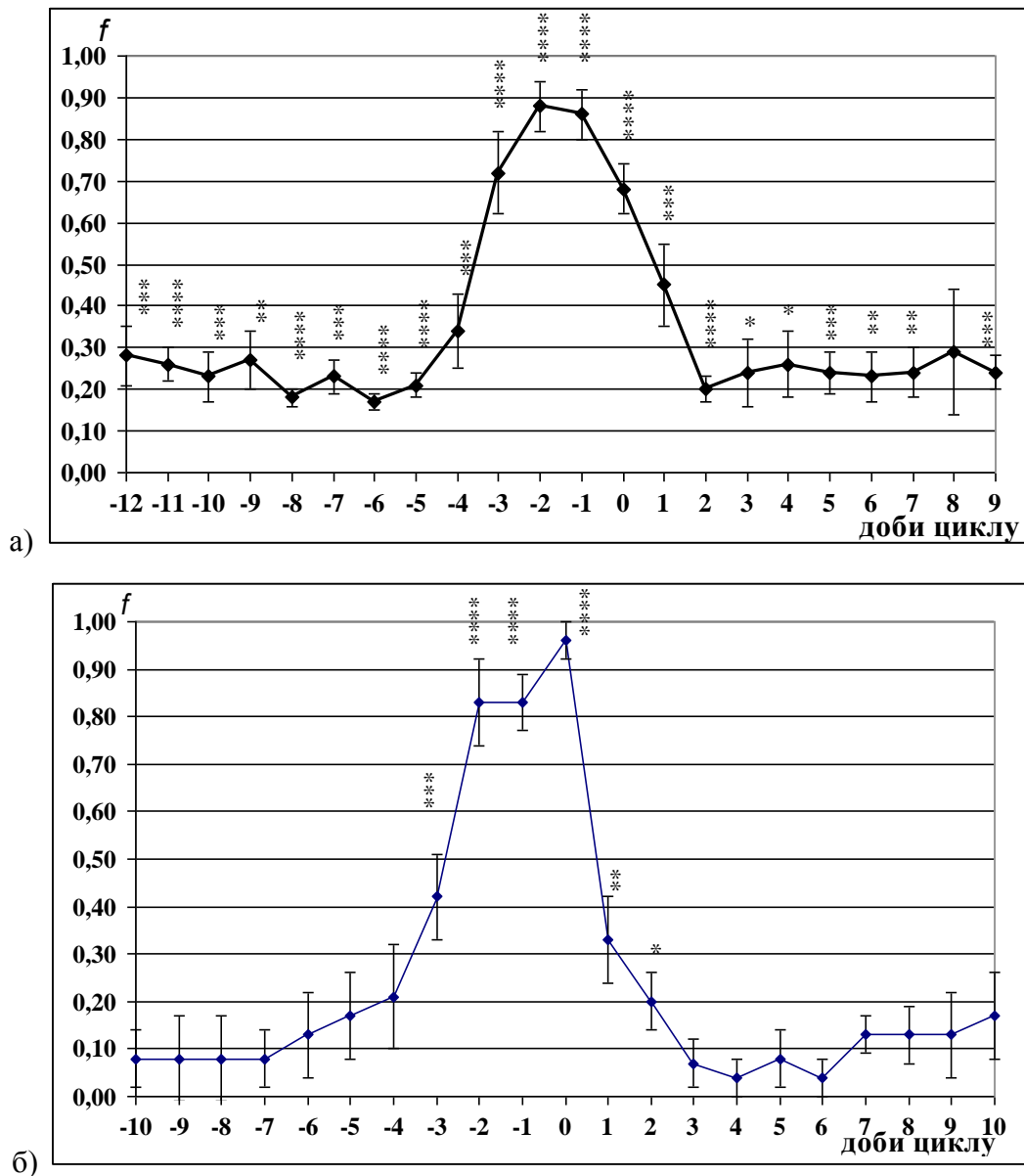


Рисунок 11 – Зміни вірогідності порогового критерію, ( $M \pm m$ ):

а) у корів; б) у телиць парувального віку;

(\* –  $P \geq 0,95$ ; \*\* –  $P \geq 0,98$ ; \*\*\* –  $P \geq 0,99$ ; \*\*\*\* –  $P \geq 0,999$ )

Таблиця – Зміни температурних параметрів у корів при наявності або відсутності овуляції ( $M \pm m$ , °C)

	Група з наявністю овуляції через 15 годин після СО (n=9 голів)			Група з відсутністю овуляції через 15 годин після СО (n=9 голів)		
	Температура на відстані		Різниця температур	Температура на відстані		Різниця температур
	28 см	14 см		28 см	14 см	
У період СО	38,65 ± 0,09***	38,57 ± 0,09***	0,08 ± 0,01***	38,77 ± 0,09***	38,72 ± 0,09***	0,05 ± 0,01**
Через 15 годин після закінчення СО	38,55 ± 0,11***	38,42 ± 0,12***	0,13 ± 0,01***	38,56 ± 0,07***	38,47 ± 0,08***	0,09 ± 0,03*

Примітка. \* –  $P \geq 0,98$ , \*\* –  $P \geq 0,99$ , \*\*\* –  $P \geq 0,999$  – рівні достовірності даних.

Таким чином, пропонується метод діагностики репродуктивної функції самиць ссавців за різністю температур у піхві, що визначаються у певних місцезнаходженнях. Спочатку проводиться об'єктивний огляд біооб'єкту та/або аналіз даних анамнезу. На стадії діагностування здійснюється: визначення температурних параметрів (температури та різності температур у піхві); розрахунок вторинного параметру (співвідношення  $f$ ); визначення за характером змін  $f$  тривалості статевого циклу та тривалості фаз статевого циклу; постановка первинного діагнозу та/або проведення гормональних досліджень для постановки уточнюючого діагнозу. Далі фахівцями приймається рішення щодо застосування певних заходів (здійснення медикаментозної терапії; застосування біотехнологічних методів розмноження; немедикаментозна контрацепція тощо).

У **четвертому розділі** наведено результати розробки автоматизованого взірця пристрою для дистанційного діагностування репродуктивної функції самиць ссавців та результати перевірки відповідності діагностичного температурного показника до об'єктивного стану репродуктивної сфери самиць.

Для застосування диференційної термометрії в діагностиці репродуктивної сфери самиць ссавців спроектовано автоматизований взірець пристрою на сучасній елементній базі з застосуванням телеметрії для передачі даних до комп'ютера. Блок-схему показано на рис. 12. Схема містить основні блоки: модуль датчиків (МД), блок підсилення (БП), мікроконтролер (МК), інтегральні стабілізатори напруги (ІСН), радіомодуль передавача (МРП), джерело живлення (ДЖ), блок радіоприймача (БРП), USB-інтерфейс, ЕОМ.

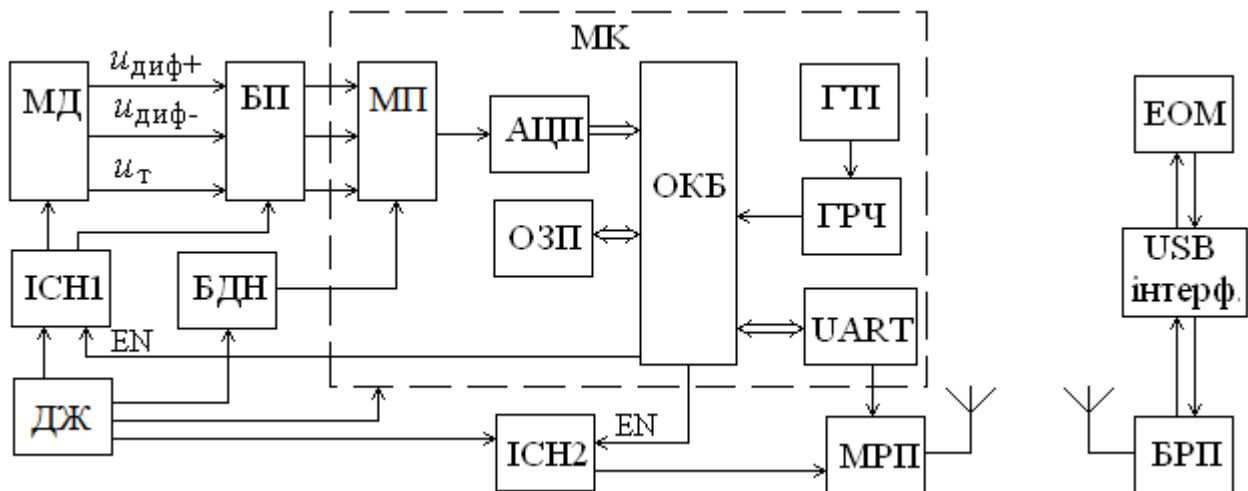


Рисунок 12 – Функціональна схема автоматичного пристрою диференційної термометрії

Первинним перетворювачем різності температур служить диференційний каскад із кремнієвих транзисторів. Вихідні напруги перетворювача  $u_{\text{диф}+}$ ,  $u_{\text{диф}-}$  та  $u_T$  після підсилення надходять до мультиплексора (МП), який комутує входи на аналого-цифровому перетворювачі (АЦП) мікроконтролера залежно від команд налаштування. До мультиплексора також через блок дільника напруги (БДН) надходить рівень напруги джерела живлення. Після відцифрування дані потрапляють до оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП), де накопичуються до моменту передачі до передавача через модуль послідовного каналу універ-



сального асинхронного прийомопередавача (UART). За допомогою тактового генератора (ГТІ) із частотою 32 кГц у приладі тактується годинник реального часу (ГРЧ). За заданою програмою МК переходить до активного режиму та обчислювально-керуючий блок (ОКБ) надсилає сигнал дозволу до інтегрального стабілізатора напруги (ІСН1), що живить модуль датчиків та блок підсилення, або до інтегрального стабілізатора напруги (ІСН2) живлення блока радіопередавача. Після виконання циклу вимірювання або циклу передачі ОКБ знімає сигнал дозволу з ІСН1 або ІСН2 та МК переходить до режиму мінімального енергоспоживання. Електроживлення вимірювально-передавальної частини здійснюється від батарей із сумарною напругою не менше, ніж 4,5 В.

Підключення модуля радіоприймача до комп'ютера (ЕОМ) здійснюється за допомогою USB-інтерфейсу та спеціального кабелю. До комп'ютера надходять за протоколом RS232 дані температури тіла, різності температур у піхві та напруги блоку живлення вимірювальної частини. Ці дані накопичуються за допомогою розробленої прикладної програми для подальшої обробки та візуалізації результатів вимірювань у вигляді графіків.

Перевірку методу визначення фази циклу за пороговим критерієм різності температур проведено на групі корів та первісток з 76 голів. Перевірку проведено «наосліп», тобто інформації про фазу циклу на момент початку дослідження не було. Встановлено, що ефективність діагностування ФФ становила 83,3 %, а загальна ефективність діагностування фаз циклу становила 97,3 % (акт виробничої перевірки).

Перевірка відповідності діагностичного показника до об'єктивного стану репродуктивної сфери свідчить, що за наявності в яєчниках домінуючого фолікула на пізніх стадіях розвитку різність температур не перевищує рівень 0,08 °С та істотно ( $P \geq 0,99$ ) відрізняється від значень цього параметра, отриманих після овуляції. За результатами додаткового осіменіння тварин за умови відсутності овуляції на момент, коли вона вже зазвичай мала відбутися, встановлено, що застосування порогового критерію як діагностичного параметра овуляції сприяло підвищенню ефективності запліднення корів на 22,0 %.

Таким чином, застосування автоматизованої реалізації методу діагностування фази циклу і овуляції за різністю температур з використанням телеметрії для передачі даних має перспективу для підвищення ефективності методів сектору допоміжних репродуктивних технологій, зокрема штучного осіменіння та трансплантації ембріонів, у сфері репродуктивної фізіології людини.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведено комплекс досліджень, які спрямовані на підвищення вірогідності діагностування репродуктивної сфери самиць ссавців шляхом розробки методу та термометричного пристрою.

1. В результаті аналізу термометричної апаратури та відомих способів контролю температури тіла ссавців визначено, що вони основані на визначенні абсолютної температури. Доведено, що зміни цього параметра, які пов'язані зі

статевими циклами самиць, є співставними зі змінами, що викликані іншими чинниками. Тому в роботі виконані теоретичні та експериментальні дослідження застосування диференційної термометрії і технічних підходів до рішення задач діагностування репродуктивної функції самиць ссавців.

2. Побудовано фізико-математичні моделі стаціонарного розподілу температур у статевих шляхах. Встановлено, що найбільш точною є фізико-математична модель розподілу температур у неоднорідному з точки зору теплопровідності середовища (відносна похибка становила 0,03 %).

3. Теоретично обґрунтовано застосування диференційної термометрії у статевих шляхах самиць ссавців при зміні фаз статевого циклу. Для цього побудовано електрофізичну модель формування теплового градієнту у піхві.

4. Розроблено пристрій для визначення малих змін температури з роздільною здатністю 0,04 °С за послідовного підключення чотирьох напівпровідникових термоопорів із негативним ТКО та лінеаризованою температурною характеристикою. Проведено теоретичний аналіз метрологічних характеристик та атестація пристрою. Основна відносна похибка визначення змін температури становила 1,1 %, а її складові – відносна похибка визначення різності опорів 0,8 %, відносна відхилення заданої роздільної здатності схеми 0,1 % та похибка квантування 0,7 %.

5. Встановлено, що теоретично визначений рівень різності температур може бути використано як пороговий критерій фаз статевого циклу ( $P \geq 0,99$ ) для підвищення вірогідності діагностики репродуктивної функції самиць ссавців. Розроблено метод діагностики фаз статевого циклу та овуляції за різністю температур.

6. Спроектовано автоматизований взірець пристрою з використанням телеметрії для передачі даних, що дає змогу проводити дистанційну діагностику репродуктивної функції самиць ссавців за розробленим методом.

7. Експериментально доказано, що ефективність діагностики фолікулярної фази у статевозрілих самиць великої рогатої худоби, взятих як модельні об'єкти, становила 83,3 %, а загальна ефективність діагностики фази циклу – 97,3 %. Доведено, що застосування порогового критерію різності температур як діагностичний параметр овуляції сприяло підвищенню ефективності запліднення корів на 22,0 %.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Самынина М. Г. Способ построения измерительной системы для регистрации малых изменений температуры / М. Г. Самынина // Бионика интеллекта. – Харьков, 2008. – Вып. 1(68). – С. 123-127.

2. Самынина М. Г. Применение дифференциальной термометрии для повышения достоверности оценки температуры тела / М. Г. Самынина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2011. – № 6/5(54). – С. 30-33.

3. Самынина М. Г. Моделирование тепловых процессов по данным измерений температуры тела / М. Г. Самынина // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2012. – № 2/8(56). – С. 25-28.

4. Самынина М. Г. Исследование метрологических характеристик системы измерения малых изменений температуры / М. Г. Самынина, В. А. Шигимага // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – Одесса, 2014. – № 1. – С. 52-56.

*Здобувачем дано технічну ідею пристрою та розроблено методіку його метрологічної атестації.*

5. Самынина М. Г. Совместное использование кондуктометрических и термометрических датчиков в специализированной аппаратуре для контроля состояния самок КРС / М. Г. Самынина, Ю. Е. Мегель // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків, 2014. – № 40(1083). – С. 39-45.

*Здобувачем виконано вимірювання кондуктометричного та термометричних параметрів, оброблено та проаналізовано результати за розробленим алгоритмом.*

6. Самынина М. Г. Электрофизическая модель формирования теплового градиента в половых путях самок животных / М. Г. Самынина, В. А. Шигимага // Prospero. – М., 2015. – № 6(18). – С. 36-38.

*Здобувачем запропоновано ідею електрофізичної моделі формування теплового градієнту у статевих шляхах самиць тварин та провела моделювання.*

7. Пат. № 37243 Україна, МПК G01K 7/16, 7/22. Спосіб вимірювання малих змін температури / Саминіна М. Г. – № u200806378; заяв. 13.05.2008; опубл. 25.11.2008. Бюл. № 22.

8. Пат. № 49631 Україна, МПК А61В 10/00. Спосіб визначення фолікулярної фази естрального циклу корів за температурним показником / Саминіна М. Г. – № u200909808; заявл. 25.09.09; опубл. 11.05.10. Бюл. № 9.

9. Саминіна М. Г. Аналіз змін вагінальної температури у корів для виявлення стадії еструсу / М. Г. Саминіна // Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва УААН. – Харків, 2009. – № 99. – С. 36-42.

10. Саминіна М. Г. Періоди статевого циклу в корів за даними вимірювань вагінальної температури / М. Г. Саминіна, В. М. Хмельков // Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва УААН. – Харків, 2010. – № 102. – С. 134–139.

*Здобувачем проведено аналіз достовірності різниці фаз статевого циклу за середніми значеннями абсолютної температури та різності температур у статевих шляхах корів за допомогою t-критерію.*

11. Саминіна М. Г. Взаємозв'язок різниці температур у піхві корів і статевого циклу / М. Г. Саминіна, В. М. Хмельков // Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин НААН. – Львів, 2010. – Вип. 11, № 2-3. – С. 411-416.

*Здобувачем експериментально встановлено взаємозв'язок різності температур у піхві корів і фаз статевого циклу, оброблено та проаналізовано результати за запропонованим алгоритмом.*

12. Саминіна М. Г. Температурні зміни в піхві корів та стадії розвитку домінуючого фолікула в період статевої охоти / М. Г. Саминіна, В. М. Хмельков //

Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН. – Харків, 2013. – № 109(1). – С. 232-238.

*Здобувачем експериментально встановлено взаємозв'язок різності температур у піхві корів зі стадіями розвитку домінуючого фолікула в яєчниках та за різністю температур достовірну різницю ( $P \geq 0,99$ ) результатів, отриманих у період статевої охоти і після овуляції.*

13. Самынина М. Г. Метод и устройство для диагностики репродуктивной функции самок млекопитающих по температурному показателю / М. Г. Самынина, В. А. Шигимага / Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: Матеріали II Всеукраїнської наук.-техн. конф. (Харків, 10–11 грудня 2015 р.). – Харків, 2015. – С. 53–54.

*На основі диференційної термометрії здобувачем розроблено метод та спроектовано пристрій для дистанційної діагностики репродуктивної функції самиць ссавців.*

## АНОТАЦІЇ

**Саминіна М. Г. Метод та пристрій диференційної термометрії для діагностики репродуктивної функції самиць ссавців.** На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2016.

Робота присвячена розробці методу та технічного засобу термометрії з метою підвищення вірогідності діагностування репродуктивної функції самиць ссавців за температурним показником.

Побудовані фізико-математичні моделі розподілу температур у статевих шляхах, на прикладі статевозрілих самиць ВРХ оцінені їх точність, інформативність та вірогідність. Результати моделювання дозволили визначити основні технічні параметри термометричного пристрою та теоретичні основи методу визначення фаз статевого циклу й овуляції за різністю температур. Для моделювання змін різнісного температурного показника використано електричну аналогію теплопровідності та розроблено електрофізичну модель формування температурного градієнту у статевих шляхах самиць ссавців.

В роботі приведені результати розробки та метрологічної атестації технічного пристрою для вимірювання малих змін температури з роздільною здатністю до сотих частин градуса.

На основі даних модельних та експериментальних досліджень показано, що певний рівень різності температур в піхві самиць можливо використовувати в якості порогового критерію для підвищення вірогідності визначення фази статевого циклу та овуляції.

Спроектована автоматизована реалізація методу діагностування фази циклу і овуляції за різністю температур дозволяє проводити дистанційний моніторинг репродуктивної функції самиць ссавців.

*Ключові слова:* диференційна термометрія, біомедична апаратура, пороговий критерій, діагностування, репродуктивна функція.

**Самынина М. Г. Метод и устройство дифференциальной термометрии для диагностики репродуктивной функции самок млекопитающих. На правах рукописи.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2016.

Работа посвящена созданию метода и технических средств термометрии с целью повышения достоверности диагностики репродуктивной сферы самок млекопитающих по температурному показателю.

Наиболее распространенный метод, который основывается на определении базальной температуры, используется в сфере репродуктивной физиологии человека, чтобы способствовать или предупредить беременность без применения фармацевтических препаратов. Подобный подход был апробирован для достоверного определения полового статуса у животных, которые выступают в качестве модельного объекта исследований, для дальнейшего усовершенствования методов биомедицины.

Несмотря на то, что результаты исследований термометрических методов показали их перспективность в диагностике репродуктивной сферы самок крупного рогатого скота, применение методов термометрии на практике имеет ограниченный, часто иллюстративный, характер. Изменения температуры тела, связанные с половыми циклами, сопоставимы с изменениями, вызванными другими факторами. Существующие алгоритмы обработки результатов измерений, которые минимизируют влияние сторонних факторов, имеют недостаточную с точки зрения диагностирования точность.

На основе математического аппарата теории теплопроводности разработаны физико-математические модели распределения внутренних температур в половых путях, на примере половозрелых самок крупного рогатого скота оценены их точность и адекватность. Результаты моделирования позволили определить основные параметры термометрического устройства и основные положения для разработки метода определения фаз полового цикла у самок млекопитающих. По результатам моделирования показано, что в фолликулярную фазу полового цикла повышение теплопроводности в полости влагалища способствует снижению разности температур до  $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$  на фиксированных расстояниях от поверхности тела. Для моделирования изменений разностного показателя использована электрическая аналогия теплопроводности и разработана электрофизическая модель формирования температурного градиента в половых путях.

В работе приведены результаты создания портативного устройства, с помощью которого проведена отработка метода диагностики репродуктивной функции на основе дифференциальной термометрии при определении изменений температуры до сотых долей градуса. Приведены результаты исследования метрологических характеристик устройства.

Экспериментальные исследования проведены на коровах и телках, вы-

бренных в качестве модельного объекта. Показано, что на разность температур в половых путях влияние суточных ритмов и температуры окружающей среды минимально. Проверена гипотеза о том, что уровень разности температур в  $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$  можно использовать в качестве порогового критерия для диагностики фазы полового цикла. Получены данные вариации порогового критерия по дням цикла. Приведены результаты проверки соответствия диагностического температурного показателя объективному состоянию репродуктивной сферы.

Спроектирован автоматизированный образец устройства для дистанционного контроля физиологического состояния и изменений репродуктивной сферы самок млекопитающих по температурным показателям. Проверка метода определения фазы полового цикла по разности температур показала, что эффективность диагностики фолликулярной фазы составила  $83,3\%$ , а общая эффективность диагностики фазы цикла –  $97,3\%$ . Применение порогового критерия разности температур в качестве диагностического параметра овуляции способствовало повышению эффективности оплодотворения коров на  $22,0\%$ .

*Ключевые слова:* дифференциальная термометрия, биомедицинская аппаратура, пороговый критерий, диагностирование, репродуктивная функция.

**Samynina M.G. The method and device for diagnosing of female mammals reproductive function by differential thermometry.** Manuscript.

Dissertation for the candidate's degree of technical sciences by speciality 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems. – National Technical University “Kharkov Politechnical Institute”, Kharkov, 2016.

The work is dedicated to developing the methods and means of thermometry in order to increase the likelihood of diagnosing of female mammals reproductive function by temperature indicator.

The physico-mathematical models of internal temperature distribution in the genital tract are built. Its accuracy and adequacy are valued on the example cattle females. Modeling results are allowed to determine the conditions for experimental research. Electrical analogy of heat conduction and electric model of the temperature gradient in the female genital tract are used for explanation of temperature difference changes.

This paper shows the results of development and metrological attestation of portable device for measuring small changes of temperature with a resolution to hundredths of a degree units.

Based on the model and experimental data was showed that the specified level of temperature difference in the vagina of females can be used as a threshold criterion for increasing the likelihood of sexual cycle phase and of ovulation determining. An automated implementation of diagnosis of the cycle phase and ovulation by temperature difference is considered.

*Keywords:* differential thermometry, biomedical devices, threshold criterion, diagnosis, reproductive function

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0.9. Тир. 100 прим. Зам. 306-16.  
Підписано до друку 30.06.16. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у ФОП Бровін О.В.  
61022, м. Харків, вул. Трінклера, 2, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30  
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру  
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК 3587 від 23.09.09 р.

---

**СТИЛЬ** ®  
**ИЗДАТ**   
ТИПОГРАФИЯ  
[www.stil-izdat.com](http://www.stil-izdat.com)