

*В.В. СЕМЕНЕЦЬ, д-р техн. наук, О.Г. АВРУНІН, д-р техн. наук,
Н.Г. КОСУЛІНА, д-р техн. наук, Т.Д. ГУЦОЛ, канд. техн. наук,
Г.А. ЛЯШЕНКО, канд. техн. наук*

МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ РАДІОМЕТРИЧНОГО ПРИЙМАЧА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ ТВАРИН

Вступ

Промислове виробництво висуває до ветеринарії ряд вимог до особливостей її функціонування при поточному виробництві з урахуванням біологічних, економічних та організаційних факторів [1].

Збереження життя та продуктивності тварин, зменшення економічних збитків від незразних хвороб сільськогосподарських тварин, які складаються з прижиттєвого зниження живої ваги, молочної продуктивності, а також втрат після забою, залежить від правильного та своєчасного проведення клінічних захворювань, на основі результатів яких ставиться діагноз, надається лікувальна допомога та планується профілактика хвороби [2].

В зв'язку з цим задачі практичної ветеринарії, що пов'язані з розробкою нових методів та засобів оперативної діагностики запальних захворювань та травм сільськогосподарських і домашніх тварин, потребують розробки принципово нових методів і апаратури неінвазійного діагностування стану тварин [3].

Такі нові методи дослідження стану тварин можуть бути засновані на прийнятті та аналізі радіотеплового випромінювання тварин, тобто на використанні радіотермографії, як інструменту дослідження.

В результаті теоретичних досліджень розроблено радіометричний приймач для дистанційного вимірювання теплового випромінювання внутрішніх органів тварин. Для забезпечення чутливості вимірювання теплового електромагнітного випромінювання тварин до 10^{-17} Вт в радіометричному приймачі були застосовані схемні методи для пригнічення індустриальних перешкод та внутрішніх шумів приймача [4].

Побудований радіометричний приймач з високою чутливістю вимірювання теплового електромагнітного випромінювання структур тварини було неможливо застосовувати без розробки методики калібрування [5].

За допомогою радіометричного приймача можливо проводити контроль та відбір хворих тварин в групу ризику. Крім того, візуалізація термограм з прив'язкою до точок вимірювання з нанесенням ліній-ізотерм з відображенням температури внутрішніх тканин надасть наглядну картину теплового поля і буде надавати суттєву допомогу ветеринару в визначенні діагнозу.

Літературний огляд

В роботах [6 – 8] наведено інтернет-дистанційні калібрувальні системи мір часу та частоти. Калібрувальні системи є складними і не можуть бути застосовані для калібрування радіометричних приймачів.

В роботі [9] наведена загальна система для віддаленого тестування і калібрування вимірювальних приладів, до складу яких не входять радіометричні приймачі міліметрового діапазону довжин хвиль.

Метод диференційного звірення з використанням сигналів глобальних навігаційних супутникових систем використано для контролю метрологічних характеристик стандартів частоти [10 – 15]. Апаратурна реалізація даного методу пов'язана зі складними електронними системами та неприйнятна для калібрування стану тварин по їх тепловому електромагнітному випромінюванню.

В зв'язку з недоліками запропонованих методів калібрування електронних систем виникає задача створення метода калібрування радіометричних приймачів в міліметровому діапазоні довжин хвиль.

Об'єкт та мета дослідження

Об'єкт дослідження. Процес калібрування радіометричних приймачів для дистанційного контролю стану тварин.

Метою роботи є розробка метода калібрування радіометричного приймача для вимірювання теплового електромагнітного випромінювання структур тварин.

Аналіз методики калібрування радіометричного приймача

Загальний вид радіометричного приймача для вимірювання теплового електромагнітного випромінювання органів тварин приведена на рис. 1.



Рис. 1. Загальний вид радіометричного приймача

Обладнання являє собою супергетеродинний модуляційний радіометричний приймач. Робота приймача ілюструється спрощеною структурною схемою рис. 2.

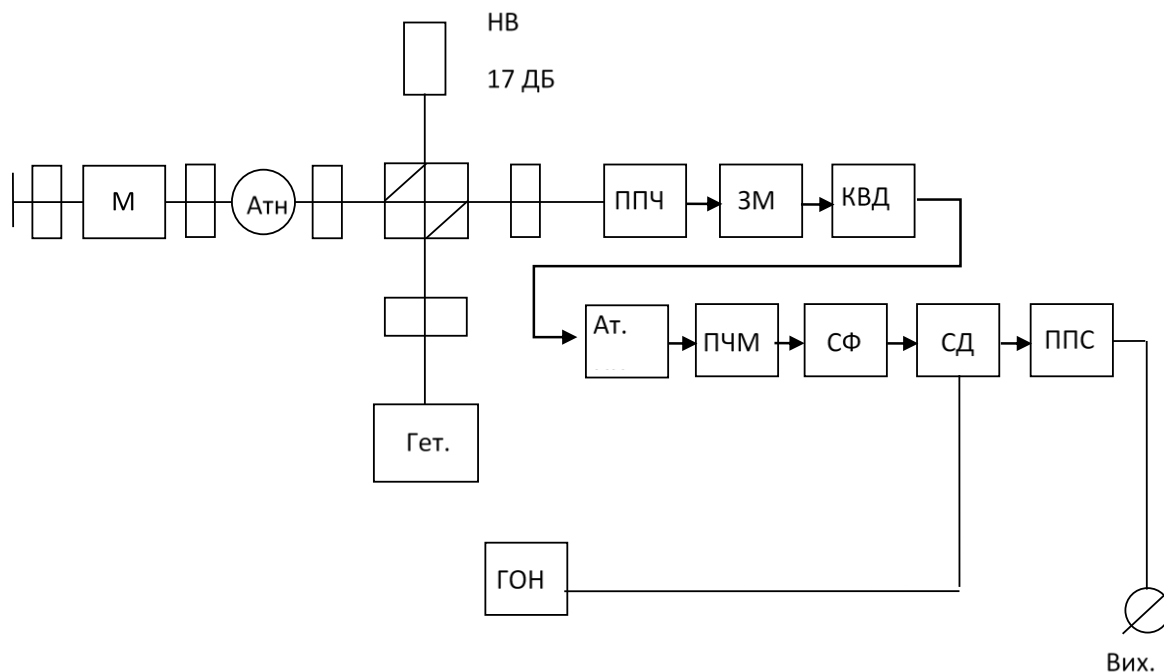


Рис. 2. Спрощена структурна схема модуляційного радіометричного приймача

Перетворений в (постійну частоту) ПЧ і посилений сигнал у суміші з власним шумом надходить на квадратичний детектор (КВД). При цьому на виході квадратичного детектора виділяється корисний сигнал на частоті модуляції (1000 Гц), амплітуда якого пропорційна температурному контрасту шумів, що надходять на вхід супергетеродинного приймача у відкритому й закритому станах модулятора М.

У якості модулятора використаний напівпровідниковий ($p-i-n$) діодний атенуатор поглинального типу, власний шум якого в замкненому стані практично дорівнює шуму погодженого регістру при навколишній температурі.

Таким чином, амплітуда корисного сигналу, що знімається із КВД на частоті модуляції, пропорційна різниці (контрасту) температури радіотеплового шуму на виході антени («антена температура») і фізичній температурі навколишнього середовища.

Напруга корисного сигналу підсилюється попереднім підсилювачем низької частоти (ППНЧ) і надходить на ступінчастий атенуатор низької частоти (НЧ), за допомогою якого забезпечується перемикання меж вимірів. З виходу ППНЧ сигнал подається на схему індикації перевантаження й синхронний фільтр.

Схема індикації перевантаження сповіщає оператора про можливе перевантаження синхронного фільтра шумами або перешкодою.

Синхронний фільтр (СФ) виділяє з шумів повний сигнал на частоті модуляції і її непарних гармонік, пригнічуючи всі інші складові спектра вхідного шумового сигналу.

Таким чином, з виходу СФ на синхронний детектор СД подається вимірюваний сигнал, відфільтрований від шумів і перешкод. Синхронний детектор здійснює перетворення змінної напруги в постійну, величина й полярність якої залежать від амплітуди змінного сигналу й зміщення фази між вимірюваним і опорним сигналами.

СФ, СД і модулятор управляються меандрами, що знімаються з генератора опорних напруг (ГОН). Із синхронного детектора сигнал надходить на RC-інтегратор, який визначає час усереднення обмірюваного сигналу.

Надалі сигнал підсилюється підсилювачем постійного струму до величини $\pm 1,5$ В, що відповідає повному відхиленню вихідного індикатора. Вихід $\pm 1,5$ В призначений для підключення зовнішніх реєструючих приладів.

Усі напруги живлення надходять від блоку живлення й контролю БПК. Обладнання вбудованого контролю справності індикуює:

- випрямлений струм зміщувального НВЧ діода;
- струм гетеродину.

Методика калібрування радіометричного приймача полягає в наступному.

В режимі «Радіотермометр» на вхід каналу під'єднується погоджене навантаження, що являє собою відрізок хвилеводу, що заповнений поглинаючим матеріалом у вигляді експоненціального клину. Температура навантаження контролюється терморезистором, що змонтований безпосередньо на хвилеводі в місці розташування поглинача. Регулюванням підсилення та зміщення нуля НЧ частини домагаються, аби шумова доріжка на стрічці самопишучого вольтметра розташовувалась в нижній частині стрічки і мала максимальний розмах $0,15 - 0,2 U$, де U – розмах шкали вольтметра.

Ванна з водою, в якій розташоване навантаження, нагрівається з таким розрахунком, щоб середнє показання вольтметра збільшилось до $0,8 - 0,9 U$ та терморезистором регулюється прирощення температури ΔT . Вимірюється відповідне прирощення середніх значень напруги ΔU та визначається коефіцієнт передавання приймача $d = \frac{\Delta T}{\Delta U}$.

Вимірюється мінімальний розмах δU шумової доріжки. Вважаючи, що щільність вірогідності шумового сигналу на виході приймача підлягає нормальному закону розподілу, для якого вірогідність попадання викидів шуму поза інтервалу

$$U_{CP} - 3\sigma_U, U_{CP} + 3\sigma_U,$$

(U_{CP} та σ_U – середнє значення та середнє квадратичне відхилення шуму) зневажливо мала, для температурної чутливості σ приймача буде $6\sigma = \alpha\delta U$ або $\sigma = \frac{\delta U}{6}$.

ККД – η_a і коефіцієнт розсіювання антени β вимірюються наступним чином:

$$T_a = \eta_a(1 - \beta)T^{\text{я}} + \eta_a\beta T_{\text{ф.р.}} + (1 - \eta_a)T_0, \quad (1)$$

T_a – антенна температура, що вимірюється радіометричним приймачем пов'язує яркісну температуру об'єкту $T^{\text{я}}$, яркісну температуру фону $T_{\text{ф.р.}}$ та кінетичну температуру антени T_0 .

Вираз (1) справедливий при умові, що площа об'єкту, на який спрямована антена, перевищує площу плями променю антени. При вимірюванні η_a антена спрямовується в zenit та занурюється в поглиблення, бокові стіни та дно якого виконані з провідного матеріалу. В область бокових пелюсток ДН перевідбивається випромінюванням неба з області zenitних кутив. Відповідно, в умовах описаного експерименту $T^{\text{я}} = T_{\text{ф.р.}}^{\text{я}} = T_3^{\text{я}}$,

де $T_3^{\text{я}}$ – zenitна температура, і формула (1) приймає вигляд

$$T_a = \eta_a T_3^{\text{я}} + (1 - \eta_a)T_0, \quad (2)$$

звідки можна визначити

$$\eta_a = \frac{T_0 - T_a}{T_0 - T_3^{\text{я}}}. \quad (3)$$

Значення zenitної температури $T_3^{\text{я}}$ з високою точністю може бути виміряно за допомогою еталонних рупорів з стандартним підсиленням. Для підвищення точності вимірювання η_a zenitна температура повинна бути значно нижче кінетичної температури антени T_0 , тому експеримент доцільно проводити при умові ясної атмосфери. При вимірюваннях β в області головної пелюстки ДН антени в дальній зоні розташовується випромінювач з відомою яркісною температурою. В якості випромінювача легше за все використовувати поглинаючий в діапазоні сигналів, які приймаються, радіометричного приймача з яркісною температурою, що дорівнює його кінетичній температурі T_u , яка може бути виміряна за допомогою температурних датчиків. Положення випромінювача в головному промені може бути визначене по максимуму антенної температури $T_{\text{ам}}$.

Вираз (1) в цьому випадку приймає вигляд

$$T_{\text{ам}} = \eta_a(1 - \beta)T_u + \eta_a\beta T_3^{\text{я}} + (1 - \eta_a)T_0, \quad (4)$$

звідки знаходимо

$$\beta = \frac{\eta_a T_u + (1 - \eta_a)T_0 - T_{\text{ам}}}{\eta_a(T_u - T_3^{\text{я}})}. \quad (5)$$

Методика вимірювання часу усереднення радіотермометра при використанні в якості інтегратора синхронного фільтру з RC -колами полягає в наступному. На вхід каналу радіометричного приймача підключається погоджене навантаження, занурене в ванну з водою, температура якої дорівнює T_1 .

Керування перемикачем ПЗ відбувається від зовнішнього генератора меандром з періодом слідування імпульсів $T > 6\tau$, де τ – стала часу приймача. Орієнтовне значення $\tau \approx RC$, а істинне значення підлягає оцінці в даному експерименті. В проміжках часу, коли навантаження від'єднано від входу радіоприймача, вимірюється сигнал з антенною температурою T_2 .

Регулюванням підсилення та зміщення нуля приймача домагаються, щоб показники вихідного самопишучого вольтметра радіометричного приймача U_1 и U_2 , що відповідають сигналам з температурами T_1 и T_2 , були $U_2 = 0$, $U_1 = \Delta U$, де ΔU – розмах шкали вольтметра. Для зменшення впливу низькочастотних флуктуацій вихідного сигналу приймача на результати вимірювань необхідно, щоб перепад температур $T_1 - T_2$ був достатньо великим.

При зміні вихідного сигналу від рівня U_1 до рівня U_2 залежність вихідного сигналу від часу описується виразом

$$U(t) = \Delta U e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (6)$$

Вибираються рівні напруг U' та U'' ($U' > U''$) та визначають моменти t' та t'' перетинання цих рівнів зазначеною кривою. Швидкість розгортки вольтметра вибирається такою, щоб можна було з достатньою точністю виміряти інтервал:

$$\Delta t = t'' - t'. \quad (7)$$

Потім оцінка сталої часу τ знаходиться за формулою

$$\hat{\tau} = \frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{U'}{U''}\right)} \quad (8)$$

Висновки

Радіометричні приймачі для вимірювання теплового електромагнітного випромінювання структур тварин з чутливістю $10^{-17} - 10^{-20}$ Вт перед використанням необхідно калібрувати за розробленою методикою, що дозволить підвищити стабільність показань радіотермографу та збільшити достовірність даного методу діагностики. Розроблені положення відповідають медико-технічним вимогам до медичних пристроїв та можуть застосовуватися у ветеринарії. Перспективою роботи є розширене тестування розробленого пристрою та розробка відповідної методики його метрологічної атестації.

Список літератури:

1. Багманов М. А. Диагностика, лечение и профилактика заболеваний животных. Ульяновск : УСХИ, 1999. 25 с.
2. Гончаров В.П., Черепахин Д. А. Акушерство, гинекология и биотехнология размножения животных. Москва : Колос, 2004. 328 с.
3. Cherenkov A. D. Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals / A.D. Cherenkov, N. G. Kosulina and A. V. Sapruca // Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Scinces. November December 2015. RJPBCS 6(6) Page NO. 1686-1694.
4. Hutsol T. Theoretical analysis of the adaptive system for suppression of the hindrance concentrated on a spectrum / T. Hutsol, N. Kosulina, A Cherenkov // Technology audit and production reserves. 2018. No. 2 (40). P. 32-36.
5. Гуцол Т. Д. Биофизические основы применения радиометрических приёмников для дистанционной диагностики состояния животных / Т. Д. Гуцол, Н. Г. Косулина // Зб. наук. праць Подільського держ. аграрно-техн. ун-ту. 2016. Вип. 24, №2. С. 73-79.
6. Internet-enabled calibration Services Design of a secure calibration system / M. Jurcevic, M. Borsic, R. Malaric, H. Hegedus // Ibid. September 2008. Vol. 57, No 9. P. 2012-2018.
7. Hegedus Hrvoje. Internet-enabled calibration: A future of calibration / Hrvoje Hegedus, Marko Jurcevic, Roman Malaric // International journal of measurement technologies and instrumentation engineering. January-March 2011. 1(1). P. 24 37.
8. Романько В. М. Створення вторинного еталона одиниць часу на базі синтезованих рубідієвих мір частоти / В. М. Романько, Е. А. Корецький, О. М. Гричанюк // Укр. метрологічний журнал. 2011. №4. С. 8-15.
9. Jurcevic M. Generic system for remote testing and calibration of measuring instruments: Security architecture / M. Jurcevic, H. Hagedus, M. Golud // Measurement science review. 2010. Vol. 10, No. 2. P. 50-55.
10. Метрология. Часы, удаленные по отношению к UTC (UA). Разность шкал времени. Дифференциальные сличения с использованием сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Методика калибровки: МКУ 07-28:2010 Харьков : ННЦ «Институт метрологии», 2010. 2 с.

11. Романько В. М. Єдність вимірювань в системі координатно-часового й навігаційного забезпечення України / В.М. Романько, Г.С. Сидоренко, К.П. Волох// Укр. метрологічний журнал. 2010. №3. С. 3-18.
12. Сакало С.М., Семенець В.В., Азархов О.Ю. Надвисокі частоти в медицині (терапія і діагностика) : навч. посібник. Харків : ХНУРЕ ; Колегіум, 2005. 264 с.
13. Семенець В. В. Технология межсоединений электронной аппаратуры: учеб. для вузов / В.В. Семенец, Джон Кратц, И. Ш. Невлюдов, В.А. Палагин. Х.: изд. «СМИТ», 2005. 432 с.
14. Аврунін О. Г., Безшапочний С.Б., Бодянський Є.В., Семенець В.В., Філатов В.О. Інтелектуальні технології моделювання хірургічних втручань. Харків : ХНУРЕ, 2018. 224 с
15. Сучасні інтелектуальні технології функціональної медичної діагностики / О.Г. Аврунін, Є.В. Бодянський., М.В. Калашник, В.В. Семенець, В.О. Філатов. Харків : ХНУРЕ, 2018. 248 с.

*Харківський національний
університет радіоелектроніки;
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка;
Подільський державний
аграрно-технічний університет*

Надійшла до редколегії 18.05.2019