



**Міністерство освіти і науки України**

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки,  
біомедичної інженерії та електротехніки**

**МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ  
ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТВАРИН**

**Методичні вказівки  
до виконання практичної роботи**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та  
(заочної) форми навчання, спеціальності  
163 «Біомедична інженерія»**

**Харків  
2023**

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерних технологій  
Кафедра електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та  
електротехніки

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ  
ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТВАРИН

Методичні вказівки  
до виконання практичної роботи

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та  
(заочної) форми навчання, спеціальності  
163 «Біомедична інженерія»

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради факультету ЕРКТ  
Протокол № 3 від 22 лютого 2023 р.

Харків  
2023

УДК 681.5 : 631.1(072)

Схвалено  
на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії  
та електротехніки

Протокол № 1  
від 31 серпня 2022 р.

**Рецензент:**

**О.М. Мороз**, д-р тех. наук, проф. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Державний біотехнологічний університет.

Моделювання параметрів системи моніторингу фізіологічного стану тварин: метод. вказівки до виконання практ. роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної (заочної) форми навч., спец. 163 «Біомедична інженерія» / Державний біотехнологічний університет ; уклад.: В. О. Шигимага. – Харків: [б. в.], 2023.– 18 с.

Методичні вказівки включають практичну роботу та список літератури. Матеріал розкриває сутність моделювання параметрів технічних засобів спостереження та умови використання для автоматизованого моніторингу фізіологічного стану сільськогосподарських тварин на пасовищі.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання спеціальності 163 Біомедична інженерія.

**Відповідальний за випуск: В.О. Шигимага**, д. т. н., проф.



## Практична робота № 1

### Моделювання параметрів системи моніторингу фізіологічного стану тварин

**1. Мета роботи:** Провести моделювання параметрів системи моніторингу тварин для дистанційного відстежування їх фізіологічного стану в умовах вільного випасу на пасовищі.

#### 2. Загальні положення

В сучасному "точному тваринництві" з огляду взаємодії елементів в кібернетичній системі людина-машина-тварина в останній час набувають важливості фізіологічні показники тварини. Серед них такі основні показники життєдіяльності, як серцебиття, дихання, рухливість, статева охота та ін., які мають деякі природні ресурси. Для підвищення рівня реалізації генетичного потенціалу тварин за рахунок цих ресурсів доцільно залучити в систему "точного" тваринництва постійне автоматизоване спостереження за фізіологічними параметрами. Таке спостереження за тваринами не викликає особливих технічних труднощів на фермі або у невеликих загонах. Зовсім інша справа, коли спостереження або моніторинг треба організувати в умовах вільного випасу тварин, тобто на пасовищі. Для цього потрібні мобільні технічні засоби, що можуть нести апаратуру для моніторингу, або наземні стаціонарні радіотехнічні засоби досить великої дальності дії.

Організація процесу моніторингу у пасовищному скотарстві проводиться із застосуванням таких сучасних технічних засобів, як Global Positioning System (GPS), радіотелеметрія (РТМ), мобільні роботи-пастухи та роботизовані безпілотні літальні апарати (БПЛА) усіх типів, і інших засобів. Відстеження корів, коней, овець та інших тварин, які пасуться на великих пасовищах, можна проводити із застосуванням технології GPS. Для цього до них прикріплюється невеликий пристрій – GPS-трекер. Він закріплюється на нашійнику або збруї і дозволяє визначати місцезнаходження тварини, а отже, істотно полегшити її пошуки на пасовищі. Але цей пристрій неспроможний вести спостереження за фізіологічними показниками тварини.

Крім GPS існує і радіомоніторинг, але він більше відомий, як

радіопошук домашніх тварин, а для сільськогосподарських тварин на пасовищі поки що майже не застосовується. Система радіопошуку в загальному випадку містить радіопередавач (радіомаяк), який розміщують в нашийнику тварини, і радіоприймач-пеленгатор. Принцип роботи такого пристрою простий: за допомогою приймача-пеленгатора визначають напрямок пошуку і таким чином найкоротшим шляхом виходять на "біооб'єкт".

Існують певні вимоги для реалізації процесів GPS-моніторингу та радіомоніторингу тварин на пасовищі.

*Умови та особливості реалізації процесу GPS-моніторингу:*

1. Наявність Інтернету, що незручно для сільської місцевості, де не завжди є покриття.
2. Обов'язковий супутниковий мобільний зв'язок. Може не працювати в сільській місцевості або слабкий сигнал, або переривання зв'язку.
3. Висока вартість обладнання, абонентська плата, прив'язка до сервера або провайдера.
4. Погрішність обчислення координат біооб'єкту більше 5 м (є точніше, але дорожче).
5. Супутники зазвичай не «видно» в приміщеннях (літні табори з навісами), природних перешкодах (яри, глибокі ями).
6. Для вимірювання фізіологічних параметрів біооб'єкту необхідне узгодження сигналів датчиків, закріплених на біооб'єкті, зі стандартом мобільного зв'язку, тобто спеціальні перетворювачі.
7. Пошук супутників GPS (потрібен одночасний зв'язок з декількома супутниками (3-5)) іноді займає кілька хвилин (і більше), а бувають ситуації, в яких швидкість визначення важлива навіть з втратою точності.
8. Можлива залежність від погодних умов (дощ, туман і т. ін.).

*Умови та особливості реалізації наземного радіомоніторингу тварин:*

1. Не потрібен Інтернет.
2. Не потрібен супутниковий мобільний зв'язок.
3. Апаратура значно дешевша системи GPS, немає абон-плати і т.д.
4. Погрішність геолокації біооб'єкту може бути не більше 1 м.
5. Рівень сигналу по прямій видимості залежить від рельєфу місцевості і висоти рослинності (чим вище несуча частота, тим більше екрануючий вплив складок, пагорбів, глибоких ярів, рослин). Тому треба обґрунтувати вибір

несучої частоти передавача.

6. Сигнали з датчиків фізіологічних параметрів біооб'єкту можна подавати через узгоджувальний підсилювач або прямо на мікроконтролер, що має вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП), і далі на радіомодуль передавача для телеметрії.

7. Невисока перешкодозахищеність. Але, майже завжди можна підібрати параметри приймально-передавальної радіоапаратури, щоб зв'язок був надійним.

8. Від погодних умов радіомоніторинг (на невеликих відстанях до 1-2 км) майже не залежить.

Таким чином, наземний радіомоніторинг має значні переваги перед GPS-моніторингом майже за всіма ознаками і найкраще підходить для організації недорогої та ефективної системи постійного нагляду за фізіологічними показниками тварин на пасовищі.

Для захисту та охорони пасовища від проникнення диких тварин, виходу за межі тварин, що пасуться, існує ефективний засіб для утримання і випасання тварин – електроогорожа. Наприклад, електроогорожа ефективно застосовується для безприв'язного утримання корів. Електроогорожу можливо встановлювати не тільки на стаціонарні і переносні стовпи, але і за допомогою спеціальних ізоляторів кріпити до стовбурів дерев діаметром не менше 4 см. Таким чином, не порушується і не змінюється ландшафт природного пасовища. Електроогорожу зручно поєднати з системою наземного радіомоніторингу тварин. Але такі системи радіомоніторингу і, зокрема, у комбінації з електроогорожею поки що майже невідомі. Зважаючи на переваги наземного радіомоніторингу, доцільно розробляти саме ці системи у комбінації з електроогорожею, які мають перспективи щодо впровадження на культурних пасовищах, що охороняються. До того ж, сучасні можливості радіоелектроніки дозволяють легко автоматизувати всю систему наземного радіомоніторингу тварин на пасовище. Для цього необхідно обґрунтувати основні параметри, пов'язані з особливостями поширення радіосигналу в польових умовах.

### **3. Моделювання параметрів системи моніторингу фізіологічного стану тварин**

Система автоматизованого наземного радіомоніторингу (АНРМ) тварин

будується на базі елементів підсистеми радіотелеметрії (РТМ). Підсистема РТМ являє собою функціонально закінчений модуль з універсальними можливостями, завдяки чому вона може бути вбудована практично в будь-яку систему автоматизованого моніторингу, що використовує елементи телеметрії, в яких є набори різних датчиків фізіологічних параметрів, їх перетворювачів, підсилювачів і передавачів. Підсистема РТМ повинна сприймати зміни будь-якого фізіологічного показника тварини, перетворювати його в електричний сигнал і передавати на певну відстань до ретрансляторів, що знаходяться на периметрі пасовища. Тому необхідно розрахувати параметри зв'язку з транспондером тварини – дальність та потужність сигналу, які в свою чергу пов'язані з висотою підвісу ретранслятора. На рис. 1 показана схема будови системи АНРМ корів на пасовищі, що охороняється.

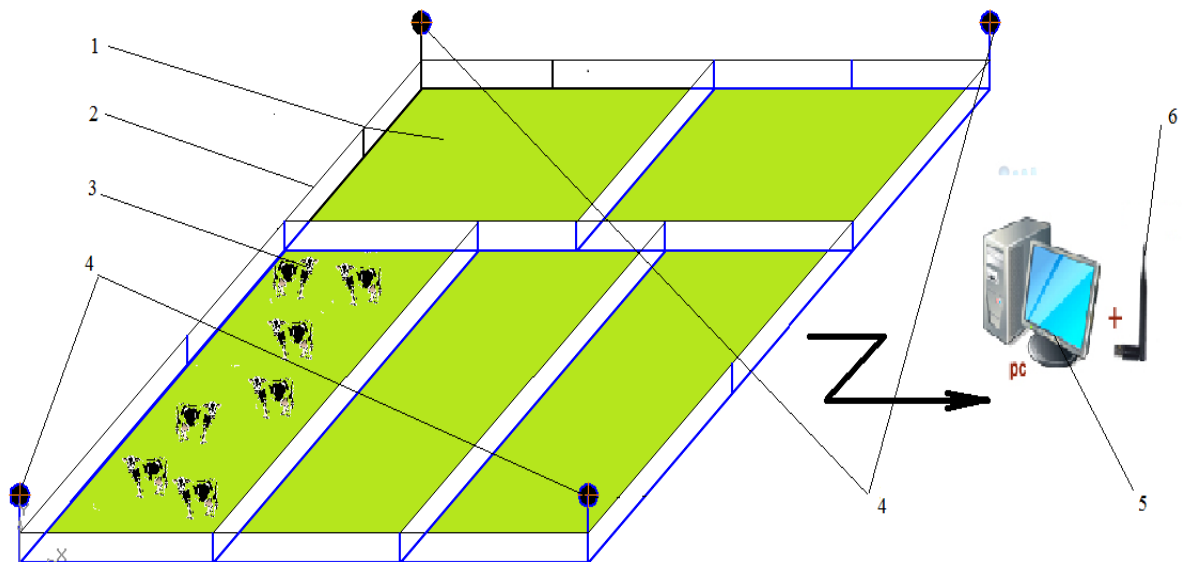


Рис. 1 - Елементи системи АНРМ корів на пасовищі:

1 – пасовище; 2 – електроогорожа; 3 – корова з датчиками для збору поточної інформації стану тварини включно з її електронним номером (кодом) та транспондером для передачі даних на ретранслятори (підсистема РТМ); 4 – телескопічні жердини з приймально-ретранслюючою апаратурою даних РТМ; 5 – ПК для обробки даних із спеціальним програмним забезпеченням (ПЗ); 6 – радіомодуль для ПК;

Дальність  $D$  зв'язку з транспондером тварини в залежності від потужності сигналу обчислюється за формулою Введенського:



$$D = \sqrt{2,18 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot G \cdot h_1 \cdot h_2}{\lambda \cdot E}}}, \quad (1) \quad \text{де}$$

$P$  – потужність передавача, мВт;

$\lambda$  – довжина хвилі передавача, м;

$G$  – коефіцієнт направленої дії;

$h_1$  – висота передавача в транспондері на нашійнику тварини, м;

$h_2$  – висота підвісу ретранслятора, м;

$E$  – напруженість поля в точці прийому, мВ/м.

Для розрахунку приймаємо наступні дані:

$E = 0,01$  мВ/м;  $G = 1,2$  дБ;  $h_1 = 1$  м;  $\lambda = 0,69$  м (433 МГц); висота підвісу ретранслятора на телескопічній жердині  $h_2$  приймає значення 3, 4 та 5 м; потужність передавача  $P = 10 - 100$  мВт.

За цими розрахунками будуємо графік дальності радіозв'язку в залежності від потужності сигналу, рис. 2.

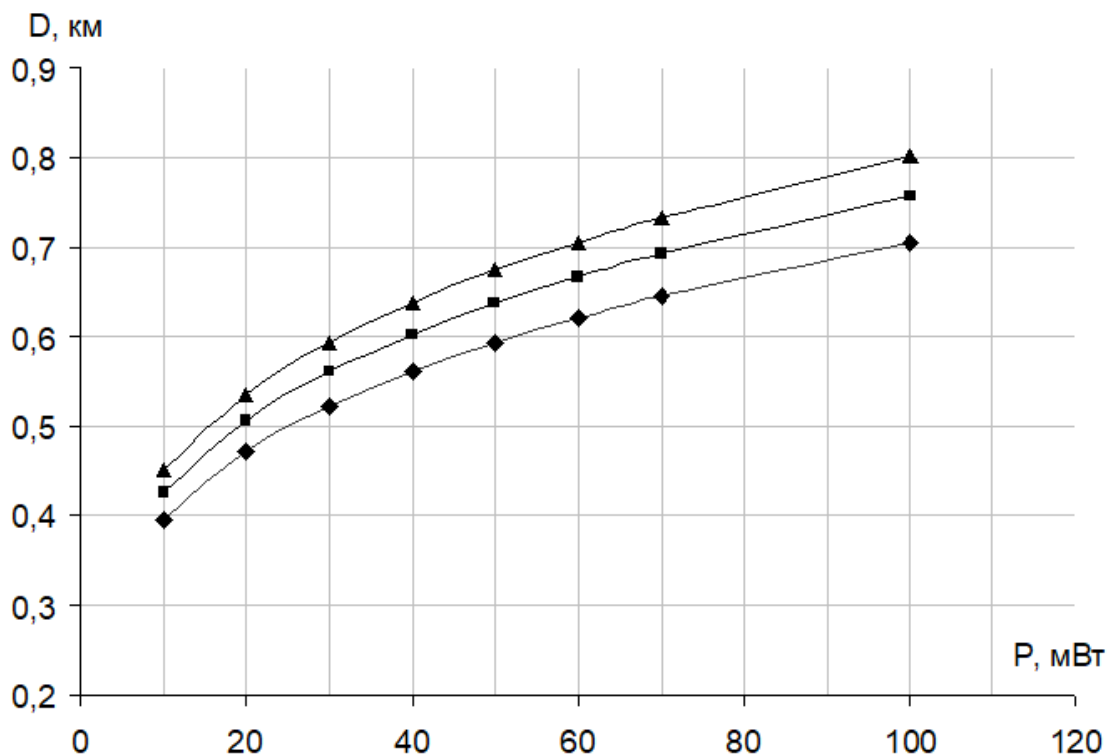


Рис. 2 - Залежність дальності радіозв'язку від потужності сигналу для різних висот підвісу приймача ретранслятора: ▲ – при  $h_1 = 5$  м; ■ – при  $h_1 = 4$  м; ◆ – при  $h_1 = 3$  м.

Таким чином з графіка видно, що з ростом дальності у 2 рази потужність повинна зрости у 10 разів для всіх висот. Для надійного зв'язку приймаємо стандартну потужність 100 мВт (достатньо для пасовища до 200 га).

Використовуючи параметри дальності і висоти підвісу ретранслятора, далі розраховуються геометричні параметри пасовища.

В реальних умовах існують природні нерівності пасовища - ями, яри, заглиблення тощо. Для **моделювання** можливої нерівності приймаємо її поперековий розріз у вигляді прямокутника. Оскільки радіохвилі поширюються прямолінійно та їх довжина всього 69 см, то в зоні нерівності певних розмірів може з'явитись радіотінь. Якщо тварина потрапить у цю радіотінь, радіосигнал РТМ від транспондера в нашійнику до ретранслятора може бути втрачений. Тому розглянемо процес утворення радіотіні для знаходження залежності її ширини від дальності до неї та висоти підвісу ретранслятора для передачі сигналу РТМ. Для розрахунку залежності розглянемо модельну схему, рис. 3.

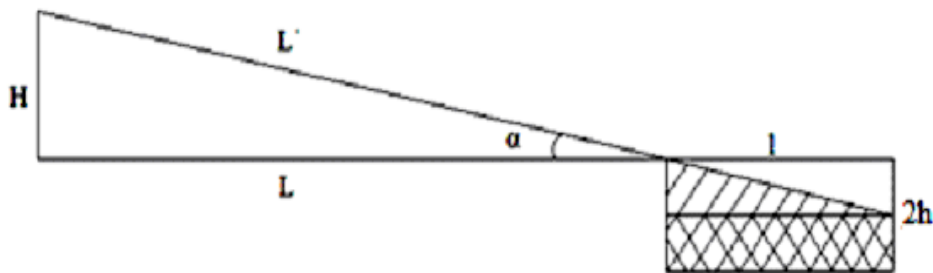




Рис. 3 - Схема утворення радіотіні, що пов'язана з дальністю та висотою підвісу ретранслятора:  - область напівтіні;  - область повної радіотіні;  $\alpha$  - кут радіопроменя до поверхні поля;  $H$  - висота підвісу;  $L$  - дальність від підвісу до нерівності пасовища;  $L'$  - довжина променю радіосигналу;  $2h$  - глибина нерівності пасовища;  $l$  - ширина нерівності.

Висота знаходження ретранслятора на підвісі приймається 3 м. Висоту знаходження транспондера на корові  $h$  прийнято 1 м (висота нашійника над землею). З геометричного міркування випливає, що чим далі від точки підвісу ретранслятора нерівність, тим ширша зона радіотіні, рис. 3.

Для розрахунку радіотіні приймаємо розмір пасовища  $1 \times 1$  км<sup>2</sup> (100 га). Тоді діагональ його складає  $\sqrt{2} = 1,41$ . З цього знайдемо максимальну відстань

до точки дотику радіопроменя з нерівністю, що знаходиться посередині пасовища:

$$L = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707 \quad (2)$$

Оскільки трикутники на рис. 3 подібні, отримуємо таку формулу:

$$\frac{h}{l} = \frac{H}{L} = \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

Звідки ширину нерівності пасовища знайдемо за формулою:

$$l = \frac{L \cdot h}{H} \quad (4)$$

де  $h$  - висота розташування транспондера на нашійнику тварини, м;

Тепер розглянемо окремо **модельну** нерівність, на якій зобразимо два промені радіохвиль, які йдуть від підвісів розташованих по діагоналі пасовища, рис. 4.

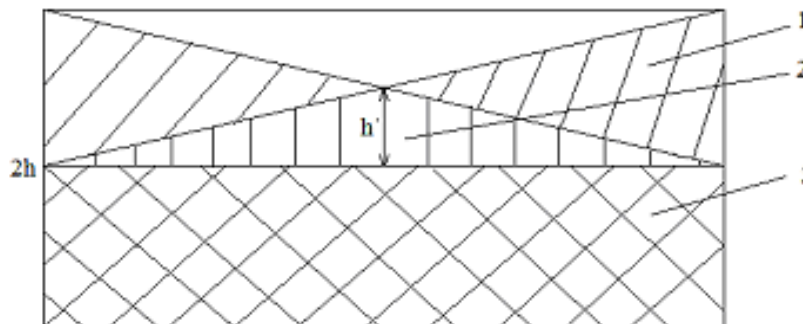


Рис. 4 - Схема моделі нерівності пасовища: 1 – область напівтіні; 2 – область часткової напівтіні; 3 – область повної радіотіні.

На рис. 4 видно, що при направленні радіопроменя з двох протилежних ретрансляторів в нерівності утворюється трикутник часткової напівтіні. Для наглядного представлення цього явища у половині площі пасовища можна використати формули (3) і (4). З них слідує, що дальність до нерівності пасовища  $L$  є функцією двох змінних:

$$L = f(H, \alpha) \quad (5)$$

де  $H$  - висота підвісу приймача ретранслятора;  $\alpha$  - кут радіопроменя до

поверхні поля у точці дотику з нерівністю.

Тому має сенс побудувати модельну функцію (5) у вигляді 3D графіку, рис. 5. Для побудови цього графіку доцільно використати безкоштовний електронний ресурс за адресою: <http://grafikus.ru/>

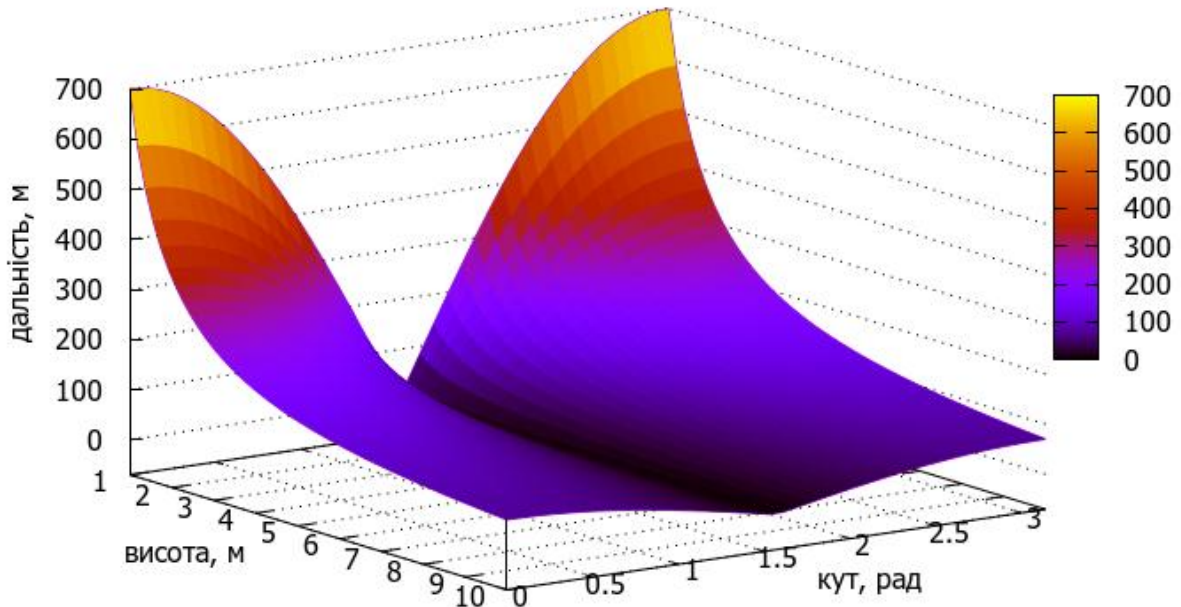


Рис. 5 – Модельна 3 D залежність дальності зв'язку від висоти підвісу ретранслятора та кута радіопроменя до поверхні поля.

З рис. 5 видно, що функція  $L = f(H, \alpha)$  утворює нелінійну поверхню, точки якої дозволяють знайти будь-які значення  $H$  та  $L$  в заданих діапазонах. Нерівність утворена посередині поля у вигляді темної смуги. Ретранслятори встановлені на підвісах з протилежних боків поля. Цей 3D графік можливо застосовувати в якості калібрувального для попереднього вибору дальності і висоти підвісу, не проводячи розрахунків.

Апаратура системи АНРМ для відстеження стану тварин може бути розташована по кутах прямокутного пасовища так, щоб перекрити зоною впевненого прийому всю площу пасовища, як показано на рис. 6.

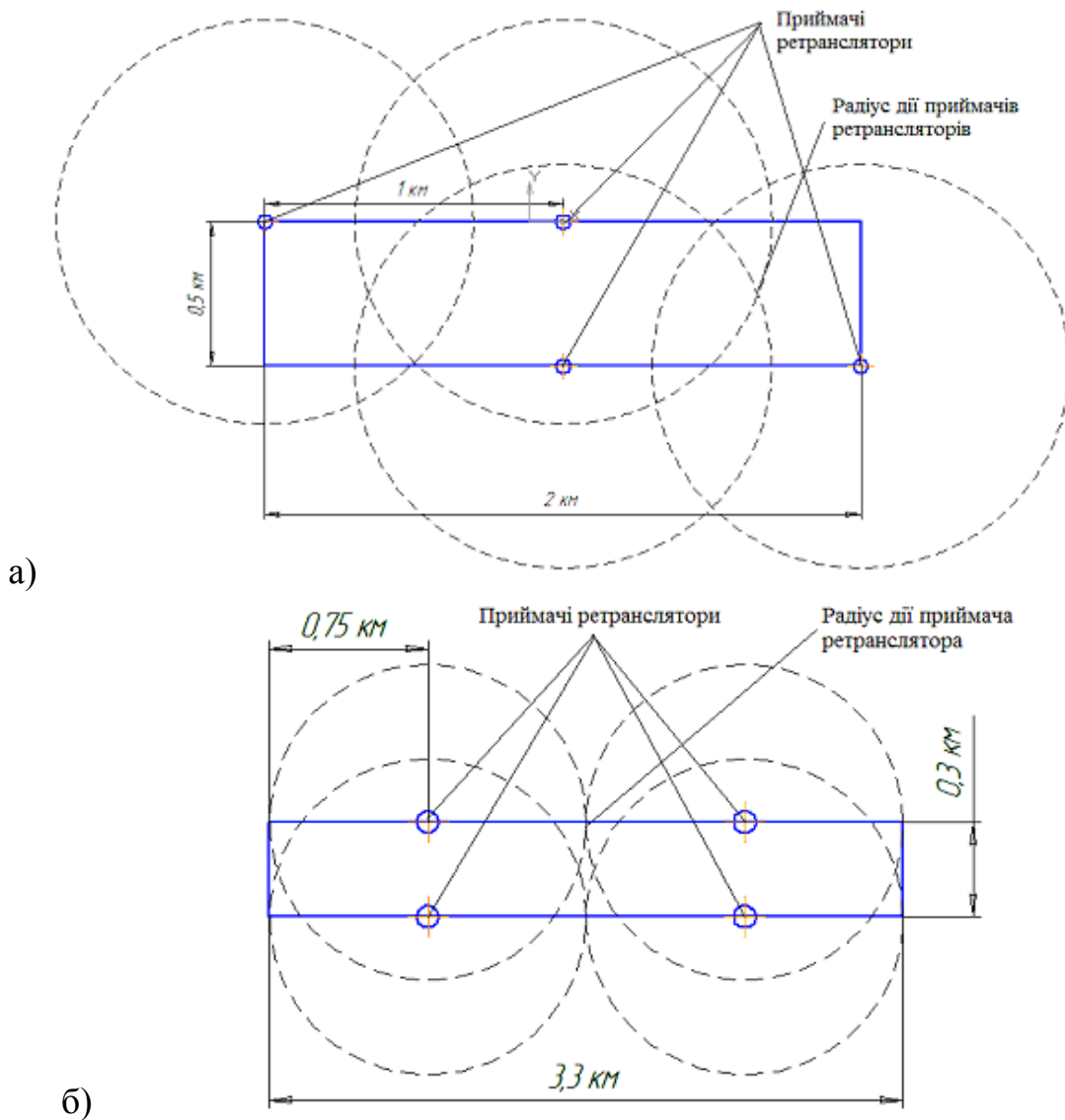


Рис. 6 - Варіанти а) і б) прямокутних пасовищ площею 100 га з розташуванням на них ретрансляторів РТМ на телескопічних жердинах та зонами покриття радіосигналом.

Контейнери з апаратурою ретрансляції можуть бути розміщені на телескопічних жердинах. На рис. 6 показані прямокутні пасовища з площею 1 км<sup>2</sup> (100 га), при цьому пасовище (а) має розміри 2х0,5 км<sup>2</sup>, а пасовище (б) - 3,3х0,3 км<sup>2</sup>.

Розглянемо модельну блок-схему технічної системи АНРМ фізіологічного стану тварин на пасовищі, яка представлена на рис. 7.

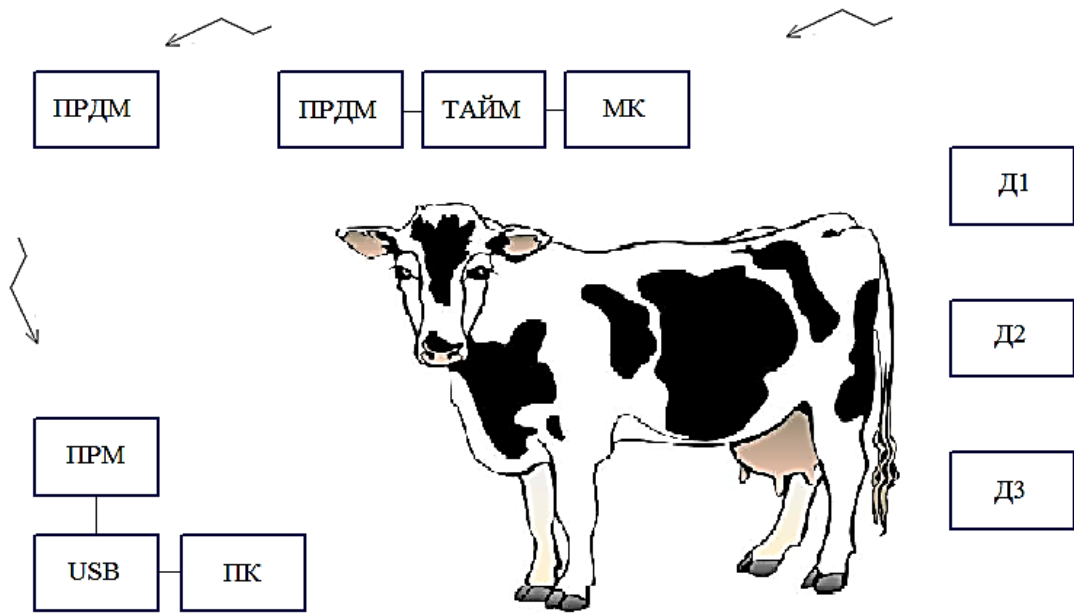


Рис. 7 – Модельна блок-схема системи АНРМ тварин на пасовищі: ПРМ – приймач, ПРДМ – приймач ретранслятор, МК – мікроконтролер, ТАЙМ – таймер, ПК – ком’ютер, USB – інтерфейс; Д1 – Д3 – датчики фізіологічних параметрів корови.

В системі АНРМ використовується підсистема РТМ (Д1...Д3, МК, ТАЙМ, ПРДМ на нашійнику) для збору, первинної обробки та бездротової передачі даних. Кодовані дані приймаються і ретранслюються (ПРДМ) на USB-радіо модуль, підключений до ПК.

Приймач-передавач РТМ – стандартній радіомодуль, наприклад, фірми Норе Microelectronics типу RFM12BP. Модуль RFM12BP розрахований для роботи в парі з модулем частотно модульованого трансивера RFM12. В діапазоні 433 МГц при такій конфігурації вдається досягти стійкого зв'язку на відстані до 3 км при прямій видимості. Живлення здійснюється від акумуляторів. Для прийому інформації на комп’ютер можна вибрати приймач РТМ сигналу з USB -інтерфейсом, наприклад, АРМ2.5+3DR 433 МГц. Він застосовується зазвичай в багатьох процесах: бездротове зчитування показників лічильників і датчиків, автоматизований збір даних, віддалене управління і моніторинг, управління роботами, метеорологія тощо.

Частоту видачі сигналів РТМ для зчитування параметрів тварини (опитування датчиків) можна задати, використовуючи вбудований таймер

мікроконтролера на нашійнику, а також керуючись фізіологічною доцільністю, наприклад, зчитування параметрів корови кожні 15-30 хв.

Таким чином, модельна система АНРМ фізіологічних параметрів тварин на пасовищі і бездротової передачі даних за допомогою РТМ на головний ПК включає наступні елементи:

- система датчиків (в нашійнику, вушна бирка, шлункова капсула тощо) для збору поточної інформації про фізіологічний стан тварини включно з її електронним номером (кодом);
- мікроконтролер з радіомодулем в нашійнику для передачі даних РТМ на ретранслятор системи АНРМ;
- електроогорожа та декілька телескопічних жердин з приймально-ретранслюючою апаратурою по периметру;
- радіоприймач з USB-інтерфейсом для комп'ютера, що збирає та обробляє інформацію про стан тварини;
- спеціальне ПЗ і ПК для збору і обробки даних системи АНРМ.

Також можливо встановити декілька програм, які будуть пропонувати рішення для спеціалістів (зоотехніків, ветеринарів) згідно прийнятої інформації від датчиків, які знаходяться в тварині або на ній.

Разом зі стандартним радіомодулем USB для прийому даних РТМ від тварини на ПК додається система за технологією Bluetooth – для повідомлення на телефон оператора.

#### **4. Контрольні запитання.**

1. Які змінні входять до параметрів модельної системи автоматизованого моніторингу фізіологічного стану тварин на пасовищі?
2. Які модельні параметри треба враховувати при розрахунку лінії радіозв'язку апаратури ретрансляції по периметру пасовища з транспондером тварини?
3. Як провести моделювання нерівностей пасовища та розрахувати параметри радіотіні?

#### **5. Запитання для самостійної підготовки.**

1. Принципи моделювання параметрів процесу дистанційного моніторингу тварин на пасовищі?

2. Що таке 3 D модель та її переваги при визначенні декількох параметрів модельної функції?

3. Які основні складові моделі системи автоматизованого наземного радіомоніторингу тварин на пасовищі?



**Література:**

1. Роботизированные системы в животноводстве: учеб. пособие/ А. А. Науменко, А. А. Чигрин, А. П. Палий [и др.]; ХНТУСХ. - Х.: Міськдрук, 2015.- 170 с.
2. Rutten C. J., Velthuis A. G. J., Steeneveld W., Hogeveen H. Invited review: sensors to support health management on dairy farms // *Journal Dairy Science*. 2013. № 96 (4). P. 1928–1952.
3. Steeneveld W., Vernooij J. C., Hogeveen H. Effect of sensor systems for cow management on milk production, somatic cell count, and reproduction // *Journal Dairy Science*. 2015. № 98 (6). P. 3896–3905.
4. Nanka O., Shigimaga V., Paliy A., Sementsov V., Paliy A. Development of the system to control milk acidity in the milk pipeline of a milking robot // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 3/9(93). P. 27–33.
5. Henry D., Aubert H., Ricard E., Hazard D., Lihoreau M. Automated Monitoring of Livestock Behavior Using Frequency-Modulated Continuous-Wave Radars // *Progress In Electromagnetics Research M*. 2018. Vol. 69. P. 151–160.
6. Rushen J., Passille de A. M. Automated monitoring of behavioural-based animal welfare indicators // *Animal Welfare*. 2012. Vol. 21. P. 339–350.
7. Биккенин Р. Р., Чесноков М. Н. Теория электрической связи: учебное пособие для студ. высших учебных заведений. М.: Академия, 2010. 329 с.
8. Назаров А. В., Шитов И. В., Козырев Г. И и др. Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. СПб.: Наука и техника, 2007. 627с.
9. Millspaugh J.J. Kesler D.C. Kays R. Keller B.J. Wildlife radiotelemetry and remote monitoring 2012 In book: *Wildlife Techniques Manual*: John Hopkins University Press
10. H. Doğan M. F. Caglar M. Yavuz M.A. Gözel Use of Radio Frequency Identification Systems on Animal Monitoring // *International Journal of Technological Science* Vol. 8, No 2, 2016 pp. 38-53
11. Tomkiewicz, S. M., M. R. Fuller, J. G. Kie, and K. K. Bates. 2010. Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Phil.T. R. Soc. B*365:2163-2176.
12. Mottram T. Animal board invited review: precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection // *Animal*. —2016. —V.10. —N 10. — P. 1575-1584.

**МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ  
ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТВАРИН**

**Методичні вказівки  
до виконання практичної роботи**

**ШИГИМАГА Віктор Олександрович**

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Ум. друк. арк. 1,35  
Наклад 100 пр.  
Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44