

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені  
Петра Василенка

Черепньов Ігор Аркадійович

УДК 621.317

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ  
ТЕРАПІЇ БРОНХОПНЕВМОНІЇ В ТВАРИННИЦТВІ

05.11.17 - біологічні та медичні прилади і системи

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Харків – 2016

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка

**Науковий консультант:**

Доктор технічних наук, професор Черенков Олександр Данилович, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, професор кафедри технотроніки і теоретичної електротехніки.

**Офіційні опоненти:**

Доктор технічних наук, професор Піротті Євген Леонідович, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри комп'ютерної математики і математичного моделювання;

Доктор технічних наук, професор Федюшко Юрій Михайлович, Таврійський державний агротехнологічний університет, завідувач кафедри електротехнології і теплових процесів.

Доктор технічних наук, професор Аврунін Олег Григорович, Харківській національний університет радіоелектроніки, професор кафедри біомедичної інженерії.

Захист відбудеться « 10 » червня 2016 р. в 10. 00 годин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.842.01 в Харківському національному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44

Автореферат розісланий «    »                    2016р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



М.Л. Лисиченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У розв'язанні продовольчої проблеми України велику роль відіграє виробництво продукції тваринництва і перш за все м'яса.

В Україні на одного жителя виробляються близько 41кг м'яса, тоді як в США - 120кг, в республіці Білорусь - 84кг, Казахстан - 54кг і т. д. Середні показники становлять для розвинених країн - понад 82кг, для країн, що розвиваються - близько 30 кг в рік на людину. За даними Національного інституту стратегічних досліджень України, після 1990 року значно знизилася поголів'я худоби: ВРХ - в 5,1 рази, (в тому числі корів - у 3,2 рази), свиней - в 2,4 раз, овець - в 4,9 рази. Значної шкоди тваринництву завдають різні хвороби. Втрати від захворювань і падежу тварин в Україні досягає до 20% від вартості продукції тваринництва.

Антибіотики, що застосовуються в ветеринарії, призводять до підвищення резистивних властивостей збудників хвороб, а також потрапляючи в організм людини в процесі засвоєння продуктів харчування тваринного походження, вони підсилюють і без того значний вплив на найважливіші його функціональні системи.

Найбільш ефективними, екологічно чистими, є терапевтичні технології, що базуються на використанні низькоенергетичних електромагнітних випромінювань.

Основним об'єктом, який визначає життєдіяльність біологічних об'єктів тваринного і рослинного походження є клітина. Особливості та зв'язки функціонування клітин і організму в цілому визначається електромагнітними взаємодіями. Тому найбільш загальним методом впливу на живий організм і управління його життєдіяльністю повинні бути, пов'язані із зовнішнім електромагнітним впливом. У той час як технічні засоби генерування і випромінювання ЕМП в даний час розвиваються досить швидко, проблема електромагнітної природи життєдіяльності клітин і способи управління ними розроблені недостатньо.

У зв'язку з цим все більш підвищується актуальність проблеми визначення способів управління життєдіяльністю біологічних об'єктів і вимоги до джерел зовнішніх електромагнітних випромінювань, що дозволяють здійснювати лікування сільськогосподарських тварин з одночасним забезпеченням екологічної безпеки. Однак актуальна проблема лікування сільськогосподарських тварин з застосування низькоенергетичних електромагнітних випромінювань пов'язана з істотними труднощами через те, що вибір біотропних параметрів ЕМВ проводиться в основному емпіричним шляхом, відсутня єдина думка і рекомендації з різних аспектів проблеми низькоенергетичного НВЧ впливу на живий організм.

Теоретичні та експериментальні дослідження, проведені в даній роботі, дозволяють створити нові електромагнітні технології в тваринництві і отримати пріоритетні для України результати в галузях науки і виробництва.

**Мета і завдання досліджень.** Метою даної роботи є розробка екологічно безпечної, енергозберігаючої, інформаційної безмедикаментозної, електромагнітної терапії бронхопневмонії тварин з використанням відео і радіоімпульсів з метою збереження і збільшення поголів'я великої рогатої худоби.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів лікування запальних процесів (наприклад, бронхопневмонії) у великої рогатої худоби та сучасних моделей впливу електромагнітних полів на клітини, визначити основні недоліки теоретичних уявлень про клітинах, які гальмують розвиток електромагнітної терапії ВРХ;
- розвинути і модифікувати існуючі моделі клітин і їх взаємодії з електромагнітними полями для теоретичного обґрунтування електромагнітної терапії, які враховують нелінійність їх мембран і нерівноваговість процесів переносу іонів в зовнішніх полях;

- на основі модифікованих моделей клітин, що враховують нелінійність їх мембран, визначити оптимальні біотропні параметри низькоенергетичних імпульсних електромагнітних полів для електромагнітної терапії;
- теоретично дослідити особливості функціонування біологічних клітин при електромагнітній, безмедикаментозній терапії з використанням низькоенергетичних імпульсних електромагнітних полів;
- теоретично дослідити нестационарність процесів переносу іонів та розподіл потенціалів в клітинах при дії на них зовнішніх низькоенергетичних електромагнітних полів;
- розробити джерела електромагнітного випромінювання і антенні системи, що дозволяють забезпечити ефективну терапію бронхопневмонії тварин електромагнітним випромінюванням;
- провести експериментальну перевірку ефективності електромагнітної терапії бронхопневмонії ВРХ.

**Об'єкт дослідження.** Процеси взаємодії інформаційних імпульсних електромагнітних полів з біологічними об'єктами при лікуванні запальних процесів у тварин.

**Предмет дослідження:** Інформаційна безмедикаментозна електромагнітна терапія і електронні системи для лікування тварин.

**Методи дослідження** ґрунтуються на розробці науково - технічних основ безмедикаментозної електромагнітної терапії на базі:

- технічних пристроїв генерування та формування імпульсних електромагнітних полів;
- нерівновагової термодинаміки біологічних процесів;
- математичної біофізики функціонування біологічних клітин;
- радіофізики функціонування біологічних клітин;

-чисельного моделювання процесів функціонування клітин під впливом електромагнітного випромінювання;

- математичних методів багатofакторного планування експерименту.

Достовірність наукових положень встановлювалася на основі відповідності теоретичних досліджень, результатів чисельного та радіофізичного моделювання результатами експериментальних досліджень і виробничих випробувань.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в тому, що в даній роботі на базі теоретичного аналізу трансферу електромагнітних полів в тканинах тварин і взаємодії електромагнітних полів з клітинами:

- отримала подальший розвиток теорія формування імпульсного випромінювання для лікування тварин, яка відрізняється від існуючих тим, що враховує особливості формування електромагнітних полів з поздовжньою поляризацією;

- створена методика розрахунків антенних систем, яка відрізняється від існуючих тим, що в ній наведені алгоритми визначення основних технологічних параметрів системи, для яких оптимальне співвідношення для яких оптимальне співвідношення як компонент електромагнітних полів, так і їх поляризацій;

- отримала подальший розвиток теорія створення імпульсних генераторів, що відрізняються від існуючих ефективністю управління шириною спектра і змінною структурою випромінювання;

- отримало подальший розвиток теоретичне дослідження магнітних ключів для управління структурою системи генерації радіоімпульсів і шириною їх спектру;

- вперше на основі модифікованої теоретичної моделі активного транспорту іонів через мембрани клітин встановлено, що потік іонів через мембрану залежить від тривалості фронту, і визначені біотропні параметри надширококутної послідовності імпульсів;

- вперше на основі модифікованих моделей встановлено, що для здійснення ефективної інформаційної електромагнітної терапії слід використовувати джерела електромагнітного випромінювання з можливістю управління частотою повторення радіоімпульсів в діапазоні від одиниць Гц до десятків кГц, і частотою заповнення до 1,2 ГГц.
- удосконалено теорія широкосмугових полеутворюючих систем, яка відрізняється від інших тим, що враховує поляризацію електромагнітного поля, оптимальну для терапії тварин.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Тема дисертаційної роботи пов'язана із загальними Українськими науковими програмами: постановою Президії Національної академії наук України від 25.02.2009 №55 “Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих і гуманітарних наук на 2009-2013 роки”; постановою Кабінету Міністрів України від 7.09.2011 р. №942 “Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року”.

За планами НДР і ДКР ХНТУСГ були виконані наступні роботи: ДР 0110U002505 “Електромагнітні технології і технічні системи підвищення продуктивності біологічних об'єктів рослинництва”; ДР 0109U003721 “Результати експериментальних досліджень з впливу ЕПМ КВЧ діапазону на біологічні об'єкти”.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в тому, що отримані результати формують науково-технічну базу електромагнітної імпульсної терапії тварин. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена ефективна, енергозберігаюча, екологічно безпечна технологія, інформаційної, безмедикаментозної електромагнітної терапії сільськогосподарських тварин, а також електронні засоби для її оптимальної реалізації.

Результати досліджень дисертаційної роботи апробовані в 2007-2010 рр. в господарствах Сахновщинський і Вовчанського районів Харківської області. Економічна ефективність становить 1,800 тис. грн.

**Особистий внесок здобувача.** Нові наукові результати дисертації отримані здобувачем особисто. У наукових роботах, написаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: в наукових роботах [1,5,7,15,17] автору належить розробка теоретичних положень, пов'язаних з впливом низькоенергетичних електромагнітних полів на безмедикаментозну терапію сільськогосподарських тварин, в роботах [20 -21] автор провів розрахунки щодо визначення оптимальних біотропних параметрів для проведення безмедикаментозної електромагнітної терапії, в роботах [23-24] автор обґрунтував подальший розвиток радіофізичної моделі біологічних клітин і визначив її резонансні властивості, в роботі [22] на основі нерівновагової термодинаміки проаналізовано ефективність безмедикаментозної електромагнітної терапії з урахуванням біотропних параметрів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень і матеріали, які включені в дисертацію, доповідалися і були обговорені на міжнародних, відомчих і вузівських науково - технічних конференціях, симпозіумах:

Третя наукова конференція Харківського університету повітряних сил імені Івана Кожедуба (Харків, 28 - 29 березня 2007 року); Сьома міжнародна НТК «Проблеми інформатики і моделювання» (Харків, 29 листопада - 1 грудня 2007 року); Восьма міжнародна НТК «Проблеми інформатики і моделювання» (Харків, 26 - 28 листопада 2008 року); Дев'ята міжнародна НТК «Проблеми інформатики і моделювання» (Харків, 26 - 28 листопада 2009 року); Шоста наукова конференція Харківського університету повітряних сил імені Івана Кожедуба (Харків, 14 - 15 квітня 2010 року); Науково - практична конференція «Технічний прогрес в АПК» (Харків, 24 - 25 березня 2011 р); Друга міжнародна



НТК «Інформаційні технології в навігації и управлінні: стан та перспективи розвитку» (Київ 16 - 17 липня 2011 року); Восьма наукова конференція Харківського університету повітряних сил ім. Івана Кожедуба (Харків, 18 - 19 квітня 2012 року).

**Публікації.** Основні результати роботи опубліковані в 28 статтях в науково-технічних збірниках і 9 тезах на конференціях.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури. Вона містить 350 сторінок, 32 рисунка, 9 таблиць, 2 додатки на 9 сторінках. Список використаної літератури містить 280 джерел на 20 сторінках. Основний текст викладено на 297 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, формулюється наукова проблема, яка розв'язується в роботі; розкривається суть проблеми і її стан; показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами наукової роботи; формулюється мета і завдання досліджень; вказана наукова новизна і практична значущість результатів дисертаційної роботи; вказано особистий внесок здобувача в опублікованих роботах; приведена інформація про апробацію дисертаційних досліджень; наведено список робіт, опублікованих за темою дисертації.

**У першому розділі** «Аналіз застосування електромагнітних полів в технологічних процесах в ветеринарії і медицині»

Агропромисловий комплекс (АПК) відноситься до числа основних народногосподарських комплексів, що визначають умови підтримки життєдіяльності суспільства. Значення його не тільки в забезпеченні потреб

людей у продуктах харчування, а й в тому, що він істотно впливає на зайнятість населення та ефективність усього національного виробництва.

Дослідження, що проводяться на великій рогатій худобі і дрібних домашніх тваринах, показали, що ЕМВ НВЧ діапазону можуть бути використані для лікування міозитів, артритів, ентероколітів, емфіземи і перевтоми.

У роботах А. Черенкова, Е. Піротті, А. Авруніна, Ю. Федюшка і роботах, виконаних в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка, показано, що клітини здатні ефективно поглинати електромагнітні поля міліметрового діапазону довжин хвиль. Поглинена енергія змінює метаболістичні і біосинтетичні процеси і при певних параметрах електромагнітних полів (частота, потужність, тривалість імпульсу, тривалість фронту, частота проходження імпульсів, ширина спектра, експозиція) може уповільнювати і стимулювати клітинний ріст. Опромінення в міліметровому діапазоні РНК і ДНК - вірусів призводить до зниження їх інфекційної активності, а опромінення імаго дрозофіли перед спарюванням - до зміни плодючості і життєздатності.

Були показані ультраструктурні зміни в клітинах при впливі електромагнітних полів діапазону надвисоких частот.

Поки що недостатньо суворих наукових пояснень дії електромагнітних полів міліметрового діапазону довжин хвиль на біологічні об'єкти. Існують тільки спроби створити наближені гіпотези для пояснення резонансного впливу, які вимагають експериментальних і теоретичних підтверджень. Досліди також показали, що для отримання біологічного ефекту потрібна невелика щільність потоку потужності: для мікроорганізмів  $0,05 \text{ мВт/см}^2$ , а для тварин 9-10  $\text{мВт/см}^2$ .

Основні моделі, необхідні, для розробки ЕМ технологій лікування тварин, повинні стосуватися подання біофізичних процесів в біологічних клітинах та їх мембранах на основі їх структури, властивостей і транспорту речовин в біологічних мембранах.

Термодинамічні та електрофізичні моделі функціонування клітин широко і успішно застосовувалися протягом багатьох десятиліть. Однак, досягнення останніх років в розумінні структури клітин і процесів взаємодії клітин і електромагнітного поля показує неповноту існуючих моделей. Ця неповнота особливо заважає при розвитку електромагнітних технологій.

Теоретичний аналіз фізичних, термодинамічних і електрофізичних моделей клітини, що лежать в основі опису її динаміки, дозволив сформулювати основні недоліки традиційного підходу до опису функціонування кліті:

- 1) термодинамічні співвідношення не враховують повною мірою відкритість біологічних систем, які знаходяться під впливом електромагнітних полів і кінцевість числа ступенів свободи клітини;
- 2) існуючі електрофізичні моделі не дозволяють адекватно описувати динаміку клітин під впливом широкосмугових електромагнітних полів;
- 3) не враховуються властивості масштабної інваріантності біологічних мембран;
- 4) набір параметрів, які використовуються в даний час, для характеристики електромагнітних полів, що впливають на біологічні об'єкти, є неповним, і потрібно його уточнення для розробки електромагнітних технологій лікування тварин;
- 5) існуючі електрофізичні системи для лікування бронхопневмонії недостатньо ефективні і є необхідність розробити електромагнітні системи, здатні генерувати електромагнітне випромінювання з властивостями, оптимальними для реалізації електромагнітних технологій лікування (перш за все, необхідні імпульсні системи, що генерують широкосмугові поля з поздовжньою поляризацією).

**У другому розділі** розглянуті моделі для адекватного опису впливу інформаційних електромагнітних полів на біологічні об'єкти з урахуванням сучасних уявлень про структуру мембран клітини.

Завданням розділу є розробка біофізичних і електрофізичних моделей взаємодії ЕМ полів з біологічними об'єктами, які б враховували відкритість біологічних систем, що знаходяться під впливом широкосмугових електромагнітних полів, кінцівку числа ступенів свободи клітини.

Розробка електромагнітної терапії тварин і, зокрема, методів лікування пневмонії у тварин вимагає розуміння механізмів впливу електромагнітних полів на організм тварин і лікування інфекційних захворювань. Розвиток клінічної та експериментальної імунології поступово призвело до розуміння провідної ролі імунних захисних механізмів в патогенезі інфекційних хвороб, а разом з вдосконаленням обчислювальної техніки - до створення відповідних математичних моделей. Відповідно до сучасних уявлень біологічні мембрани мають розгалужені канали, через які можуть проходити іони.

Складна структура каналів являє собою фрактальну структуру і тому може бути промодельована фрактальним резистором. Фрактальні середовища характерні тим, що їх макроскопічні властивості (коефіцієнти теплопровідності, електропровідності, дифузії і т.д.) залежать від їх фрактальних характеристик (наприклад, фрактальної розмірності мембрани або її пористості), мають властивості масштабної інваріантності і описуються нерівноваговою термодинамікою складних ієрархічних систем з модифікованим розподілом Гіббса.

У другому розділі показано, що при врахуванні кінцевості числа станів системи і термостата розподіл Гіббса модифікується. Будемо описувати клітини  $\Sigma_1$  та термостат  $\Sigma_2$  як такі, що мають відповідно,  $N_1$  та  $N_2$  ступенів свободи, і описуються канонічними змінними  $x_1$  и  $x_2$  за умови  $N_2 \gg N_1$ . Загальну систему ми можемо вважати ізольованою, і тому для неї справедливий мікροканонічний розподіл

$$w(x_1, x_2) = \frac{1}{\Omega(E)} \delta(E - H(x_1, x_2)) \quad (1)$$

де гамільтоніан загальної системи: складається з гамільтоніанів обох підсистем і енергії взаємодії:  $U_{12}(x_1, x_2)$ :

$$H(x_1, x_2) = H_1(x_1) + H_2(x_2) + U_{12}(x_1, x_2) \quad (2)$$

Очевидно, що за теоремою додавання ймовірностей:

$$w(x_1) = \int_{(x_2)} w(x_1, x_2) dx_2 \quad (3)$$

Після прямого обчислення інтеграла (3) функцію можна записати у вигляді:

$$D(T, q) = B(T, q) \int_{(q_2)} \left( 1 - (q-1) \frac{U_{12}(q_2)}{T - (q-1)H_1(x_1)} \right)^{\frac{1}{q-1}} dq_2$$

$$w(x_1) = D(T, q) \exp_q \left( -\frac{H_1(x_1)}{T} \right). \quad (4)$$

У цій формі використано  $q$ - узагальнення експоненційної функції, що має зворотну до неї функцію  $\ln_q(x)$ :

$$\exp_q(x) = (1 + (1-q)x)^{1/(1-q)}, \quad \ln_q(x) = \frac{x^{1-q} - 1}{1-q}. \quad (5)$$

Функції  $\exp_q(x)$  та  $\ln_q(x)$  переходять, відповідно, в звичайну експоненту і звичайний логарифм при прагненні їх параметра неекстенсивності  $q$ , що описує ступінь нерівноваговості системи, до одиниці. Розподіл (4) виникає при сильній нерівноваговості клітини, коли завдяки зовнішнім електромагнітним полям виникають потоки в фазовому просторі клітини.

Нерівноваговість функціонування мембрани відображається у виразі для ентропії клітини з числовим параметром неекстенсивності  $q$ :

$$S_q = -\sum_i p_i^q \ln_q(p_i) = \frac{1 - \sum_i p_i^q}{q-1} \quad (6)$$

Незважаючи на те, що уявлення про фізику мембран за останні десятиліття змінилися, рівняння для опису функціонування мембран не зазнали зміни і в даний час використовуються ще старі моделі. Основні уявлення та елементи математичного опису роботи клітки, встановлені в 50-х, 60-х роках минулого століття використовуються і зараз.

А саме, для опису механізмів функціонування клітини використовується її математична модель у вигляді системи нелінійних звичайних диференціальних рівнянь. Ці рівняння Ходжкіна - Хакслі засновані, як на простий принципової електрофізичної схемою мембрани, так і на рівняннях функціонування цієї схеми, отриманих зі звичайних законів перенесення для ідеальних середовищ (законів Кірхгофа і Ома). При цьому, іонний транспорт через мембрану оцінюється на основі рівновагових термодинамічних співвідношень Гіббса.

Коли клітина знаходиться в стані фізіологічного спокою, її внутрішній потенціал негативний по відношенню до зовнішнього і умовно приймається за нуль. У різних клітин мембранний потенціал варіює від -50 до -90 мВ, величина якого наближено обчислюється виходячи з рівноважної термодинаміки за формулою Нернста, що враховує розподіл Гіббса.

Таке наближення справедливо при відсутності потоків в фазовому просторі і нескінченному числу ступенів свободи як у клітини, так і у термостата.

В основі коливань мембранного потенціалу, що виникають при порушенні клітин, лежать зміни іонної проникності мембрани, що забезпечує нормальне функціонування організму в цілому.

Порушення транспорту речовин через біомембрани призводить до різних патологій. З точки зору термодинаміки активне перенесення підтримує його нормальне функціонування.

Статичні асимптотики розподілів в клітці дозволяють зв'язати вираз для параметра неекстенсивності в залежності від потоку енергії (або часток) в фазовому просторі

$$q = \sqrt{1 + \alpha_p k_\omega \frac{|P|}{P_T}} \quad (7)$$

де  $\alpha_p \approx 1$  безрозмірний коефіцієнт,

$k_\omega = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\max} + \omega_{\min}}$  - коефіцієнт широкосмуговості діючого випромінювання,

$P \approx |E^2| c_g P_T$  - потік енергії,

$P_T$  - потік дисипації з системи,

$c_g$  - групова швидкість.

Співвідношення (7) показує, що ефективність низькоенергетичного впливу зростає з ростом широкосмуговості впливу. Під зовнішнім широкосмуговим електромагнітним впливом, яке призводить до масштабної інваріантності макроскопічних величин замість розподілу Гіббса необхідно використовувати статистичні розподіли відкритої системи зі статичної асимптотикою (4). Скориставшись видом цієї термодинамічної функції розподілу, ми отримуємо модифіковане співвідношення Нернста для електрохімічного потенціалу, яке необхідно використовувати при описі процесу терапії:

$$\Phi_{МП}(q) = \frac{RT}{F} \ln_q \frac{[K^+]_{out}}{[K^+]_{in}} = \frac{RT}{F} \ln_q \frac{[Cl^-]_{in}}{[Cl^-]_{out}} \quad (8)$$

При цьому параметр неекстенсивності буде залежати від параметрів зовнішнього електромагнітного поля відповідно до співвідношення (7). На рис. 1 зображена поверхня, що відображає залежність відношення потенціалу на

мембрані під впливом полів до потенціалу без впливу від величини відношення

концентрацій  $z = \frac{[Cl^-]_{in}}{[Cl^-]_{out}}$  і термодинамічної параметра.

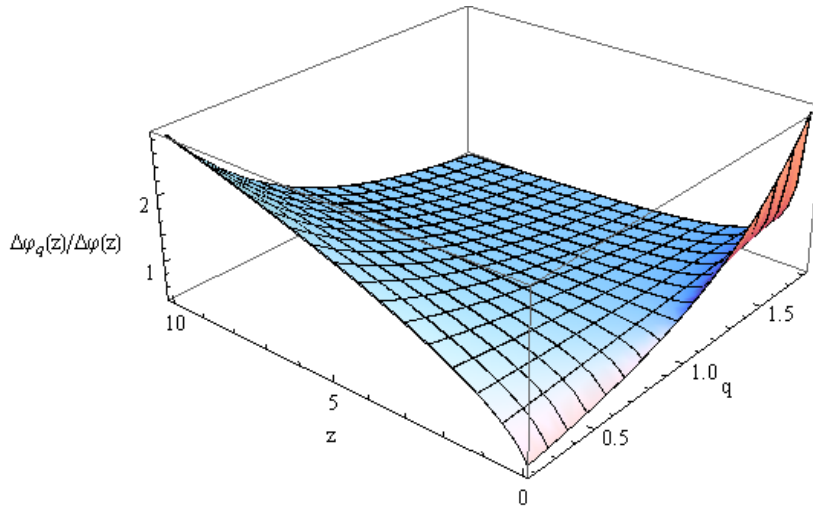


Рис. 1. Залежність відносини потенціалу на мембрані під впливом полів до потенціалу без впливу

Помітна істотна залежність потенціалу від параметра, що характеризує біотропні параметри зовнішнього електромагнітного впливу на клітину. Вибором біотропних параметрів можна управляти мембранним потенціалом, тобто забезпечувати основу терапії тварини. Перенесення енергії визначається законом збереження енергії в диференціальній формі для щільності енергії, який в найпростішому випадку одновимірної еволюції уздовж координати радіуса має вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t} W(r,t) + \frac{\partial j_r}{\partial r} = 0, \quad (9)$$

де  $j_r$  - потік енергії через мембрану. Зазвичай передбачається справедливим закон Фіка, який лінійно пов'язує потік енергії з градієнтом щільності енергії, що призводить до параболічного рівняння переносу енергії і, отже, до нескінченної швидкості поширення енергії (точніше, - до відсутності фронту при поширенні енергії по речовині). У відкритих системах (зокрема, в біологічних об'єктах під впливом електромагнітних полів в процесах терапії)



необхідно враховувати релаксацію потоку енергії при взаємодії випромінювання з об'єктами терапії і використовувати загальне співвідношення для потоку енергії, що враховує його зміну з характерним часом:

$$\tau_j \frac{\partial j_r}{\partial t} + j_r = -\kappa \frac{\partial W}{\partial r} \quad (10)$$

Це співвідношення разом з законом збереження енергії призводить до гіперболічного рівняння для щільності енергії і, отже, - до появи кінцевої швидкості поширення енергії і фронтів у хвилі щільності енергії, що розповсюджується від джерела на поверхні всередину біологічного об'єкта.

Стандартна еквівалентна схема клітини не передбачає можливість багаточастотних коливань потенціалу клітини, які спостерігаються експериментально. У розділі запропонована еквівалентна схема клітини при дії імпульсного широкосмугового сигналу (рис. 2), яка враховує реальну зміну параметрів елементів схеми в різних частотних областях.

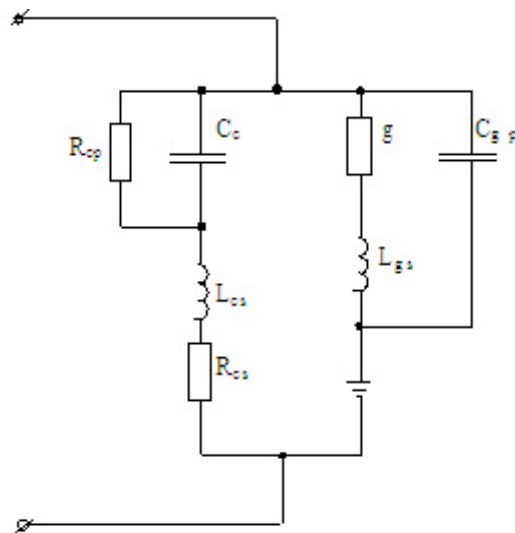


Рис. 2. Еквівалентна схема клітки

У розглянутому нами випадку перенесення енергії здійснюється через мембрану, яка має наступні електрофізичні параметрами  $L_D(t)$ ,  $R_D(t)$ ,  $C_D(t)$  -

- індуктивністю, опором і ємністю відповідно, змінюються з часом в результаті зовнішнього впливу.

Рівняння для потоку енергії можна записати у вигляді, зручному для оцінок:

$$j_r = -\kappa \frac{\partial W}{\partial r} - \tau_j(L_D(t), R_D(t), C_D(t)) \frac{\partial j_r}{\partial t} \quad (11)$$

Співвідношення напрямку потоку енергії і градієнта щільності енергії визначається в основному нерівністю термодинаміки незворотних процесів Пригожина і для виробництва ентропії має вигляд:

$$\sigma_S = \frac{1}{W^2} \tau_j(L_D(t), R_D(t), C_D(t)) \frac{\partial j_r}{\partial t} \frac{\partial W}{\partial r} \geq 0 \quad (12)$$

З цих нерівновагових термодинамічних співвідношень випливає, що процеси з самоузгодженим загостренням потужності, яке самоорганізується в результаті розвитку електрофізичних процесів в біологічних мембранах призводять до того, що термодинамічно вигідним стає активний транспорт, при якому потік енергії спрямований у бік, протилежний напрямку потоку при пасивному транспорті.

Зовнішня мембрана клітини складається з подвійного ліпідного шару з ємністю близько  $10^{-6}$  Ф/см<sup>2</sup> і опором, що перевищує опір цитоплазми. Для впливаючого імпульсу електричного поля з характерною тривалістю, що перевищує тривалість релаксації діелектричної проникності цитоплазми, ємність імпедансу несуттєва. Для цитоплазми величина діелектричної проникності співставна діелектричній проникності води ( $\varepsilon \approx 81$ ), при опорі близько 100 Ом\*см час релаксації діелектричної проникності порядку 0,7нс. Мембрана клітини моделюється ємністю, а цитоплазма опором, провідність мембрани моделюється, резистором, залежним від напруги.

Розглянувши гармонійні рішення з заданими частотами рівняння Кірхгофа для еквівалентної схеми рис. 3, можна отримати, що замість однієї частоти з'являються цілі серії власних частот у клітини:

$$\omega = n\omega_1 + k\omega_2 + m\omega_3, \quad \omega_1 \approx \frac{1}{\sqrt{L_{cs}C_c}}, \quad \omega_2 \approx \frac{1}{\sqrt{L_{eff}C_{eff}}}, \quad \omega_3 \approx \frac{1}{\sqrt{L_{gs}C_{gp}}} \quad (13)$$

У відповідності зі схемою імпульсний широкосмуговий сигнал обов'язково знайде одну з власних частот клітини, яка буде знаходитися в резонансі з частотою з широкого спектра, що впливає на сигнал.

Якщо тривалість імпульса набагато більше характерних резонансних значень клітини, то такий імпульс впливає так само, як квазіпостійне електричне поле. Такі імпульси можна назвати довгими по відношенню до впливу на дану клітку.

Застосуємо до опису зростання запалень і пухлин співвідношення нерівновагової термодинаміки. Зростання області запалення обмежено проникністю тканини і спочатку відбувається з великою швидкістю. При цьому популяція хворих клітин зростає і досягає максимуму асимптотично.

Динаміка популяції хворих клітин повинна залежати від відносини між активними і пасивними клітинами. Припустимо, що  $P_1$  - ймовірність для хворих клітин одужити (бути активними), а  $P_2$  - ймовірність для хворої клітини бути поза процесом одужання (бути пасивними), так що  $P_1 + P_2 = 1$ .

Припустимо, що  $N(t)$  - число пасивних клітин, які охоплені запальним процесом, тоді рівняння для росту популяції хворих клітин:

$$\frac{dN}{dt} = -kN \ln \frac{N(t)}{N_\infty}, \quad (14)$$

Розгляд термодинамічної підходу з урахуванням зовнішніх впливів і нерівноваговості дозволяє узагальнити рівняння еволюції числа хворих клітин.

Воно виходить природною заміною логарифмів на їх узагальнення. Після підстановки отримуємо:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{kN_{\infty}}{q-1} \left( 1 - \left( \frac{N(t)}{N_{\infty}} \right)^q - \left( 1 - \frac{N(t)}{N_{\infty}} \right)^q \right) \quad (15)$$

Лікування тварин призводить до зменшення популяції хворих клітин, і найпростішим варіантом відзначити це в рівнянні є використання ще одного додатка:

$$\frac{dN}{dt} = -kN \ln \frac{N(t)}{N_{\infty}} - c_l(t)N(t) \quad (16)$$

Якщо скористатися для уточнення моделі лікування узагальненням термодинаміки і замінити логарифм його узагальненням, то отримаємо рівняння:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{kN_{\infty}}{q-1} \left[ 1 - \left( \frac{N}{N_{\infty}} \right)^q - \left( 1 - \frac{N}{N_{\infty}} \right)^q \right] - C(t)N \quad (17)$$

Як зазначалося у другому розділі, при впливі на пухлину ЕМ полів створюється потік енергії, який призводить до зміни індексу  $q$  і, отже, до зміни динаміки запального процесу і популяції клітин, що беруть участь в запальному процесі. Важливо, що в залежності від характеристик потоку ЕМ поля індекс  $q$  може, як зменшуватися, так і збільшуватися залежно від параметрів випромінювання та обраного режиму обробки області локалізації запального процесу, що дозволяє управляти перебігом запального процесу.

Послідовність використовуваних радіоімпульсів повинна мати спектр, що покриває діапазон резонансних частот клітин, для того, щоб вплив цих імпульсів на клітинні структури тварин мав високу ефективність.

Для визначення необхідних для здійснення безмедикаментозної електромагнітної інформаційної терапії тварин параметрів випромінювання (потіку потужності і ширини спектра) необхідно використовувати співвідношення між концентраціями іонів і величинами потенціалів ЕМ поля в клітинних мембранах з урахуванням їх рідко-мозаїчних властивостей на основі нерівновагової, неекстенсивної термодинаміки. Потік потужності повинен бути близько  $2 - 5 \text{ мкВт} / \text{см}^2$ , частоти повинні лежати в широкій області частот:  $1,2 - 3 \text{ ГГц}$  з шириною смуги до  $1 \text{ ГГц}$ .

У **третьому розділі** на основі рівнянь Максвелла з урахуванням збудження поздовжньої поляризації у електромагнітного поля і моделі взаємодії електромагнітного поля з тканинами проведено аналіз проникнення електромагнітного поля до вогнища запалення тварини.

Актуальна проблема лікування сільськогосподарських тварин з застосуванням низькоенергетичних електромагнітних випромінювань пов'язана з деякими труднощами через те, що в багатьох терапевтичних випадках (наприклад, при бронхопневмонії) необхідно ефективно доставляти випромінювання до вогнищ пневмонії в глибині тіла тварини, незважаючи на провідність тканин. Для цього необхідно збільшити глибину проникнення випромінювання при заданій частоті. У розділі показано, що необхідний ефект досягається при поздовжній поляризації електричного поля. Крім того, ця компонента важлива і з точки зору збудження власних поздовжніх коливань в тканинах організму тварини. Саме поздовжні коливання складають основу функціонування організму і, тому, для відновлення нормального функціонування організму (лікування) тварин ці складові електромагнітного поля особливо важливі. В якості моделі тканин тварин для наших досліджень проникнення полів використовується модель шаруватого середовища з різними імпедансами.

У загальному випадку електричне поле завжди має дві складові:

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \nabla \varphi \quad (18)$$

Перша компонента для імпульсних полів може мати велику величину при однорідному розподілі в просторі, на відміну від другого доданка, величина якого в квазіоднородному випадку не може бути великою. У розділі буде показано, що найбільш ефективним способом електричне поле імпульсу без значних втрат може бути доставлено всередину тіла тварини саме з використанням квазіоднорідних імпульсних електричних полів  $\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ .

Поширення поперечних електромагнітних полів в електричних і провідних середовищах вивчено дуже докладно. Однак, останнім часом з'явилися експериментальні і теоретичні результати, що показують аномальне проникнення електромагнітних хвиль з поздовжньою поляризацією в середу.

У класичній електродинаміці електромагнітні поля в вакуумі визначаються рівняннями Максвелла для двох компонент електромагнітного поля - вектора напруженості електричного поля  $\vec{E}$  і вектора напруженості магнітного поля  $\vec{H}$ :

$$\operatorname{rot}(\vec{E}) = -\frac{\partial(\mu\vec{H})}{\partial t}, \quad \frac{\partial(\mu\vec{H})}{\partial t} + \operatorname{rot}(\vec{E}) = 0, \quad \operatorname{div}(\varepsilon\vec{E}) = \rho, \quad \operatorname{div}(\vec{H}) = 0 \quad (19)$$

Властивості середовища відображаються діелектричною  $\varepsilon$  і магнітною  $\mu$  проникністю, за допомогою яких встановлюються співвідношення між індукцією, і напруженням відповідних полів.

Для опису взаємодії полів з біологічними системами зі складною внутрішньою структурою (наприклад, клітини і тканини тварин) використовується теорема Гельмгольца і її узагальнення на нестационарні поля.

Відповідно до основною теоремою теорії поля Стокса - Гельмгольца: якщо дивергенція і ротор довільного поля, що прагне до нуля на нескінченності, визначені в кожній точці деякої області, то всюди в цій області поле може бути подано у вигляді суми потенційного і соленоїдального полів.

Підставляючи співвідношення між електричним полем і потенціалами в рівняння Максвелла і з огляду на співвідношення векторного аналізу для

операторів дивергенції і градієнта, отримуємо хвильове рівняння для потенціалів з правими частинами:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \Delta \varphi = \frac{\rho}{\varepsilon} + \frac{\partial}{\partial t} \left( \operatorname{div}(\vec{A}) + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) \quad (20)$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} - \Delta \vec{A} = \frac{1}{\varepsilon c^2} \vec{j} - \operatorname{grad} \left( \operatorname{div}(\vec{A}) + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right), \quad (21)$$

Питання про глибину проникнення електромагнітного поля всередину матеріалу (провідного середовища) зазвичай розв'язується на підставі визначення товщини скін-шару на яку проникає поперечне поле.

Картина виникнення скін-шару зрозуміла. Змінне електричне поле перпендикулярне напрямку поширення і викликає в середовищі індуковані струми, які, відповідно до рівнянь Максвелла індукують поля, що зменшують падаюче поле. Ясно, що для того щоб ускладнити процес екранування, треба не допустити виникнення поперечних струмів уздовж поверхні. Це досягається використанням хвилі, у якій електричне поле направлено вздовж напрямку поширення хвилі - тобто поздовжньо поляризованої хвилі. У такій хвилі немає компоненти уздовж поверхні розділу середовищ (або вона дуже мала) - екранування пригнічується.

Детальний розгляд вимагає розв'язання рівнянь поля для конкретної моделі тканин тварини, проте, проведений аналіз обґрунтовує висновок про ефективність впливу на клітини модульованої послідовності імпульсів навіть малої амплітуди. Для забезпечення належного рівня випромінювання до внутрішніх органів необхідно використовувати хвилі з поздовжньою поляризацією, оскільки глибина їх проникнення збільшується в кілька разів.

Нехай будь-яким джерелом, розташованим в точці  $O$  одночасно створюються поперечні і поздовжні електромагнітні хвилі, які розповсюджуються в діелектричній незарядженою середовищі, і розглядаються на великій відстані від джерела випромінювання. Розглянемо процес в деякій точці  $M$ , розташованій в координатній площині.

У цій точці одночасно присутні обидві хвилі: поперечна і поздовжня. Кожна з них є практично плоскою, тобто фронт поширення кожної хвилі збігається з площиною, розташованої перпендикулярно напрямку її поширення. Визначимо в точці М подовжню електромагнітну хвилю, що поширюється уздовж осі  $x$ , і поперечну - уздовж осі  $z$ .

Диференціальним хвильовим рівнянням для вихорової і потенційної частин електричного і магнітного полів задовольняють відповідні розв'язання, записані у формі:

$$\vec{E}_c(z,t) = E_{0z}(z) \exp(i\omega t), \quad \vec{H}_c(z,t) = H_{0x}(z) \exp(i\omega t) \quad (22)$$

$$\vec{E}_p(x,t) = E_{px}(x) \exp\left(i\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)\right).$$

Тут  $\omega$  - циклічна частота зміни струму у вібраторі. Фази характеристик поздовжньої хвилі зміщені по відношенню до характеристик поперечної хвилі. При цьому електричні поля задовольняють звичайному диференціальному рівнянню:

$$\frac{d^2 E_{cz}(z)}{dz^2} + k_{\perp}^2 E_{cz}(z) = 0 \quad (23)$$

де  $k_{\perp} = \omega \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0}$  - хвильове число поперечної електромагнітної хвилі.

В результаті розв'язання рівняння для поперечної хвилі, яка поширюється в додатному напрямку осі  $z$ , отримуємо:

$$\vec{E}_c(z,t) = \vec{E}_0 \exp(i(\omega t - k_{\perp} z)). \quad (24)$$

де амплітуда напруженості вихорового електричного поля,  $r$ - радіус-вектор, який визначає положення точки М,  $\vec{e}_z$  - одиничний вектор.

Аналогічним чином отримаємо розв'язок для напруженості магнітного поля:

$$\vec{H}_c(z,t) = \vec{H}_0 \exp(i(\omega t - k_{\perp} z)) \quad (25)$$

Для поздовжньої поляризації отримуємо диференціальне рівняння:

$$\frac{d^2 E_{px}(x)}{dx^2} + k_p^2 E_{px}(x) = 0 \quad (26)$$



де  $k_p$  - хвильове число поздовжньої електромагнітної хвилі.

Додатні дійсні корні відповідають поперечній хвилі, яка розповсюджується в додатному напрямку осі z:

$$k_{\perp} = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}{2} \left( \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}\right)^2} + 1 \right)} \quad (27)$$

У разі від'ємних уявних коренів:

$$k_p = -i\omega \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}{2} \left( \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}\right)^2} + 1 \right)} \quad (28)$$

плоска поздовжня електромагнітна хвиля в електропровідному середовищі посилюється. Внаслідок дисипативних процесів в електропровідних тканинах, посилення Е-хвилі не може бути нескінченним і в тканинах тварини поширюється поздовжня Е-хвиля, здатна проникати вглиб тканин з високою провідністю і досягати джерел запалення.

Вимоги до параметрів електромагнітного поля проаналізовані виходячи з моделі клітини у вигляді нелінійної коливальної системи, яка була розроблена на основі радіофізичного коливального контуру (рис. 2).

Імпульсне електромагнітне поле діє в основному на транспортні процеси в мембрані. У використаній моделі зовнішнє середовище (цитоплазма) розглядається як однорідна среда з опором близько 100 Ом·см.

Зовнішня мембрана клітини складається з подвійного ліпідного шару з ємністю близько  $10^{-6}$  Ф/см<sup>2</sup> і опором, що перевищує опір цитоплазми.

Для впливаючого імпульсу електричного поля з характерною тривалістю, що перевищує тривалість релаксації діелектричної проникності цитоплазми, місткість частина імпедансу несуттєва. Мембрана клітини моделюється ємністю, а цитоплазма - опором, провідність мембрани моделюється залежним від напруги резистором.

Коли імпульс напруги прикладений до клітини, накопичується заряд в мембрані і зростає потенціал, прикладений до мембрани. Характерний час релаксації заряду мембрани сферичної клітини може бути записано у вигляді:

$$\tau_c = \left( \frac{1+2V}{1-V} \frac{\rho_1}{2} + \rho_2 \right) C a, \quad \text{де } V \text{ - об'ємна концентрація клітин, } \rho_1 \text{ - опір середовища, } \rho_2 \text{ - опір цитоплазми, } C \text{ - ємність мембрани на одиницю площі, } 2a \text{ - діаметр клітини.}$$

Для типових клітин збудників пневмонії з діаметром 10 мкм, і щодо малої об'ємною концентрацією характерний час зарядки мембрани 75 нс. Амплітуда електричного поля, яка необхідна для зарядки мембрани до критичного потенціалу, що приводить до руйнування мембрани, має вигляд:

$$E_{cr} = \frac{U_{cr}}{\left( f a (1 - \exp(-\tau/\tau_c)) \right)}, \quad (29)$$

де  $\tau_c$  - характерний час зарядки мембрани, а  $f$  - множник, який визначається формою клітини. Для збудників пневмонії критичне значення напруженості поля виявляється близько 10 кВ/см.

Енергія, необхідна для руйнування мембрани збудника:

$$W_{cr} = E_{cr}^2 \tau / \rho_1 = K \tau / (1 - \exp(-\tau/\tau_c)), \quad (30)$$

де  $K$  - константа.

Наявність цього мінімуму енергії зовнішнього імпульсу забезпечує те, що цей ефект зарядки мембрани виявляється визначальним. При достатньому збільшенні амплітуди електричного імпульсу цей метод може застосовуватися і для бактерій з розмірами клітин менше одного мікрона.

При розрахунках критичних значень напруженості полів використовувалися тільки «силові» параметри. Як було показано в розділі, використання складних сигналів зі змінною частотою повторення, тобто зі збільшеною шириною спектра, дозволяє знизити необхідну для виведення з ладу збудника пневмонії більш, ніж в 100 разів і довести до значень порядку

100 В/см. З іншого боку, при використанні імпульсних полів немає необхідності у великій різниці потенціалів. Як було показано в цьому розділі навіть при відсутності різниці потенціалів напруженість електричного поля може бути зроблена дуже великою ( $|\vec{E}| \approx \mu_0 \frac{I_{\max}}{\tau_f}$ ), еквівалентною значенням 10 кВ/см при практично нульовій різниці потенціалів і струмах порядку декількох ампер.

При визначенні граничних значень параметрів способу необхідно враховувати такі фактори, як швидкість дисипації енергії в біологічних об'єктах, що характеризується частотою дисипації  $\nu_{dis}$  і шириною смуги пропускання біологічної тканини  $\Delta\omega_{bio}$ , а також параметри послідовності імпульсів впливу - ефективну ширину спектру імпульсів  $\Delta\omega_s$  і фрактальну розмірність послідовності імпульсів.

Перевищення  $\nu_{rep}$  над  $\nu_{dis}$  призводить до накопичення енергії в біологічних об'єктах і в співвідношенні для визначення ефективності впливу виникає замість  $W_s$  величини  $W_{eff} = \frac{\nu_{rep}}{\nu_{dis}} W_s$ .

Збільшення ширини смуги випромінювання джерела  $\Delta\omega_s$  приводить до появи ефективного множника, що зменшує поріг впливу на біологічні об'єкти. Величина ефективного порога впливу  $W_{eff}$  викликана активаційними процесами в клітинах і зазвичай визначається експоненціальною залежністю.

Таким чином, для запропонованого способу впливу потужність джерела, необхідна для терапії, різко знижується

**У четвертому розділі** запропоновані способи збудження і формування електромагнітних полів, необхідних для лікування пневмонії тварин.

У розділі запропонована і розрахована зручна і проста у виготовленні торовидна система, що складається з котушок, намотаних на сердечник у вигляді паралелепіпеда. При розрахунку розподілу полів використовуються основні співвідношення для векторного потенціалу та електричного поля для кінцевих відрізків нестационарних струмів і системи контурів.

Важливим прикладом системи контурів є плоский тор, який може бути представлений як сукупність перетинів перпендикулярних осі  $y$ , причому кожен перетин складається з двох компонент - двох котушок, намотаних на сердечники у вигляді паралелепіпеда (з висотою  $h$ , шириною  $2b$ , довжиною  $l$ ), укладені один на одного широкою стороною з проміжком, що дорівнює подвоєному діаметру дроту  $\Delta$ .

Вісь  $y$  спрямована вздовж довгих сторін паралелепіпедів, а початок координат розташовано посередині між двома паралелепіпедами. Таким чином, усі витки перебувають в площині  $(x, z)$ , перпендикулярній осі  $y$ .

Зробимо тепер розрахунок полів від пари контурів, наприклад для контурів в перетині тора. Важливо підкреслити, що струм в контурах кожного перетину тора тече назустріч  $i$ , таким чином, магнітні поля від контурів спрямовані в протилежні сторони, скалярне поле зосереджується біля кінців відрізків, а струми по двох найближчих відрізках течуть в один бік, отже, векторний потенціал від цих відрізків збільшується (внески в векторний потенціал від інших відрізків струму взаємно знищуються).

Розглянемо довільну точку  $(x, y, z)$ . Усі внески кожної пари витків в потенціали  $i$  поля визначаються довжинами восьми радіус-векторів від кожного кута в обрану точку. Радіус-вектори позначаються наступним чином  $r_{ij}^k$ . Тут  $k$  - номер перетину, що складається з двох контурів, нумерує номер контуру в перерізі (1- верхній, 2 - нижній),  $j$  - номер вершини в контурі.

Нехай висота кожного контуру  $h$ , а напівширина  $-b$ . Для внеску у векторний потенціал від кінцевого відрізка струму довжиною, що проходить через 1 і 2 точки  $i$ -го верхнього контуру отримуємо:

$$A_z^k(1 \rightarrow 2) = \frac{\mu_0}{4\pi} j \left( \ln \left| b - z + \sqrt{((h + \Delta) - x)^2 + ((k - 1)\Delta - y)^2 + (b - z)^2} \right| - \ln \left| -(b + z) + \sqrt{((h + \Delta) - x)^2 + ((k - 1)\Delta - y)^2 + (b + z)^2} \right| \right) =$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} j \ln \left| \frac{b-z + \sqrt{((h+\Delta)-x)^2 + ((k-1)\Delta-y)^2 + (b-z)^2}}{\sqrt{((h+\Delta)-x)^2 + ((k-1)\Delta-y)^2 + (b+z)^2} - (b+z)} \right| = \frac{\mu_0}{4\pi} j \ln \left| \frac{b-z + r_{12}^k}{r_{11}^k - (b+z)} \right| \quad (31)$$

$$A_z(x, y, z) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \sum_k \left( \ln \left| \frac{b-z + r_{12}^k}{r_{11}^k - (b+z)} \right| + \ln \left| \frac{b-z + r_{13}^k}{r_{14}^k - (b+z)} \right| + \ln \left| \frac{b-z + r_{22}^k}{r_{21}^k - (b+z)} \right| + \ln \left| \frac{b-z + r_{23}^k}{r_{24}^k - (b+z)} \right| \right) \quad (32)$$

$$A_x^k(4 \rightarrow 1) = \frac{\mu_0}{4\pi} j \left( \ln \left| (h+\Delta) - x + \sqrt{(b+z)^2 + ((k-1)\Delta-y)^2 + ((h+\Delta)-x)^2} \right| - \right. \\ \left. - \ln \left| (\Delta-x) + \sqrt{(b+z)^2 + ((k-1)\Delta-y)^2 + (\Delta-x)^2} \right| \right) = \frac{\mu_0}{4\pi} j \ln \left| \frac{((h+\Delta)-x) + r_{11}^k}{r_{14}^k + (\Delta-x)} \right|. \quad (33)$$

Розподіл значень векторного потенціалу в просторі від котушки з 250 витками зображено на рис. 3 і 4.

Отримані співвідношення описують всі необхідні характеристики випромінювання торовидної системи в широкому частотному діапазоні.

Для розробленої системи формування електромагнітного поля необхідно розробити і відповідне джерело послідовності імпульсів.

Зазвичай при дослідженні складних процесів в коливальних системах використовується формалізм на основі нелінійних диференціальних рівнянь або відображень. У разі впливу випадкових сил і збурень часто використовується підхід на основі стохастичних диференціальних рівнянь. Однак для складних систем більш ефективно застосування замість безперервних моделей еволюції дискретних моделей на основі відображень з урахуванням впливу зовнішніх випадкових впливів.

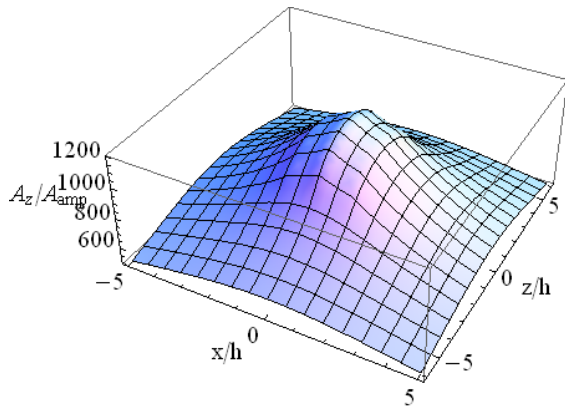


Рис. 3. Значення проекції  $A_z / A_{amp}$  векторного потенціалу в площині  $(x, z)$  для плоского тора з висотою  $h$  і довжиною  $2b$ . Співвідношення  $b / h = 2.5$ . Число витків  $N_{cont} = 250$ .

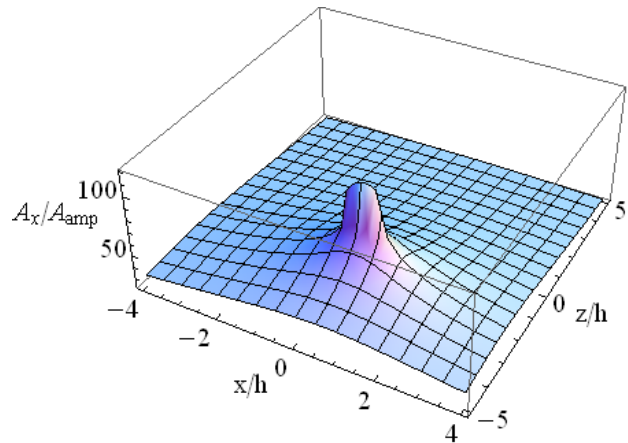


Рис. 4. Значення проекції  $A_x / A_{amp}$  векторного потенціалу в площині  $(x, z)$  для плоского тора з висотою  $h$  і довжиною  $2b$ . Співвідношення  $b / h = 2.5$ . Число витків  $N_{cont} = 250$ .

Використання керованої послідовності імпульсів призводить до розширення спектра електромагнітного поля і його фрактальних характеристик і забезпечує ефективний вплив на біологічні клітини в результаті попадання області їх резонансних частот в область спектру випромінювання, що діє на клітини при одночасному формуванні еволюції ентропії власного випромінювання клітини і зменшенні напруженості полів, необхідних для цього ефекту. Вплив на біологічні клітини здійснюється в результаті опромінення об'єкта складномодульованою послідовністю наносекундних імпульсів, що виходять з напівпрозорого торця лінії, яка є пристроєм формування послідовності імпульсів із заданою фрактальною розмірністю і спектром. Регулярна послідовність наносекундних імпульсів вводиться в пристрій формування послідовності від джерела наносекундних імпульсів через НВЧ-сполучення.

Попередній аналіз можливих схем генерування імпульсних сигналів показує, що методом генерації сигналів, який задовольняє всім вимогам тонкого настроювання - швидкій зміні частоти повторення, амплітуди сигналу і

шпаруватості, є прямий цифровий синтез сигналів. Для реалізації цифрового синтезу з'явилися сучасні мікросхеми (наприклад, DDS AD9853) і став доступний для використання в практиці метод, який має ряд унікальних властивостей і, відповідно до теореми Котельникова, дозволяє генерувати сигнали практично будь-якої форми і послідовності зі змінною частотою проходження.

Частотна здатність DDS складає  $10^{-2}$ , і навіть  $10^{-3}$  частки герца при вихідній частоті порядку десятків мегагерц. Такий діапазон недосяжний для інших методів синтезу. Іншою характерною особливістю DDS є дуже висока швидкість переходу на іншу частоту. Синтезатори на основі PLL використовують зворотний зв'язок і фільтрацію сигналу помилки, що уповільнює процес переналаштування частоти. Для DDS швидкість переналаштування обмежена практично лише швидкодією цифрового управляючого інтерфейсу. Більш того, всі налаштування за частотою відбуваються у DDS без розриву фази вихідного сигналу. Оскільки вихідний сигнал синтезується в цифровому вигляді, дуже просто здійснити модуляцію різних видів.

Як з технічного, так і з економічного боку, DDS задовольняє більшості критеріїв ідеального синтезатора частоти: простий, високоінтегрований, малих габаритів. Додатково, багато параметрів DDS програмно-керовані, що дозволяє додати в пристрої нові можливості.

Реалізована функція управління тривалістю вихідних імпульсів (шпаруватість). Шпаруватість змінюється від 1 до 99% від періоду. Програмно реалізований режим автоматичного обмеження тривалості вихідних імпульсів, який в залежності від робочої частоти, обмежує її на рівні 100-150 нс, тобто не допускає формування шпаруватості менше 2-3% або більше 97%.

З виходу DDS синтезатора, сигнал надходить на формувач і вихідний імпульсний підсилювач (рис.5).

Пристрій для формування забезпечує імпульс амплітудою 12В на ємнісне навантаження. Навантаження - польові транзистори HEXFET® Power MOSFET IRFP4227, які мають вхідну ємність в кілька тисяч пФ.

Для досягнення необхідних параметрів послідовності імпульсів найбільш простою схемою розширення спектра, яка гармонійно поєднує як простоту виконання, так і зручність керування параметрами, є джерело електромагнітних коливань з нестационарною індуктивністю, а точніше джерело зі змінною структурою ланцюга.

Прилад складається з декількох коливальних ланок, струм від яких підсумовується в останній ланці. Коливальні ланки утворені з секцій загальної індуктивності і окремої для кожної секції ємності. Особливістю даного приладу є розподіл індуктивності обмотки по секціях і включенні між ними конденсаторів. Таке виконання конструкції дозволяє змінювати схему приладу в різні моменти часу за допомогою ключів.

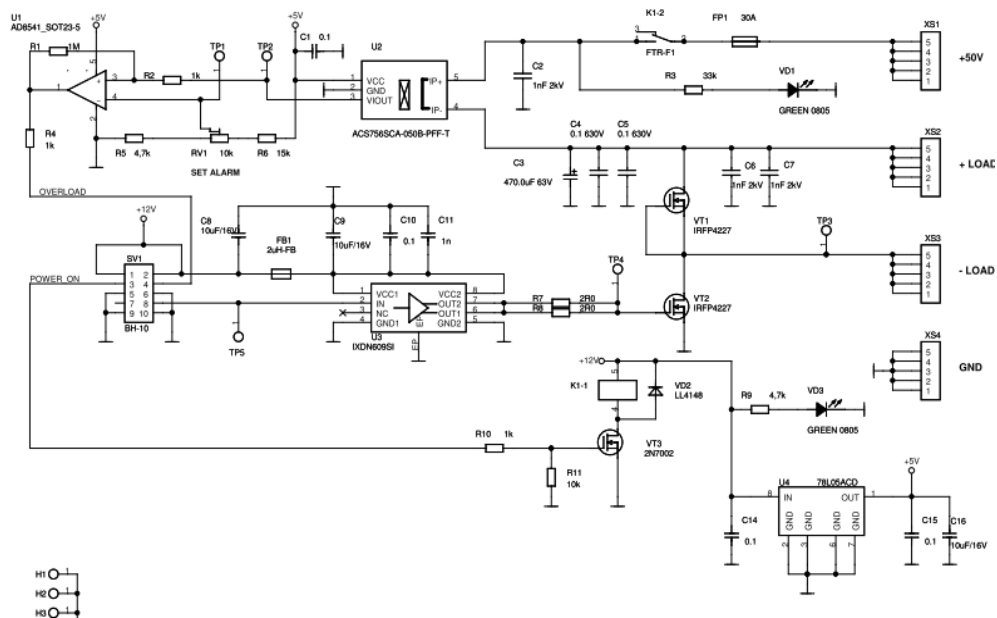


Рис.5 Схема підсилювача для формування сигналу на вихідних каналах



Початкові параметри послідовного контуру і навантаження змінюються в процесі роботи приладу за допомогою послідовного включення ключів і послідовного відключення ключів.

Після виконання циклу відключень схема знову відновлюється і готова для наступного циклу зміни структури схеми. Спрощена еквівалентна схема пристрою розширення спектра послідовності імпульсів, що надходять на його вхід, представлена на рис.6. і фактично являє собою, пов'язані через ключі відрізки лінії передачі імпульсів.

Для аналізу роботи такого приладу доцільно виділити чотири характерні послідовних інтервалу часу  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  і  $t_4$ , за числом секцій. Перший часовий інтервал від нуля до  $t_1$  починається з моменту замикання індуктивності  $L_1$  і закінчується в момент замикання конденсатора  $C_1$ . Індуктивність обмотки є сумою індуктивностей секцій  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  і  $L_4$ . В результаті цього утворюється активний високочастотний коливальний контур  $L_1C_1$ . Наступні ланки лінії є навантаженням цього контуру. У контурі  $L_1C_1$  збуджуються коливання поблизу власної частоти цього контуру.

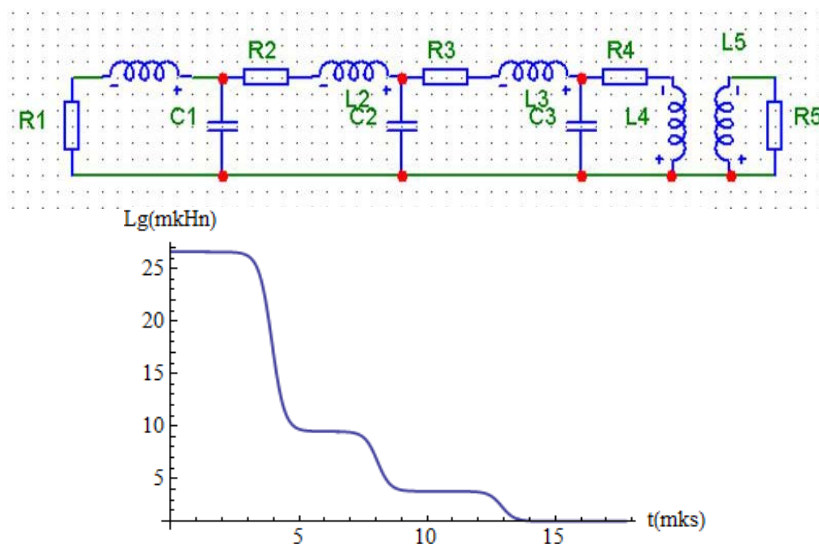


Рис.6. Принципова схема генератора і залежність індуктивності від часу

Рівняння Кірхгофа для ланцюга на цій стадії процесу мають вигляд:

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{dt}(L_1(t)I_1) + R_1I_1 + U_1 = 0; \quad C_1 \frac{dU_1}{dt} = I_1 - I_2; \\
& L_2 \frac{dI_2}{dt} + R_2I_2 + M_{23} \frac{dI_3}{dt} + U_2 - U_1 = 0; \quad C_2 \frac{dU_2}{dt} = I_2 - I_3; \\
& L_3 \frac{dI_3}{dt} + R_3I_3 + M_{23} \frac{dI_2}{dt} + M_{34} \frac{dI_4}{dt} + U_3 - U_2 = 0; \quad C_3 \frac{dU_3}{dt} = I_3 - I_4 - \frac{U_3}{R_{load}}; \quad (34) \\
& L_4 \frac{dI_4}{dt} + M_{34} \frac{dI_3}{dt} + M_{45} \frac{dI_5}{dt} + R_4I_4 = U_3; \quad L_5 \frac{dI_5}{dt} + M_{45} \frac{dI_4}{dt} + I_5R_5 = 0; \\
& M_{23} = k_{23}\sqrt{L_2L_3}, \quad M_{45} = k_{45}\sqrt{L_4L_5}, \quad M_{34} = k_{34}\sqrt{L_3L_4}
\end{aligned}$$

Збільшення струму забезпечує збільшення амплітуди коливань в високочастотному контурі. На наступному етапі ключ відключає індуктивності  $L_1$  і ємності  $C_1$ . Утворюється новий високочастотний контур з індуктивністю  $L_2$  і ємністю  $C_2$ . Імпульсний струм розмикання і коливання, вже збуджені в лінії, утворюють початкові умови для коливань в частині ланцюга, що залишилися. До моменту відключення другої ємності ( $t < t_{2max}$ ) коливання задовольняють наступним рівнянням:

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{dt}(L_2I_2) + R_2I_2 + U_2 = 0; \quad C_2 \frac{dU_2}{dt} = I_2 - I_3 \\
& L_3 \frac{dI_3}{dt} + R_3I_3 + M_{34} \frac{dI_4}{dt} + U_3 - U_2 = 0; \quad C_3 \frac{dU_3}{dt} = I_3 - I_4 \quad (35) \\
& L_4 \frac{dI_4}{dt} + M_{34} \frac{dI_3}{dt} + M_{45} \frac{dI_5}{dt} + R_4I_4 = U_3; \quad L_5 \frac{dI_5}{dt} + M_{45} \frac{dI_4}{dt} + I_5R_5 = 0
\end{aligned}$$

Після того, як ключ відключить другу ємність, динаміка струмів на інтервалі  $t_{2max} < t < t_{3max}$  описується рівняннями:

$$\begin{aligned}
& \frac{d}{dt}(L_3I_3) + R_3I_3 + U_3 = 0; \quad C_3 \frac{dU_3}{dt} = I_3 - I_4 - \frac{U_3}{R_{load}} \quad (36) \\
& L_4 \frac{dI_4}{dt} + M_{45} \frac{dI_5}{dt} + R_4I_4 = U_3; \quad L_5 \frac{dI_5}{dt} + M_{54} \frac{dI_4}{dt} + I_5R_5 = 0
\end{aligned}$$

На останньому етапі після відключення третьої ємності струми в залишкової індуктивності і навантаженні (антени) описуються рівняннями:

$$L_4 \frac{dI_4}{dt} + M_{45} \frac{dI_5}{dt} + R_4 I_4 = 0; \quad L_5 \frac{dI_5}{dt} + M_{45} \frac{dI_4}{dt} + I_5 R_5 = 0 \quad (37)$$

Подальше повторення послідовного включення ключів забезпечує генерацію керованої послідовності наведених вище надширококузових імпульсів.

З отриманих співвідношень видно, що амплітуди всіх типів полів в загальному випадку збільшуються з ростом числа витків в струмових системах і, природно, одночасно зростає індуктивність, тобто електрична інерційність системи. Для багатьох задач, однак, необхідно мати можливість зменшити інерційність системи при збереженні високих значень полів і управляти співвідношенням компонент полів. Тор і системи торів є важливими системами, що розв'язують зазначені проблеми за рахунок певного розташування струмових контурів в просторі з однаковою амплітудою струмів в контурах. Використання неоднорідних по контурах струмів, очевидно, розширює можливості управління полями і індуктивностями.

У **п'ятому розділі** описано реалізацію радіофізичного комплексу для електромагнітної терапії тварин. У розділі наведені експериментальні дослідження розроблених радіофізичних пристроїв і результати дії інформаційного електромагнітного випромінювання на процес лікування бронхопневмонії тварин. Для уточнення біотропних параметрів встановлених теоретично, проведено багатофакторний експеримент. Математична модель, яка описує лікування бронхопневмонії корів приведена в формі рівняння регресії  $Y = 315 - 600X_1 + 478X_2 + 498X_3 + 300X_1X_2 - 400X_1X_3 + 1600X_1^2 + 200X_2^2 + 225X_3^2$

де  $Y$  - вихідний параметр (кількістьвилікуваних корів),

$X_1$  - ширина смуги ширококузового випромінювання,

$X_2$  - щільність потужності електромагнітного поля випромінювання,

$X_3$  - експозиція.

У проведених дослідженнях було встановлено, що для лікування корів доцільно використовувати наступні параметри електромагнітних полів: ширина смуги електромагнітного поля до 2,4 ГГц, щільність потоку потужності 4,5 мкВт/см<sup>2</sup>, експозиція 0,9-1,3 хв.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі в результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень створена наукова основа і технічна реалізація інформаційної безмедикаментозної електромагнітної терапії сільськогосподарських тварин.

1. Для оптимізації параметрів ЕМ поля і забезпечення нормалізації параметрів клітин при лікуванні тварин необхідно використовувати неекстенсивне узагальнення нерівновагової термодинаміки живих клітин, що відрізняється урахуванням нестационарності потоків в фазовому просторі, які визначаються зовнішніми інформаційними електромагнітними полями від джерел широкосмугового випромінювання з шириною смуги до одиниць ГГц і щільністю потоку випромінювання менше 10 мкВт/см<sup>2</sup>.
2. Для визначення необхідних параметрів для здійснення безмедикаментозної електромагнітної інформаційної терапії тварин (потіку потужності і ширини спектра) необхідно використовувати співвідношення між концентраціями іонів і величинами потенціалів ЕМ поля в клітинних мембранах з урахуванням їх рідинно-мозаїчних властивостей на основі нерівновагової, неекстенсивної термодинаміки. Потік потужності повинен бути близько 2 - 5 мкВт / см<sup>2</sup>, а частоти в області 1,2-3 ГГц.
3. Для здійснення інформаційної електромагнітної терапії тварин необхідно використовувати імпульси ЕМІ з співвідношенням між тривалістю імпульсу  $\tau_p$  і його переднього фронту  $\tau_f / \tau_p < 0.1$ . Такі імпульси відрізняються тим, що

призводять до руху іонів проти градієнта щільності і забезпечують нормалізацію параметрів клітини.

4. Для визначення біотропного параметрів інформаційної електромагнітної терапії необхідно використовувати модифікацію електрофізичної моделі клітин з ємністю клітинної мембрани в діапазоні 0,01-0,1 пікофарад, з електричним опором протоплазми до  $10^7$  МОм, що відрізняється одночасним адекватним урахуванням всього спектру частот на основі використання аналізу умов виникнення і параметрів хаотичних режимів коливань потенціалу клітин, що знаходяться під впливом інформаційних електромагнітних полів.

5. Для адекватного опису процесів нормалізації функціонування біологічних клітин при взаємодії інформаційних електромагнітних полів з живим організмом слід використовувати рівняння для швидкості іонів з квантовими і дробними операторами, що відрізняються тим, що вид операторів залежить від поточної структури мембран живих клітин, потоку потужності і ширини смуги електромагнітного випромінювання, що використовується для терапії.

6. Для моделювання потоків іонів і енергії через мембрану при інформаційній електромагнітній терапії необхідно використовувати еквівалентні схеми клітин в радіофізичній моделі з урахуванням властивостей нелокальності мембран, які відрізняються тим, що облік в цих схемах зміни структури мембран в зовнішніх полях забезпечує можливість управління терапевтичним ефектом опромінення ЕМ полями .

7. Для проектування пристроїв інформаційної безмедикаментозної терапії необхідне використання дробного і квантового аналізу при описі функціонування клітини з урахуванням властивостей нелокальності, що виникають при впливі широкосмугового електромагнітного випромінювання.

8. Для ефективного здійснення електромагнітної терапії необхідно забезпечувати зворотний зв'язок з використанням діагностики на основі аналізу статистичних та термодинамічних співвідношень для зміни числа хворих клітин, в якому потік потужності і ширина спектра зовнішнього поля

враховуються у виразі для параметра неекстенсивності, що характеризує якість електромагнітної терапії тварин.

9. Для забезпечення необхідної чутливості діагностики ефективності інформаційної електромагнітної терапії сільськогосподарських тварин слід застосовувати комбіновану схему з кореляційних і модуляційних радіометрів в міліметровому і сантиметровому діапазоні довжин хвиль.

10. Для здійснення інформаційної електромагнітної терапії необхідно використовувати полеутворюючу систему, яка дозволяє ефективно доставляти електромагнітне поле від джерела до необхідної області біологічних об'єктів і являє собою систему торів. Як джерела ЕМ полів для електромагнітної терапії рекомендуються генератори імпульсних ЕМ полів з амплітудою імпульсів до сотень вольт, тривалістю фронту імпульсів порядку наносекунди, тривалістю імпульсів від наносекунд до мікросекунд і частотою повторень від 10 Гц до десятків кГц з використанням тунельних діодів, магнітних розмикачів і ліній, що перемикаються.

## ПУБЛІКАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Наукові роботи, в яких опубліковані основні результати дисертації

1. Краткий аналитический обзор о взаимодействии электромагнитных волн с различными биологическими объектами / А. С. Черепнев, И. А. Черепнев, Г. А. Ляшенко та ін. // Вісник Харківського Державного технічного університету сільського господарства. – Харків : ХДТУСГ, 2003. – Вип. 19. – Т. 2. – С. 49 – 58.

2. Черепнев И. А. Математическая модель взаимодействия сил, действующих на эритроциты крови при наличии внешнего электромагнитного поля / И. А. Черепнев // Вестник Международного Славянского университета. – Харьков : МСУ, 2003. – Т. 6. – № 2. – С. 9 – 14. – (Серия «Технические науки»).

3. Черепнев И. А. Изменение биоэлектрических процессов в клетке живого организма под воздействием внешних электромагнитных полей / И. А.

Черепнев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2004. – № 3 (9). – С. 7 – 11.

4. Черепнев И. А. Методы оценки состояния биологических объектов при воздействии электромагнитных полей / И. А. Черепнев // Вестник Международного Славянского университета. – Харьков : МСУ, 2004.– № 1. – Т. 7. – С. 21 – 26. – (Серия «Технические науки»).

5. Обоснование применения конструкций облучателей для проведения СВЧ биологических исследований в ограниченном физическом пространстве / А. С. Черепнев, И. А. Черепнев, Г. А. Ляшенко, Е. В. Журенко // Вісник Харківського Державного технічного університету сільського господарства. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження АПК України. – Харків : ХДТУСГ, 2004. – Вип. 27. – Т. 2. – С. 34 – 41.

6. Черепнев И. А. Обоснование направления некоторых методов диагностики состояния биологических объектов / И. А. Черепнев // Вестник Международного Славянского университета. – Харьков : МСУ, 2004. – № 2. – Т. 7. – С. 22 – 28. – (Серия «Технические науки»).

7. Черепнев И. А. Методы определения параметров энергоинформационного воздействия электромагнитных полей на биологические объекты / И. А. Черепнев // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків : ХНТУСГ, 2005. – Вип. 37. – Том 1. – С. 278 – 288.

8. Черепнев И. А. Солитоны и распространение сигналов по нервным волокнам / И. А. Черепнев // Вестник Международного Славянского университета. – Харьков : МСУ, 2006. – № 1. – Т. IX. – С. 18 – 22. – (Серия «Технические науки»).

9. Черепнев И. А. Электромагнитное излучение клеток и их взаимодействие / И. А. Черепнев // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Харків, 2006. – Вип. 8 (57). – С. 117 – 118.

10. Черепнев И. А. Взаимодействие клеток с внешним электромагнитным полем / И. А. Черепнев // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Харків, 2006. – Вип. 6 (12). – С. 37 – 39.

11. Черепнев И. А. Электрические и магнитные свойства биологических объектов / И. А. Черепнев // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П.Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків : ХНТУСГ, 2006. – Вип. 44. – Т. 1. – С. 240 – 244.

12. Черепнев И. А. Механизм передачи сигнала по нервной системе / И. А. Черепнев // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Харків, 2006. – Вип. 9 (58). – С. 126 – 127.

13. Черепнев И. А. Биоэлектрические явления в живых клетках / И. А. Черепнев // Вестник Международного Славянского университета. – Харьков : МСУ, 2006. – № 2. – Т. IX. – С. 9 – 11. – (Серия «Технические науки»).

14. Литвиненко С. В. Радиопизические модели клеток и их взаимодействие с внешним электромагнитным полем / С. В. Литвиненко, А. С. Черепнев, И. А. Черепнев // Прикладная радиоэлектроника. – 2006. – № 4. – Т. 5. – С. 581 – 585.

15. Черепнев И. А. Биологические эффекты при воздействии электромагнитных волн / И. А. Черепнев // Системи управління навігації та зв'язку. – Київ, 2007. – Вип. 3. – С. 118 – 124.

16. Кучин Л. Ф. Сущность, возможности и опасности биоэлектромагнитологии / Л. Ф. Кучин, А. С. Черепнев, И. А. Черепнев // Арсенал XXI. Науково-виробничий журнал. – 2007. – № 1. – С. 78 – 81.

17. Черепнев И. А. Концепция воздействия импульсного электромагнитного поля на биологические объекты / И. А. Черепнев // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків : ХУПС, 2007. – Вип. 3 (15). – С. 52 – 54.

18. Черепнев А. С. Некоторые аспекты использования широкополосных сигналов в сельском хозяйстве / А. С. Черепнев, И. А. Черепнев // Вестник Международного Славянского университета. – Харьков : МСУ, 2008. – № 2. – Т. XI. – С. 20 – 24. – (Серия «Технические науки»).



19. Черепнев И. А. Продовольственная безопасность Украины и использование электромагнитных технологий в животноводстве и ветеринарии / И. А. Черепнев, В. А. Василенко // Системи управління навігації та зв'язку. – Київ, 2010. – Вип. 2 (14). – С. 164 – 175.

20. Черепнев И. А. Транспорт в клеточных мембранах под воздействием электромагнитных полей / И. А. Черепнев, В. Е. Новиков // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків : ХУПС, 2010. – Вип. 2 (24). – С. 130 – 134.

21. Черепнев И. А. Изучение влияния электромагнитных полей на развитие воспалительных процессов живых организмов на основе неравновесной термодинамики / И. А. Черепнев, А. Н. Мороз // Вісник Національного Технічного Університету «ХП». Тематический выпуск «Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов». – Харків, 2011. – Вип. 12. – С. 163 – 168.

22. Основные факторы экологического давления на составляющие агропромышленного комплекса / А. Д. Черенков, И. А. Черепнев, Г. А. Ляшенко, А. Г. Курченко // Системи обробки інформації : зб. наук. праць. – Харків, 2011. – Вип. 8 (98). – С. 290 – 302.

23. Черепнев И. А. Основные требования к диагностической аппаратуре на основе измерения собственных электромагнитных излучений биологических объектов / И. А. Черепнев, В. С. Лупиков, Г. А. Ляшенко // Системи управління навігації та зв'язку. – Київ, 2011. – Вип. 4 (20). – С. 124 – 131.

24. Черепнев И. А. Эффективность низкоэнергетического воздействия импульсных полей на клеточные мембраны и системы итерируемых функций / И. А. Черепнев // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. «Механізація сільського господарського виробництва». – Харків : ХНТУСГ, 2012. – Вип. 124. – Т. 2. – С. 423 – 429.

25. Черепнев И. А. Оптимизация информационной электромагнитной терапии / И. А. Черепнев, Н. В. Полянова // Вісник Харківського національного

технічного університету сільського господарства імені П. Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків : ХНТУСГ, 2013. – Вип. 141. – С. 105 – 106.

26. Черепнев И. А. Использование импульсного трансформатора Тесла для электромагнитной терапии / И. А. Черепнев, Г. В. Фесенко, А. В. Артюшенко // Системи обробки інформації : зб. наук. праць. – Харків, 2015. – № 12 (137). – С. 161 – 164.

27. Черенков А. Д. Особенности низкоэнергетической электромагнитной терапии пневмонии животных / А. Д. Черенков, И. А. Черепнев, Н. В. Полянова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків : ХНТУСГ, 2015. – Вип. 164. – С. 160 – 162.

28. Черепнев И. А. Особенности источников для электромагнитной терапии пневмонии животных / И. А. Черепнев, Г. В. Фесенко, А. Н. Сологуб // Інженерія природокористування. – 2016. – № 1 (5). – С. 62 – 67.

### **Опубліковані роботи, які мають апробаційний характер**

1. Черепнев А. С. Влияние облучения модулированной высокочастотной энергией низкого уровня мощности на биологические функции / А. С. Черепнев, И. А. Черепнев // Матеріали Третьої наукової конференції Харківського університету повітряних сил ім. Івана Кожедуба (Харків, 28–29 березня 2007 р.). – Харків : ХУПС, 2007. – С. 98.

2. Черепнев А. С. Влияние крайне высокочастотных электромагнитных излучений на структурные перестройки хромосом / А. С. Черепнев, О. В. Бляндур, И. А. Черепнев // Проблемы информатики и моделирования : материалы Седьмой международной научно-технической конференции (Харьков, 29 ноября – 1 декабря 2007 г.). – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – С. 53.

3. Черенков А. Д. Модель распространения импульсов по клеточным структурам волокон / А. Д. Черенков, И. А. Черепнев // Проблемы информатики и моделирования : материалы Восьмой международной научно-технической конференции (Харьков, 26–28 ноября 2008 г.). – Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. – С. 10.

4. Черепнев И. А. Моделирование радиоизлучения кровотока в разветвленной сети капиллярных сосудов и его фрактальные свойства / И. А. Черепнев // Проблемы информатики и моделирования : материалы Девятой международной научно-технической конференции (Харьков, 26–28 ноября 2009 г.). – Харьков : НТУ «ХПИ», 2009. – С. 70.

5. Черепнев И. А. Применение электромагнитных полей сверхвысокочастотного диапазона для повышения устойчивости организма человека к токсическому действию химических веществ / И. А. Черепнев // Матеріали Шостої наукової конференції Харківського університету повітряних сил ім. Івана Кожедуба (Харків, 14–15 квітня 2010 р.). – Харків : ХУПС, 2010. – С. 164.

6. Черепнев И. А. Воздействие последовательности электромагнитных импульсов низких энергий на клеточные мембраны и системы итерируемых функций / И. А. Черепнев, В. А. Василенко // Інформаційні технології в навігації і управлінні : стан та перспективи розвитку : матеріали Другої міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 16–17 липня 2011 р.) – К. : ДП «ЦНДІ НІУ», 2011. – С. 24.

7. Черепнев И. А. Диагностика состояния биологических объектов на основе регистрации их электромагнитных полей / И. А. Черепнев, Г. А. Ляшенко, А. В. Шерстюк // Матеріали Восьмої наукової конференції Харківського університету повітряних сил ім. Івана Кожедуба (Харків, 18–19 квітня 2012 р.). – Харків : ХУПС, 2012. – С. 311.

8. Фесенко Г. В. Применение низкоэнергетических информационных электромагнитных излучений для лечения некоторых профессиональных заболеваний пожарных / Г. В. Фесенко, Г. А. Ляшенко, И. А. Черепнев //

Забезпечення пожежної та техногенної безпеки : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Харків, 29–30 жовтня 2015 р.). – Харків : НУЦЗУ, 2015. – С. 153 – 155.

9. Черепнев И. А. Діагностика стану організму людини після уражень, отриманих під час пожежі, на основі вимірювання власних електромагнітних випромінювань / И. А. Черепнев, Г. В. Фесенко, В. М. Біліченко // Забезпечення пожежної та техногенної безпеки : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Харків, 29–30 жовтня 2015 р.). – Харків : НУЦЗУ, 2015. – С. 155 – 156.

## АНОТАЦІЇ

Черепньов І.А., Науково-технічні основи інформаційної електромагнітної терапії у тваринництві. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.17-біологічні та медичні пристрої і системи. -Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків, 2016.

Дисертація присвячена розробці теоретичних основ екологічно безпечною, енергозберігаючої інформаційної безмедикаментозної електромагнітної терапії для збереження і збільшення поголів'я ВРХ та забезпечення розробленої терапії ефективним обладнанням. У роботі на основі:

- нерівновагової термодинаміки біологічних процесів;
- математичної біофізики функціонування біологічних клітин;
- радіофізики функціонування біологічних клітин;

- чисельного моделювання процесів функціонування клітин в рамках квантового і дрібного аналізу.

Визначено оптимальні біотропного параметри низькоенергетичного електромагнітного поля для електромагнітної терапії на основі розробки модифікованих моделей клітин, що враховують нелінійність їх мембран.

Теоретично досліджено особливості функціонування біологічних клітин під впливом низькоенергетичного електромагнітного поля і вплив зовнішніх електромагнітних полів на процеси переносу потенціалів в клітинах.

Розроблено джерела електромагнітного випромінювання та антенні системи, що дозволяють забезпечити ефективний вплив інформаційного електромагнітного випромінювання на біологічні об'єкти.

Достовірність наукових положень встановлювалася на основі відповідності теоретичних досліджень, результатів чисельного та радіофізичного моделювання результатів експериментальних досліджень і виробничих випробувань.

Основні результати дисертації знайшли практичне використання при розробці радіофізичного терапевтичної апаратури та здійсненні електромагнітної терапії тварин.

*Ключові слова:* низькоенергетичні електромагнітні технології, низькоенергетичне інформаційний вплив, імпульсні електромагнітні поля, терапія, біологічна клітина, математичні моделі, сільськогосподарські тварини.

Черепнев І.А., Научно-технические основы информационной электромагнитной терапии в животноводстве. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.11.17-биологические и медицинские устройства и системы. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена разработке теоретических основ экологически безопасной, энергосберегающей информационной безмедикаментозной электромагнитной терапии для сохранения и увеличения поголовья КРС и обеспечение разработанной терапии эффективным оборудованием.

В работе на основе:

- неравновесной термодинамики биологических процессов;
- математической биофизики функционирования биологических клеток;
- радиофизики функционирования биологических клеток;
- численного моделирования процессов функционирования клеток в рамках квантового и дробного анализа.

Определены оптимальные биотропные параметры низкоэнергетического электромагнитного поля для электромагнитной терапии на основе разработки модифицированных моделей клеток, учитывающих нелинейность их мембран.

Теоретически исследованы особенности функционирования биологических клеток под воздействием низкоэнергетического электромагнитного поля и влияние внешних электромагнитных полей на процессы переноса потенциалов в клетках.

Разработаны источники электромагнитного излучения и антенные системы, позволяющие обеспечить эффективное воздействие информационного электромагнитного излучения на биологические объекты.

Достоверность научных положений устанавливалась на основе соответствия теоретических исследований, результатов численного и радиофизического моделирования результатов экспериментальных исследований и производственных испытаний.

Основные результаты диссертации нашли практическое использование при разработке радиофизической терапевтической аппаратуры и осуществлении электромагнитной терапии животных.

*Ключевые слова:* низкоэнергетические электромагнитные технологии, низкоэнергетическое информационное воздействие, импульсные

электромагнитные поля, терапия, биологическая клетка, математические модели, сельскохозяйственные животные.

Cherepnev IA, Scientific and technical basis of information of electromagnetic therapy in animal husbandry. - Manuscript.

Dissertation for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.11.17-biological and medical devices and systems. Kharkov National Technical University of Agriculture of the Peter Vasilenko, Kharkov, 2016.

The thesis is devoted to the development of the theoretical foundations of environmentally friendly, energy-saving information drug-free electromagnetic therapy to maintain and increase the number of cattle and providing effective therapy designed equipment.

In this paper, based on:

- Nonequilibrium thermodynamics of biological processes;
- Mathematical biophysics functioning of biological cells;
- Radiophysics functioning of biological cells;
- Numerical modeling of the functioning of the cells in the fractional quantum and analysis.

The optimal parameters biotropic low-energy electromagnetic field for electromagnetic therapy through the development of modified models of cells, taking into account the non-linearity of their membranes.

Theoretically studied the peculiarities of biological cells exposed to low energy electromagnetic field and the influence of external electromagnetic fields on transfer processes potentials in cells.

Developed by electromagnetic equipment and antenna systems to ensure the effective impact of the information of electromagnetic radiation on biological objects.

The reliability of scientific statements based on that of the corresponding theoretical studies, the results of numerical simulation and Radiophysics of experimental research and production testing.

The main results of the thesis have found practical use in the development of radiophysics therapeutic equipment and implementation of electromagnetic therapy animals.

*Key words:* low-energy electromagnetic technology, low-energy information impact, pulsed electromagnetic field therapy, biological cell, mathematical models, farm animals.