

Харківський національний технічний університет сільського господарства  
імені Петра Василенка  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Гузенко Віталій Вікторович

УДК 632.935.4

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ІМПУЛЬСНА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ТЕХНОЛОГІЯ І ЕЛЕКТРОННІ**  
**СИСТЕМИ ЛІКУВАННЯ ДИСПЕПСІЇ У ТЕЛЯТ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи  
технічні

Подається на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання чужих ідей,  
результатів і текстів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ В. В. Гузенко

Науковий керівник

Лисиченко Миколай Леонідович – доктор технічних наук, професор

Харків – 2020

## АНОТАЦІЯ

Гузенко В. В. Імпульсна електромагнітна технологія і електронні системи лікування диспепсії у телят. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи.

Робота виконана у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка. Захист дисертації відбудеться у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2020 р.

Збільшення поголів'я великої рогатої худоби пов'язане з підвищенням їх життєздатності телят в перші дні після їх народження. За даними літературних джерел із-за хвороб найбільші втрати телят бувають до 15-денного віку. За громадськими даними, на перші 5 днів життя доводиться 40...50% загибелі телят, на перші 10 днів – 65...70% і до 15-денного віку – 75...80% від полеглих впродовж першого року життя.

Нині для збереження молодняка використовують антимікробні препарати, гормони і інші хімічні препарати. Медикаментозні засоби є часто неефективними, а тривале їх застосування нерідко спричиняє за собою важкі ускладнення, що викликаються бурхливим розвитком грибків, стафілококів, гематологічних штамів кишкових паличок і протей.

Результати досліджень показують, що альтернативою медикаментозним засобам для терапії хворих диспепсією новонароджених телят може бути використання радіоімпульсних інформаційних електромагнітних випромінювань для дії на біологічно активні точки, тучні клітини і нейтрофіли в кровоносних судинах на ранніх стадіях розвитку диспепсії тварин. Ефективне лікування диспепсії новонароджених телят може бути отримане тільки при оптимальному поєднанні біотропних параметрів радіоімпульсного

електромагнітного випромінювання (частота слідування імпульсів, шпаруватість, потужність, частота заповнення імпульсів, експозиція).

Для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії новонароджених телят великої рогатої худоби було проведення теоретичних досліджень по розподілу електромагнітного поля усередині біологічно активних точок (БАТ) шкірного покриву тварин. В якості електродинамічної моделі біологічно активної точки (БАТ) розглядатимемо плоскошарову діелектричну структуру. Ця структура утворена трьома плоскими діелектричними шарами і кінцевим циліндром, заповненим діелектриком (білком колагену). Верхній шар моделює тучні клітини, середній шар – кровоносні і лімфатичні судини, а нижній шар утворений нервовими волокнами, що проводять передавальні сигнали управління від БАТ до центральної нервової системи. Така електродинамічна структура є діелектричним резонатором (кінцевий циліндр), розташованим в діелектричному середовищі.

Введемо циліндричну систему координат  $r$ ,  $\phi$ ,  $z$  з віссю  $z$  співпадаючої з віссю циліндра і початком координат в точці  $O$ , що знаходиться на нижній межі. Розглядатимемо дію радіоімпульсного випромінювання на БАТ, довжина хвилі якого значно перевершує геометричні розміри БАТ. Цей факт дозволяє усереднити матеріальні параметри по координаті  $\phi$ . Тому, далі, припускатимемо, що матеріальні параметри (діелектрична проникність) плоскошарової структури (модель БАТ) не залежить від координати  $\phi$ .

Після ряду перетворень, початкове нестационарне завдання дифракції радіоімпульсного випромінювання на БАТ було зведене до трьох завдань дифракції. Для вирішення завдань був використаний метод об'ємних інтегральних рівнянь.

Оскільки електродинамічна модель БАТ є відкритим циліндричним, діелектричним резонатором поміщеним в плоскошарове діелектричне середовище то для нього було отримане інтегральне рівняння за об'ємом цього резонатора. Ядром інтегрального рівняння в цьому випадку виступає функція

Гріна для плоскошарового середовища. Для функції Гріна був побудований алгоритм розрахунку.

Оскільки геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі відповідної частоти заповнення радіоімпульсу, то для практичних розрахунків досить обмежитися напруженістю електричного поля усередненого за об'ємом БАТ. Для розрахунку усередненого електричного поля, що збуджується у БАТ було отримано рівняння. Рішення цього рівняння було побудоване за допомогою методу послідовних наближень. Застосовність цього методу до рішення рівняння усередненого електричного поля обґрунтовується тим, що геометричні розміри БАТ значно менші довжини хвилі відповідної частоти заповнення радіоімпульсу ( $2r \ll \lambda, h \ll \lambda$ ).

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про те, що існує співвідношення між частотою заповнення і частотою модуляції радіоімпульсу, при якому напруженість електричного поля приймає максимальне значення. Так при зміні частоти заповнення в інтервалі  $40 \text{ ГГц} \leq \frac{\omega}{2\pi} \leq 60 \text{ ГГц}$  напруженість електричного поля досягає максимуму  $\frac{\bar{E}_{cp}}{E_0} = 0.6 \div 0.7$  при цьому  $\frac{\omega}{\Omega} = 10.26$ . Це значення  $\frac{\omega}{\Omega}$  практично не залежить від коефіцієнта глибини модуляції  $0 \leq m \leq 0.2$ . В процесі теоретичного аналізу розробленої моделі було встановлено, що для підвищення життєздатності новонароджених телят хворих диспепсією їх біологічно активні точки слід опромінювати імпульсним ЕМВ в діапазоні змін параметрів: тривалість імпульсів  $0,5 \cdot 10^{-7} \dots 1,5 \cdot 10^{-7}$  с; період дотримання імпульсів  $0,5 \cdot 10^{-5} \dots 1,5 \cdot 10^{-5}$  с; величина потужності джерела радіоімпульсів 18...20 Вт; частота заповнення імпульсів 40,0...60,0 ГГц; час експозиції 15...25 с.

Для створення інформаційної імпульсної технології лікування диспепсії телят виникла необхідність в розробці радіоімпульсного генератора. Для генератора була використана хвилеводно-штирьова конструкція з корпусованим ЛПД типу 3А762В з параметрами: діапазон частот 50 ГГц;

імпульсна потужність  $P_i = 20$  Вт; імпульсний струм  $I_i = 25$  А;  $\tau_i = 100$  нс,  $Q = 100$ ; параметри корпусу:  $C_k = 0,3$  пФ,  $L_k = 0,4$  нГн,  $C = 0,25$  пФ.

В результаті проведених експериментальних досліджень був розроблений радіоімпульсний генератор з параметрами: частота заповнення імпульсів –  $50,0 \pm 0,02$  ГГц; амплітуда потужності в імпульсі –  $18,0 \pm 0,1$  ГГц; період дотримання імпульсів –  $1,0 \cdot 10^{-5} \pm 0,1 \cdot 10^{-5}$  с; тривалість імпульсів  $1,0 \cdot 10^{-7} \pm 0,1 \cdot 10^{-7}$  с; експозиція опромінення БАТ –  $25 \pm 2$  с; діапазон перебудови частоти генератора 3%; пригнічення побічних гармонік вихідного сигналу не менше 45 дБ; довготривала нестабільність частоти генератора  $5 \times 10^{-8}$  за 1 с;

Для експерименту були використані в досвіді і контролі групи по 25 телят. Кожне теля в досвідченій групі обробляли один раз щодня впродовж 30 с електромагнітним випромінюванням з параметрами; частота  $f = 50$  ГГц, потужність в імпульсі 18 Вт. Дослідну групу телят лікували шляхом впливу радіоімпульсного електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону на БАТ № 4, 5, 6, 7, 10, 15 шкірного покриву тварин. Діелектричну проникність крові тварин проводили до і після лікування. Середньодобові прирости живої маси телят визначали за результатами зважування телят.

З аналізу даних видно, що результативність радіоімпульсної терапії диспепсії телят склала 100% в досліді, а в контролі 72%. Курс лікування скоротився на 4 дні або на 57%. Прирости в контрольній групі впродовж місяця після одужання склали – 450 г, а в дослідній групі – 560 г, що на 24% більше. Фахівцями ветеринарної медицини були зареєстровані випадки хвороби телят кишково-шлунковими і легeneвими захворюваннями. Захворюваність телят в дослідній групі склала 11,6%, а в контрольній 39%. Смертність телят після 20 днів життя склала в контрольній групі 28%, а в дослідній вижили усі телята. В результаті виробничого експерименту було встановлено, що прибуток від впровадження ЕМ технології в цьому господарстві склав 50 тис. грн. з розрахунку 25 голів телят вилікуваних від диспепсії.

**Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в цій роботі:**

- уперше, на основі теоретичних досліджень, визначені власні частоти біологічно активних точок шкірного покриву тварин, необхідні для лікування диспепсії телят радіоімпульсним електромагнітним випромінюванням з частотною модуляцією;

- уперше визначені параметри радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії телят;

- отримала подальший розвиток теорія аналізу антен, яка відрізняється від відомих тим, що в ній обґрунтовані параметри для випромінювання радіоімпульсів міліметрового діапазону з частотною модуляцією;

- уперше математично інтерпретований вплив параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії телят.

### **Практичне значення результатів дисертаційної роботи**

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані результати формують науково-технічну базу по створенню радіоімпульсної біотехнології, електронних систем багатодіодного генератора і антенної системи в міліметровому діапазоні довжин хвиль для лікування диспепсії телят. Застосування електромагнітної біотехнології для лікування диспепсії телят дозволить:

- підвищити до 100% збереження поголів'я тварин;

- збільшити їх живу масу на 20...30%;

- понизити захворюваність до 10%.

Результати досліджень апробовані в 2018...2019 рр. у господарстві «Україна» Сахновщинського району Харківської обл.

Економічна ефективність від впровадження імпульсної електромагнітної біотехнології для лікування диспепсії телят склала 50 тис. грн. з розрахунку на 25,0 голів.

**Ключові слова:** лікування диспепсії, параметри радіоімпульсного випромінювання, імпульсні генератори, антени, електромагнітна технологія.

#### Список наукових публікацій

140. Guzenko V. Fnalysis of parameters dielectric narrowing cored aerals / V. Guzenko V. Krivonjsov // Slovak international scientific journal. – № 36, VOL. 1. – Bratislava, 2019. – P. 22 – 28.
93. Guzenko V. Biophysical bases of application of electromagnetic radiations for treatment dyspepsia of calves / V. Guzenko, A. Cherenkov // Osterreichisches Multiscience journal. – № 23, Vol. 2. – Innsbruck, 2019. – P. 3 – 6.
125. Гузенко В. В. Аналіз взаємодії радіоімпульсного випромінювання з біологічно активними точками тварин / В. В. Гузенко, Н. В. Тітова, Г. М. Новіцький // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 1 (281). – С. 64 – 70.
128. Гузенко В. В. Визначення параметрів електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії тварин / В. В. Гузенко, Л. М. Михайлова // Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Подільський державний аграрно-технічний унівеситет. – Кам'янець-Подільський, 2019. – Вип. 31. – С. 73 – 79.
121. Guzenko V. Analysis of the electrodynamics model of an biologically active point of ansmal skin / V. Guzenko, N. Kosulina // The Scientific Heritage (Budapest). – 2020. – No. 46 – P. 1. – Pp. 25 – 28.

#### Опубліковані праці апробаційного характеру

139. Гузенко В. В. Джерела НВЧ діапазона для інформаційного впливу на біологічні об'єкти: тези за матеріалами V міжнародної науково-практичної конференції присвяченої пам'яті професора Віктора Михайловича Синькова [«Проблеми та перспективи розвитку енергетики,

- електротехнологій та автоматики в АПК»] (Київ, 19 – 20 грудня 2019 р.) / Гузенко В. В., Лисиченко М. Л. // М-во освіти і науки України, Національний університет биоресурсів і природокористування України. – К.: НУБІП, 2019. – С. 111 – 112.
124. Гузенко В. В. Влияние радиоимпульсного излучения на сохранность новорожденных телят: *тези за матеріалами X міжнародної науково-практичної інтернет конференції* [«Сучасний рух науки»] (Дніпро, 2 – 3 квітня 2020 р.) / Гузенко В. В., Лисиченко М. Л., Чугуй Е. А. // М-во освіти і науки України, «Way Scisence». – Т.1. – С. 333 – 339.
110. Гузенко В. В. Аналіз впливу радіоімпульсного інформаційного випромінювання на збереження новорождеих телят: *тези за матеріалами 12 міжнародної науково-практичної конференції* [«Влияние современности в науке и практике»] (Edmonton, 12 – 13 april 2020 р.) / Гузенко В. В., Лисиченко М. Л., Чугуй Е. А. // Canada. – С. 313 – 316.

#### ABSTRACT

V. Guzenko. Pulsed electromagnetic technology and electronic systems for the treatment of calves dyspepsia. – Manuscript.

The dissertation on a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.11.17 – biological and medical devices and systems.

The work was performed at Kharkiv Vasylenko National Technical University of Agriculture. The dissertation will be defended at Kharkiv Vasylenko National Technical University of Agriculture. – Kharkiv, 2020.

The increase in the number of cattle is associated with an increase in their viability of calves in the first days after birth. According to literature sources, the greatest losses of calves due to disease occur before the age of 15 days. According to public data, for the first 5 days of life we have 40... 50% of calf deaths, for the first 10 days – 65... 70% and up to the age of 15 days - 75... 80% of those ones that died



during the first year of life.

Currently, antimicrobials, hormones and other chemicals are used to preserve young animals. Drugs are often ineffective, and their long-term use often causes severe complications caused by the rapid development of fungi, staphylococci, hematological strains of *Escherichia coli* and *Proteus*.

The results show that an alternative to drugs for the treatment of patients with dyspepsia in newborn calves may be the use of radio pulsed information electromagnetic radiation to act on biologically active points, mast cells and neutrophils in blood vessels in the early stages of dyspepsia. Effective treatment of dyspepsia in newborn calves can be obtained only with the optimal combination of biotropic parameters of radio pulsed electromagnetic radiation (pulse repetition rate, duty cycle, power, pulse filling frequency, exposure).

To determine the biotropic parameters of radio pulsed electromagnetic radiation for the treatment of dyspepsia of newborn calves in cattle, theoretical studies were conducted on the distribution of the electromagnetic field within the biologically active points (BAP) of the skin of animals. As an electrodynamic model of a biologically active point (BAP) we will consider a flat-layer dielectric structure. This structure is formed by three flat dielectric layers and a final cylinder filled with a dielectric (collagen protein). The upper layer simulates mast cells, the middle layer - blood and lymph vessels, and the lower layer is formed by nerve fibers that conduct transmission signals from the BAP to the central nervous system. This electrodynamic structure is a dielectric resonator (end cylinder) located in a dielectric medium.

We introduce a cylindrical coordinate system  $r, \phi, z$ , with the axis  $z$  coinciding with the axis of the cylinder and the origin at the point O, located on the lower boundary. We will consider the effect of radio pulsed radiation on the BAP, the wavelength of which significantly exceeds the geometric dimensions of the BAP. This fact allows you to average the material parameters by coordinate  $\phi$ . Therefore, further, we assume that the material parameters (dielectric constant) of the plane-layered structure (BAP model) do not depend on the coordinate  $\phi$ .

After a series of transformations, the initial nonstationary task of diffraction of radio pulsed radiation on BAP was reduced to three tasks of diffraction. The method of volume integral equations was used to solve the problems.

Since the electrodynamic model of the BAP is an open cylindrical, dielectric resonator placed in a flat-layer dielectric medium, an integral equation for the volume of this resonator was obtained for it. The core of the integral equation in this case is the Green's function for a plane-layered medium. A calculation algorithm was constructed for the Green's function.

Since the geometric dimensions of the BAP are much smaller than the wavelength of the corresponding frequency of filling the radio pulse, it is enough for practical calculations to limit the electric field strength averaged over the volume of the BAP. To calculate the average electric field in the BAP, the equation was obtained. The solution of this equation was constructed using the method of successive approximations. The applicability of this method to the solution of the equation of the averaged electric field is substantiated by the fact that the geometric dimensions of the BAP are much smaller than the wavelength of the corresponding frequency of the radio pulse ( $2r \ll \lambda, h \ll \lambda$ ).

Analysis of the results allows us to conclude that there is a relationship between the fill frequency and the modulation frequency of the radio pulse, at which the electric field strength takes the maximum value. Thus, when changing the filling frequency in the range of  $40 \text{ GHz} \leq \omega/2\pi \leq 60 \text{ GHz}$ , the electric field strength reaches a maximum  $\bar{E}_{cp}/E_0 = 0.6 \div 0.7$  at  $\omega/\Omega = 10.26$ . This value  $\omega/\Omega$  is almost independent of the modulation depth factor  $0 \leq m \leq 0.2$ . In the process of theoretical analysis of the developed model it was found that to increase the viability of newborn calves with dyspepsia, their biologically active points should be irradiated with pulsed EMF in the range of changes in parameters: pulse duration  $0.5 \cdot 10^{-7} \dots 1.5 \cdot 10^{-7}$  s; pulse compliance period  $0.5 \cdot 10^{-5} \dots 1.5 \cdot 10^{-5}$  s; the magnitude of the power of the source of radio pulses 18... 20 W; pulse filling frequency 40.0... 60.0 GHz; exposure time 15... 25 s.

To create an information pulse technology for the treatment of calf dyspepsia, there was a need to develop a radio pulse generator. For the generator, waveguide-pin design with enclosed LPD type 3A762B with parameters was used: frequency range 50 GHz; pulse power  $P_i = 20$  W; pulse current  $I_i = 25$  A;  $\tau_i = 100$  ns,  $Q = 100$ ; case parameters:  $C_k = 0,3$  pF,  $L_k = 0,4$  nGn,  $C = 0,25$  pF.

As a result of the conducted experimental researches the radio pulse generator with parameters was developed: frequency of filling of pulses –  $50.0 \pm 0.02$  GHz; pulse power amplitude –  $18.0 \pm 0.1$  GHz; pulse compliance period –  $1.0 \cdot 10^{-5} \pm 0.1 \cdot 10^{-5}$  s; pulse duration –  $1.0 \cdot 10^{-7} \pm 0.1 \cdot 10^{-7}$  s; BAP exposure –  $25 \pm 2$  s; generator frequency adjustment range 3%; suppression of side harmonics of the output signal not less than 45 dB; long-term instability of the generator frequency  $5 \times 10^{-8}$  for 1 s.

For the experiment, the experimental and the control groups of 25 calves were used. Each calf in the experimental group was treated once daily for 30 s with electromagnetic radiation with parameters; frequency  $f = 50$  GHz, pulse power 18 W. The experimental group of calves was treated by exposure to radio pulsed electromagnetic radiation of the millimeter range on BAP № 4, 5, 6, 7, 10, 15 of the skin of animals. The dielectric constant of the animals' blood was performed before and after treatment. The average daily gain of live weight of calves was determined by the results of weighing calves.

The analysis of the data shows that the effectiveness of radiopulse therapy of calf dyspepsia was 100% in the experiment, and in control 72%. The course of treatment was reduced by 4 days or 57%. Gains in the control group during the month after recovery were – 450 g, and in the experimental group – 560 g, which is 24% more. Specialists in veterinary medicine have registered cases of calves with gastrointestinal and pulmonary diseases. The incidence of calves in the experimental group was 11,6%, and in the control 39%. Mortality of calves after 20 days of life was 28% in the control group, and in the experimental group all calves survived. As a result of the production experiment, it was found that the profit from the introduction of EM technology in this farm amounted to 50.000 hryvnias at the rate of 25 heads of calves cured of dyspepsia.

**The scientific novelty of the obtained results** is that in this work:

- for the first time, on the basis of theoretical researches, the natural frequencies of biologically active points of the skin of animals, necessary for treatment of dyspepsia of calves by radio pulsed electromagnetic radiation with frequency modulation, are defined;

- for the first time, the parameters of radio pulsed electromagnetic radiation for the treatment of calf dyspepsia were determined;

- the theory of antenna analysis, which differs from the known ones in that it substantiates the parameters for the emission of millimeter-range radio pulses with frequency modulation, has been further developed;

- for the first time, the influence of radiopulsed electromagnetic radiation parameters for the treatment of calf dyspepsia was mathematically interpreted.

**The practical significance of the results of the dissertation.**

The practical significance of the work is that the obtained results form a scientific and technical basis for the creation of radio pulse biotechnology, electronic systems of a multi-diode generator and an antenna system in the millimeter wavelength range for the treatment of calf dyspepsia. The use of electromagnetic biotechnology for the treatment of calf dyspepsia will:

- increase up to 100% conservation of livestock;
- increase their live weight by 20... 30%;
- reduce the incidence to 10%.

The research results were tested in the farm "Ukraine" in Sakhnovshchynskiy district of Kharkiv region in 2018...2019.

The economic efficiency of the introduction of pulsed electromagnetic biotechnology for the treatment of calf dyspepsia amounted to 50 thousand UAH at the rate of 25.0 heads.

**Key words:** treatment of dyspepsia, parameters of radio pulse radiation, pulse generators, antennas, electromagnetic technology.

## Список наукових публікацій

140. Guzenko V. Fnalysis of parameters dielectric narrowing cored aerials/ V. Guzenko V. Krivonjsov // Slovak international scientific journal. – № 36, VOL.1. – Bratislava, 2019. – P.22 – 28.
93. Guzenko V. Biophysical bases of application of electromagnetic radiations for treatment dyspepsia of calves / V.Guzenko, A. Cherenkov // Osterreichisches Multiscience journal. – № 23, Vol. 2. – Innsbruck, 2019. – P. 3 – 6.
125. Гузенко В. В. Аналіз взаємодії радіоімпульсного випромінювання з біологічно активними точками тварин / В. В. Гузенко, Н. В. Тітова, Г. М. Новіцький // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – №1 (281). – С. 64 – 70.
128. Гузенко В.В. Визначення параметрів електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії тварин / В. В. Гузенко, Л. М. Михайлова // Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Подільський державний аграрно-технічний університет. – Кам'янець-Подільський, 2019. – Вип.31. – С.73 – 79.
121. Guzenko V. Analysis of the electrodynamics model of an biologically active point of ansmal skin / V. Guzenko, N. Kosulina // The Scientific Heritage (Budapest). – 2020. – No. 46 – P.1. – Pp. 25 – 28.

**Опубліковані праці апробаційного характеру**

139. Гузенко В. В. Джерела НВЧ діапазона для інформаційного впливу на біологічні об'єкти: тези за матеріалами V міжнародної науково-практичної конференції присвяченої пам'яті професора Віктора Михайловича Синькова [«Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматиків АПК»] (Київ, 19 – 20 грудня 2019 р.) / Гузенко В. В., Лисиченко М. Л. // М-во освіти і науки України, Національний університет биоресурсів і природокористування України. –

К.: НУБІП, 2019.– С. 111 – 112.

124. Гузенко В. В. Влияние радиоимпульсного излучения на сохранность новорожденных телят: *тези за матеріалами X міжнародної науково-практичної інтернет конференції* [«Сучасний рух науки»] (Дніпро, 2 – 3 квітня 2020 р.) / Гузенко В. В., Лисиченко М. Л., Чугуй Е. А. // М-во освіти і науки України, «Way Scisence». – Т.1. – С. 333 – 339.
110. Гузенко В. В. Аналіз впливу радіоімпульсного інформаційного випромінювання на збереження новорождеих телят: *тези за матеріалами 12 міжнародної науково-практичної конференції* [«Влияние современности в науке и практике»] (Edmonton, 12 – 13 april 2020 р.) / Гузенко В. В., Лисиченко М. Л., Чугуй Е. А. // Canada. – С. 313 – 316.

## ЗМІСТ

	стор
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	17
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТЕРАПІЇ ТЕЛЯТ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ .....	24
1.1. Аналіз етологічних чинників при диспепсії телят і методів її лікування .....	24
1.2. Застосування інформаційних електромагнітних випромінювань у ветеринарії і медицині .....	28
1.3. Роль шкірного покриву тварин в лікуванні їх захворювань інформаційним електромагнітним випромінюванням .....	30
1.4. Біофізичні основи застосування електромагнітних випромінювань для лікування диспепсії телят ВРХ .....	34
1.5. Аналіз антенних систем для лікування диспепсії телят ВРХ .....	42
Висновки по розділу.....	44
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РАДІО- ІМПУЛЬСНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ ТОЧКАМИ ШКІРНОГО ПОКРИВУ ТВАРИН .....	45
2.1. Формулювання електродинамічного завдання .....	45
2.2. Алгоритм рішення задачі дифракції електромагнітного випромі- нювання на біологічно активних точках .....	50
2.3. Розрахунок усередненого електричного поля, що збуджується у БАТ .....	58
2.4. Чисельні розрахунки біотропних параметрів імпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії у телят .....	69
Висновки по розділу .....	73

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ АНТЕНИ ДЛЯ ДІЇ НА БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ ТОЧКИ ШКІРНОГО ПОКРИВУ ТВАРИН .....	75
3.1. Випромінювання хвилі $TE_{11}$ з відкритого кінця круглого хвилеводу	75
3.2. Діелектрична стержнева антена .....	86
3.3. Вплив діаметру діелектричної стержневої антени на її діаграму спрямованості .....	88
3.4. Вплив довжини діелектричної стержневої антени на її діаграму спрямованості .....	94
3.5. Вплив матеріалу діелектричної стержневої антени на її діаграму спрямованості .....	99
Висновки по розділу .....	104
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ЛІКУВАННЮ НОВОНАРОДЖЕНИХ ТЕЛЯТ ХВОРИХ ДИСПЕПСІЄЮ .....	105
4.1. Мета і завдання експериментальних досліджень.....	105
4.2. Експериментальні дослідження енергетичних і спектральних характеристик радіоімпульсного генератора міліметрового діапазону .....	105
4.3. Розробка і дослідження параметрів антенної системи в міліметровому діапазоні на основі діелектричних хвилеводів .....	116
4.4. Експериментальні дослідження діелектричних стержневих антен прямокутного перерізу, що звужуються, для лікування диспепсії телят .....	120
4.5. Лабораторні і виробничі дослідження з лікуванням диспепсії телят великої рогатої худоби .....	127
Висновки по розділу .....	134
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	135
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ .....	136
Додаток А.....	151
Додаток Б .....	152



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АТФ – аденозинтрифосфорна кислота  
АДФ – аденозину дифосфат  
ВМЧ – внутрішньомембранні білкові частини  
ГЛПД – генератор на лавино-пролітному діоді  
ДП – діелектрична проникність  
ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислота  
ЕМ – електромагнітне (ий)  
ЕП – електричне поле  
ЕМП – електромагнітне поле  
ЕМВ – електромагнітне випромінювання  
ККД – коефіцієнт корисної дії  
КВЧ – крайвисока частота  
КРС – велика рогата худоба  
ЛПД – лавино-пролітний діод  
НВЧ – надвисока частота  
ЦПМ – цитоплазматична мембрана  
ММ – міліметрового діапазону довжини хвилі  
БАТ – біологічно активна точка  
ЦНС – центральна нервова система

## ВСТУП

Кризове положення в тваринництві України вимагає проведення невідкладних заходів для підвищення продуктивності і збільшення поголів'я великої рогатої худоби (ВРХ). Збільшення поголів'я ВРХ пов'язане зі швидким і ефективним лікуванням новонароджених телят. Економічний збиток, що наноситься сільському господарству хворобами телят, складається зі зниження їх продуктивності, непродуктивних витрат на лікування, прирізання і падіння хворих. Основними інфекційними хворобами новонароджених телят є: диспепсія; паратиф; диплококова або пневмококова інфекція, на які доводиться 65...80% загибелі телят.

У дисертаційній роботі вирішується важливе для теорії і практики завдання отримання науково-обґрунтованих теоретичних і експериментальних результатів для лікування диспепсії телят в перші дні їх життя за рахунок застосування радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для дії на біологічно активні точки шкірного покриву тварин.

Радіоімпульсні інформаційні електромагнітні випромінювання для опромінення тварин здатні модифікувати імунний статус організму тварин, чинити протизапальну дію, покращувати мікроциркуляцію крові в тканинах, активізувати фізіологічну і репаративну регенерацію.

В дисертаційній роботі вирішується важливе для теорії і практики завдання з визначення біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для терапії хворих на диспепсію телят.

**Актуальність теми.** Збільшення поголів'я великої рогатої худоби пов'язане з підвищенням їх життєздатності телят в перші дні після їх народження. За даними літературних джерел із-за хвороб найвищі втрати телят бувають до 15-денного віку. За громадськими даними, на перші 5 днів життя доводиться 40...50% загибелі телят, на перші 10 днів – 65...70% і до 15-денного віку – 75...80% від полеглих впродовж першого року життя.

Нині для збереження молодняка використовують антимікробні препарати, гормони і інші хімічні препарати. Медикаментозні засоби є часто неефективними, а тривале їх застосування нерідко спричиняє за собою важкі ускладнення, що викликаються бурхливим розвитком грибків, стафілококів, гематологічних штамів кишкових паличок і протей.

Результати досліджень показують, що альтернативою медикаментозним засобам для терапії хворих диспепсією новонароджених телят може бути використання радіоімпульсних інформаційних електромагнітних випромінювань для дії на біологічно активні точки, тучні клітини і нейтрофіли в кровоносних судинах на ранніх стадіях розвитку диспепсії тварин.

У основі радіоімпульсного електромагнітного впливу на біологічні об'єкти лежать резонансні явища, міра прояву яких залежить від молекулярної організації опромінюваної тварини і умов її існування.

Проте ефективне лікування диспепсії новонароджених телят може бути отримане тільки при оптимальному поєднанні біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання (частота слідування імпульсів, шпаруватість, потужність, частота заповнення імпульсів, експозиція).

В той же час, проведений аналіз літературних джерел показує, що в них недостатньо вивчено питання створення моделей, здібних дати аналітичний опис процесів терапії новонароджених телят хворих диспепсією, відсутня методологія визначення чисельних значень біотропних параметрів радіоімпульсного випромінювання, недостатньо проведені дослідження по створенню антенної системи і імпульсних електромагнітних джерел з низькою величиною напруги джерел живлення.

Таким чином, дослідження і розробка радіоімпульсної електромагнітної біотехнології і електронних систем для терапії телят хворих диспепсією, поза сумнівом, є актуальним завданням в технологічному процесі збільшення поголів'я сільськогосподарських тварин.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами.** Тема дисертаційної роботи пов'язана із загальними Українськими науковими програмами: постановою Кабінету Міністрів України від 08.09.2015 р. № 684 «Пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року»; постановою Кабінету Міністрів України від 23.08.2016 р. № 556 «Перелік пріоритетних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року». За планами НДР і ОКР Подільського державного університету були виконані наступні роботи: «Результати експериментальних досліджень з впливу ЕМП КВЧ діапазону на біологічні об'єкти» номер ГР0104 U000372; «Розробка методів ультразвукової технології та електротехнічних систем обробки і технічних засобів контролю якості сільськогосподарської продукції» номер ГР 0102U000686.

**Мета і завдання дослідження.** Мета дисертаційної роботи являється створення радіоімпульсної електромагнітної біотехнології і електронних систем для терапії телят хворих диспепсією з метою збереження потомства тварин в технологічному процесі їх відтворення.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- обґрунтувати біофізичну дію радіоімпульсних інформаційних електромагнітних випромінювань для лікування телят хворих диспепсією;

- розробити модель взаємодії радіоімпульсних інформаційних електромагнітних випромінювань з біологічно активними точками, лімфоцитами і тучними клітинами телят хворих диспепсією;

- на основі теоретичного аналізу цієї моделі визначити параметри радіоімпульсного інформаційного електромагнітного випромінювання (частота дотримання імпульсів, шпаруватість, потужність, частота заповнення імпульсів, експозиція) для дії на біологічно активні точки шкірного покриву телят хворих диспепсією;

- провести теоретичні дослідження зі створення антенної системи для

лікування диспепсії телят;

- провести експериментальну перевірку теоретичних результатів з метою їх достовірності для лікування диспепсії тварин;

- провести виробничу перевірку теоретичних і експериментальних досліджень з лікуванням диспепсії телят.

*Об'єкт дослідження.* Процес лікування диспепсії телят великої рогатої худоби радіоімпульсним інформаційним електромагнітним випромінюванням.

*Предмет дослідження.* Радіоімпульсна інформаційна електромагнітна біотехнологія і електронні системи лікування диспепсії телят.

*Методи дослідження* ґрунтуються на способах рішення диференціальних, інтегральних і алгебраїчних рівнянь різного типу, теоретичних положеннях електротехніки, біофізики, електроніки і схемотехніки електронних пристроїв і математичних методах планування повнофакторного експерименту.

**Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в цій роботі:**

- уперше, на основі розробленої моделі, теоретично досліджений процес впливу радіоімпульсних електромагнітних випромінювань на стан телят хворих диспепсією;

- уперше, на основі теоретичних досліджень, визначені власні частоти біологічно активних точок шкірного покриву тварин, необхідні для лікування диспепсії телят радіоімпульсним електромагнітним випромінюванням з частотною модуляцією ;

- уперше визначені параметри радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії телят;

- отримала подальший розвиток теорія аналізу антен, яка відрізняється від відомих тим, що в ній обґрунтовані параметри для випромінювання радіоімпульсів міліметрового діапазону з частотною модуляцією;

- уперше математично інтерпретований вплив параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії телят.

## **Практичне значення результатів дисертаційної роботи**

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані результати формують науково-технічну базу по створенню радіоімпульсної біотехнології, електронних систем багатодіодного генератора і антенної системи в міліметровому діапазоні довжин хвиль для лікування диспепсії телят. Застосування електромагнітної біотехнології для лікування диспепсії телят дозволить:

- підвищити до 100% збереження поголів'я тварин;
- збільшити їх живу масу на 20...30%;
- понизити захворюваність до 10%.

Результати досліджень апробовані в 2018 – 2019 рр. у господарстві «Україна» Сахновщинського району Харківської обл.

Економічна ефективність від впровадження імпульсної електромагнітної біотехнології для лікування диспепсії телят склала 50 тис. грн. з розрахунку на 25,0 голів.

**Особистий вклад претендента в наукових роботах, написаних в співавторстві, полягає в наступному:**

- у роботі [140] розробив схему і взяв участь в експериментальних дослідженнях для визначення параметрів діелектричних стрижневих антен прямокутного типу;

- у роботі [93] обґрунтував з позицій біофізики застосування радіоімпульсних електромагнітних випромінювань міліметрового діапазону довжин хвиль для лікування телят хворих на диспепсію;

- у роботі [125] автор теоретично обґрунтував еквівалентну схему біологічно активної точки та визначив необхідні параметри радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування телят хворих на диспепсію;

- у роботі [128] автор провів теоретичний аналіз взаємодії радіоімпульсного випромінювання з біологічно активними точками телят;

- у роботі [121] автор провів аналіз електродинамічної моделі біологічно активної точки шкірного покриву тварин.

### **Апробація результатів дисертації**

Основні положення й результати дисертаційної роботи заслухувалися й обговорювалися на: міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення й енергозбереження в АПК України» (Харків, ХНТУСГ (26 березня 2014 р.); XVIII міжнародної науково-виробничої конференції «Проблеми й перспективи інноваційного розвитку агроінженерії, енергоефективності та ІТ-технологій» (Белгород, (26 – 27 травня 2014 р.); другій міжнародній науковій конференції «Renewable energy sources (Криниця, Польща, 26 – 29 травня 2015 р.); 3-й міжнародній науковій конференції Renewable energy sources (Криниця, Польща, 21-20 травня 2016 р.); XVIII Міжнародній науковій конференції [«Сучасні проблеми землеробської механіки»], (Кам'янець-Подільський, 16 – 18 жовтня 2017 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, ХНТУСГ, 2017 р.); науково-практичній студентській конференції «Проблеми енергозабезпечення й енергозбереження в АПК України» (Харків, ХНТУСГ (5 – 6 квітня 2018 р.);

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 4 статтях в науково-технічних журналах, 1 стаття в науково-технічному збірнику і 3 тезах.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТЕРАПІЇ ТЕЛЯТ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

#### 1.1. Аналіз етологічних чинників при диспепсії телят і методів її лікування

Економічний збиток, що наноситься сільському господарству хворобами телят, складається зі зниження їх продуктивності, непродуктивних витрат на лікування, прирізання і падіння хворих. Наприклад, у телят, що перехворіли, шлунково-кишковими захворюваннями впродовж 3...5 днів середньодобовий приріст живої маси в період захворювання і в період подальшого місяця знижується на 20...25%. На захворювання шлунково-кишкового тракту доводиться до 45...60 % телят, що народилися [1-3].

Найбільші втрати телят бувають до 15-денного віку. По громадським даним, на перші 5 днів життя доводиться 40...50% загибелі телят, на перші 10 днів – 65...70 і до 15-денного віку – 75...80% від полеглих впродовж першого року життя. Головною причиною диспепсії, на які доводиться 65...80% загибелі телят, являється порушення кількості і якості впоюваного молозива [4, 5]. Диспепсія – гостроплинуча хвороба телят молозивного періоду, що характеризується розладом функцій органів травлення і інтоксикацією усього організму [6, 7]. Хвороба виникає в перші 7...10 днів життя телят. Хвороба супроводжується інтоксикацією, проносом, послабленням і обезводненням організму. Телята, що народилися, не мають захисних білків – гамма-глобулінів, які потрапляють в їх організм тільки з молозивом. Максимальна кількість цих білків міститься в молозиві впродовж 12 годин після отелення, а здатність кишечника телят засвоювати їх зберігається до 24 годин після народження. Запізнювання з першим впоюванням молозива веде до виникнення диспепсії [8, 9]. До диспепсії приводить також впоювання тварини забрудненим молозивом або молоком, особливо від корів хворих маститом.



Мастит у корів має широке поширення і завдає величезного економічного збитку виробникам молока за рахунок його недоотримання і зниження якості, передчасного вибраковування корів, захворюваності новонароджених телят і витрат на лікування [10, 11]. При бактеріологічному дослідженні секрету уражених субклінічним маститом доль вимені лактируючих корів виділили кокову мікрофлору в монокультурі: при субклінічному – стафілококи в 54,3% і стрептококи в 35,8% проб, при клінічно вираженому – в 34,9 і 26,5% проб, відповідно, а в інших пробах – змішану мікрофлору. Виділена мікрофлора була чутлива до поліміксину, левоміцетину, тетрацикліну і комплексних антимікробних препаратів (мультимаст, тетра-дельта, орбенін), і малочутлива до пеніциліну і стрептоміцину [12, 13].

На склад і якість молозива впливають порідні і індивідуальні особливості корів, їх вік, сезон отелення, склад і поживність раціонів, технологічні параметри утримання тварин. Молозиво є основним джерелом поживних і пластичних речовин. Відразу після отелення в молозиві міститься 23,1% білку 6,5% жиру, через 4 години – відповідно до 16,4 і 5,1, через 12 годин – 13,7 і 2,55, а через 24 години – 7,1 і 3,6% [14,15].

Відмінна особливість молозива – високий вміст в нім жиру, багатого вітамінами А, D і Е. Каротину і вітаміну А в молозиві міститься в 5...6, а вітаміну Е в 6...7 разів більше, ніж в молоці. У нім є присутньою необхідна кількість вітамінів групи В, але це не лише за умови забезпечення корови повноцінним харчуванням. Серед білків молозива переважають легкопереварюваний альбумін і глобуліни. Молозиво багато ферментами – прискорювачами хімічних процесів в живих організмах. Найбільше значення серед них мають, пероксидаза, редуктаза, каталаза, ліпаза, фосфотаза, лактаза, протеїназа і пептидаза [16]. У молозиві знаходяться нейтрофільні лейкоцити, малі і середні епіталіальні клітини і інші формені елементи, які оберігають організм новонароджених телят від дії патогенної мікрофлори. Найбільша кількість соматичних клітин, лейкоцитів і сироваткових білків міститься в молозиві перших днів лактації. Ці клітини поступово зникають по мірі

перетворення молозива на молоко [17,18].

З останніх досліджень виходить, що молозиво починає утворюватися в молочній залозі корів у кінці періоду стельності. У цей період під впливом гормональної перебудови організму, обумовленої зміною біосинтезу статевих гормонів (естроген і прогестерон), а також гормонів передньої долі гіпофіза (с т г, пролактін) і надниркових залоз (адреналіну і кортикостероїдів), спостерігаються значні функціональні і структурні зміни молочної залози, що включають розвиток альвеолярно-часточкового апарату, проліферацію і диференціацію клітин [19, 20].

Процеси синтезу і селективного переходу в молозиво його найбільш важливих компонентів посилюються у міру наближення отелення. Особливо інтенсивно в секреті молочної залози (преколуетрум) змінюється концентрація імуно-глобулінів. Імуноглобуліни виконують провідну роль в гуморальному імунитеті їх рівень відбиває функціональну активність В-лімфоцитів. Імуноглобуліни класу Jg підрозділяють на 5 класів: JgM, JgG, JgA, JgE, і JgD. Вони відрізняються по своїй первинній структурі, фізико-хімічним властивостям і антигеноспецифічності [21, 22]. Найбільша дифузія Jg в молозиво з крові відзначається за 3...9 днів до отелення. У цей період виявляються усі основні класи імуноглобулінів великої рогатої худоби – G1, G2, M і A. В процесах селективного перенесення Jg основна роль належить білковорецепторній взаємодії. У локальному синтезі цих білків (JgA, JgM та ін.) беруть участь плазматичні клітини, що ведуть свій початок від В-лімфоцитів тканини Jg [23, 24].

У нормальних умовах концентрація імуноглобулінів в сироватці крові теляти досягає максимуму приблизно через 24 ч після народження. Потім їх рівень знижується. Швидкість зниження залежить від кількості імуноглобулінів, отриманих телям з молозивом і абсорбованого в шлунково-кишковому тракті, а також від інтенсивності їх ендogenous синтезу, який розпочинається вже з перших днів життя теляти [20].

До числа чинників, що сприяють підвищенню природної резистентності

новонароджених телят, відноситься неспецифічна антивірусна активність молозива, обумовлена присутністю в нім ферменту рибонуклеази. Нейрамінова кислота, що міститься в молозиві, є продуктом конденсації Д-манозаміна і піровиноградної кислоти, стимулює зростання біфідумбактерій, які запобігають розвитку гнилісної мікрофлори, а також вітамінам В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, К, стимулюючи функцію органів травлення і кровотворення. Проведений аналіз показує, що в становленні імунітету тварин основна роль належить Ig імуноглобулінам, від кількості яких в молозиві корів залежить природна резистивність телят. Нині для підвищення імунологічної цінності молозива застосовують вакцинацію корів відповідними антигенами, що призводить до додаткового накопичення специфічних антитіл проти збудників інфекційних хвороб новонароджених телят. Проте ця процедура дорога і незавжди призводить до позитивного результату [25 – 27].

Для лікування диспепсії телят на практиці застосовують декілька видів терапії: етіотропну, замісну, патогенетичну, стимулюючу і симптоматичну [28].

В якості етіотропної терапії застосовують антимікробні препарати, які не забезпечують необхідного ефекту, а тривале їх застосування нерідко спричиняє за собою важкі ускладнення, що викликаються бурхливим розвитком грибків, стафілококів, гематологічних штамів кишкових паличок і протей [28 – 30].

У деяких авторів були отримані позитивні результати від застосування біфідімбактерина при лікуванні диспепсій. Після його застосування у фекаліях телят зникають кишкові палички і кокові форми, що мають гемолітичними властивостями, рідко виявляють протей [31 – 33].

Кращі результати при лікуванні диспепсії телят дає комплексна терапія, що включає внутрішньовенне введення гідральтантів гіпертонічних і ізотонічних сольових розчинів, а також перорально-пропіоново-ацидофільну бульйонну культуру. Результативність застосування регідральтантів з профілактичною метою складає менше 75% [29, 32, 33].

Незважаючи на великі витрати матеріальних засобів на лікування і профілактику шлунково-кишкових захворювань у телят, втрати їх в країнах з

розвиненим скотарством все ще складають 7...10%, а що перехворіли диспепсією телят на 15...25% зменшують приріст живої маси. Річний економічний збиток від шлунково-кишкових захворювань у телят в США коливається від 150 до 250 мільйонів доларів, а в Канаді збиток з розрахунку на 100 отриманих і реалізованих телят складає 870 доларів [34, 35].

За останній час у ветеринарії все більшу увагу привертають електромагнітні методи лікування шлунково-кишкових захворювань у телят [36, 37].

## 1.2. Застосування інформаційних електромагнітних випромінювань у ветеринарії і медицині

Використання електромагнітної енергії в медицині і ветеринарії відкриває нові можливості для лікування людей і тварин безмедикаментозними методами. Експериментальні дослідження останніх років показує, що для вирішення даних задач слід використати інформаційні електромагнітні випромінювання [38 – 45]. Основними напрямками в дослідженнях, що проводяться, можна вважати застосування ЕМП для підвищення продуктивності і немедикаментозного лікування захворювань тварин [46 – 50]. Застосування КВЧ-терапії дозволиловилікувати вісім телят айширської породи у віці 3...4 місяців, хворих на бронхопневмонію [47]. У телят спостерігалися: кашель, підвищена температура, пригнічений стан, відмова від корму. У семи телят була середня тяжкість, а у одного – дуже важка. Впродовж трьох днів КВЧ-терапію застосовували з експозицією по 40 хвилин, а в наступні дні – по 30 хвилин. Після 6 сеансів було встановлено поліпшення стану у усіх тварин: кашель припинився, температура нормалізувалася, тварини стали приймати корм. Повне одужання настало через вісім сеансів.

З аналізу експериментальних досліджень по дії ЕМВ на біологічні об'єкти різної природи витікає, що вказані дії чинно стимулююча дія на функції кровотворення і склад крові тварин [51 – 54].

При певних біотропних параметрах ЕМП, використовуваних для опромінення тварин, були встановлені зміни в вмісті білку і білкових фракцій, у збільшенні в крові міді, гістаміну, холестерину [51, 53, 54].

У експериментах також було встановлено, що ЕМВ КВЧ діапазону сприяє підвищенню резистивності еритроцитів до впливу низьких температур і знижує ефект рентгенівського опромінення [46, 48].

При опроміненні свиноматок ЕМВ з довжиною хвилі  $4 \cdot 10^{-6}$  см спостерігався кращий розвиток плоду в ембріональний період. Отримане потомство мало підвищену стійкість до захворювань, відрізнялося кращим зростанням і розвитком. В ході експерименту також було встановлено, що опромінення свиноматок ЕМВ сприяло підвищенню плодючості і молочності маток, поросята, народжувалися з великою вагою по відношенню до контролю.

У деяких роботах [55 – 58] також підтверджується терапевтична дія ЕМВ міліметрового діапазону при лікуванні домашніх тварин. [59 – 61]. Лікування домашніх тварин ЕМВ проводили при отитах і гастроентеритах. Лікування медикаментами відчутних результатів не приносило.

Повне одужання тварин настало через 8...10 процедур лікування ЕМВ з експозицією 30 хв.

Підтверджена позитивна роль опромінення хвилями міліметрового діапазону при лікуванні злоякісних пухлин, регенерації м'яких і кісткових тканин [62 – 64].

Аналіз дії ЕМВ міліметрового діапазону на різні біологічні системи дозволило встановити, що біологічна дія цього виду випромінювання заснована на резонансному характері дії і вибіркова для різних біологічних систем [65 – 67].

Також, в результаті проведеного аналізу встановлено, що ЕМП з відповідними біотропними параметрами (частота, щільність потоку потужності, експозиція, модуляція) можуть стимулювати обмінні процеси в хворих органах тварин і лікування їх шлунково-кишкових хвороб [68 – 73].

Дія електромагнітних випромінювань робить стимулюючий вплив на

імунні тіла та імунні лімфоцити, які визначають захисний потенціал організму, стійкість до дії інфекційних мікроорганізмів [74 – 79]. На основі викладеного можна зробити висновок про необхідність подальшого вивчення безпосередньої дії КВЧ-випромінювання на шкірне депо лімфоцитів і тучні клітини, а також БАТ, як можливого ефективного механізму стимуляції імунної системи тварин.

### 1.3. Роль шкірного покриву тварин в лікуванні їх захворювань інформаційним електромагнітним випромінюванням

Методи лікування тварин здійснюються дією інформаційного електромагнітного випромінювання на біологічно активні точки (БАТ) шкірного покриву тварин [80]. Ці зони розташовані під шкірою на різній глибині. Зокрема на тілі у корів дорзальні зони знаходяться на глибині 1...3 см під шкірою. Точки є морфологічними структурами, що складаються, переважно, з судин мікроциркулярного кровоносного русла, добре розвиненої мережі нервових волокон і скупчення великої кількості тучних клітин (лаброцитів).

До переваг методу лікування тварин інформаційним електромагнітним випромінюванням слід віднести простоту процедури, економічність, відсутність алергічної реакції або яких інших ускладнень. Виявилось також, що метод може доповнювати або замінювати багато медикаментозних методів лікування [81].

У шкірі представлені численні структури, що передають інформацію регуляторним системам організму різними способами – нервова передача, гуморальні сигнали, презентація антигенів клітинам імунної системи. До них відносяться рецептори нервової системи (механорецептори, ноцицептори, вільні нервові закінчення і т.д.), клітини дифузної нейроендокринної системи (клітини Меркеля), фібробласти, клітини Лангерганса (антигенпрезентуючі клітини моноцитарно-макрофагального ряду), тучні клітини, клітини крові

мікроциркуляторного русла шкіри [82 – 88].

З іншого боку, вивчення особливостей імунної відповіді на впровадження антигену в організм показало, що позитивний результат захворювання безпосередньо залежить від достатньої швидкості відтворення Т-лімфоцитів і антитіл. Крім того, як показали дослідження, необхідно збільшити мембранну проникність для активації кілерної дії ТЕ-лімфоцитів-ефекторів і макрофагів по відношенню до заражених клітин [88]. Зазвичай для цієї мети використовувався хлористий кальцій, проте останнім часом у ряді робіт [89 – 91] показано, що випромінювання міліметрових хвиль здатне ефективно впливати на проникність клітинної мембрани, а також ініціювати синтез АТФ (адезинотрифосфат – універсальний акумулятор і розподільник енергії в живих системах) в клітинах. Впливаючи на розташоване в шкірі депо імунних клітин (Т-лімфоцитів), мм-хвилі посилюють синтез імунокомпетентних речовин [40, 89 – 91].

У шкірі також міститься велика кількість тучних клітин. Тучні клітини [82, 84] беруть участь в здійсненні захисної функції організму від дії патогенів – в швидкодіючому запуску запального процесу і реакцій гіперчутливості при контакті з антигенами. Тучні клітини (мастоцити, лаброцити) – високоспеціалізовані імунні клітини сполучної тканини хребетних тварин, аналоги базофілів крові [85, 9 – 86]. Беруть участь в адаптивному імунитеті. Тучні клітини скупчуються в місцях найбільш вірогідної зустрічі з патогенами середовища і розсіяні по сполучній тканині організму, особливо під шкірою, навколо лімфатичних вузлів і кровоносних судин; містяться в селезінці і кістковому мозку.

При активації тучні клітини вивільняють вміст гранул в навколишню тканину (дегрануляція) [85, 86].

Дегрануляція тучних клітин призводить до локального підвищення концентрації гістаміну і серотоніну в шкірі. Гістамін і серотонін мають виражену імуномодулюючу дію [83, 84, 86].

Поліморфноядерні лейкоцити (нейтрофіли) – це рухливі короткоживучі

клітини, циркулюючі в кров'яному руслі. Нейтрофіли характеризуються поліморфним ядром і наявністю нейтральних гранул в цитоплазмі. У нормі більшість нейтрофілів перебувають в інертному стані спокою. Зрілий нейтрофіл належить найбільш спеціалізованим клітин організму. Він не здатний до ділення, в його гранулах міститься готовий набір біологічно активних речовин [82 – 85].

Нейтрофіли є першою лінією захисту організму ссавців від ушкоджуючих агентів. Пасивно циркулюючи в кров'яному руслі, вони здатні швидко підходити до інфікованої тканини і знищувати патогени.

Модуляція функцій імунної системи з боку нервової системи може відбуватися декількома способами: шляхом іннервації органів імунної системи, шляхом зміни рівня нейрогормонів в кров'яному руслі і із залученням нейроендокринної системи регуляції [83].

Вплив на функції імунокомпетентних клітин з боку нервової системи може здійснюватися опосередковано, через складну систему нейроендокринної регуляції. Однією з найважливіших областей ЦНС, координуючої і контролюючої функції ендокринних залоз, являється гіпоталамус. У гіпоталамусі інформація, що поступає по нервових шляхах з інших відділів нервової системи у вигляді нервових імпульсів, трансформується в гуморальні сигнали (гормони). Таким чином, здійснюється швидка і високоефективна передача інформації, необхідної для швидкої відповіді з боку як окремих органів і систем, так і усього організму в цілому. Експериментально встановлено, що нейроендокринна система тварин проявляє високу чутливість до дії ЕМВ КВЧ. В першу чергу реагують гіпоталамус і гіпофіз [82, 83].

Захистна роль шкіри забезпечується різними фізіологічними пристосуваннями: щільним роговим шаром епідермісу, сальними залозами, міцною дермою, підшкірною клітковиною.

Механізм дії ЕМВ КВЧ на шкірний покрив тварин для стимуляції імунної системи показаний на рис. 1.1.



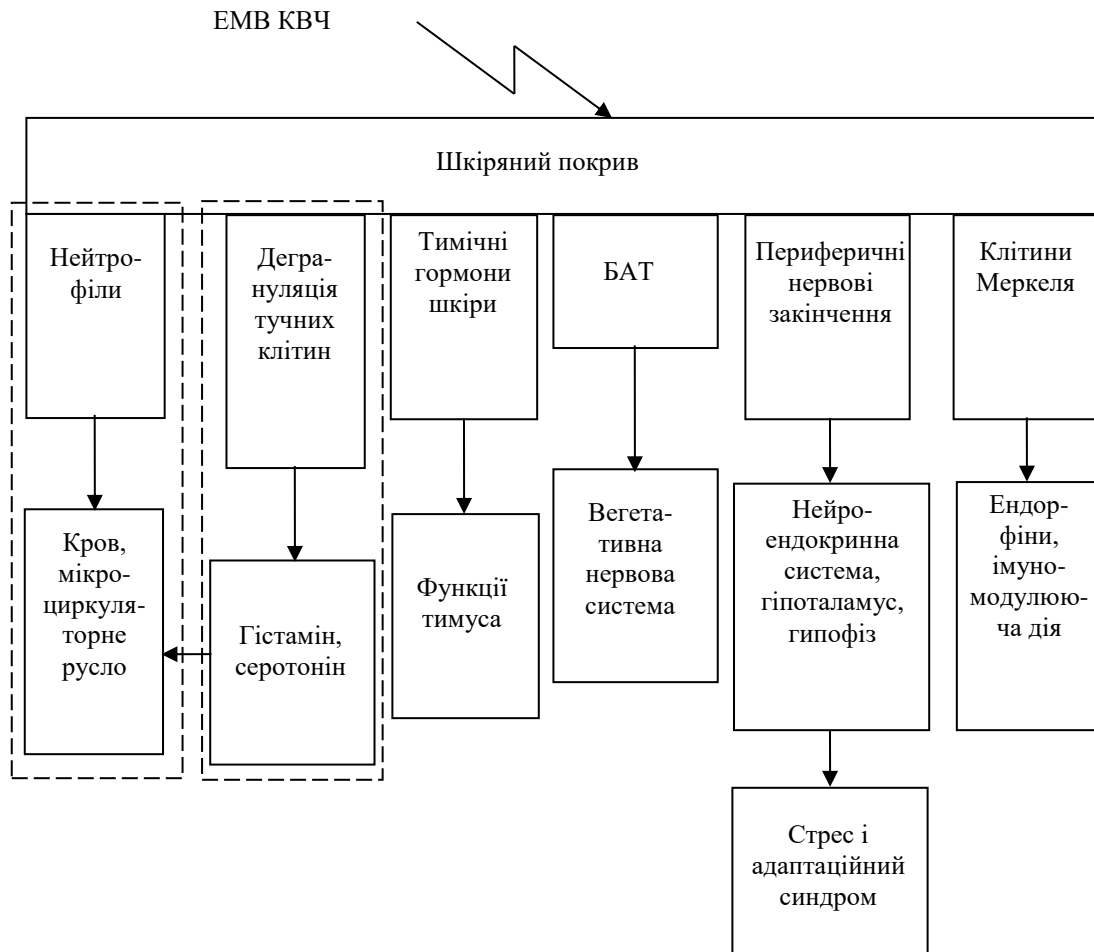


Рис. 1.1. Механізм дії ЕМВ КВЧ на шкірний покрив тварин для стимуляції імунної системи

Таким чином, розглянувши можливі механізми дії ЕМВ КВЧ на імунну систему біологічного об'єкту, можна синтезувати гіпотетичну схему дії ЕМВ на рівні організму, використовуючи відомі дані і зроблені припущення.

На основі викладеного можна зробити висновок про необхідність подальшого вивчення безпосередньої дії КВЧ-випромінювання на шкірне депо лімфоцитів і тучні клітини, а також БАТ як можливого ефективного механізму стимуляції імунної системи тварин.

#### 1.4. Біофізичні основи застосування електромагнітних випромінювань для лікування диспепсії телят ВРХ

Використання мікрохвильового випромінювання у ветеринарії і медицині відкриває нові можливості для лікування людей і тварин безмедикаментозними засобами, що свідчить про високу терапевтичну ефективність, відсутності ускладнень і побічних ефектів.

Застосування інформаційних ЕМП КВЧ дає можливість лікування багатьох захворювань за рахунок залучення додаткових внутрішніх ресурсів (нервова, ендокринна, імунна, судинна системи та ін.), для відновлення систем саморегуляції, заблокованих негативною інформацією на клітинному рівні [92, 93].

Основою пропонованого методу є концепція розгляду людини і тварини як відкритої самоорганізуючої інформоенергетичної нелінійної системи (ІЕС), що функціонує за синергетичними законами атракції, біфуркації, і дисипативності – у рамках єдиної теорії поля [92, 93].

Інтенсивні дослідження з тематики дії на біологічні об'єкти інформаційного електромагнітного випромінювання тривалий час ведуться: в Харківському НТУСХ ім. П. Василенка під керівництвом А. Черенкова, Ю. Мегеля, М. Лисиченко, Н. Косуліної; у ІРЕ РАН під керівництвом Ю. Гуляєва і Ю. Кобзева; у інституті біофізики З РАН і Інституті проблем управління (м. Красноярськ); у ТулГУ під керівництвом Нефедова Е. Н.

Структурні моделі і принцип роботи біологічних об'єктів можуть бути обґрунтовані на основі кібернетики і біокібернетики. Будь-який живий об'єкт, у тому числі і клітини біологічних об'єктів, є кібернетичною системою. Особливістю біологічних об'єктів як біокібернетичних систем являється їх особливість міняти тактику і стратегію управління так, щоб оптимальним чином використати сприятливі умови розвитку і адаптуватися до несприятливих чинників місця існування. Враховуючи, що основою усіх

інформаційних обмінів в ноосфері є ЕМП, слід погоджуватися з гіпотезою, згідно якої в мітохондріях процес біологічного окислення завершується не створенням АТФ, а створенням високочастотного ЕМП і іонізуючого протонного випромінювання, які і складають біополе клітини біологічного об'єкту [94].

Таким чином, біополе – це особливий вид випромінювання, основу якого складає в нерозривній єдності іонізуюче протонне випромінювання, що несе інформацію, і високочастотне змінне ЕМВ, що виходить з живої істоти. Біополе породжується в «силових станціях» клітин – мітохондріях – в процесі біологічного окислення, що відбувається в них, багаторазово посилюється за рахунок безперервного злиття високочастотних змінних ЕМП і все збільшуваного прискорення в них важких елементарних часток протонів: біополе забезпечує енергією усі енерговитратні процеси в організмі на рівні квантових взаємодій, а також синхронний міжклітинний міжорганний зв'язок і постійно спрямоване в зовнішнє від організму середовище, а також спрямоване на взаємодію з іншими біополями [94].

У роботах [95, 96] механізм генерації клітин розглядається як коливання заряджених клітинних мембран, підтримувані за рахунок енергії хімічних реакцій, внаслідок чого клітина набуває властивість електромеханічного генератора. Передбачається, що в результаті коливань мембрани виникає дипольна компонента, момент якого визначається виразом:

$$\tilde{p} = P_0 \sin \omega t, \quad (1.1)$$

Величину КВЧ випромінювання клітини можна оцінити як [95]:

$$P_{кл} = \frac{N_{ак} Q_{ак}}{2 / (2\pi)^3 \cdot \left(\lambda g / r\right)^3} \cdot 10^{-7}, \quad (1.2)$$

де  $N_{ак}$  – механічна потужність коливання;  
 $Q_{ак}$  – добротність акустичних коливань мембрани;  
 $\lambda g$  – довжина хвилі ЕМП;  
 $r$  – розмір мультипольного моменту.

При типових параметрах [40]:  $f = 40$  ГГц;  $r = 2 \cdot 10^{-4}$ ;  $N_{ак} \approx 10^{-14} \dots 10^{-15}$  Вт, що відповідає диполю з моментом  $\tilde{p} = 2 \cdot 10^{-16}$ .

Далі була розглянута модель, в якій клітинні осцилятори забезпечують взаємодію ЕМП клітин один з одним. Потужність одного диполя, витрачається на підкачку іншого, взята у відношенні до потужності КВЧ випромінювання клітини, виражається співвідношенням [95]:

$$P_{1,2}/P_{кл} = \left[ 3/(2\pi)^3 \varepsilon \right] (\lambda g/R)^3 \sin \varphi, \quad (1.3)$$

де  $\varepsilon$  – ДП середовища;  
 $R$  – міжклітинна відстань;  
 $\varphi$  – зсув фаз між одночастотними коливаннями двох пов'язаних диполів.

Для типових параметрів:  $\varepsilon = 20$ ;  $\lambda g = 8$  мм;  $\varphi = 90$ ; концентрація клітин  $10^6$  см $^{-3}$  з (1.3) отримаємо, що  $P_{1,2}/P_{кл} = 4$  при зв'язку осциляторів, рівному  $10^{-8}$ .

Отримані в нульовому наближенні чисельні оцінки для потужності, якою обмінюються клітини по КВЧ ЕМП, показують, що для забезпечення надійної взаємної синхронізації клітин потрібна потужність у декілька разів більше потужності випромінювання клітин.

При синхронізації зовнішнього ЕМП міняє спектральні характеристики усіх автогенераторів, при яких фази коливань автогенераторів співпадають з фазою зовнішнього поля в цьому об'ємі біологічного об'єкту. Як впливає з

робіт [94, 95, 97] синфазні коливання здатні викликати конформаційні перебудови клітинних структур, впливати на проникність біологічних мембран і служити інформаційним сигналом для регуляторних систем усього мікрооб'єкту.

Новітні дослідження підтверджують концепцію хвилевої природи передачі генної інформації [95 – 100].

Початкова послідовність полягає в ототожненні живої клітини з фотонною обчислювальною моделлю об'ємного типу, з обробкою інформації на ЕМП. Механізм перемикання генної активності в процесі життєдіяльності біологічних об'єктів є найважливішим при рішенні проблем патогенезу, управління розвитком зародків в ембріогенезі. Аналіз же цих процесів переконливо свідчить про механізм цієї передачі як такий, що має хвилеву природу – сигналах ЕМП, що керують генною активністю.

Висока ефективність хвиль діапазону КВЧ для відновлення і підтримки гомеостазу живих організмів пов'язана з тим, що використовувані сигнали імітують сигнали, генеровані в тих же цілях самими організмами. КВЧ-медицина заснована на відновленні за допомогою випромінювань діапазону КВЧ власності інформаційно-управляючої системи організму. З цим пов'язана і спостерігається при КВЧ-терапії повнота оздоровлення організму і можливість відносного швидкого усунення край важких порушень, а також відсутність небажаних побічних реакцій [98, 99].

Передбачається, що стимулююча дія інформаційних ЕМП КВЧ діапазону на процес лікування диспепсії телят ВРХ пов'язана з формуванням і перебудовою біорідин, що характеризують процеси їх структурної альтерації. Локальна дія електромагнітних випромінювань на АПТ викликає трансформацію рідкокристалічних структур не лише безпосередньо в цитоплазмі клітин тканин телят, але і їх крові [94, 95].

Безліч ефектів від дії інформаційних ЕМП на біологічні системи пов'язана з водою, яка в конденсованій фазі є сумішшю гексагональних фрагментів. Гексагональні фрагменти залежно від умов можуть об'єднуватися в кластери

різного розміру. Співвідношення концентрації і розміри кластерів визначають структурний стан водного матриксу. Кластерні структури знаходяться в коливальному стані і утворюють систему осциляторів. Синфазні коливання осциляторів здатні викликати конформаційні підстроювання клітинних структур, впливати на проникність мембран і служити інформаційним сигналом для регуляторних систем усього біологічного об'єкту [95-103].

Молекули води, що містяться у біологічних системах, завжди знаходяться під впливом присутніх в цих системах молекул речовин. Типи міжмолекулярних взаємодій визначають характер поглинання мм-випромінювання, у тому числі впливають на глибину проникнення випромінювання. При цьому незалежно від того, чи являється водна система молекулярним розчином або колоїдним (шкіра), характер поглинання визначається хімічною природою присутніх речовин і загальним вмістом води в системі [103].

Слід зазначити, що при переході від низькомолекулярних речовин до високомолекулярних з'являється специфіка міжмолекулярних взаємодій, обумовлена структурою молекул цих з'єднань, що проявляється в характері поглинання мм-випромінювання такими системами.

Одним з можливих механізмів позитивної дії міліметрових (ММ) хвиль на організм пов'язаний з електроакустичними явищами на клітинних мембранах [103]. Акусто-електричні хвилі під дією ММ-випромінювання можуть виникати також на внутрішніх мембранах мітохондрій, порушуючи хеміосмотичне сполучення. Це пов'язано, мабуть, з тим що погіршуються умови для клітинного дихання, зокрема перехід електронів по компонентах ланцюга цитохромів, що знижує споживання кисню клітинами, уповільнюючи процес утилізації іонів водню на внутрішній стороні мембрани. З іншого боку повинні враховуватися умови синтезу молекул АТФ, оскільки коливання мембрани приводять до збільшення швидкості руху протонів відносно мембрани по протонному каналу. Енергетика взаємодії молекул АДФ з протонами зростає, збільшуючи вірогідність проходження реакції АДФ  $\rightarrow$  АТФ. Таким чином, дію

ММ-хвиль не можна зводити до простого відокремлення процесів клітинного дихання і окислювального фосфорилування. Швидше можна говорити про зміну балансу хеміосмотичного сполучення на користь процесів фосфорилування при деякому антиоксидантному ефекті [97, 104, 105].

В якості одного з основних механізмів гнітючої дії КВЧ випромінювання на інфекційні мікроорганізми являється роль біологічних мембран в реакціях мікроорганізмів на електромагнітні випромінювання [96, 106, 107].

Вибір нами біологічних мембран в якості предмета дослідження обумовлений, по-перше, їх повсюдністю і вирішальною роллю в життєдіяльності окремих клітин і організму в цілому; по-друге, їх першочерговістю до дій зовнішніх фізичних чинників. Тому, пошуки первинних механізмів дії низькоенергетичних електромагнітних полів на клітину повинні йти паралельно з вивченням молекулярних принципів будови і функціонування мембран. Причому з'ясовувані специфічні механізми дії низькоенергетичних ЕМП можуть визначати відповідні електричні і магнітні властивості мембранних молекул і процесів з їх участю [106, 107].

Дія НВЧ-опромінення на біологічні мембрани багато в чому обумовлена особливостями структурної організації і функціонування мембран, що є високовпорядкованими надмолекулярними ансамблями з яскраво вираженими векторними властивостями. Основна частина, що поглинається в мембрані, надмірної НВЧ-енергії відразу ж розсіюється в середовище, підвищуючи загальну температуру об'єкту. При цьому дуже вірогідно, дія НВЧ-енергії спричиняє за собою перерозподіл електричних сил, що беруть участь в стабілізації мембрани. В результаті міняється ступінь зв'язування  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  і інших іонів в мембрані (у тому числі в іонних каналах), а також виникають локальні зміни фізико-хімічних властивостей поверхні мембран (мікрров'язкість, рН, поверхневе натягнення, ефективний заряд [89]).

По сучасній теорії трансмембранного транспорту, саме електричне поле усередині мембрани створює потоки необхідних речовин із зовнішнього середовища всередину клітини і з клітини в зовнішнє середовище через

спеціальні гідрофільні канали, найімовірніше, ліпопротеїнової природи. Швидкість проникнення іонів через мембрану визначається такими властивостями, як товщина, значення діелектричної проникності, наявність фіксованих електромагнітних зарядів на мембрані, розміри і число пір в мембрані, наявність фіксованих зарядів в порах і деякими іншими [106, 107].

Механічні порушення і дефекти в мембранах зв'язані з такими важливими біологічними процесами як злиття клітин, лізис, секреція, гемоліз та ін. [106].

Слід припустити, що відхилення мембран від рівноваги може статися під дією низькоенергетичних ЕМП за рахунок локального стискування в подовжньому або поперечному напрямі. Нині існують представлення, згідно з якими пробій мембран під дією електромагнітного потенціалу обумовлений особливостям поведінки локальних дефектів типу наскрізної пори в ліпідному шарі [107, 108 – 110].

Теоретичний і експериментальний матеріал з проблеми біологічної дії мікрохвиль свідчить, що низькоенергетичне поглинання НВЧ випромінювання має резонансний характер, тобто біологічний ефект спостерігається у вузьких інтервалах. Біологічні макромолекули і надмолекулярні системи мають деякі власні частоти коливань, що лежать в діапазоні НВЧ. Так, у біомембранах полярні голівки фосфоліпідів здійснюють обертальний рух з частотою 109 Гц, а характеристична частота пов'язаної води лежить в області 108...109 Гц. У області 1010...1011 Гц розташовані характеристичні частоти  $\text{COO}^-$ ,  $\text{NH}_3^+$  і інших груп, що відіграють важливу роль у функціонуванні білкових молекул. Кінетика елементарних актів ферментативного каталізу характеризується наступними часом: взаємне пізнавання ферменту і субстрату –  $10^{-8} \dots 10^{-9}$  с; локальні мікрохімічні зміни в активному центрі –  $10^{-10} \dots 10^{-11}$  с; конформаційна релаксація у фермент-субстратному комплексі  $10^{-3} \dots 10^{-7}$  с [36, 107, 109]. Отже, у біологічному об'єкті резонансне поглинання енергії ЕМП можливе в дециметровому, сантиметровому і міліметровому довжин хвиль.

У [108 – 110] вказано, що вплив зовнішніх КВЧ-випромінювань на організм пов'язаний з тим, що на певних резонансних частотах сигнали, що



надходять ззовні, імітують сигнали управління, інтегровані в ланцюгах збереження гомеостазу самим організмом.

Приведені в [95] експериментальні дані показали, що резонансна дія КВЧ-випромінювання на клітини пов'язана зі збудженням акустоелектричних хвиль в замкнених клітинних мембранах. Необхідно відмітити, що на відміну від електромагнітних хвиль, уповільнення яких в мембрані було б незначним, довжина акустоелектричної хвилі в мембрані приблизно в 10<sup>6</sup> разів менше довжини хвилі у вільному просторі, тому енергія електричного КВЧ-поля в ході коливань в основному перетвориться не в енергію магнітного поля, а в енергію акустичних КВЧ-коливань і назад.

Слід також відмітити, що величина щільності потоку потужності ЕМП для лікування тварин залежить від конкретних механізмів дії зовнішнього поля з патогенними мікроорганізмами, біотропних параметрів ЕМП, рівня шумів у біологічних об'єктах і повинна перевищувати рівень слабких нековалентних зв'язків в мікрооб'єкті (іонних взаємодій, водневих зв'язків і ван-дер-Ваальсових взаємодій). За допомогою цих зв'язків реалізується інформація, що знаходиться в послідовності макромолекулярних ланцюгів.

Практичні рівні енергії для дії на ембріони тварин повинні складати одиниці – десятки мкВт/см<sup>2</sup>.

Незважаючи на певний прогрес, досягнутий в дослідженнях по дії низькоенергетичного ЕМП на біологічні об'єкти, багато первинних молекулярних механізмів цих дій теоретично і експериментально не розкриті. Ця неясність призводить до появи в літературі великого числа гіпотетичних механізмів дії ЕМП на біологічні об'єкти, які часто не відповідають фізичним процесам, що протікають в об'єктах. Це пов'язано з тим, що часто ускладнене, а іноді і неможливе знаходження адекватної простої моделі тих або інших фізичних процесів, що відбуваються у біологічних структурах. Знання ж первинних, фізично обґрунтованих механізмів дії низькоенергетичного ЕМВ на біологічні системи, а також закономірностей взаємозв'язку молекулярного і системного рівнів, дозволить пояснити фазонаправленість

біоелектромагнітних ефектів і дасть можливість прогнозувати їх виникнення, що особливо важливо для лікування диспепсії тварин сільськогосподарського призначення.

Численні спостереження і аналітичні узагальнення лікувальних ефектів дають основу вважати, що КВЧ-випромінювання є чинником, що підвищує неспецифічну резистенцію організму. А оскільки в основі методу терапії міліметровими хвилями при їх резонансній дії лежить вплив на управляючу систему організму і коригування її для підтримки гомеостазу, то в основному цей метод являється без ліків.

У багатьох роботах відсутня розробка методичних принципів по застосуванню інформаційного мікрохвильового випромінювання з лікувальною метою; недостатньо вивчається питання створення математичних моделей, здібних дати аналітичний опис процесів при такому опроміненні, на клітинному, молекулярному і організаційному рівнях організації біооб'єктів, відсутні технічні системи мікрохвильового випромінювання з відносною нестабільністю частоти  $10^{-6} \dots 10^{-8}$  і антенні системи для лікування диспепсії телят ВРХ.

### 1.5. Аналіз антенних систем для лікування диспепсії телят ВРХ

Основним елементом конструкції антени є випромінювач, який повинен сформувати необхідну діаграму спрямованості і забезпечити достатній рівень потужності на поверхні біологічно активних точок шкірного покриву новонароджених телят ВРХ для ефективного лікування диспепсії.

На сьогодні в міліметровому діапазоні довжин хвиль широко застосовуються різні типи антен: рупорні, дзеркальні, діелектричні, фазовані антенні решітки, антени поверхневих хвиль [111 – 115].

Радіоімпульси широкосмугового випромінювання знаходять застосування в радіолокації віддалених об'єктів, дослідженні електромагнітної сумісності і стійкості радіоелектронних систем в умовах дії сильних

електромагнітних полів.

Аналогічна ситуація має місце в дослідженнях по електромагнітній сумісності і стійкості радіоелектронних систем. Як виявилось, пікосекундні радіоімпульси не роблять істотного впливу на функціонування різних систем, внаслідок кінцевого часу їх реакції на дію імпульсу. Тому для диспепсії телят слід використати радіоімпульси наносекундної тривалості (1...10 нс).

Для випромінювання радіоімпульсів застосовуються різні антенні системи. Можна виділити, в основному, два типи антен: антени з параболічним рефлектором, що дістали назву IRA (Impulse Radiating Antenna [116, 117]) і TEM антени [118, 119]. Для наших цілей антени IRA не підходять унаслідок великих розмірів. Зазвичай їх апертура може досягати 4 м. TEM антена, як правило, виконана з двох трикутних пластин різного профілю, що забезпечують плавний перехід від хвильового опору генератора до хвильового опору вільного простору. Така антена являється антенною бігучої хвилі, тому вона має довжину що відповідає довжині хвилі нижньої межі спектру випромінюваного радіоімпульсу. Як фідер зазвичай використовуються полоскові або коаксіальні лінії. Виконані до теперішнього часу дослідження показують, що основний недолік таких антенних систем – це їх велика довжина в порівнянні з просторовою тривалістю збудливого імпульсу.

Таким чином, на підставі всього сказано, можна зробити висновок про те, що найчастіше використовувані антенні системи для передачі радіоімпульсів для лікування диспепсії телят не підходять із-за їх значних геометричних розмірів. Тому ми використовуватимемо антену, близьку по конструктивному виконанню до TEM антени, але що має менші геометричні розміри, а саме – стержневі діелектричні антени для дії інформаційного електромагнітного випромінювання на біологічно активні точки.

Така антена найбільш прийнятна для використання як випромінювача, оскільки вона має закриту конструкцію і досить широкий частотний діапазон [120]. А оскільки при проходженні по прямокутному хвильоводу сигнал трансформується [121], то застосування стержневих антен в якості

випромінювачів радіоімпульсних сигналів дещо обмежене.

Враховуючи розміри зон з біологічно активними точками і на якій глибині під шкірою тварини вони знаходяться, дослідження слід проводити в міліметровому діапазоні довжин хвиль. З іншого боку, для дії на біологічно активні зони випромінювач повинен забезпечувати порівняно вузьку діаграму спрямованості, бути компактним і при цьому мати малі геометричні розміри. Крім того бажано, щоб випромінюючий розкрив забезпечував аксіально-симетричну діаграму спрямованості.

Тому використання такого типу антенної системи для лікування диспепсії телят ВРХ вимагає проведення додаткових досліджень.

### Висновки по розділу

1. На підставі узагальнення фактичного матеріалу вітчизняних і зарубіжних наукових публікацій слідує, що для лікування новонароджених телят хворих диспепсією слід використати радіоімпульсні випромінювання міліметрового діапазону довжин хвиль, які дозволяють створити без медикаментозну технологію лікування тварин.

2. Для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання (частота заповнення імпульсів, період слідування імпульсів і їх тривалість, потужність і експозиція) для терапії телят, хворих на диспепсію, потрібні теоретичні дослідження процесу взаємодії радіоімпульсних електромагнітних випромінювань з біологічно активними точками шкірного покриву телят.

3. Для розробки електромагнітної технології, пов'язаної з дією радіоімпульсного інформаційного електромагнітного випромінювання на біологічно активні точки новонароджених телят хворих диспепсією, потрібні дослідження по створенню діелектричної антени з необхідною діаграмою направленості.

## РОЗДІЛ 2

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОІМПУЛЬСНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З БІОЛОГІЧНО АКТИВНИМИ ТОЧКАМИ ШКІРНОГО ПОКРИВУ ТВАРИН

### 2.1 Формулювання електродинамічного завдання

В якості електродинамічної моделі біологічно активної точки (БАТ) розглядатимемо плоскошарову діелектричну структуру (див. рис. 2.1). Ця структура утворена трьома плоскими діелектричними шарами і кінцевим циліндром, заповненим діелектриком (білком колагену). Верхній шар моделює тучні клітини, середній шар – кровоносні і лімфатичні судини, а нижній шар утворений нервовими волокнами, що проводять передавальні сигнали управління від БАТ до центральної нервової системи. Така електродинамічна структура є діелектричним резонатором (кінцевий циліндр), розташованим в діелектричному середовищі.

Введемо циліндричну систему координат  $r, \varphi, z$  з віссю  $z$ , що співпадає з віссю циліндра і початком координат в точці  $O$ , що знаходиться на нижній межі БАТ (див. рис. 2.1). Розглядатимемо дію КВЧ випромінювання на БАТ, довжина хвилі якого значно перевершує геометричні розміри БАТ. Цей факт дозволяє усереднити матеріальні параметри по координаті  $\varphi$ . Тому, далі, припускатимемо, що матеріальні параметри (діелектрична проникність) плоскошарової структури (модель БАТ) не залежить від координати  $\varphi$ .

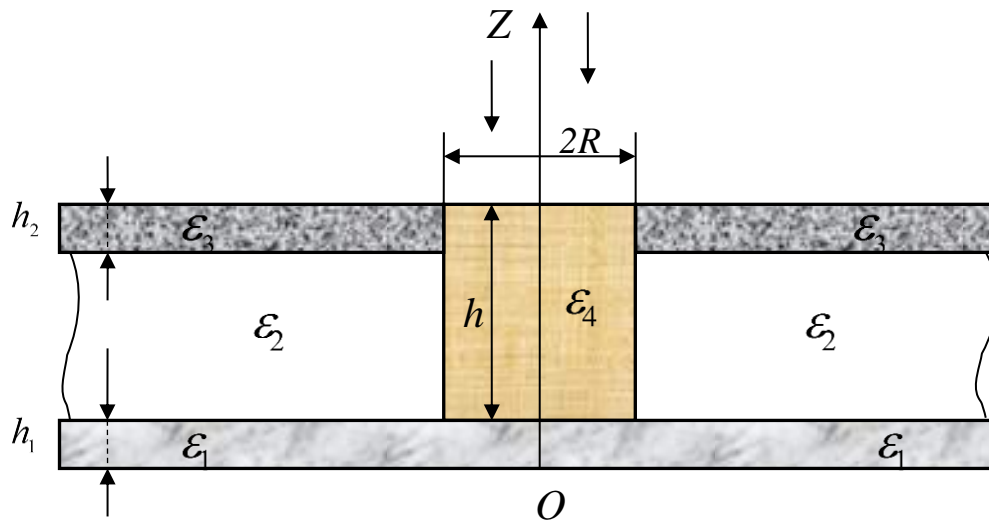


Рис. 2.1. Електродинамічна модель БАТ

Геометричні і матеріальні параметри БАТ показані на рис. 2.1:  $2R$  і  $h$  – діаметр і висота циліндра;  $h_2$  – товщина шару, що моделює тучні клітини;  $h_1$  – товщина шару, що моделює нервові волокна;  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ,  $\epsilon_3$ , і – діелектрична проникність відповідних елементів плоскошарової діелектричної структури.

Відносно електромагнітного поля, що збуджується радіоімпульсним випромінюванням, припустимо наступне. Напруженості електричного і магнітного полів не залежать від координати  $\varphi$ , тобто електромагнітне поле є осесиметричним і має вигляд:

$$\vec{E}^b = E^b \vec{e}_\varphi, \quad \vec{H}^b = H_r^b \vec{e}_r + H_z^b \vec{e}_z, \quad (2.1)$$

де  $\vec{e}_r$ ,  $\vec{e}_\varphi$ ,  $\vec{e}_z$  – орти циліндричної системи координат.

Таке електромагнітне поле може бути збуджене кільцевим електричним струмом, розташованим на деякій відстані  $L$  від зовнішньої поверхні БАТ. Припустимо, що цей струм збуджує гармонійне коливання з круговою частотою  $\omega$  і модульоване по амплітуді з частотою модуляції  $\Omega$ . Тоді компоненту можна представити в наступному виді:

$$E_{\phi}^b = E_0 (1 + m \cos \Omega t) \cos \left( \omega \left( t - \frac{z}{c} \right) \right). \quad (2.2)$$

Тут  $m$  – глибина модуляції,  $E_0$  – амплітуда,  $c$  – швидкість світла у вакуумі. Частота модуляції  $\Omega$  характеризує швидкість зміни амплітуди і для неї виконується нерівність  $\Omega \ll \omega$ . Частота  $\omega$  лежить в КВЧ діапазоні ( $\frac{\omega}{2\pi} \sim 40 \div 60$  ГГц). В результаті взаємодії електромагнітного поля (2.1), (2.2) з БАТ виникає електромагнітне поле з такою ж поляризацією, як і збуджуване поле. Це поле повинне задовольняти рівнянням Максвелла:

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (2.3)$$

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (2.4)$$

Крім того, тангенціальні компоненти напруженостей електричного і магнітного полів мають бути безперервні на межах розділу середовищ. Вектори індукції  $\vec{D}$  і  $\vec{B}$  виражаються через напруженості  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$  наступними матеріальними рівняннями:

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \vec{H}, \quad (2.5)$$

де  $\varepsilon$  – кусочно-постійна функція пов'язана з діелектричною проникністю наступним чином:

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, & z < 0 \quad z > h + h_1 \\ \varepsilon_1, & 0 < z < h_1 \\ \varepsilon_2, & h_1 < z < h_1 + h - h_2, \quad r > R \\ \varepsilon_3, & h_1 + h - h_2 < z < h + h_1, \quad r > R \\ \varepsilon_4, & h_1 < z < h + h_1, \quad r < R \end{cases} . \quad (2.6)$$

Як випливає з (2.2) і (2.3), (2.4), завдання про взаємодію хвиль радіоімпульсного випромінювання з БАТ є нестационарним завданням дифракції. За допомогою методу комплексних амплітуд [122] це завдання можна звести до завдання дифракції для електромагнітних полів, залежних експоненціально від часу. Дійсно, представимо збудливе поле (2.2) в наступному виді:

$$E_{\phi}^b = E_0 \operatorname{Re} \left[ e^{-ikz} \left( e^{i\omega t} + \frac{m}{2} e^{i(\Omega+\omega)t} + \frac{m}{2} e^{i(\omega-\Omega)t} \right) \right], \quad (2.7)$$

де  $\operatorname{Re}$  – означає реальну частину комплексного числа  $k = \frac{\omega}{c}$ .

З (2.7) витікає, що збудливе поле є суперпозицією трьох полів:

$$E_{\phi}^b = E_{1\phi}^b + E_{2\phi}^b + E_{3\phi}^b. \quad (2.8)$$

Тут

$$\begin{aligned} E_{1\phi}^b &= E_0 \operatorname{Re} \left( e^{i\omega t} e^{-ikz} \right), & E_{2\phi}^b &= 0.5mE_0 \operatorname{Re} \left( e^{i(\Omega+\omega)t} e^{-ikz} \right), \\ E_{3\phi}^b &= 0.5mE_0 \operatorname{Re} \left( e^{i(\omega-\Omega)t} e^{-ikz} \right) \end{aligned} \quad (2.9)$$

В силу принципу суперпозиції рішення початкової задачі може бути отримане як суперпозиція рішень трьох завдань з полями збудження (2.9). Тоді,



використовуючи метод комплексних амплітуд досить вирішити три завдання дифракції з полями збудження:

$$\bar{E}_{n\phi}^b = E_n e^{-ikz} e^{i\omega t}, \quad n=1,2,3., \quad (2.10)$$

де  $E_1 = E_0, E_2 = E_3 = \frac{E_0 m}{2}$ ,  $\omega_1 = \omega, \omega_2 = \omega + \Omega, \omega_3 = \omega - \Omega$ .

Сформулюємо ці завдання дифракції. Введемо позначення:

$$\bar{E}_{n\phi} = U_n e^{i\omega_n t}, \quad n=1,2,3., \quad (2.11)$$

де  $U_n$  – означає комплексну амплітуду, яка виникає при дії збудливого поля  $\bar{E}_{n\phi}^b$  на БАТ (см 2.10).

Далі, представляючи рівняння (2.3) і (2.4) в координатній формі в циліндричній системі координат, після ряду перетворень, маємо:

$$\frac{\partial^2 U_n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_n}{\partial r} + \frac{\partial^2 U_n}{\partial z^2} + \left( k_n^2 \varepsilon - \frac{1}{r^2} \right) U_n = 0, \quad (2.12)$$

$$\bar{H}_{nr} = -\frac{i}{k_n} \frac{\partial U_n}{\partial z} e^{i\omega_n t}, \quad \bar{H}_{nz} = -\frac{i}{k_n r} \frac{\partial (r U_n)}{\partial r} e^{i\omega_n t}, \quad (2.13)$$

$$\bar{E}_{n\phi} = U_n e^{i\omega_n t}, \quad n=1,2,3.$$

Тут  $k_n = \frac{\omega_n}{c}$ ,  $\bar{H}_{nr}, \bar{H}_{nz}$  – компоненти напруженості магнітного поля, а

кусочно-постійна функція  $\varepsilon$  визначається за формулою (2.6).

Можна показати, що крайові умови для функції  $U_n$  полягають у безперервності самої функції і її нормальної похідної на межах розділу середовищ.

Таким чином, початкове нестационарне завдання дифракції радіоімпульсного випромінювання на БАТ зведене до трьох завдань дифракції (2.12), (2.13) монохроматичних полів (2.10).

Як випливає з (2.12), (2.13), ці завдання відрізняються тільки хвилевими числами  $k_n = \frac{\omega_n}{c}$ ,  $n = 1, 2, 3$ . Ця обставина дозволяє будувати рішення одного з цих завдань, а для інших досить замінити відповідні хвилеві числа.

## 2.2. Алгоритм рішення задачі дифракції електромагнітного випромінювання на біологічно активних точках

Для побудови рішення задачі (2.12), (2.13) використовуватимемо метод об'ємних інтегральних рівнянь [123, 124].

Як вже було зазначено вище, електродинамічна модель БАТ є відкритим циліндричним, діелектричним резонатором поміщеним в плоскошарове діелектричне середовище (див. рис. 2.1). Нижче буде отримано інтегральне рівняння по об'єму цього резонатора. Ядром інтегрального рівняння в цьому випадку виступає функція Гріна для плоскошарового середовища [123]. Використовуючи результати, отримані в [123], побудуємо алгоритм для розрахунку цієї функції Гріна. Завдання знаходження функції Гріна полягає в наступному. Вимагається знайти функцію  $G(r, z, r_0, z_0)$  чотирьох змінних  $r, z, r_0, z_0$ , яка по змінних  $r, z$  задовольняє рівнянню:

$$\frac{\partial^2 G}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial G}{\partial r} + \left( k_n^2 \bar{\epsilon} - \frac{1}{r^2} \right) G = 0, \quad (2.14)$$

а по змінних  $r_0, z_0$  рівнянню:

$$\frac{\partial^2 G}{\partial r_0^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial z_0^2} - \frac{1}{r_0} \frac{\partial G}{\partial r_0} + k_n^2 \bar{\varepsilon} G = 0. \quad (2.15)$$

При збігу точок  $(r, z)$  и  $(r_0, z_0)$ , тобто при  $r = \sqrt{(r - r_0)^2 + (z - z_0)^2} \rightarrow 0$ ,  $G$  має логарифмічну особливість  $G \sim -2 \ln r$ .

На осі  $z$  функція  $G$  повинна задовольняти співвідношенням:

$$\begin{aligned} G &\sim o(r_0^2), \quad r_0 \rightarrow 0, \\ G &\sim o(r^2), \quad r \rightarrow 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

У рівняннях (2.14) і (2.15) хвилеве число набуває значень  $k = k_n, n = 1, 2, 3$ , а кусочно-постійна функція визначається по формулі:

$$\bar{\varepsilon} = \begin{cases} 1, & z > h + h_2 \\ \varepsilon_1, & 0 < z < h_1 \\ \varepsilon_2, & h_1 < z < h + h_2 - h_1 \\ \varepsilon_3, & h + h_1 - h_2 < z < h + h_1 \\ 1, & z < 0 \end{cases}. \quad (2.17)$$

Окрім перерахованих умов, функція Гріна повинна задовольняти умовам сполучення на межі розділу середовищ. Для того, щоб сформулювати ці умови введемо межі шарів:

$$z = a_1, a_2, a_3, a_4, \quad (2.18)$$

де  $a_1 = 0, a_2 = h_1, a_3 = h + h_1 - h_2, a_4 = h + h_1$ .

Функція  $i$  мають бути безперервні на межах шарів, тобто при  $z = a_n, (z_0 = a_n)$ :

$$G(r, a_n - 0, r_0, z_0) = G(r, a_n + 0, r_0, z_0), \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial G(r, a_n - 0, r_0, z_0)}{\partial z} = \frac{\partial G(r, a_n + 0, r_0, z_0)}{\partial z}, \quad (2.20)$$

$$G(r, z, r_0, a_n - 0) = G(r, z, r_0, a_n + 0), \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial G(r, z, r_0, a_n - 0)}{\partial z_0} = \frac{\partial G(r, z, r_0, a_n + 0)}{\partial z_0}. \quad (2.22)$$

Як показано в [123], рішення цієї задачі можна представити у вигляді перетворення Ханкеля:

$$G(r, z, r_0, z_0) = 2\pi r_0 \int_0^{\infty} g(\gamma, z, z_0) J_1(\gamma r_0) J_1(\gamma r) \gamma d\gamma. \quad (2.23)$$

Тут  $g(\gamma, z, z_0)$  функція підлягає визначенню. Для її знаходження, підставимо (2.23) в рівняння (2.14) і умови сполучення (2.19) – (2.22).

Після ряду перетворень перейдемо до наступного завдання для функції  $g(\gamma, z, z_0)$ .

Функція  $g(\gamma, z, z_0)$  по змінній  $z_0$  повинна задовольняти рівнянню:

$$\frac{d^2 g}{dz_0^2} - \alpha^2 g = 0, \quad \alpha = \sqrt{\gamma^2 - k^2 \varepsilon}, \quad \operatorname{Re} \alpha \geq 0. \quad (2.24)$$

і наступним умовам сполучення на межах шарів  $z_0 = a_n, n = 1, 2, 3, 4$ :

$$g(\gamma, z, a_n - 0) = g(\gamma, z, a_n + 0), \quad (2.25)$$

$$\frac{dg(\gamma, z, a_n - 0)}{dz_0} = \frac{dg(\gamma, z, a_n + 0)}{dz_0}. \quad (2.26)$$

При  $z = z_0$  функція  $\frac{dg}{dz_0}$  повинна мати стрибок:

$$\frac{dg(\gamma, z_0 - 0, z_0)}{dz_0} - \frac{dg(\gamma, z_0 + 0, z_0)}{dz_0} = -2. \quad (2.27)$$

При  $|z_0| \rightarrow \infty$  повинні виконуватися умови:

$$\begin{aligned} \frac{dg}{dz_0} + \alpha g &= 0, \quad z_0 \rightarrow +\infty \\ \frac{dg}{dz_0} - \alpha g &= 0, \quad z_0 \rightarrow -\infty \end{aligned} \quad (2.28)$$

Як випливає з (2.17) і (2.24) функція  $\alpha$  є кусочно-постійною. В цьому випадку рішення рівняння (2.24) може бути отримане в явному виді. Нехай для визначеності точка  $z$  лежить в інтервалі  $a_2 < z < a_3$  (для побудови інтегрального рівняння, саме цей випадок представляє інтерес). Тоді рішення рівняння (2.24) в кожному шарі, де функція  $\alpha$  є постійною, має наступний вигляд:

$$g_1(\gamma, z, z_0) = D_1(z)e^{\alpha_1 z_0} + C_1(z)e^{-\alpha_1 z_0}, \quad a_1 < z_0 < a_2, \quad (2.29)$$

$$g_2(\gamma, z, z_0) = D_2(z)e^{\alpha_2 z_0} + C_2(z)e^{-\alpha_2 z_0} + \frac{e^{-\alpha_2 |z - z_0|}}{\alpha_2 h}, \quad a_2 < z_0 < a_3, \quad (2.30)$$

$$g_3(\gamma, z, z_0) = D_3(z)e^{\alpha_3(z_0 - a_4)} + C_3(z)e^{-\alpha_3(z_0 - a_4)}, \quad a_3 < z_0 < a_4. \quad (2.31)$$

У просторах  $z_0 > a_4$  и  $z_0 < a_1$ , з урахуванням умови (2.28), маємо:

$$g(\gamma, z, z_0) = \begin{cases} D_4(z)e^{-\alpha_0(z_0 - a_4)}, & z_0 > a_4 \\ D_0(z)e^{\alpha_0 z_0}, & z_0 < a_1 \end{cases} \quad (2.32)$$

У (2.30) врахована умова (2.27). Величини  $\alpha_n, n = 0, \dots, 3$  мають значення

$$\alpha_0 = \sqrt{\gamma^2 - k^2}, \quad \alpha_n = \sqrt{\gamma^2 - k^2 \varepsilon_n}, \quad n = 1, 2, 3.$$

Коефіцієнти  $D_n(z), C_n(z)$  підлягають визначенню.

Для їх знаходження скористаємося умовами сполучення (2.25) (2.26).

Підставимо (2.29) і (2.31) в умови сполучення при  $z_0 = \alpha_1$  и  $z_0 = \alpha_4$ , тоді матимемо:

$$D_1 = \frac{D_0}{2} \left( 1 + \frac{\alpha_0}{\alpha_1} \right), \quad C_1 = \frac{D_0}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_1} \right), \quad (2.33)$$

$$D_3 = \frac{D_4}{2} \left( 1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_3} \right), \quad C_3 = \frac{D_4}{2} \left( 1 + \frac{\alpha_0}{\alpha_3} \right). \quad (2.34)$$

Розглянемо тепер умови сполучення при  $z_0 = \alpha_2$  и  $z_0 = \alpha_3$ . Після ряду перетворень отримуємо:

$$D_2 = \frac{D_4 e^{-\alpha_2 a_3}}{2} \left[ ch(\alpha_3(a_3 - a_4)) \left( 1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_2} \right) - sh(\alpha_3(a_3 - a_4)) \left( \frac{\alpha_0}{\alpha_3} - \frac{\alpha_3}{\alpha_2} \right) \right], \quad (2.35)$$

$$C_2 = \frac{D_4 e^{\alpha_2 a_3}}{2} \left[ ch(\alpha_3(a_3 - a_4)) \left(1 + \frac{\alpha_0}{\alpha_2}\right) - sh(\alpha_3(a_3 - a_4)) \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_3} + \frac{\alpha_3}{\alpha_2}\right) \right] - \frac{e^{\alpha_2 z}}{\alpha_2 h}, \quad (2.36)$$

$$D_2 = \frac{D_0 e^{-\alpha_2 a_2}}{2} \left[ ch(\alpha_1 a_2) \left(1 + \frac{\alpha_0}{\alpha_2}\right) + sh(\alpha_1 a_2) \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_1} + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) \right] - \frac{e^{\alpha_2 z}}{\alpha_2 h}, \quad (2.37)$$

$$C_2 = \frac{D_0 e^{\alpha_2 a_2}}{2} \left[ ch(\alpha_1 a_2) \left(1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_2}\right) + sh(\alpha_1 a_2) \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_1} - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) \right]. \quad (2.38)$$

З (2.36) – (2.39) маємо рівняння для знаходження  $D_0$  і  $D_4$

$$\begin{aligned} D_4 a_{11} + D_0 a_{12} &= -\frac{e^{-\alpha_2 z}}{\alpha_2 h}, \\ D_4 a_{21} + D_0 a_{22} &= \frac{e^{\alpha_2 z}}{\alpha_2 h}, \end{aligned} \quad (2.40)$$

де

$$\begin{aligned} a_{11} &= e^{-\alpha_2 a_3} \left[ ch(\alpha_3 h_2) \left(1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_2}\right) + sh(\alpha_3 h_2) \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_3} - \frac{\alpha_3}{\alpha_2}\right) \right], \\ a_{12} &= -e^{-\alpha_2 a_2} \left[ ch(\alpha_1 h_1) \left(1 + \frac{\alpha_0}{\alpha_2}\right) + sh(\alpha_1 h_1) \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_1} + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) \right], \\ a_{21} &= e^{\alpha_2 a_3} \left[ ch(\alpha_3 h_2) \left(1 + \frac{\alpha_0}{\alpha_2}\right) - sh(\alpha_3 h_2) \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_3} + \frac{\alpha_3}{\alpha_2}\right) \right], \\ a_{22} &= -e^{\alpha_2 a_2} \left[ ch(\alpha_1 h_1) \left(1 - \frac{\alpha_0}{\alpha_2}\right) + sh(\alpha_1 h_1) \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_1} - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) \right]. \end{aligned} \quad (2.41)$$

У (2.41)  $h_1$  і  $h_2$  – відповідно товщина шарів що моделюють нервові волокна і тучні клітини.

З (2.40) маємо:

$$D_0 = \frac{a_{21}e^{\alpha_2 z} - a_{11}e^{-\alpha_2 z}}{\alpha_2 h(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})}, \quad D_4 = \frac{a_{12}e^{\alpha_2 z} - a_{22}e^{-\alpha_2 z}}{\alpha_2 h(a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21})}. \quad (2.42)$$

Визначивши  $D_0$  и  $D_4$  по формулах (2.34) і (2.35), знаходимо  $D_1, C_1, D_3, C_3$ , а по формулах (2.38) і (2.39) визначаємо  $D_2, C_2$ .

Таким чином, знаючи коефіцієнти  $D_n, C_n, n=0,1,2,3,4$ , по формулах (2.29) – (2.32) визначаємо функції  $g_n(\gamma, z, z_0)$ :

$$g_1 = D_0 \left[ ch(\alpha_1 z_0) + \frac{\alpha_0}{\alpha_1} sh(\alpha_1 z_0) \right], \quad (2.43)$$

$$g_2 = D_0 \left[ \begin{aligned} & ch(\alpha_2(z_0 - a_2)) \left( ch(\alpha_1 a_2) + \frac{\alpha_0}{\alpha_1} sh(\alpha_1 a_2) \right) + \\ & + sh(\alpha_2(z_0 - a_2)) \left( \frac{\alpha_0}{\alpha_1} ch(\alpha_1 a_2) + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} sh(\alpha_1 a_2) \right) \end{aligned} \right] + \frac{e^{-\alpha_2|z-z_0|}}{\alpha_2 h} - \frac{e^{\alpha_2(z-z_0)}}{\alpha_2 h}, \quad (2.44)$$

$$g_3 = D_4 \left[ ch(\alpha_3(z_0 - a_4)) - \frac{\alpha_0}{\alpha_3} sh(\alpha_3(z_0 - a_4)) \right]. \quad (2.45)$$

Отже, визначивши функцію  $g_n(\gamma, z, z_0)$  по формулі (2.23) знаходимо функцію Гріна плоскошарового середовища.

Наступний крок в побудові рішення задачі дифракції полягає в застосуванні методу інтегральних рівнянь [123, 124].

Нехай  $D$  – плоска область, отримана перетином циліндра площиною що проходить через вісь  $z$ . Ця область є прямокутником:



$$D = \{(r, z) : 0 \leq r \leq R, h_1 \leq z \leq h + h_1\} \quad (2.46)$$

Тоді, використовуючи результати, отримані в [123], можна показати, що рішення рівняння (2.12) задовольняє наступному інтегральному рівнянню:

$$U_n(r, z) = E_n e^{-ikz} + \frac{k_n^2}{4\pi} \int_D (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) r_0 dr_0 dz_0, \quad (2.47)$$

$$n = 1, 2, 3, k_n = \omega_n / c.$$

Тут  $E_n e^{-ikz}$  – збудливе поле (див. 2.10),  $\varepsilon_4$  – діелектрична проникність середовища що заповнює циліндр, який моделює БАТ,  $\varepsilon_2$  – діелектрична проникність шару, що моделює кровоносні і лімфатичні судини,  $G_n(r, z, r_0, z_0)$  – функція Гріна плоскошарової діелектричної структури при значенні хвильового числа  $k = k_n$  (див. формули (2.23) і (2.44)). У рівнянні (2.47) точка  $(r, z)$  належить області  $D$ .

Визначивши  $U_n(r, z)$ ,  $n = 1, 2, 3$  з рівняння (2.47), шукане поле збуджуване у БАТ радіоімпульсним випромінюванням (2.2) можна представити у виді:

$$E_\phi = \text{Re}(U_1 e^{i\omega_1 t} + U_2 e^{i\omega_2 t} + U_3 e^{i\omega_3 t}), \quad (2.48)$$

де  $\omega_1 = \omega$ ,  $\omega_2 = \omega + \Omega$ ,  $\omega_3 = \omega - \Omega$ ,  $\text{Re}(\dots)$  – означає реальну частину комплексного числа.

Оскільки геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі відповідної до частоти заповнення радіоімпульсу, то для практичних розрахунків досить обмежитися напруженістю електричного поля усередненого

за об'ємом БАТ:

$$E_{cp} = \frac{1}{\bar{V}} \int_V E_\phi r dr dz d\phi, \quad (2.49)$$

де  $\bar{V}$  – об'єм БАТ.

Величину  $\bar{V}$  для даної електродинамічної моделі БАТ можна розрахувати по формулі:

$$\bar{V} = \pi R^2 h. \quad (2.50)$$

Тоді за умови (2.48) усереднене поле можна представити у виді:

$$E_{cp} = \frac{2}{R^2 h} \operatorname{Re} \left( e^{i\omega_1 t} U_1^{cp} + e^{i\omega_2 t} U_2^{cp} + e^{i\omega_3 t} U_3^{cp} \right). \quad (2.51)$$

Тут:

$$U_n^{cp} = \int_{h_1}^{h+h_1} dz \int_0^R U_n r dr, \quad n = 1, 2, 3. \quad (2.52)$$

Наша мета полягає в обчисленні величин  $U_n^{cp}$  за допомогою рівняння (2.47).

### 2.3. Розрахунок усередненого електричного поля, що збуджується у БАТ

Розглянемо рівняння (2.47)

$$U_n(r, z) = E_n e^{-ikz} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) dz_0. \quad (2.53)$$

Тут:

$$G_n(r, z, r_0, z_0) = 2\pi r_0 \int_0^{\infty} g_2(\gamma, z, z_0) J_1(\gamma r_0) J_1(\gamma r) \gamma d\gamma. \quad (2.54)$$

Функція  $g_2(\gamma, z, z_0)$  визначається згідно з формулою (2.44). Рішення цього рівняння будуватимемо за допомогою методу послідовних наближень [125].

Застосовність цього методу до рівняння (2.53) обґрунтовується тим, що геометричні розміри БАТ значно менше довжини хвилі відповідній частоті заповнення радіоімпульсу ( $2r \ll \lambda, h \ll \lambda$ ). Тому, для інтеграла в (2.53) виконується нерівність:

$$\left| \frac{k_n^2(\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) U_n(r_0, z_0) dz_0 \right| < 1, \quad (2.55)$$

що є достатньою умовою для застосовності методу послідовних наближень. Обмежуючись першим наближенням, маємо:

$$U_n(r, z) = E_n \left( e^{-ikz} + \frac{k_n^2(\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{4\pi} \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) e^{-ikz_0} dz_0 \right). \quad (2.56)$$

Як показали чисельні розрахунки, подальші наближення складають величину менше 5%. Тому, для практичних розрахунків досить обмежитися першим наближенням.

Формула (2.56) дає вираз для комплексної амплітуди напруженості електричного поля як функції змінних  $r, z$ , що змінюються в об'ємі БАТ.

Оскільки наша мета – обчислення усередненого електричного поля, то

проінтегруємо (2.56) по змінних  $r$  і  $z$  (за об'ємом БАТ). Тоді отримуємо:

$$U_n^{cp} = E_n \left( \frac{R^2 \sin(0.5kh) e^{-ik(h_1+0.5h)}}{k} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) *}{4\pi} \right) * \int_0^R r_0 dr_0 \int_{h_1}^{h+h_1} e^{-ikz_0} \int_0^R r dr \int_{h_1}^{R+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) dz \quad (2.57)$$

Далі, розглянемо інтеграл:

$$I_n = \int_0^R r dr \int_{h_1}^{R+h_1} G_n(r, z, r_0, z_0) dz. \quad (2.58)$$

Підставимо (2.54) в (2.58). Роблячи необхідні перетворення, матимемо:

$$I_n = 2\pi r_0 \int_0^\infty \gamma J_1(\gamma r_0) \left( \int_0^R J_1(\lambda r) r dr \int_{h_1}^{h+h_1} g_2(\gamma, z, z_0) dz \right) d\gamma. \quad (2.59)$$

Оскільки, розміри БАТ є досить малими, то інтеграли в (2.59) можна вчислити по квадратурній формулі трапецій [126].

$$\int_0^R J_1(\gamma r) r dr \approx \frac{R^2}{2} J_1(\gamma R), \quad (2.60)$$

$$\int_{h_1}^{h+h_1} g_2(\gamma, z, z_0) dz \approx \frac{h}{2} [g_2(\gamma, h+h_1, z_0) + g_2(\gamma, h_1, z_0)]. \quad (2.61)$$

Підставимо (2.59) і (2.60), (2.61) у формулу (2.57). Тоді, використовуючи квадратурну формулу трапецій, отримуємо:

$$U_n^{cp} = E_n \left[ \frac{R^2 \sin(0.5kh) e^{-ik(h_1+0.5h)}}{k} + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) R^5 h^2 e^{-ikh_1}}{4} \int_0^\infty J_1(\gamma r) r Q_n(\gamma) \gamma d\gamma \right]. \quad (2.62)$$

Тут:

$$Q_n(\gamma) = e^{-ikh} \left( \begin{array}{l} g_2(\gamma, h+h_1, h+h_1) + g_2(\gamma, h_1, h+h_1) + \\ + g_2(\gamma, h+h_1, h_1) + g_2(\gamma, h_1, h_1) \end{array} \right), \quad (2.63)$$

де функція  $g_2(\gamma, \dots, \dots)$  визначена згідно з формулою (2.44). Вираз (2.44) можна спростити, якщо скористатися малістю геометричних параметрів БАТ порівняно з довжиною хвилі збудливого поля. З (2.44) маємо:

$$g_2(\gamma, z, z_0) = D_0 e^{\alpha_1 h_1 + \alpha_2 (z_0 - h_1)} + \frac{e^{-\alpha_2 |z - z_0|} - e^{\alpha_2 (z - z_0)}}{\alpha_2 h}. \quad (2.64)$$

Далі, на основі (2.41) з (2.42) отримаємо наступне співвідношення для  $D_0$

:

$$D_0 \approx \frac{e^{-\alpha_2 z + h_1(\alpha_2 - \alpha_1)}}{2\alpha_2 h}. \quad (2.65)$$

Підставимо (2.65) в (2.64) тоді матимемо:

$$g_2(\gamma, z, z_0) \approx \frac{e^{-\alpha_2 z} + 2 \left( e^{-\alpha_2 |z - z_0|} - e^{-\alpha_2 (z - z_0)} \right)}{2\alpha_2 h} \quad (2.66)$$

Як показали розрахунки, відносна погрішність формули (2.66) складає

менше 5%. Цього вистачає для практичних розрахунків функції  $g_2(\gamma, z, z_0)$ .

Застосуємо формулу (2.66) для розрахунку  $Q_n(\gamma)$ . З (2.63) з урахуванням (2.66) отримаємо:

$$Q_n(\gamma) = 2 \frac{e^{-\alpha_2(h_1+0.5h)} e^{-i0.5kh} \operatorname{ch}(\alpha_2 h) \cos(kh) - \operatorname{sh}(\alpha_2 h)}{\alpha_2 h}. \quad (2.67)$$

Для отримання остаточного співвідношення для розрахунку величини  $U_n^{cp}$  підставимо (2.67) в (2.62) і врахуємо, що  $kh \ll 1$  і  $kh_1 \ll 1$ . Тоді матимемо:

$$U_n^{cp} = E_n \left( 0.5R^2 h + \frac{k_n^2 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) R^5 h}{24} \int_0^\infty J_1(\gamma R) \frac{e^{-\alpha_2(h_1+0.5h)} \operatorname{ch}(\alpha_2 h) - \operatorname{sh}(\alpha_2 h)}{\alpha_2} \gamma d\gamma \right), \quad (2.68)$$

де  $\alpha_2 = \sqrt{\gamma^2 - k_n^2 \varepsilon_2}$ ,  $k_n = \omega_n / c$ ,  $\omega_1 = \omega$ ,  $\omega_2 = \omega + \Omega$ ,  $\omega_3 = \omega - \Omega$ ,  $\varepsilon_4$  – діелектрична проникність середовища що заповнює циліндр(модель БАТ),  $\varepsilon_2$  – діелектрична проникність середовища що моделює кровеносні і лімфатичні судини,  $R, h$  – радіус і висота циліндра (модель БАТ),  $h_1$  – товщина шару того, що моделює нервові волокна,  $E_1 = E_0$ ,  $E_2 = E_3 = \frac{E_0 m}{2}$ ,  $E_0$  – амплітуди радіоімпульсу,  $m$  – глибина модуляції.

Для обчислення інтеграла в (2.68) можна використати квадратурну формулу трапецій [125].

Маючи вираження (2.68) для розрахунку величин  $U_n^{cp}$ , отримаємо формулу для усередненої за об'ємом БАТ напруженості електричного поля. З цією метою підставимо (2.68) в (2.51). Після ряду еквівалентних перетворень маємо:

$$E_{cp} = E_1 + E_2. \quad (2.69)$$

Тут:

$$E_1 = E_0 \cos \omega t (1 + m \cos \Omega t), \quad (2.70)$$

$$E_2 = \frac{E_0 k^2 R^2}{12} \operatorname{Re} \left[ e^{i\omega t} (\varepsilon_4 - \varepsilon_2) \int_0^\infty J_1^2(x) x Q(x) dx \right], \quad (2.71)$$

$$Q(x) = \bar{Q}_1 + \frac{m}{2} \left[ e^{i\Omega t} \left( 1 + \frac{\Omega}{\omega} \right) \bar{Q}_2 + e^{-i\Omega t} \left( 1 - \frac{\Omega}{\omega} \right) \bar{Q}_3 \right], \quad (2.72)$$

$$\bar{Q}_n = e^{-\bar{\alpha}_2 (h_1 + 0.5h)/R} \bar{\alpha}_2^{-1}, \quad \bar{\alpha}_2 = \sqrt{x^2 - k_n^2 R^2 \varepsilon_2}. \quad (2.73)$$

У (2.71)  $\operatorname{Re}[\dots]$  означає реальну частину комплексного числа.

Формули (2.69) – (2.73) дозволяють розрахувати усереднену напруженість електричного поля як функцію параметрів радіоімпульсу:  $\omega$  – частота заповнення радіоімпульсу,  $\Omega$  – частота модуляції амплітуди,  $m$  – глибина модуляції, а також геометричних і матеріальних параметрів БАТ:  $R$  і  $h$  – радіус і висота циліндра (модель БАТ),  $\varepsilon_4$  – діелектрична проникність середовища, що заповнює циліндр (білок колагену),  $h_1$  – товщина шару, що моделює нервові волокна,  $\varepsilon_2$  – діелектрична проникність шару, що моделює кровоносні і лімфатичні судини.

Як впливає з формули (2.69), усереднене поле залежить від часу. Ця залежність від часу визначається двома основними частотами:  $\omega$  – частота заповнення радіоімпульсу,  $\Omega$  – частота амплітудної модуляції. Цим частотам відповідають два тимчасові періоди  $T_1 = \frac{2\pi}{\omega}$  і  $T_2 = \frac{2\pi}{\Omega}$ . Оскільки  $\omega \gg \Omega$ , то

$T_2 \gg T_1$ . Для того, щоб дослідити залежність  $E_{cp}$  від параметрів радіоімпульсу необхідно усереднити  $E_{cp}$  по проміжку часу величиною  $T_2$ :

$$\bar{E}_{cp} = \frac{\Omega}{2\pi} \int_0^{T_2} E_{cp} dt. \quad (2.74)$$

Вибір такого проміжку часу пов'язано з тим, що  $T_2$  є періодом повторення огинаючої радіоімпульсу.

Підставимо в (2.74) вираження для усередненої за об'ємом БАТ напруженості електричного поля (2.69). Роблячи інтеграцію за часом, отримаємо:

$$\bar{E}_{cp} = \frac{E_0 \Omega \sin \frac{\pi\omega}{\Omega}}{2\pi\omega} \left[ 2 \cos \frac{\pi\omega}{\Omega} \left( 1 + \frac{m}{1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}} \right) + \frac{k^2 R^2}{6} \operatorname{Re} \left( e^{i \frac{\pi\omega}{\Omega}} \int_0^{\infty} x J_1^2(x) \left( \bar{Q}(x) + \frac{m}{2} (\bar{Q}_2 + \bar{Q}_3) \right) dx \right) \right]. \quad (2.75)$$

Вичислимо інтеграл у формулі (2.75). Для цього досить вичислити наступні інтеграли:

$$I_n = \int_0^{\infty} x J_1^2(x) \bar{Q}_n(x) dx, \quad n = 1, 2, 3. \quad (2.76)$$

Підставимо в (2.76) вираз для  $\bar{Q}_n$  (див. формула (2.73)). Тоді матимемо:

$$I_n = \int_0^{x_n} x J_1^2(x) \frac{e^{-i\alpha_n \delta}}{i\alpha_n} dx + \int_{x_n}^{\infty} x J_1^2(x) \frac{e^{-\beta_n \delta}}{\beta_n} dx. \quad (2.77)$$



У (2.77) введені наступні позначення:

$$\begin{aligned} x_n &= \kappa_n R \sqrt{\varepsilon_2}, & \kappa_1 &= \frac{\omega}{c}, & \kappa_2 &= \frac{\omega}{c} \left(1 + \frac{\Omega}{\omega}\right), & \kappa_3 &= \frac{\omega}{c} \left(1 - \frac{\Omega}{\omega}\right), \\ \alpha_n &= \sqrt{x_n^2 - x^2}, & \beta_n &= \sqrt{x^2 - x_n^2}, & \delta &= (h_1 + 0.5h) / R. \end{aligned} \quad (2.78)$$

Розглянемо перший інтеграл в (2.77):

$$I_{n1} = \int_0^{x_n} x J_1^2(x) \frac{e^{-i\alpha_n \delta}}{i\alpha_n} dx. \quad (2.79)$$

Скористаємося формулою інтеграції по частинах [125]:

$$\int_a^b V dU = VU \Big|_a^b - \int_a^b U dV, \quad (2.80)$$

у якій слід покласти  $a=0$ ,  $b=x_n$ ,  $V=J_1^2(x)$ ,  $U=-\frac{1}{\delta}e^{-i\alpha_n \delta}$ , тоді, зробивши необхідні перетворення, матимемо:

$$I_{n1} = \frac{1}{\delta} \left( J_1^2(x_n) + 2 \int_0^{x_n} J_1(x) J_1(x) e^{-i\alpha_n \delta} dx \right), \quad (2.81)$$

де точка означає диференціювання по аргументу.

Для обчислення інтеграла в (2.81) скористаємося квадратурною формулою трапецій. Тоді отримаємо:

$$I_{n1} = \frac{1}{\delta} \left( J_1^2(x) + x_n \dot{J}_1(x) J_1(x) \right). \quad (2.82)$$

Далі, застосовуючи рекурентну формулу [126]:

$$x_n \dot{J}_1(x) = x_n J_0(x_n) - J_1(x_n),$$

з (2.81) маємо:

$$I_{n1} = \frac{x_n J_1(x_n) J_2(x_n)}{\delta}. \quad (2.83)$$

Оскільки величина  $x_n$  досить мала ( $x_n < 1$ ), то використовуючи розкладання функції Бесселя в ряд [126] і обмежуючись першим членом розкладання, остаточно отримуємо:

$$I_{n1} = \frac{x_n^2}{2\delta}. \quad (2.84)$$

Тепер розглянемо другий інтеграл в (2.77):

$$I_{n2} = \int_{x_n}^{\infty} x J_1^2(x) \frac{e^{-\beta_n \delta}}{\beta_n} dx. \quad (2.85)$$

Застосовуючи формулу інтеграції по частинах (2.80), в якій слід покласти  $a = x_n$ ,  $b = \infty$ ,  $V = J_1^2(x)$ ,  $U = -\frac{1}{\delta} e^{-\beta_n \delta}$ , маємо:

$$I_{n2} = \frac{1}{\delta} J_1^2(x_n) + \frac{2}{\delta} \int_{x_n}^{\infty} \dot{J}_1(x) J_1(x) e^{-\beta_n \delta} dx. \quad (2.86)$$

Для обчислення інтеграла в (2.86) замінимо функцію Бесселя  $J_1(x)$  і  $\dot{J}_1(x)$  її похідну їх асимптотичними розкладаннями при великих значеннях аргументу [126]:

$$J_1(x) \approx \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \sin\left(x - \frac{\pi}{4}\right), \quad (2.87)$$

$$\dot{J}_1(x) \approx \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \cos\left(x - \frac{\pi}{4}\right), \quad (2.88)$$

Крім того, апроксимуємо величину  $\beta_n$  її значеннями при  $x \rightarrow \infty$ :

$$\beta_n = x \sqrt{1 - \frac{x_n^2}{x^2}} \approx x.$$

Тоді інтеграл в (2.86) набере вигляду:

$$\int_{x_n}^{\infty} \dot{J}_1(x) J_1(x) e^{-\beta_n \delta} dx \approx -\frac{1}{\pi} \int_{x_n}^{\infty} \frac{\cos 2xe^{-x\delta}}{x} dx. \quad (2.89)$$

Розглянемо інтеграл:

$$I(\delta) = \int_{x_n}^{\infty} \frac{\cos 2xe^{-x\delta}}{x} dx. \quad (2.90)$$

І продиференціюємо його по параметру  $\delta$ . Матимемо:

$$i(\delta) = - \int_{x_n}^{\infty} \cos 2x e^{-x\delta} dx. \quad (2.91)$$

Інтеграл в (2.91) є табличним і обчислюється в явному виді:

$$\int_{x_n}^{\infty} \cos 2x e^{-x\delta} dx = - \frac{e^{-x_n\delta} (2 \sin 2x_n - \delta \cos 2x_n)}{\delta^2 + 4}. \quad (2.92)$$

З (2.91) і (2.92) отримуємо диференціальне рівняння:

$$i(\delta) = \frac{e^{-x_n\delta} (2 \sin 2x_n - \delta \cos 2x_n)}{\delta^2 + 4}. \quad (2.93)$$

Оскільки величина  $\delta = (h_1 + 0.5h) / R$  мала, то розкладаючи  $e^{-x_n\delta}$  в ряд Тейлора і обмежуючись двома членами розкладання цього ряду, рівняння (2.93) можна представити у виді:

$$i(\delta) = x_n \cos 2x_n + \frac{A}{\delta^2 + 4} + \frac{B\delta}{\delta^2 + 4}, \quad (2.94)$$

де:  $A = 2(\sin 2x_n - 2x_n \cos 2x_n)$ ,  $B = -(\cos 2x_n + 2 \sin 2x_n)$ .

Інтегруючи рівняння (2.94) і враховуючи (2.90), отримаємо:

$$\int_{x_n}^{\infty} \frac{\cos 2x e^{-x\delta}}{x} dx = x_n \cos 2x_n \delta + \frac{A}{2} \operatorname{arctg} \left( \frac{\delta}{2} \right) + \frac{B}{2} [\ln(\delta^2 + 4) - 2 \ln 2]. \quad (2.95)$$

Оскільки величини  $\delta = (h_1 + 0.5h) / R$  і  $x_n$  малі, то з (2.95) і (2.96) маємо:

$$I_{n2} = \frac{2}{\pi} \left( \frac{\delta}{8} - x_n \right). \quad (2.96)$$

Таким чином, остаточно отримуємо:

$$I_n = \frac{x_n^2}{2\delta} + \frac{2}{\pi} \left( \frac{\delta}{8} - x_n \right), \quad n = 1, 2, 3. \quad (2.97)$$

Тепер підставимо (2.97) у вираження для усередненої за об'ємом БАТ і часу напруженості електричного поля.

Після ряд перетворень, отримаємо:

$$\bar{E}_{cp} = \frac{E_0 \Omega \sin\left(\frac{2\pi\omega}{\Omega}\right)}{2\pi\omega} \left[ 1 + \frac{m}{1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}} + \frac{k^2 R^2}{12} \left( \frac{\kappa^2 R^2 \varepsilon_2}{2\delta} \left( 1 + \frac{m}{2} \left( 1 + \frac{\Omega^2}{\omega^2} \right) \right) - \frac{2\kappa R \sqrt{\varepsilon_2}}{\pi} (1+m) + \frac{2\delta}{\pi} \left( 1 + \frac{m}{8} \right) \right) \right]. \quad (2.98)$$

Формула (2.98) є основою для дослідження залежності напруженості електричного поля у БАТ від параметрів радіоімпульсного випромінювання.

2.4. Чисельні розрахунки біотропних параметрів імпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії у телят

Перш ніж викладати результати чисельних експериментів, відмітимо деякі якісні властивості процесу взаємодії радіоімпульсного випромінювання з БАТ. Як впливає з (2.98), при значеннях параметра  $\omega/\Omega = n/2$ ,  $n = 1, 2, \dots$  величина  $\bar{E}_{cp}$  перетворюється на нуль. Крім того, в двох граничних випадках, а

саме, при  $\Omega \rightarrow 0$  і  $\omega/\Omega \rightarrow \infty$  величина  $\bar{E}_{cp}$  прагне до нуля. Як відзначалося вище, БАТ можна розглядати як діелектричний резонатор, поміщений в плоскошарове діелектричне середовище. Тому, якщо частота заповнення радіоімпульсу  $\omega$  близька до власної частоти такого резонатора, то можливе резонансне збільшення напруженості електричного поля у БАТ. Проведені чисельні розрахунки за формулою (2.98) підтвердили це припущення. У рамках розглянутої електродинамічної моделі БАТ були вибрані наступні геометричні і матеріальні параметри:  $R = 0.1 \div 0.3$  мм,  $h = 0.1 \div 0.5$  мм,  $h_1 = 10^{-6}$  мм,  $h_2 = 10^{-3}$  мм,  $\varepsilon_1 = 10$ ,  $\varepsilon_2 = 20$ ,  $\varepsilon_3 = 15$ ,  $\varepsilon_4 = 3$ . Такі геометричні і матеріальні параметри є деякими середніми значеннями [127]. Радіоімпульсне випромінювання мало наступні параметри: частота заповнення  $\frac{\omega}{2\pi} = 40 \div 60$  ГГц, частота модуляції  $10 \leq \omega/\Omega \leq 11,2$ , коефіцієнт глибини модуляції  $0 < m < 0,2$ .

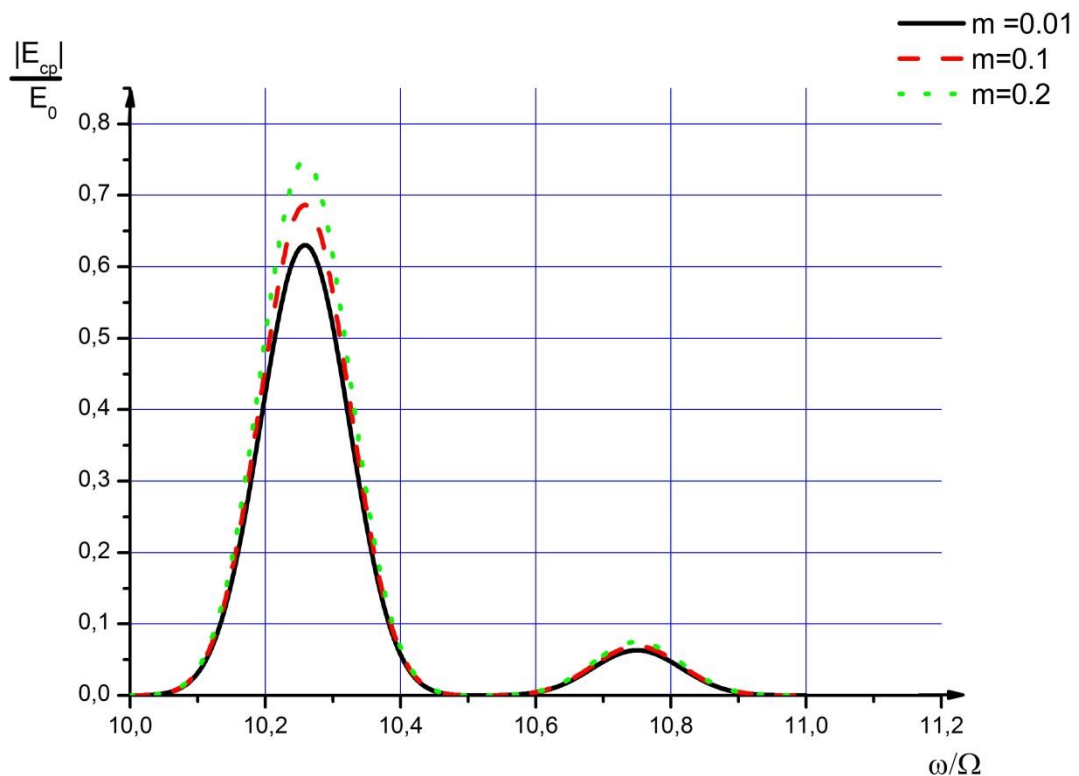


Рис. 2.2. Залежність нормованої напруженості електричного поля у БАТ від параметра  $\omega/\Omega$  при різних значень глибини модуляції

На рис. 2.2 представлені результати розрахунків за формулою (2.98) залежності напруженості електричного поля нормованої по амплітуді  $E_0$  від параметра  $\omega/\Omega$  для різних значень коефіцієнта глибини модуляції  $m$ . Це значення  $\omega/\Omega$  практично не залежить від коефіцієнта глибини модуляції  $0 < m < 0,2$ .

Напруженість електричного поля джерела електромагнітного випромінювання може бути визначена з рівняння (2.99) [128]:

$$E_0 = K \frac{A\tau}{16\pi f_3 T}, \quad (2.99)$$

де  $A$ ,  $\tau$ ,  $T$  і  $f_3$  відповідно максимальна амплітуда щільності струму, тривалість імпульсів період повторення імпульсів і частота заповнення імпульсів.

Тривалість  $\tau$  імпульсу визначимо з вираження:

$$\tau = \frac{M}{f_3}, \quad (2.100)$$

де  $M$  – позитивне число.

Величина  $M$  для існуючих імпульсних генераторів лежить в межах  $2500 \leq M \leq 7500$  [129].

Підставляючи  $M$  у вираз (2.100), отримаємо, що тривалість імпульсу може змінюватися в межах  $0,5 \cdot 10^{-7} \text{с} \leq \tau \leq 1,5 \cdot 10^{-7} \text{с}$ .

Далі, оскільки шпаруватість імпульсу може бути  $q = T/\tau \cong 100$  [129] то, легко отримати, що період повторення імпульсів повинен змінюватися в межах:

$$0,5 \cdot 10^{-5} \leq T \leq 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ с.} \quad (2.101)$$

Чисельні розрахунки показують, що напруженість електричного поля,  $E_0 = 8,8 \text{ В/м}$ ,  $E_{cp} = 5,7 \text{ В/м}$ , величина щільності потоку потужності  $15 \text{ мкВт/см}^2$ , потужність джерела радіоімпульсів  $18 \dots 20 \text{ Вт}$ . Для розрахунків були використані дані, взяті з літературних джерел [128, 129]:

$$K = 3 \cdot 10^{13} \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}}{\text{с}}; \quad q = 100; \quad f_3 = 50 \text{ ГГц}; \quad A = 74 \frac{\text{а}}{\text{м}^2}; \quad T = 10^{-5} \text{ с.}; \quad m = 0,1; \quad S = 4,25 \text{ см}^2 -$$

площа розкриву рупора.

Величину експозиції, для дії ЕМ випромінювання на БАТ новонароджених телят хворих диспепсією, знайдемо з виразу [109].

$$\phi_n^2 = \phi_0^2 + P \cdot t \frac{C_0 V_0 q^2 C_s}{(4\pi \varepsilon_m \varepsilon_0 d)^2} \cdot e^{-\frac{F \phi_0 g}{RT}} + P \frac{q C_s}{4\pi \varepsilon_m \varepsilon_0 \omega} E_{cp} \sin(\omega t + \psi), \quad (2.102)$$

де  $\phi_0$  – потенціал на мембрані в початковий момент часу;

$P$  – проникність мембрани;

$t$  – час дії ЕМП на БАТ;

$C_0, C_s$  – концентрація іонів усередині і поза клітиною;

$V_0$  – об'єм клітини в початковий момент часу;

$q$  – заряд іона;

$\varepsilon_0$  – електрична стала;

$\varepsilon_m$  – діелектрична стала мембрани;

$d$  – товщина мембрани;

$F$  – число Фарадея;



$R$  – газова стала;

$E_{cp}$  – амплітуда напруженості електричного поля.

Це співвідношення дає можливість при відомих параметрах визначити час дії (величину експозиції) електромагнітного випромінювання на біологічну тканину, що включає біологічно активні точки і тучні клітини і клітинні структури, що примикають до них, зокрема лімфатичні судини. При проведенні чисельних розрахунків (2.102) було прийнято, що сумарний потенціал на мембрані біологічних клітин не повинен перевищувати величину в 100 мВ ( $\phi_n \leq \phi_{кр} = 100 \text{ мВ}$ ).

Для розрахунків були використані дані, узяті з літературних джерел [106 – 108, 128, 129]:

$$\varepsilon_m = 2,1; d = 10^{-8} \text{ м}; f = 45,0 \text{ ГГц}; C_s = 6,4 \frac{\text{мкмоль}}{\text{м}^3}; q = 4 \cdot 10^{-18} \text{ Кл};$$

$$P = 0,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; V_0 = 0,4 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3; F = 96484,56 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}; C_0 = 4,0 \frac{\text{мкмоль}}{\text{м}^3};$$

$$R = 8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}; T = 300^0 \text{ К}; \phi_0 = 60 \text{ мВ}; N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

В результаті розрахунків було встановлено, що для сумарного потенціалу величиною 90 мВ експозиція дії радіоімпульсного випромінювання на БАТ новонароджених телят складає 15...25 с.

### Висновки по розділу

1. Для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання, що викликають лікування диспепсії

новонароджених телят слід використати розроблену модель біологічно активних точок і отримані математичні вирази при її аналізі.

2. В процесі теоретичного аналізу розробленої моделі було встановлено, що для підвищення життєздатності новонароджених телят хворих диспепсією їх біологічно активні точки слід опромінювати імпульсною ЕМВ в діапазоні змін параметрів: тривалість імпульсів  $0,5 \cdot 10^{-7} \dots 1,5 \cdot 10^{-7}$  с; період слідування імпульсів  $0,5 \cdot 10^{-5} \dots 1,5 \cdot 10^{-5}$  с; величина потужності джерела радіоімпульсів 18...20 Вт; частота заповнення імпульсів 40,0...60,0 ГГц; час експозиції 15...25 с.

### РОЗДІЛ 3

## АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ АНТЕНИ ДЛЯ ДІЇ НА БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ ТОЧКИ ШКІРНОГО ПОКРИВУ ТВАРИН

### 3.1. Випромінювання хвилі $TE_{11}$ з відкритого кінця круглого хвилеводу

На підставі сказаного вище можна припустити, що найпростішим випромінювачем для вирішення поставленого в дисертаційній роботі завдання є розкрив хвилеводу. Добре відомо, що розкрив прямокутного хвилеводу, по якому поширюється основна хвиля  $TE_{10}$ , не забезпечує аксіально-симетричну діаграму спрямованості [130]. Це пов'язано з тим, що поперечні геометричні розміри такого хвилеводу істотно відрізняються в двох взаємно ортогональних площинах. Тому розглядатимемо круглий хвилевід, який сам по собі є аксіально-симетричним і по якому поширюється основна хвиля  $TE_{11}$ .

Розріжемо круглий хвилевід перпендикулярно його осі. Початок прямокутної декартової системи координат розташуємо в площині перерізу (див. рис. 3.1). Вісь  $z$  такої системи координат співпадає з напрямом поширення хвилеводної хвилі. Вважаємо, що в такому хвилеводі поширюється тільки основна хвиля  $TE_{11}$ . А для того, щоб круглий хвилевід був одномодовим, повинні виконуватися наступні умови. Критична довжина хвилі  $TE_{11}$  рівна  $3,41a$  [111]. Тут  $a$  – це радіус круглого хвилеводу (див. рис. 3.1). Починаючи з довжини хвилі  $\lambda_0 = 2,62a$  [111] по хвилеводу одночасно з хвилею  $TE_{11}$  поширюватиметься перша вища хвиля круглого хвилеводу  $TM_{01}$ . Отже, для того, щоб по круглому хвилеводу поширювалася тільки основна хвилеводна хвиля  $TE_{11}$ , його радіус потрібно вибирати з умови:

$$2,62a < \lambda_0 < 3,41a. \quad (3.1)$$

Для позначеної нами частоти  $f_0 = 50$  ГГц ( $\lambda_0 = 6,0$  мм) вибираємо радіус круглого хвилеводу  $a$  з наступної нерівності:

$$1,955 \text{ мм} < a < 2,545 \text{ мм}. \quad (3.2)$$

Для подальшого аналізу, з урахуванням приведеної нерівності (3.2), виберемо радіус круглого хвилеводу  $a$  рівним 2,387 мм. Це відповідає діаметру стандартного круглого хвилеводу, по якому поширюється основна хвилеводна хвиля  $TE_{11}$ ,  $2a = 4,775$  мм (WG19, діапазон робочих частот 42,4...58,1 ГГц) [131]. Крім того вважаємо, що оскільки в розкриві хвилеводу існує електромагнітне поле, то в зовнішній області створюється електромагнітне випромінювання. Найбільше поширення при аналізі подібного типу випромінювачів отримав апертурний метод. При цьому використовуються наступні допущення [132]:

- розкрив хвилеводу є випромінюючою апертурою;
- поза розкривом хвилеводу збудливе поле відсутнє і тому дорівнює нулю;
- поле в розкриві хвилеводу вважаємо таким самим, як і в поперечному перерізі хвилеводу на відстані в декілька довжин хвиль від розкриву;
- по даному круглому хвилеводу поширюється тільки основна хвиля  $TE_{11}$ ;
- відбиттям від розкриву хвилеводу нехтуємо;
- електромагнітне поле в межах апертури хвилеводу вважаємо лінійно поляризованим [114].

При цьому вектор електричного поля  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$  паралельний осі  $y$ , а вектор магнітного поля  $\mathbf{H}$  паралельний осі  $x$  (див. рис. 3.1).

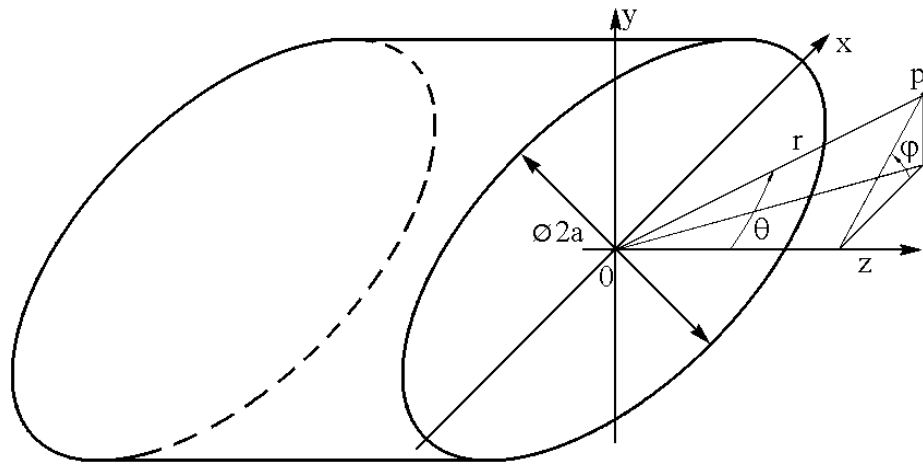


Рис. 3.1. Система координат в розкритті круглого хвилеводу

Розрахований апертурним способом розподіл електромагнітного поля випромінювання з круглого хвилеводу, незважаючи на зроблені припущення, знаходиться в хорошій відповідності з вимірним. При використанні певного типу хвилі (у нашому випадку  $TE_{11}$ ) результати тим точніше, чим більше розміру апертури в порівнянні з довжиною хвилі  $\lambda_0$  [132]. Крім того, відбиттям від розкриття можна нехтувати у тому випадку, якщо його геометричні розміри більше довжини хвилі. У нашому ж випадку виходить, що  $2a / \lambda_0 = 4,775 / 6,0 = 0,796$ . Таким чином, для отримання результатів розрахунку, які відображали б фактичний розподіл електричного поля поза круглим хвилеводом, необхідно вибрати  $2a > \lambda_0$ . Тому виберемо  $2a / \lambda_0 = 1,5$ . Звідси отримуємо, що  $2a = 10$  мм.

В декартовій системі координат розподіл електричної компоненти збудливого поля запишемо в наступному виді:

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}_x E_x + \mathbf{e}_y E_y + \mathbf{e}_z E_z. \quad (3.3)$$

Тепер по аналогії з тим, як це зроблено для декартової системи координат (3.3), запишемо вирази, що визначають збудливе поле в сферичній системі координат:

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}_r E_r + \mathbf{e}_\phi E_\phi + \mathbf{e}_\theta E_\theta. \quad (3.4)$$

Використовуючи відомі формули переходу [133], виразимо декартові координати через сферичні:

$$\begin{cases} E_x = E_r \sin \theta \cos \phi - E_\phi \sin \phi + E_\theta \cos \phi \cos \theta, \\ E_y = E_r \sin \phi \sin \theta + E_\phi \cos \phi + E_\theta \sin \phi \cos \theta, \\ E_z = E_r \cos \theta - E_\theta \sin \theta. \end{cases} \quad (3.5)$$

Ми розглядаємо круглий хвилевід, в якому збуджується тільки основна хвиля  $TE_{11}$ , розподіл електричного поля якої в межах розкриву лінійно поляризований, як ми поклали вище. В цьому випадку ця хвиля має тільки поперечну складову електричного поля  $E_y$  ( $E_x = H_y = E_z = 0$ ) і тоді можемо вважати  $E_r = 0$  (див. рис. 3.1). З рисунка виходить, що якщо розглядати  $E_x$  компоненту електричного поля, то тоді  $\theta = \pi/2$ , а  $\phi = 0$ . З першого виразу (3.5) видно, що другий і третій доданки дорівнюють нулю. І щоб  $E_x$  дорівнював нулю,  $E_r$  теж має дорівнювати нулю. На підставі сказаного вирази (3.5) набудуть вигляду:

$$\begin{cases} E_x = -E_\phi \sin \phi + E_\theta \cos \phi \cos \theta, \\ E_y = E_\phi \cos \phi + E_\theta \sin \phi \cos \theta, \\ E_z = -E_\theta \sin \theta. \end{cases} \quad (3.6)$$

Після підстановки значень складових електричного поля з (3.6) в

співвідношення (3.3) отримаємо:

$$\mathbf{E} = e_x (E_\theta \cos \phi \cos \theta - E_\phi \sin \phi) + e_y (E_\phi \cos \phi + E_\theta \sin \phi \cos \theta) - e_z E_\theta \sin \theta. \quad (3.7)$$

У сферичній системі координат складові електричного поля  $E_\theta$  і  $E_\phi$  для основної хвилі  $TE_{11}$  в розкритті круглого хвилеводу діаметром  $2a$  визначаються виразами [132]:

$$\mathbf{E}_\theta = A\omega\mu_a \left\{ 1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cos \theta + \mathbf{r}_0 \left( 1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cos \theta \right) \right\} J_1 \left( \frac{2\pi}{\lambda_{кр}} a \right) \frac{J_1(k a \sin \theta)}{\sin \theta} \sin \phi, \quad (3.8)$$

$$\mathbf{E}_\phi = A\omega\mu_a k a \left\{ \cos \theta + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} + \mathbf{r}_0 \left( \cos \theta - \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right) \right\} J_1 \left( \frac{2\pi}{\lambda_{кр}} a \right) \frac{J_1'(k a \sin \theta)}{1 - \left( \frac{\lambda_{кр}}{\lambda_0} \sin \theta \right)^2} \cos \phi, \quad (3.9)$$

де  $A$  – амплітудний коефіцієнт;

$\omega = 2\pi f$  – кругова частота;

$k = 2\pi/\lambda_0$  – хвильове число;

$\mu_a = \mu_0\mu_r$  – абсолютна магнітна проникність ( $\mu_0$  – магнітна стала,  $\mu_r$  – відносна магнітна проникність);

$\lambda_0$  – як і вище, довжина хвилі у вільному просторі;

$\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{1 - (\lambda_0/\lambda_{кр})^2}$  – хвильоводна довжина хвилі;

$\lambda_{кр} = 3,41a$  – критична довжина хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі радіусу  $a$ ;

$J_1$  и  $J_1'$  – функція Бесселя першого порядку і її похідна по аргументу;

$\mathbf{r}_0$  – одиничний орт.

З урахуванням зробленого вище припущення про лінійну поляризацію електричного поля хвилі  $TE_{11}$  в розкритті круглого хвилеводу ( $E_r=0$ ) вирази (3.8) і (3.9) можемо записати у виді:

$$E_{\theta} = A\omega\mu_a ka \left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cos \theta\right) J_1 \left(\frac{2\pi}{\lambda_{кр}} a\right) \frac{J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \sin \phi, \quad (3.10)$$

$$E_{\phi} = A\omega\mu_a ka \left(\cos \theta + \frac{\lambda_0}{\lambda_g}\right) J_1 \left(\frac{2\pi}{\lambda_{кр}} a\right) \frac{J'_1(ka \sin \theta)}{1 - \left(\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_0} \sin \theta\right)^2} \cos \phi. \quad (3.11)$$

Розглянемо  $E_x$  - складову електричного поля, що входить в співвідношення (3.7). Після підстановки в цей вираз значень  $E_{\theta}$  і  $E_{\phi}$ , визначуваних виразами (3.10) і (3.11), отримаємо:

$$E_x = E_{\theta} \cos \phi \cos \theta - E_{\phi} \sin \phi = A\omega\mu_a ka J_1 \left(\frac{2\pi}{\lambda_{кр}} a\right) \sin \phi \left[ \left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cos \theta\right) \times \right. \\ \left. \times \frac{J_1(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \cos \phi \cos \theta - \left(\cos \theta + \frac{\lambda_0}{\lambda_g}\right) \frac{J'_1(ka \sin \theta)}{1 - \left(\frac{\lambda_{кр}}{\lambda_0} \sin \theta\right)^2} \cos \phi \right]. \quad (3.12)$$

З урахуванням того, що похідну по аргументу від функції Бесселя можна представити у виді [7]:



$$J'_m(x) = \frac{m}{x} J_m(x) - J_{m+1}(x), \quad (3.13)$$

запишемо вираз (3.12) у виді:

$$E_x = E_\theta \cos \phi \cos \theta - E_\phi \sin \phi = A\omega\mu_a k a J_1 \left( \frac{2\pi a}{\lambda_{кр}} \right) \left[ \left( 1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_\epsilon} \cos \theta \right) \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \times \right. \\ \left. \times \sin \phi \cos \phi \cos \theta - \left( \cos \theta + \frac{\lambda_0}{\lambda_\epsilon} \right) \frac{\cos \phi \sin \phi}{1 - \left( \frac{\lambda_{кр}}{\lambda_0} \sin \theta \right)^2} \left( \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} - J_2(k a \sin \theta) \right) \right]. \quad (3.14)$$

Тепер розглянемо  $E_y$ -складову електричного поля, що входить в співвідношення (3.7). Як і вище, після підстановки в цей вираз значень  $E_\theta$  и  $E_\phi$ , визначуваних виразами (3.10) і (3.11) і з урахуванням (3.13), отримаємо:

$$E_y = E_\phi \cos \phi + E_\theta \sin \phi \cos \theta = A\omega\mu_a k a J_1 \left( \frac{2\pi a}{\lambda_{кр}} \right) \left[ \left( \cos \theta + \frac{\lambda_0}{\lambda_\epsilon} \right) \left( \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} - \right. \right. \\ \left. \left. - J_2(k a \sin \theta) \right) \frac{\cos^2 \phi}{1 - \left( \frac{\lambda_{кр}}{\lambda_0} \sin \theta \right)^2} + \left( 1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_\epsilon} \cos \theta \right) \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \sin^2 \phi \cos \theta \right]. \quad (3.15)$$

Запишемо вираз, що визначає  $E_z$ -складову електричного поля, що входить в співвідношення (3.7). По аналогії з тим, як ми робили це вище, підставимо в цей вираз значення  $E_\theta$ , визначуване виразом (3.10) і отримаємо:

$$E_z = E_\theta \sin \theta = A\omega\mu_a k a J_1 \left( \frac{2\pi a}{\lambda_{кр}} \right) \left( 1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cos \theta \right) \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \sin \phi \sin \theta. \quad (3.16)$$

У виразах (3.14) – (3.16) позначимо  $C = A\omega\mu_a k a J_1(2\pi a/\lambda_{кр})$ . Тепер можемо записати вирази, що визначають діаграму спрямованості круглого хвилеводу діаметром  $2a$ , в якому поширюється основна хвиля  $TE_{11}$ . Якщо покладемо  $\phi = 0$ , то з виразу (3.7) можемо отримати вираз, що визначає діаграму спрямованості даного хвилеводу в площині вектору  $\mathbf{H}$  хвилеводної хвилі (див. рис. 3.1). В цьому випадку з виразів (3.14) і (3.16) виходить, що  $E_x = E_z = 0$ , а  $E_y$  - складова електричного поля визначатиметься співвідношенням (див. вираз (3.15)):

$$E_y = C \left( \cos \theta + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right) \left( \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} - J_2(k a \sin \theta) \right) \frac{1}{1 - \left( \frac{\lambda_{кр}}{\lambda_0} \sin \theta \right)^2}. \quad (3.17)$$

Враховуючи, що при скалярному перемноженні одиничних ортів:

$$\begin{array}{ccc} & \mathbf{e}_x & \mathbf{e}_y & \mathbf{e}_z \\ \mathbf{e}_x & 1 & 0 & 0 \\ \mathbf{e}_y & 0 & 1 & 0 \\ \mathbf{e}_z & 0 & 0 & 1 \end{array},$$

з виразу (3.7) отримаємо в остаточному виді вираз, що визначає діаграму спрямованості круглого хвилеводу в площині вектору  $\mathbf{H}$ .

$$|\mathbf{E}_H|^2 = C^2 \left| \left( \cos \theta + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \right) \left( \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} - J_2(k a \sin \theta) \right) \frac{1}{1 - \left( \frac{\lambda_{kp}}{\lambda_0} \sin \theta \right)^2} \right|^2. \quad (3.18)$$

Якщо тепер покладемо  $\varphi = \pi/2$ , то з виразу (3.7) можемо отримати вираз, якій визначатиме діаграму спрямованості даного хвилеводу, по якому поширюється хвиля  $TE_{11}$ , в площині вектору  $\mathbf{E}$  (див. рис. 3.1). З виразу (3.14), як і у попередньому випадку, витікає, що  $E_x = 0$ . При цьому  $E_y$  - складова електричного поля, яка визначається виразом (3.15), матиме вигляд:

$$E_y = C \left( 1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cos \theta \right) \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \cos \theta. \quad (3.19)$$

З виразу (3.16) отримаємо співвідношення для  $E_z$ - складової електричного поля:

$$E_z = C \left( 1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cos \theta \right) \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \sin \theta. \quad (3.20)$$

Опускаючи проміжні викладення і з урахуванням того, що  $(\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1)$ , з виразів (3.7), (3.19) і (3.20) отримаємо в остаточному виді співвідношення, що визначає діаграму спрямованості круглого хвилеводу в площині вектору  $\mathbf{E}$ .

$$|\mathbf{E}_E|^2 = C^2 \left| \left( 1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_g} \cos \theta \right) \frac{J_1(k a \sin \theta)}{k a \sin \theta} \right|^2. \quad (3.21)$$

Таким чином, в результаті проведеного теоретичного аналізу ми отримали вирази (3.18) і (3.21), які описують діаграми спрямованості відкритого кінця круглого хвилеводу з хвилею  $TE_{11}$  в двох взаємно перпендикулярних площинах  $\mathbf{H}$  і  $\mathbf{E}$ .

В якості наступного кроку побудуємо кутовий розподіл поля в площині вектору  $\mathbf{H}$  для радіусу круглого хвилеводу  $a = 5$  мм. Для цього використовуємо вирази (3.18). Усі розрахунки проводитимемо на фіксованій частоті  $f = 50$  ГГц ( $\lambda_0 = 6,0$  мм). На рис. 3.2 представлена розрахована діаграма спрямованості відкритого кінця круглого хвилеводу, вказаних вище геометричних розмірів, в площині вектору  $\mathbf{H}$  (крива 1).

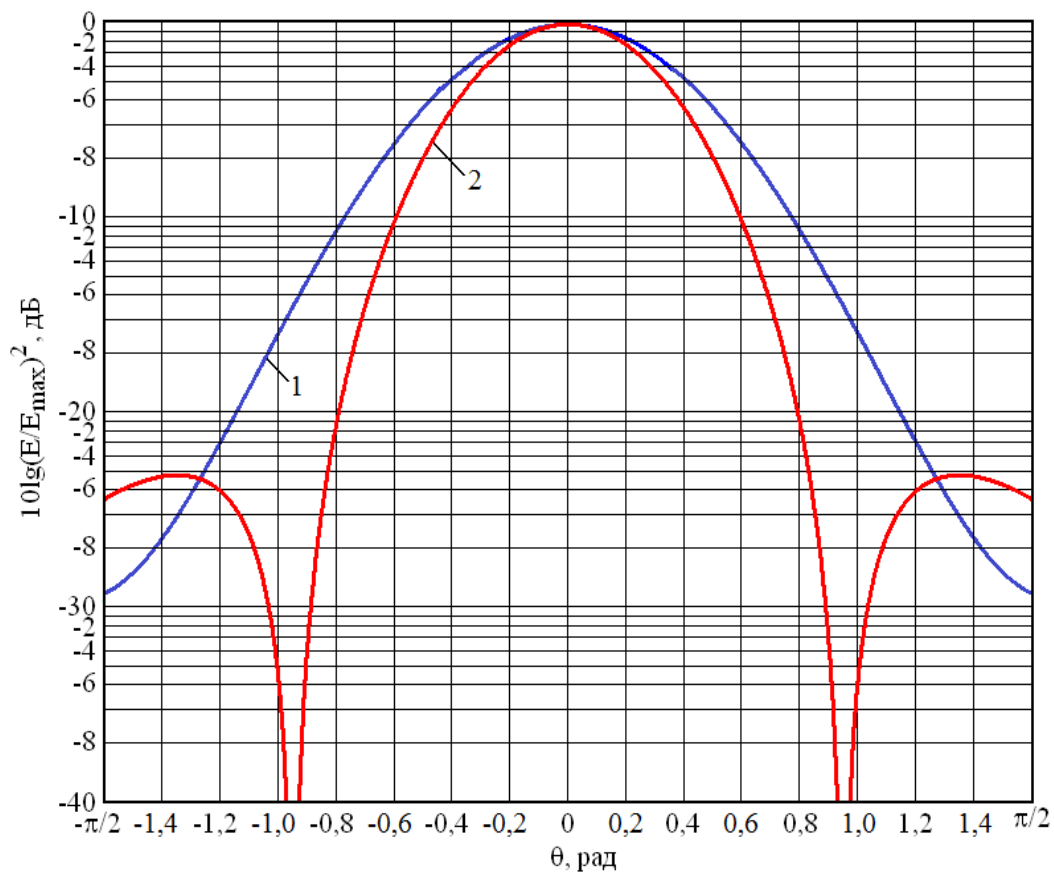


Рис. 3.2. Діаграми спрямованості відкритого кінця круглого хвилеводу, побудовані в площинах векторів  $\mathbf{H}$  і  $\mathbf{E}$  основної хвилі  $TE_{11}$

Як видно з приведеного рисунка, в цій площині ми маємо досить широку діаграму спрямованості круглого хвилеводу. Тут же приведена діаграма спрямованості круглого хвилеводу з хвилею  $TE_{11}$  в площині вектору  $\mathbf{E}$  (крива 2), розрахована по формулі (3.21). В цьому випадку у вказаному діапазоні зміни кута  $\theta$  в діаграмі спрямованості з'являються бічні пелюстки. Їх рівень складає  $-25$  дБ. Крім того, ширина діаграми спрямованості відкритого кінця круглого хвилеводу в площині вектору  $\mathbf{H}$  ширша, ніж в площині вектору  $\mathbf{E}$ . Цей результат добре узгоджується з даними інших авторів [132].

Добре відомо, що дальня зона будь-якого випромінюючого розкриву визначається виразом  $L \geq 2D^2/\lambda_0$  [120]. Тут  $D$  – найбільший геометричний розмір випромінюючої апертури. Для розкриву хвилеводу ( $D = 2a = 10$  мм), що розглядається нами, дальня зона  $L$  розпочинається з відстані, рівної 30 мм. В цьому випадку діаметр основної пелюстки діаграми спрямованості круглого випромінюючого розкриву в двох взаємно перпендикулярних площинах (див. рис. 3.1) визначатиметься з рівнянь  $x=30\text{tg}\theta_H$  і  $y=30\text{tg}\theta_E$ . При цьому ширина основної пелюстки діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ в площині вектору  $\mathbf{H}$  (координата  $x$ ) складає 17,64 мм. Ширина основної пелюстки діаграми спрямованості цього ж хвилеводу по рівню  $-3$  дБ, але тепер в площині вектору  $\mathbf{E}$  (координата  $y$ ), складає 14,3 мм.

З приведеного графіку також видно, що діаграма спрямованості круглого хвилеводу діаметром 10 мм, по якому поширюється основна хвиля  $TE_{11}$ , має майже кругову форму. Проте, навіть в площині вектору  $\mathbf{E}$ , в якій діаграма спрямованості даного розкриву по рівню  $-3$  дБ вужче, ніж в площині вектору  $\mathbf{H}$ , її діаметр перевищує дві довжини хвилі  $\lambda_0$  ( $14,3 / 6,0 = 2,38$ ). А для дії на дорзальні зони корів доцільно мати діаметр плями поля на шкірному покриві тварини, хоч би порівнянний з довжиною хвилі опромінення. Тому необхідно використати не відкритий кінець круглого хвилеводу, а інший випромінювач, який забезпечить необхідну діаграму спрямованості. При цьому він повинен мати невеликі геометричні розміри, що дозволить використати його

безпосередньо на фермах. Тому в якості наступного кроку розглянемо антени поверхневих хвиль (АПВ).

### 3.2. Діелектрична стержнева антена

Антени, що збуджуються поверхневими хвилями, найчастіше застосовуються в дециметровому і сантиметровому діапазонах [135, 136]. Достоїнствами АПВ є простота конструкції і невеликі геометричні розміри. Антени подібного типу складаються з двох частин: збудника електромагнітних хвиль і випромінюючої поверхні. Випромінююча частина антени є уповільнюючою структурою, тобто фазова швидкість хвилі  $V_\phi$ , що поширюється уздовж випромінювача, менше швидкості світла  $c$  ( $V_\phi < c$ ). Це сприяє збільшенню спрямованості випромінювання в порівнянні з первинним полем збудника. А це якраз те, що нам потрібне. Адже ми хочемо збільшити спрямованість випромінювання з відкритого кінця круглого хвилеводу. Залежно від типу направляючої поверхні розрізняють плоскі, стержневі і дискові АПВ.

Найбільше поширення отримали стержневі АПВ, які є або діелектричним стержнем, або металевим стержнем в діелектричній оболонці. Зовнішній вигляд подібної антени, застосовуваної у вказаних вище діапазонах, показаний на рис. 3.3 [135]. Вона є діелектричним стержнем 1, збуджуваний круглим хвилеводом 2 зі збудником 3 і живлячим фідером 4. При цьому в металевому хвилеводі збуджується хвиля  $TE_{11}$ . Залежно від вимог, що пред'являються до антени, поперечний переріз стержня, збудник і його живлення можуть змінюватися. Найчастіше використовуються циліндричні або конічні стержні.

Ми розглядатимемо діелектричну стержневу антену, як найбільш просту по конструкції. Сам випромінювач може мати як циліндричну, так і конічну форму. Проведені дослідження показують, що конічна стержнева антена забезпечує більше послаблення бічних пелюсток діаграми спрямованості в порівнянні з циліндричною стержневою антеною [135]. При цьому для отримання однакової ширини діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ довжина конічного стержня має бути більша, ніж довжина циліндричного стержня.

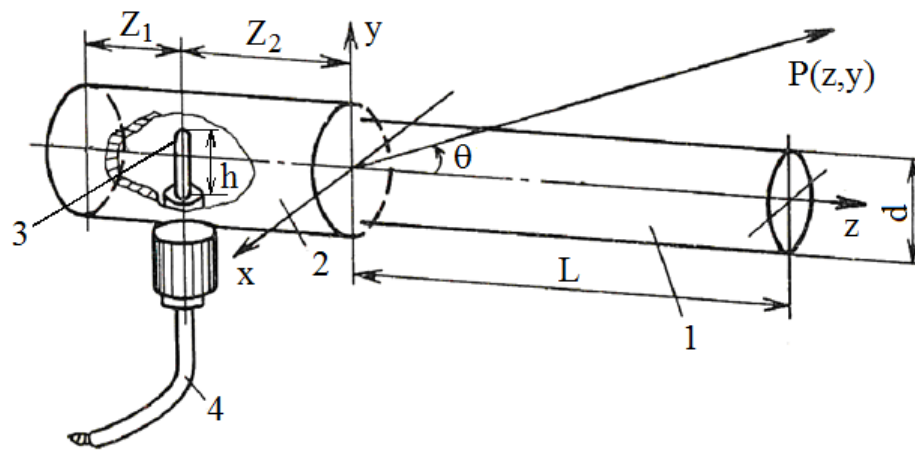


Рис. 3.3. Схема діелектричної стержневої антени

Для виготовлення подібного типу антен використовуються діелектричні матеріали з малим значенням тангенса кута втрат (близько  $10^{-3} \dots 10^{-4}$ ) і значенням відносної діелектричної проникності близько  $2 \dots 3$  [137]. У вказаних діапазонах для виготовлення подібних антен використовують полістирол, фторопласт-4, стеатит [137]. Ми ж проводимо дослідження діелектричних стержневих антен в міліметровому діапазоні довжин хвиль для вирішення поставленого в дисертаційній роботі завдання. Вище ми визначилися і вибрали частоту  $f_0 = 50$  ГГц. У роботі [138] показано, що на частоті  $f = 50$  ГГц фторопласт-4 має діелектричну проникність, рівну  $2,06$  і  $\text{tg } \delta = 2,1 \cdot 10^{-4}$ . Тому при проведенні подальших досліджень виберемо в якості матеріалу діелектричної стержневої антени фторопласт-4.

Таку антену можна розглядати як відрізок діелектричного хвилеводу. У діелектричних хвилеводах можуть поширюватися як симетричні, так і несиметричні хвилі. Хвилі симетричного типу, як правило, не використовуються в діелектричних стержневих антенах, оскільки внаслідок осової симетрії вони не випромінюють потужність уздовж осі стержня. Основною хвилею, використовуваною з цією метою, є несиметрична хвиля типу  $HE_{11}$ , яка по своїй структурі схожа на основну хвилю круглого металевихого хвилеводу  $TE_{11}$ . Відмінність лише в тому, що поле хвилі  $HE_{11}$  існує і в просторі поза діелектричним стержнем. З іншого боку, швидкість поширення хвилі



уздовж діелектричного стержня мало залежить від довжини хвилі. Вона, в основному, визначається діелектричною проникністю матеріалу стержня  $\epsilon'$ . Тому діелектричні стержневі антени широкопasmові і їх смуга пропускання обмежується, в основному, діапазонними властивостями збудливого пристрою. При широкопasmовому збуднику, яким є круглий хвилевід, вона може досягати 40...50% від  $f_0$ . На підставі усього сказаного вище представляє практичний інтерес провести цикл досліджень по впливу діаметру, довжини, а також і матеріалу, з якого зроблена діелектрична стержнева антена, на ширину її діаграми спрямованості.

### 3.3. Вплив діаметру діелектричної стержневої антени на її діаграму спрямованості

У міліметровому діапазоні довжин хвиль конструкція стержневої АПВ відрізнятиметься від тієї, що приведена на рис. 3.3. В цьому випадку вид такої антени буде аналогічний конструкції, приведений на рис. 3.4.

Як видно з приведеного малюнка, основна відмінність полягає в тому, що частина антени, що знаходиться в круглому хвилеводі, має форму конуса. Це зроблено для того, щоб зменшити відбиття хвилі  $TE_{11}$ , що поширюється по круглому хвилеводу, від діелектричного стержня.

У разі діелектричного стержня, показаного на рис. 3.4, частина енергії відбиватиметься від його відкритого кінця, і випромінюватиметься переважно у зворотному напрямі. А це приведе до зростання бічних пелюсток в діаграмі спрямованості діелектричної стержневої антени, що, у свою чергу, є небажаним чинником при рішенні поставленої в дисертаційній роботі задачі.

Для того, щоб діаграма спрямованості мала неспотворену форму, уздовж даної антени не повинні поширюватися вищі типи хвиль. А це цілком залежатиме від діаметру стержня. Тому проведемо дослідження по впливу діаметру діелектричної стержневої антени на її основні властивості.

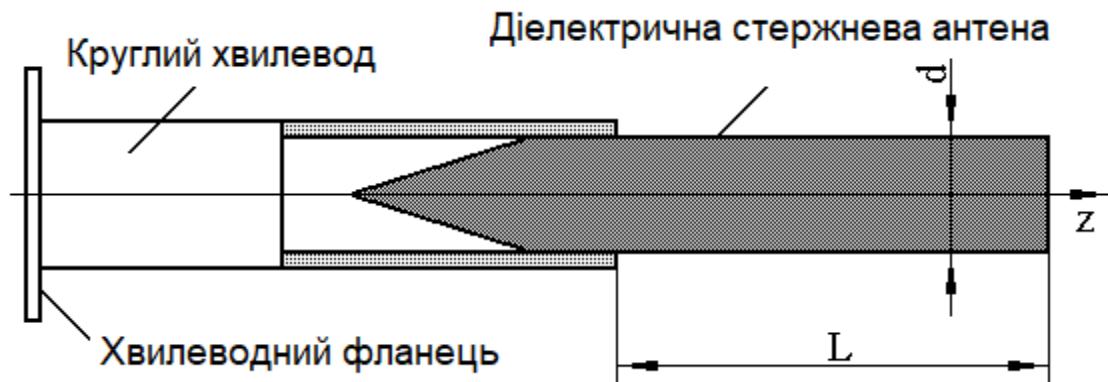


Рис. 3.4. Діелектрична стержнева антена міліметрового діапазону

Під випромінюючим розкритом діелектричної стержневої антени розуміють її бічну поверхню. Діаграма спрямованості такої антени кінцевої довжини  $L$  виражається формулою [137]:

$$F(\theta) = F_0(\theta)F_c(\theta). \quad (3.22)$$

Тут  $F_0(\theta)$  – діаграма спрямованості елементарного випромінювача, в якості якого приймають диск діаметром  $d$  (див. рис. 3.4) і завдовжки  $\Delta z$ , яка значно менше довжини хвилі  $\lambda_0$ ;  $F_c(\theta)$  – це множник системи, який визначається формулою [137]:

$$F_c(\theta) = \frac{\sin[0,5kL(\xi - \cos\theta)]}{0,5kL(\xi - \cos\theta)}, \quad (3.23)$$

де  $k = 2\pi/\lambda_0$  – хвильове число;  $\xi = c/V_\phi$ ;  $c$  – швидкість світла у вакуумі;  $V_\phi$  – фазова швидкість хвилі в діелектричному стержні.

Діаграма спрямованості елементарного випромінювача діелектричної стержневої антени в площині вектору  $\mathbf{E}$  визначається виразом [137]:

$$F_{0E} = J_1\left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right) / \left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right). \quad (3.24)$$

Тут  $J_1\left[\left(kd/2\right)\sin\theta\right]$  – функція Бесселя першого роду.

Діаграма спрямованості елементарного випромінювача діелектричної стержневої антени в площині вектору  $\mathbf{H}$  описуватиметься виразом [137]:

$$F_{0H} = \cos\theta J_1\left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right) / \left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right). \quad (3.25)$$

Тепер з урахуванням виразів (3.24) запишемо формулу, що визначає діаграму спрямованості діелектричної стержневої антени в площині вектору  $\mathbf{E}$  (площина  $yOz$ , див. рис. 3.1):

$$F_E(\theta) = \left[ J_1\left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right) / \left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right) \right] \frac{\sin[0,5kL(\xi - \cos\theta)]}{0,5kL(\xi - \cos\theta)}. \quad (3.26)$$

Використовуючи вирази (3.22), (3.23) і (3.25), запишемо формулу, що визначає діаграму спрямованості діелектричної стержневої антени в площині вектору  $\mathbf{H}$  (площина  $xOz$ , див. рис. 3.1):

$$F_H(\theta) = \cos\theta \left[ J_1\left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right) / \left(\frac{kd}{2}\sin\theta\right) \right] \frac{\sin[0,5kL(\xi - \cos\theta)]}{0,5kL(\xi - \cos\theta)}. \quad (3.27)$$

У формули (3.26) і (3.27) входить визначений вище параметр  $\xi$ , який слабо залежить від довжини хвилі  $\lambda_0$ . Більшою мірою цей параметр залежить від діелектричної проникності матеріалу стержня  $\epsilon'$ . Для того, щоб побудувати діаграму спрямованості діелектричного стержня з фторопласту-4 діаметром 3 мм, 5 мм, 7 мм і 10 мм скористаємося графіком [121], представленим на

рис. 3.5. Тут червона крива відповідає залежності фазової швидкості хвилі від відносного діаметру стержня з фторопласту-4, а синя крива побудована для стержня з полістиролу ( $\varepsilon' = 2,5$ ).

Аналізуватимемо діаграму спрямованості діелектричної стержневої антени з фторопласту-4. На першому етапі покладемо довжину антени  $L = 10$  мм. Використовуючи графік залежності  $V_\phi/c = \Psi(d/2\lambda_0)$  для фторопласту-4, приведений на рис. 3.5 (червона крива), знайдемо, що при  $d = 3$  мм 1,037, при  $d = 5$  мм 1,1703, при  $d = 7$  мм 1,257, при  $d = 10$  мм 1,2903. Результати розрахунку діаграм спрямованості стержневих антен різного діаметру в площині вектору  $\mathbf{H}$  хвилі  $TE_{11}$  круглого хвилеводу (див. рис. 3.1 і рис. 3.4) по формулі (3.27) представлені на рис. 3.6.

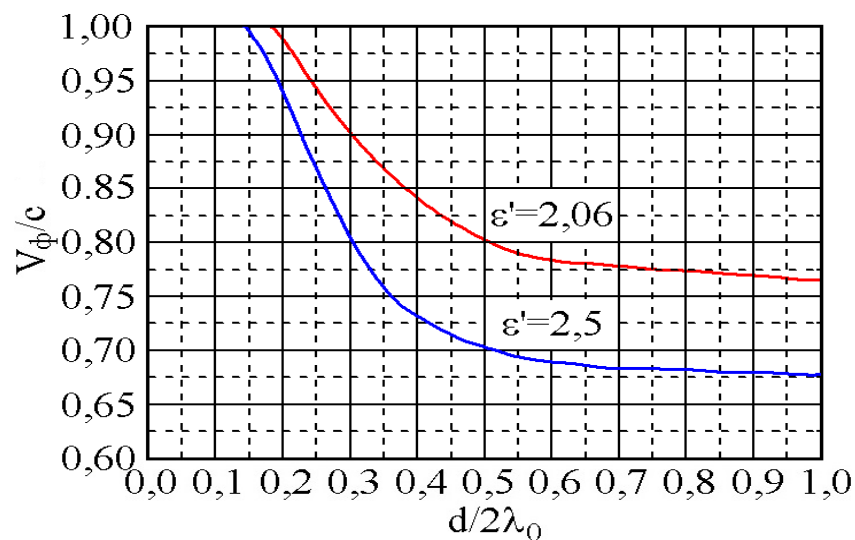


Рис. 3.5. Залежності фазової швидкості поширення хвилі  $HE_{11}$  в різних діелектричних стержнях від їх відносного діаметру

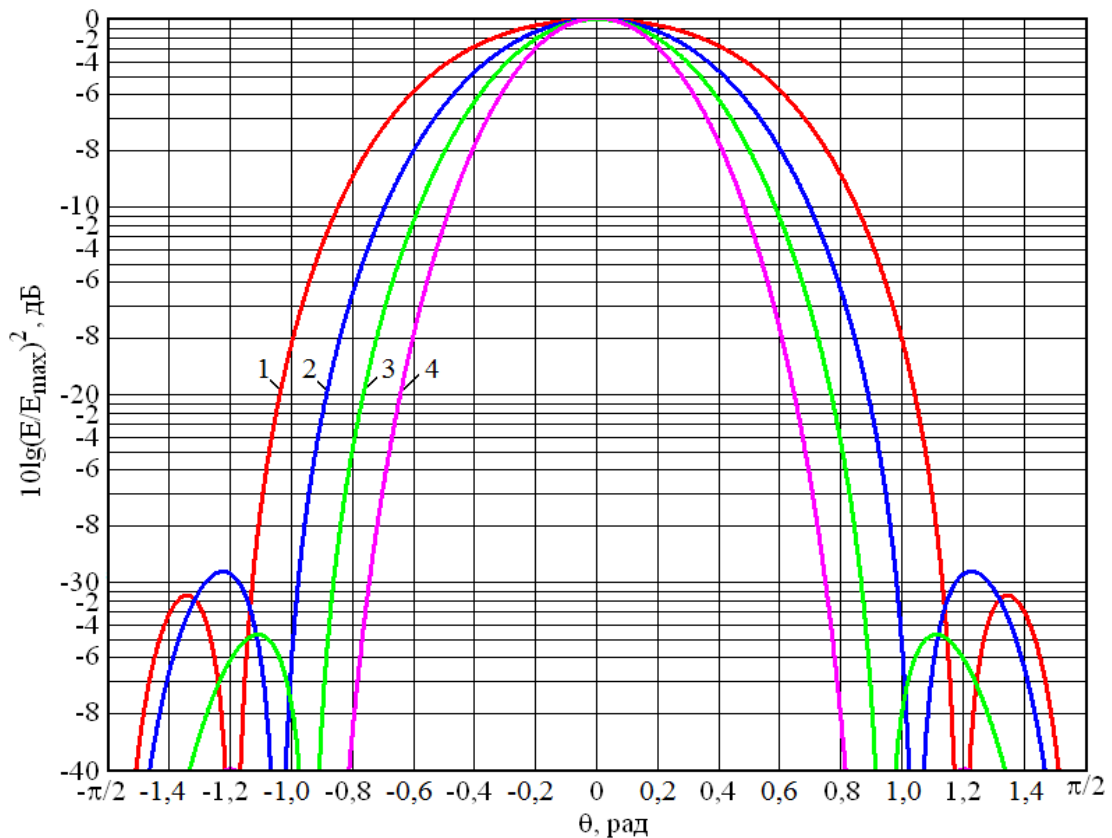


Рис. 3.6. Діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени різного діаметру в площині вектору **H** хвилі  $TE_{11}$

Крива 1 відповідає діаметру діелектричного стержня, рівному 3 мм, крива 2 – діаметру стержня, рівному 5 мм, крива 3 – діаметру стержня, рівному 7 мм, крива 4 – діаметру стержня, рівному 10 мм. Як видно з приведеного малюнка, у міру збільшення діаметру діелектричного стержня діаграма спрямованості даної антени звужується. При цьому зменшується рівень бічних пелюсток. Для стержня діаметром 10 мм ширина діаграми спрямованості основної пелюстки по рівню  $-3$  дБ на відстані 30 мм від випромінюючого торця діаметром 10 мм складає 12,6 мм. Ми отримали 12,6 мм проти 17,64 мм.

Тепер, використовуючи вираз (3.26), побудуємо діаграми спрямованості діелектричних стержнів, вказаних вище діаметрів, і тієї ж фіксованої довжини  $L$  в площині вектору **E** хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі. Результати розрахунку показані на рис. 3.7. Як і на попередньому малюнку, крива 1 відповідає діаметру діелектричного стержня, рівному 3 мм, крива 2 – діаметру стержня, рівному 5 мм, крива 3 – діаметру стержня, рівному 7 мм, крива 4 – діаметру

стержня, рівному 10 мм. Як видно з приведеного малюнка, у міру збільшення діаметру стержня зменшується рівень бічних пелюсток і звужується діаметр основної пелюстки. В цьому випадку при діаметрі стержня, рівному 10 мм, на відстані 30 мм від випромінюючого торця по рівню  $-3$  дБ ширина діаграми спрямованості складає 13,3 мм. Якщо порівняти цей її розмір з шириною головної пелюстки діаграми спрямованості відкритого кінця круглого хвилеводу в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$ , то нескладно помітити, що завдяки діелектричній стержневій антені вдалося добитися незначного її звуження у вказаній площині. Ми отримали 13,3 мм проти 14,3 мм. Таким чином, діелектрична стержнева антена привела до сильнішого звуження діаграми спрямованості в площині вектору  $\mathbf{H}$  хвилі  $TE_{11}$ .

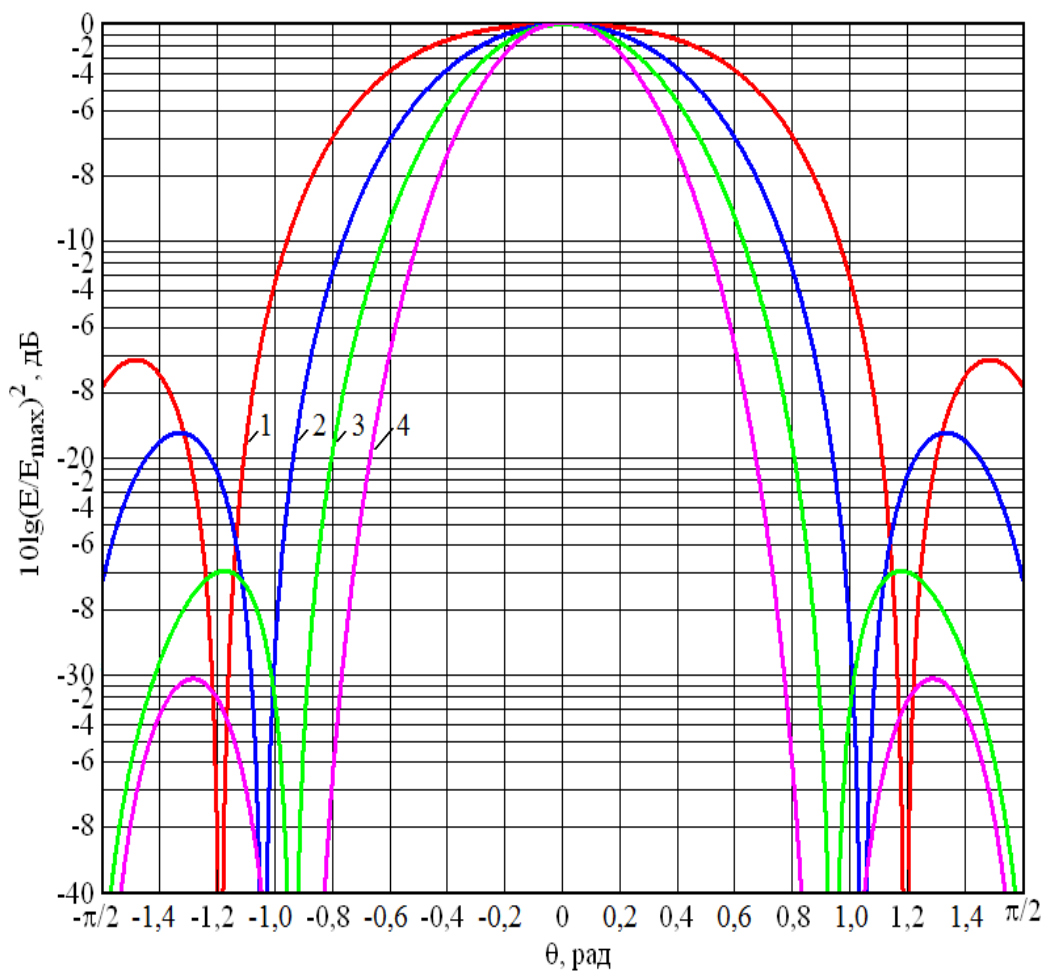


Рис. 3.7. Діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени різного діаметру в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$ .

Тому в якості наступного кроку розглянемо, як впливатиме на діаграму

спрямованості діелектричної стержневої антени її довжина.

### 3.4. Вплив довжини діелектричної стержневої антени на її діаграму спрямованості

На підставі проведених вище досліджень (див. рис. 3.6 і рис. 3.7) вибираємо діаметр антени з фторопласту-4, рівний 10 мм. При цьому  $\xi = 1,2903$ . Дослідження проведемо для довжин антени  $L$ , рівних 10 мм, 15 мм, 20 мм і 25 мм. Результати розрахунку діаграм спрямованості діелектричних антен різної довжини в площині вектору  $\mathbf{H}$ , виконані по формулі (3.27), представлені на рис. 3.8.

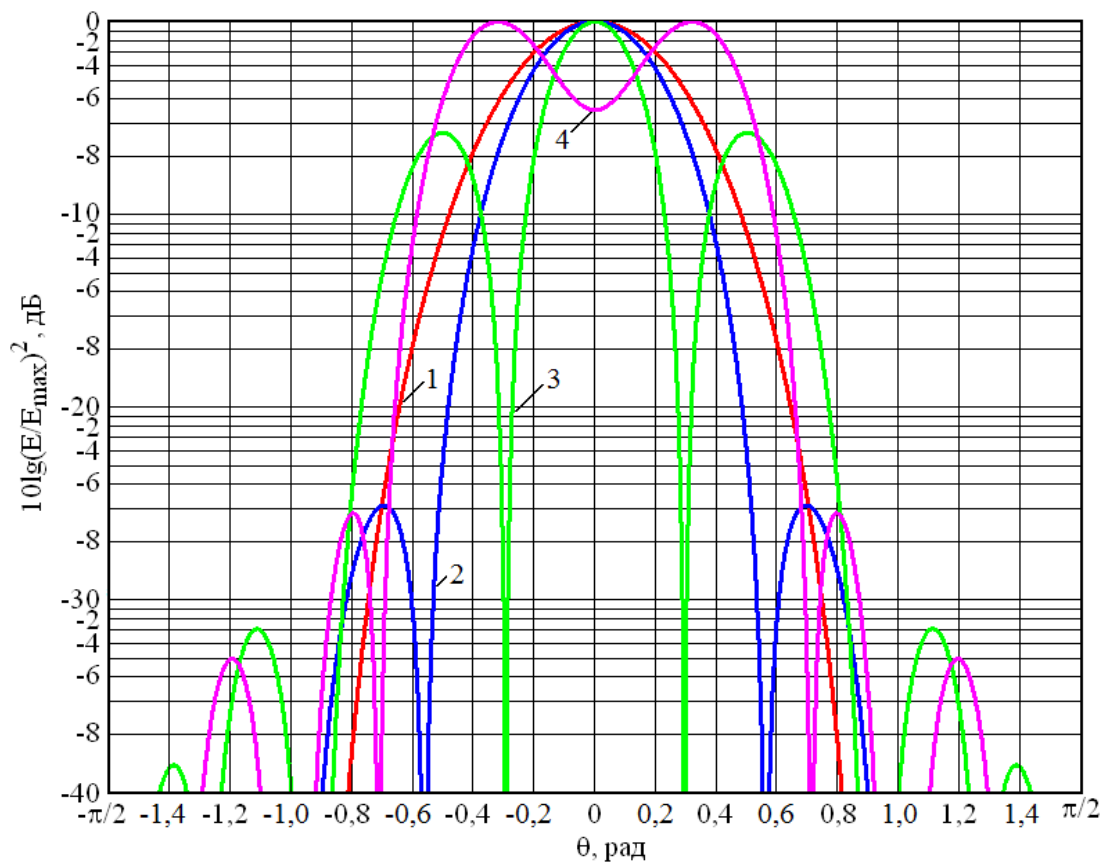


Рис. 3.8. Діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени різної довжини в площині вектору  $\mathbf{H}$  хвилі  $\text{TE}_{11}$

Крива 1 відповідає довжині діелектричної стержневої антени рівною 10 мм, крива 2 – довжині антени, рівної 15 мм, крива 3 – довжині антени, рівної 20 мм, крива 4 – довжині антени, рівної 25 мм. З приведенного рисунка видно,

що при збільшенні довжини антени з 10 мм до 15 мм, має місце звуження головної пелюстки діаграми спрямованості. Проте збільшення довжини антени призводить до зростання бічних пелюсток, рівень яких складає  $-26,9$  дБ (крива 2) при  $L = 15$  мм. При подальшому збільшенні довжини антени відбувається ще більше звуження головної пелюстки діаграми спрямованості, але рівень бічних пелюсток при  $L = 20$  мм різко зростає до  $-7,3$  дБ (крива 3). Зовсім цікаво поводиться діаграма спрямованості стержневої антени завдовжки 25 мм (крива 4). В цьому випадку спостерігається роздвоєння головної пелюстки діаграми спрямованості. Отриманий результат знаходиться в хорошій відповідності з результатами роботи [137] і говорить про те, що при  $L \geq 20$  мм довжина антени перевищує її оптимальний розмір.

Тепер аналогічно для вказаних вище параметрів побудуємо діаграми діелектричних стержневих антен в площині вектору  $\mathbf{E}$ . Розрахунки виконані по формулі (3.26) і показані на рис. 3.9.

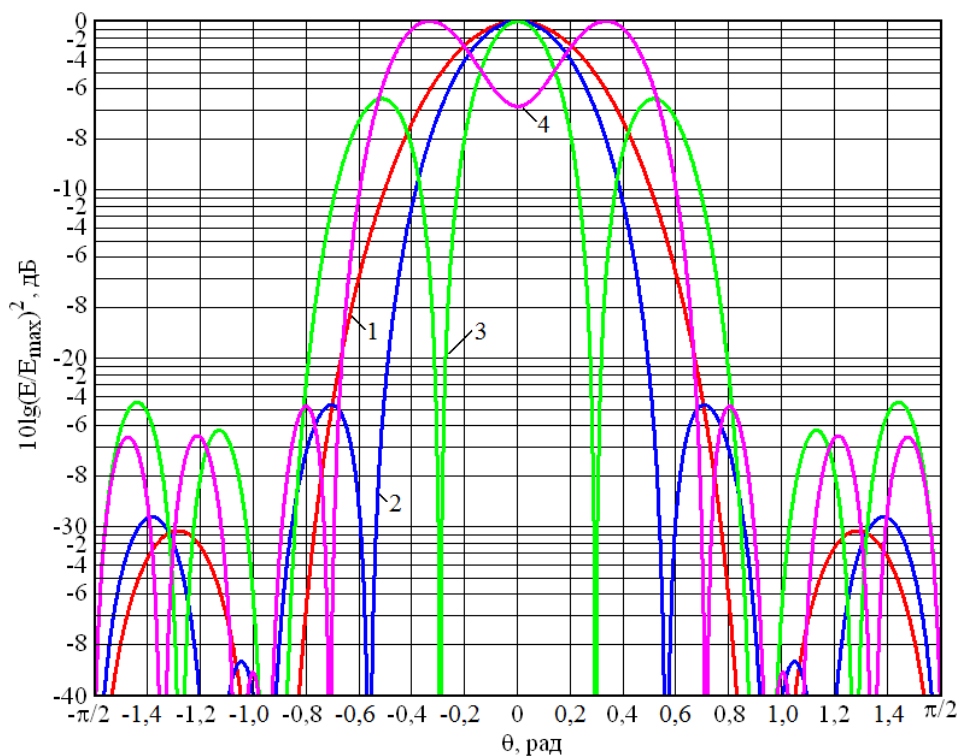


Рис. 3.9. Діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени різної довжини в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$



На рис. 3.9, як і на рис. 3.8, крива 1 відповідає довжині діелектричної стержневої антени рівної 10 мм, крива 2 – довжині антени, рівної 15 мм, крива 3 – довжині антени, рівної 20 мм, крива 4 – довжині антени, рівної 25 мм. З приведенного рисунка видно, що при збільшенні довжини антени з 10 мм до 15 мм, як і у разі **H** площини, має місце звуження головної пелюстки діаграми спрямованості. Зі збільшенням довжини антени ростуть бічні пелюстки діаграми спрямованості. В даному випадку при довжині антени, рівній 15 мм, рівень бічних пелюсток складає  $-24,6$  дБ (крива 2), тобто він трохи вище, ніж у попередньому випадку. При  $L = 20$  мм має місце подальше звуження головної пелюстки діаграми спрямованості. Проте на цьому фоні різко зростають бічні пелюстки до рівня  $-6,4$  дБ (крива 3). Якщо довжина діелектричної антени складає 25 мм, то спостерігається роздвоєння головної пелюстки діаграми спрямованості (крива 4).

Проведений аналіз показує, що починаючи з  $L = 20$  мм, довжина антени перевищує її оптимальний розмір. Аналогічний результат ми отримали для діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени в площині вектору **H** хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі. Тому представляє практичний інтерес проаналізувати діаграми спрямованості діелектричних стержневих антен в двох взаємно перпендикулярних **H** і **E** площинах при зміні їх довжини з кроком 1 мм. Нам необхідно отримати по рівню  $-3$  дБ діаметр головної пелюстки діаграми спрямованості порівняно з довжиною хвилі. Вище (див. рис. 3.8 і рис. 3.9) ми показали, що ширина головної пелюстки діаграми спрямованості антени зменшується зі збільшенням її довжини. При цьому антени з  $L \geq 20$  мм розглядати не доцільно. Тому за початковий розмір візьмемо  $L = 15$  мм.

Результати розрахунку діаграм спрямованості діелектричної стержневої антени з фторопласту-4 діаметром 10 мм, виконаного по формулі (3.27), показані на рис. 3.10. Тут крива 1 відповідає довжині антени, рівній 15 мм, крива 2 – довжині антени, рівній 16 мм, крива 3 – довжині антени, рівній 17 мм, крива 4 – довжині антени, рівній 18 мм. З рисунку видно, що зі збільшенням

довжини антени діаметр головної пелюстки діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ зменшується. Проте при цьому росте рівень бічних пелюсток. Так при  $L = 17$  мм рівень бічних пелюсток діаграми спрямованості складає  $-18,3$  дБ, а при збільшенні довжини антени всього на один міліметр рівень бічних пелюсток буде вже  $-15,8$  дБ. Але, проте, отримана величина рівня бічних пелюсток в площині вектору  $\mathbf{H}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі при  $L = 18$  мм є прийнятною величиною для вирішення поставленого завдання в дисертації. Ширина головної пелюстки діаграми спрямованості у вказаній площині при  $L = 18$  мм по рівню  $-3$  дБ складає  $7,906$  мм. Ця величина всього в  $1,19$  разу більше довжини хвилі, що і необхідно було отримати.

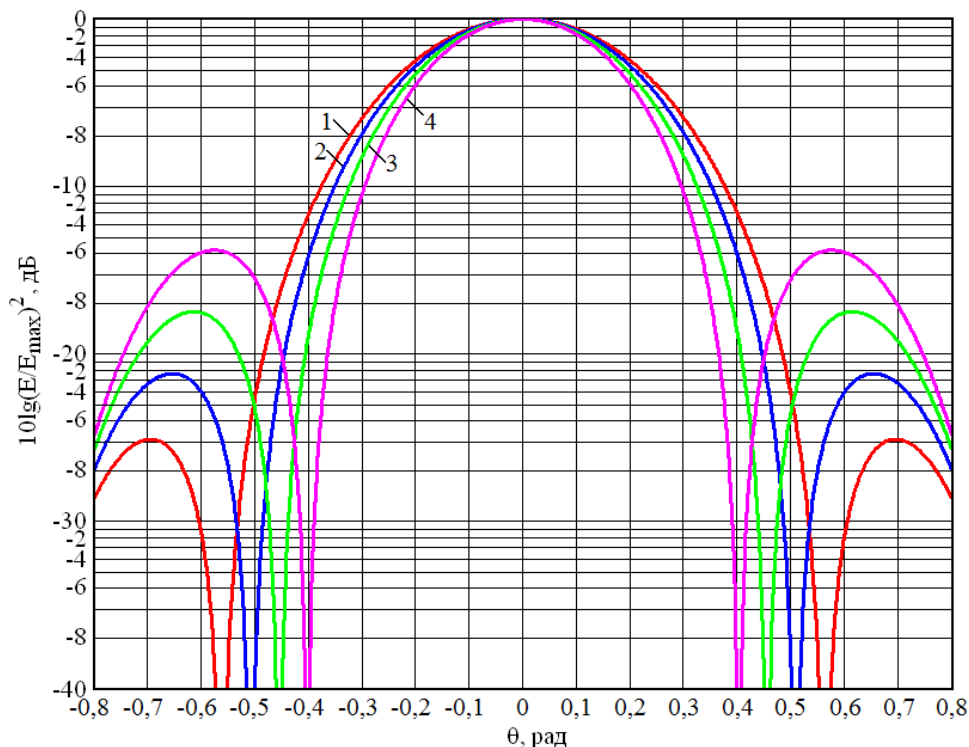


Рис. 3.10. Діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени, довжина якої змінюється з кроком  $1$  мм, розраховані в площині вектору  $\mathbf{H}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі

Тепер розглянемо, як поводитиметься діаграма спрямованості діелектричної стержневої антени з фторопласту-4 діаметром  $10$  мм при зміні її довжини у вказаних вище межах в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому

хвилеводі. Для цього скористаємося формулою (3.26). Результати розрахунку представлені на рис. 3.11. Крива 1 відповідає довжині антени, рівній 15 мм, крива 2 – довжині антени, рівній 16 мм, крива 3 – довжині антени, рівній 17 мм, крива 4 – довжині антени, рівній 18 мм.

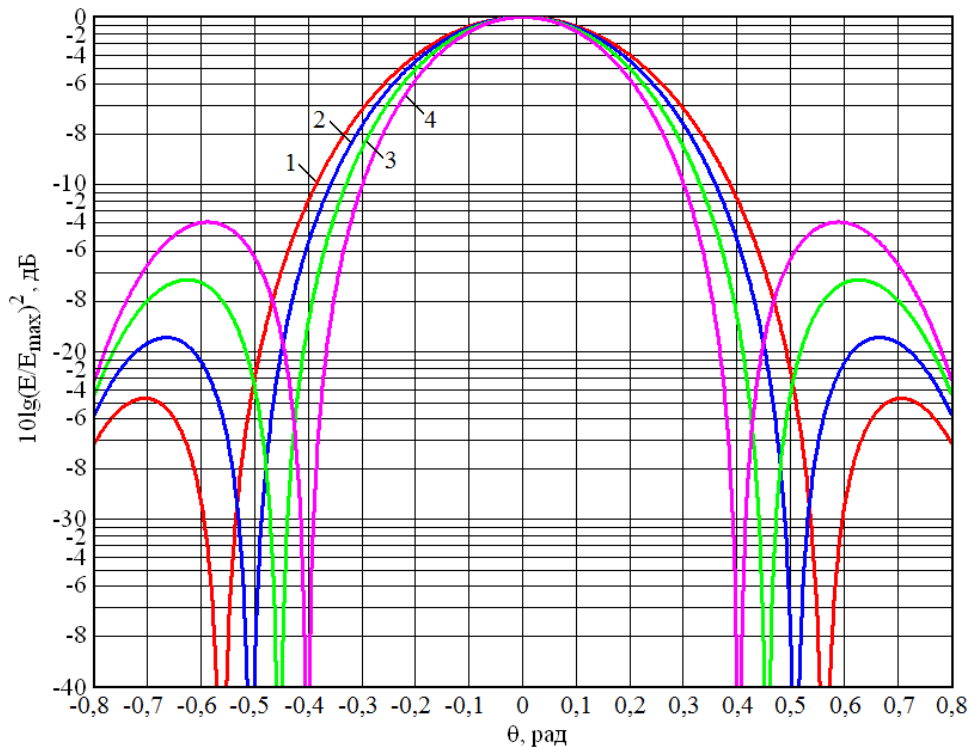


Рис. 3.11. Діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени, довжина якої змінюється з кроком 1 мм, розраховані в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі

З малюнка видно, що, як і у попередньому випадку, зі збільшенням довжини антени діаметр головної пелюстки діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ зменшується. При цьому відбувається зростання бічних пелюсток. Так при  $L = 17$  мм рівень бічних пелюсток діаграми спрямованості в цьому випадку складає  $-17,3$  дБ, а при збільшенні довжини антени на один міліметр рівень бічних пелюсток буде вже  $-13,9$  дБ. Якщо порівняти отриманий результат з попереднім випадком, то нескладно помітити, що рівень бічних пелюсток діаграми спрямованості в  $\mathbf{E}$  площині трохи вище, ніж в  $\mathbf{H}$  площині. Це

стосується усіх даних довжин діелектричної стержневої антени. Ширина діаграми спрямованості головної пелюстки при  $L = 18$  мм по рівню  $-3$  дБ складає  $7,906$  мм, тобто вона така сама, як і для **H** площини. Як видно, ця величина всього в  $1,19$  разу більше довжини хвилі. Таким чином, проведені дослідження показали, що при довжині діелектричної стержневої антени, рівній  $18$  мм, ширина головної пелюстки діаграми спрямованості в **H**- і **E**- площинах трохи (у  $1,19$  разів) перевершує довжину хвилі. Крім того, сама діаграма спрямованості у вказаних площинах однакова, що і потрібно для проведення досліджень по дії електромагнітного випромінювання на дорзальні зони корів.

В той же час цікаво провести дослідження по впливу матеріалу, з якого виготовлена стержнева антена, на її діаграму спрямованості. Можливо, нам вдасться ще більше зменшити розмір головної пелюстки діаграми спрямованості.

### 3.5. Вплив матеріалу діелектричної стержневої антени на її діаграму спрямованості

Усі проведені вище дослідження торкалися стержневої антени з фторопласту-4, який має малі втрати. Як було сказано вище, для цього матеріалу  $\text{tg } \delta = 2,1 \cdot 10^{-4}$ . Тому розглянемо діелектричну стержневу антену, виготовлену з іншого діелектрика, що має малі втрати. В якості такого матеріалу візьмемо полістирол, діелектрична проникність якого  $\epsilon' = 2,522$ , а  $\text{tg } \delta = 2,5 \cdot 10^{-4}$  [138]. Таким чином, вибраний матеріал має більш високе значення діелектричної проникності при рівних втратах в порівнянні з фторопластом-4.

На рис. 3.12 показані результати розрахунку діаграм спрямованості діелектричної стержневої антени з полістиролу діаметром  $10$  мм, виконані по формулі (3.27).

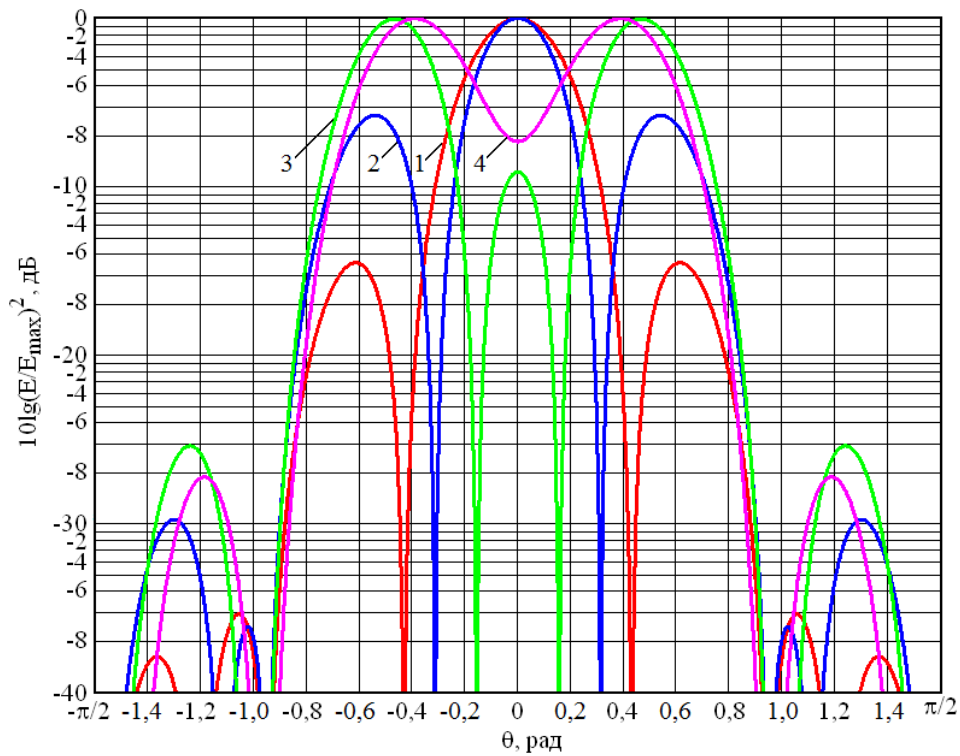


Рис. 3.12. Діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени з полістиролу різної довжини, розраховані в площині вектору **H**

Тут крива 1 відповідає довжині антени, рівній 12 мм, крива 2 – довжині антени, рівній 13 мм, крива 3 – довжині антени, рівній 14 мм, крива 4 – довжині антени, рівній 15 мм. З рисунка видно, що зі збільшенням довжини антени діаметр головної пелюстки діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ зменшується. Проте при цьому росте рівень бічних пелюсток. А при довжині антени, рівній 15 мм, випромінювання антени в осьовому напрямі падає. Таким чином, оптимальна довжина антени при розгляді діаграми спрямованості в площині вектору **H** основної хвилі круглого хвилеводу  $TE_{11}$  дорівнює 12 мм. В цьому випадку рівень бічних пелюсток складає  $-16,3$  дБ, що є цілком прийнятною величиною. При  $L = 12$  мм (крива 1) по рівню  $-3$  дБ на відстані 30 мм від розкриття ширина головної пелюстки складає 8,322 мм. Якщо порівняти цей розмір з аналогічним розміром для антени з фторопласту-4, що має такий же діаметр, але при оптимальній довжині  $L = 18$  мм, то нескладно помітити, що в другому випадку ширина діаграми вужче (7,906 мм).

Тепер розглянемо діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени з полістиролу вказаного вище діаметру в площині вектору  $\mathbf{E}$  основної хвилі круглого хвилеводу. Для цього скористаємося формулою (3.26). Результати розрахунку представлені на рис. 3.13. Тут, як і вище, крива 1 відповідає довжині антени, рівній 12 мм, крива 2 – довжині антени, рівній 13 мм, крива 3 – довжині антени, рівній 14 мм, крива 4 – довжині антени, рівній 15 мм.

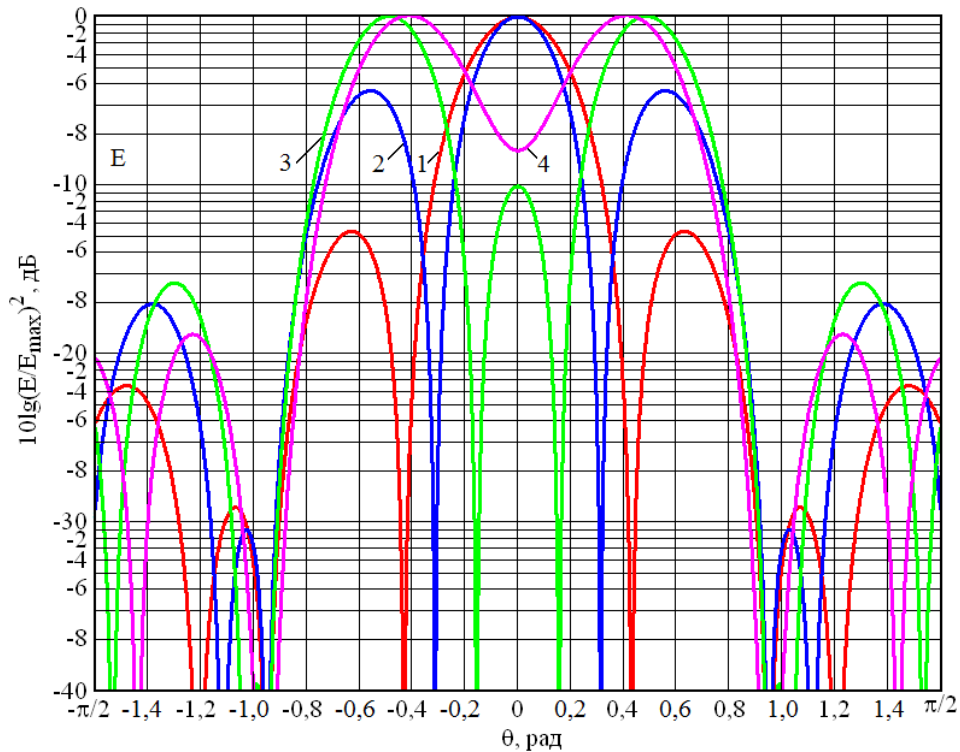


Рис. 3.13. Діаграми спрямованості діелектричної стержневої антени з полістиролу різної довжини, розраховані в площині вектору  $\mathbf{E}$

З малюнка видно, що зі збільшенням довжини антени діаметр головної пелюстки діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ зменшується. Окрім цього, для антен, що мають довжини 13 мм і 14 мм, у діаграм спрямованості різко ростуть бічні пелюстки. При  $L = 15$  мм зменшується випромінювання уздовж осі антени. Отже, і в площині  $\mathbf{E}$  для вказаних вище розмірів антени оптимальною буде довжина, рівна 12 мм. При такій довжині антени ширина її діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ складає 8,516 мм. Отже, збільшення

діелектричної проникності матеріалу антени дозволяє зменшити її довжину, але не призводить до звуження головної пелюстки діаграми спрямованості.

Використовуючи формулу (3.27), розрахуємо діаграму спрямованості діелектричної стержневої антени з полістиролу вказаних вище параметрів в площині вектору  $\mathbf{H}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі. Результати розрахунку представлені на рис. 3.14 (крива 1).

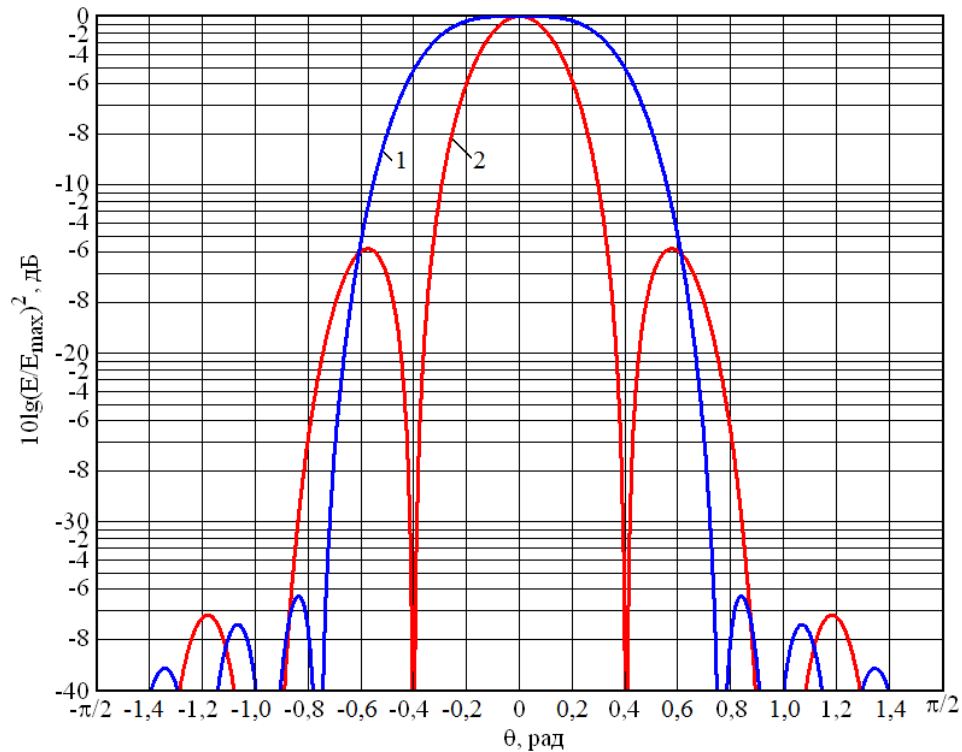


Рис. 3.14. Діаграми спрямованості діелектричних стержневих антен завдовжки 18 мм з полістиролу і фторопласту-4, розраховані в площині вектору  $\mathbf{H}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі

Тут же для порівняння показана діаграма спрямованості антени таких же розмірів, але з фторопласту-4 (крива 2). Як видно з приведеного малюнка рівень бічних пелюсток діаграми спрямованості антени з полістиролу істотно зменшився. Проте при цьому ширина головної пелюстки стала набагато ширша. По рівню  $-3$  дБ на відстані 30 мм від випромінюючого торця ширина основної пелюстки діаграми спрямованості стержневої антени з полістиролу складає 20,418 мм, тоді як для антени з фторопласту-4 цей розмір дорівнює 7,906 мм.

Представляє також інтерес розглянути поведінку діаграм спрямованості діелектричних стержневих антен, виготовлених з вказаних вище матеріалів при фіксованих розмірах в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі. Результати розрахунку приведені на рис. 3.15.

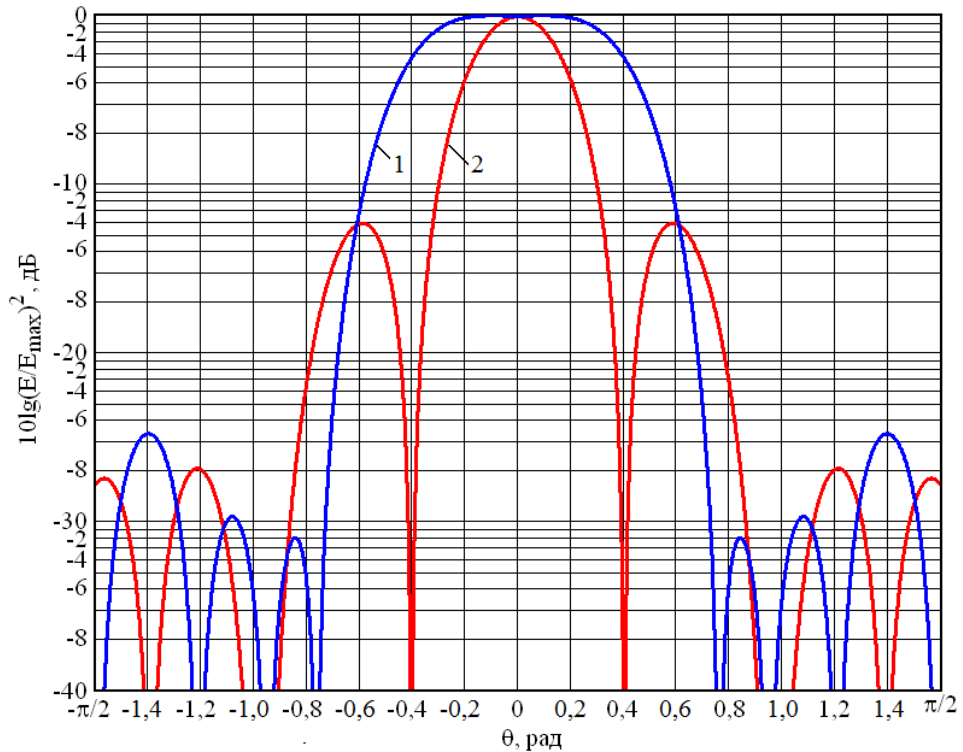


Рис. 3.15. Діаграми спрямованості діелектричних стержневих антен фіксованої довжини з полістиролу і фторопласту-4, розраховані в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі

З малюнка видно, що для стержневої антени завдовжки 18 мм з полістиролу має місце істотне зниження рівня бічних пелюсток в діаграмі спрямованості (крива 1). Тут же для порівняння приведена діаграма спрямованості аналогічної антени з фторопласту-4 (крива 2). Ширина основної пелюстки діаграми спрямованості антени з полістиролу у вказаній площині значно ширше, ніж у разі антени з фторопласту-4. По рівню  $-3$  дБ на відстані 30 мм від випромінюючого торця ширина основної пелюстки діаграми спрямованості стержневої антени з полістиролу складає 22,378 мм, тоді як для антени з фторопласту-4 цей розмір дорівнює 7,906 мм. Для  $\mathbf{H}$  площини ширина основної пелюстки діаграми спрямованості антени з полістиролу виявилася



приблизно на два міліметри менше. Тоді як для антени з фторопласту-4 ми отримали в двох ортогональних площинах однакові діаграми спрямованості.

Таким чином, проведений чисельний аналіз показав, що для вирішення поставленого в дисертаційній роботі завдання необхідно вибирати діелектричну стержневу антену з фторопласту-4, що має діаметр 10 мм і довжину 18 мм. Щоб переконатися в правильності виконаного нами аналізу, необхідно провести експериментальні дослідження розрахованої нами діелектричної стержневої антени.

### Висновки по розділу

1. Проведений аналіз випромінювання з відкритого кінця круглого хвилеводу діаметром 10 мм показав, що такий розкрив не забезпечує аксіально-симетричну діаграму спрямованості. При цьому в двох взаємно перпендикулярних площинах по рівню  $-3$  дБ ширина головної пелюстки мінімум в два рази перевищує довжину хвилі 6,0 мм.

2. Оптимальна довжина стержневої антени залежить від величини діелектричної проникності матеріалу. Так для розглянутої в розділі антени з фторопласту-4 ( $\epsilon' = 2,06$ ) діаметром 10 мм оптимальна довжина дорівнює 18 мм. А для антени з полістиролу ( $\epsilon' = 2,522$ ) і такого ж діаметру оптимальна довжина складає 12 мм. Крім того, збільшення діелектричної проникності матеріалу антени не призводить до звуження головної пелюстки діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ.

3. Залежно від діаметру і матеріалу, з якого вона зроблена, діелектрична стержнева антена повинна мати оптимальну довжину. Якщо довжина антени перевищує оптимальну, то спочатку починається зростання бічних пелюсток. При подальшому збільшенні довжини антени випромінювання уздовж осі антени зменшується. Так для антени з фторопласту-4 діаметром 10 мм при довжині, рівній 20 мм, починається зростання бічних пелюсток, а при довжині рівній 25 мм випромінювання уздовж осі антени падає. Тому довжину антени слід вибирати в межах 18 мм.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ЛІКУВАННЮ НОВОНАРОДЖЕНИХ ТЕЛЯТ ХВОРИХ ДИСПЕПСІЄЮ

#### 4.1. Мета і завдання експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень було перевірка достовірності теоретичних підходів і моделей, що описують процес терапії новонароджених телят хворих диспепсією радіоімпульсними ЕМВ міліметрового діапазону. Відповідно до мети експериментальних досліджень були визначені завдання експерименту і шляхи їх рішення:

- розробка, макетування і налагоджування вузлів і блоків високостабільного джерела електромагнітних коливань в мм діапазоні довжин хвиль;

- експериментальні дослідження параметрів діелектричних стержневих антен;

- проведення багатofакторного експерименту для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії новонароджених телят;

- проведення виробничих випробувань розроблених електронних пристроїв для лікування диспепсії новонароджених телят.

#### 4.2. Експериментальні дослідження енергетичних і спектральних характеристик радіоімпульсного генератора міліметрового діапазону

Проведені теоретичні дослідження по створенню імпульсного джерела електромагнітного випромінювання в мм діапазоні довжин хвиль для лікування диспепсії новонароджених телят показали, що для промислового використання потрібні радіоімпульсні джерела електромагнітної енергії з параметрами:

потужність 18...20 Вт; тривалість імпульсу 100 нс; період слідування радіоімпульсів  $10^{-5}$ с; шпаруватість 100; частота заповнення імпульсів 50,0 ГГц. Отримання такої потужності можливе на основі лавино-пролітного діода типу 3A762B з параметрами:  $C_k = 0,3$  пФ,  $L_k = 0,4$  нГн,  $C = 0,25$  пФ.

На рис. 4.1 приведена хвилеводно-штирєва конструкція імпульсного генератора на діоді типу 3A762A.

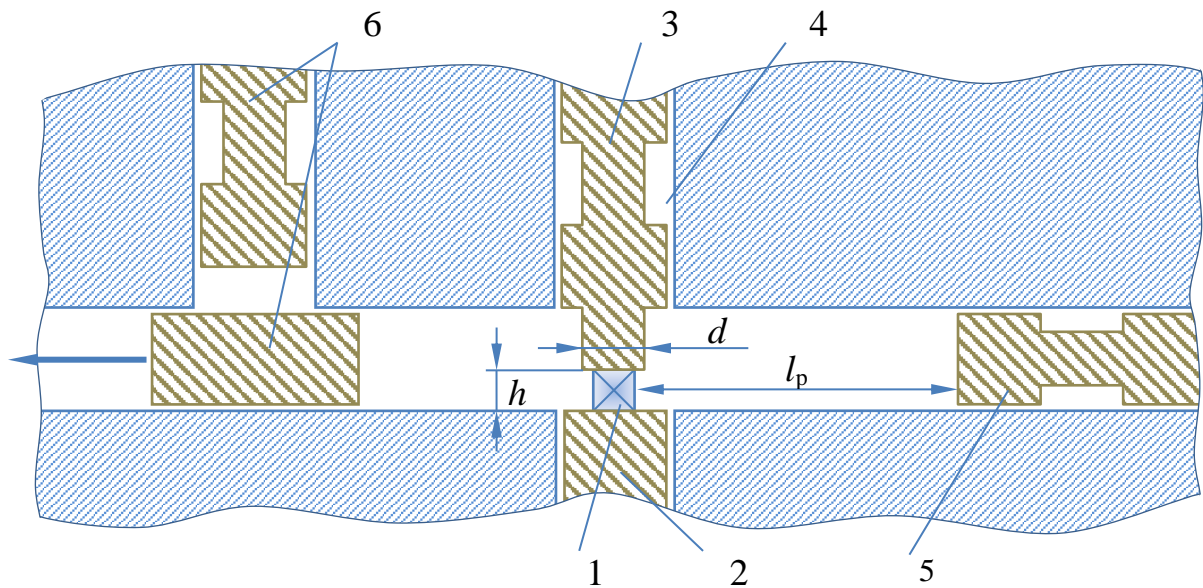


Рис. 4.1. Хвилеводно-штирєва конструкція імпульсного генератора

Діод 1 на мідному тепловоді 2 встановлений в центрі прямокутного хвилеводу перерізом  $7,2 \times 1$  мм<sup>2</sup> з використанням металевого круглого стержня 3, вісь якого паралельна вектору ЕП (у прямокутному хвилеводі поширюється хвиля  $H_{10}$ ). В якості погоджувального елемента з навантаженням використовується *E-H* трансформатор 6. Перебудова частоти генератора здійснюється ковзаючим поршнем 5.

На підставі теоретичних досліджень був виготовлений зразок імпульсного генератора з хвилеводно-штирєвою конструкцією. На рис. 4.2 приведена конструктивна схема генератора, а на рис. 4.3 його зовнішній вигляд.

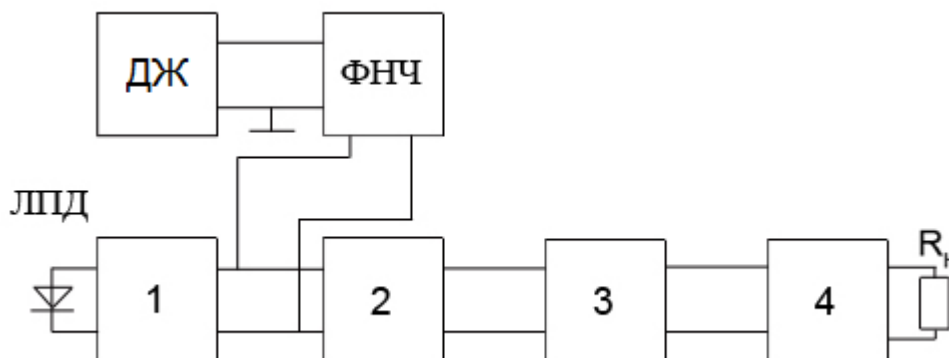


Рис. 4.2. Узагальнена структурна схема електромагнітного ланцюга генератора

Необхідними елементами конструкції генератора є: резонатор 2, пов'язаний з діодом і навантаженням; обладнання зв'язку діода з резонатором 1; трансформатор опорів 3; обладнання зв'язку навантаження з резонатором 4; живлення діода з ФНЧ.

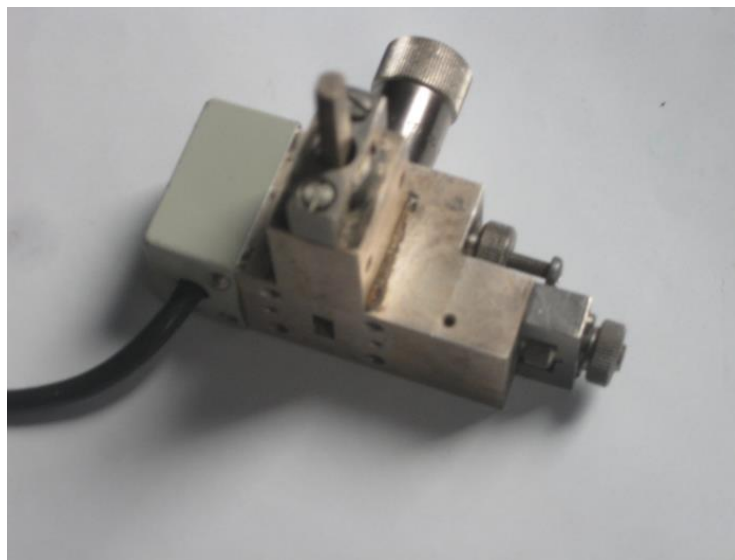


Рис. 4.3. Зовнішній вигляд імпульсного генератора на лавино-пролітному діоді 3A762B

Конструкція генератора має наступні геометричні параметри (рис. 4.1): висота проміжку  $b = 0,12$  см; діаметр стержня  $d = 1,2$  см; радіус діода

$r_0 = 0,6$  см; довжина резонатора  $l_p = 4,6$  см. Перестройка частоти здійснюється безконтактним підстроювальним поршнем 5.

На рис. 4.4 приведена функціональна схема експериментальної установки для виміру технічних параметрів генератора, а на рис. 4.5 її зовнішній вигляд.

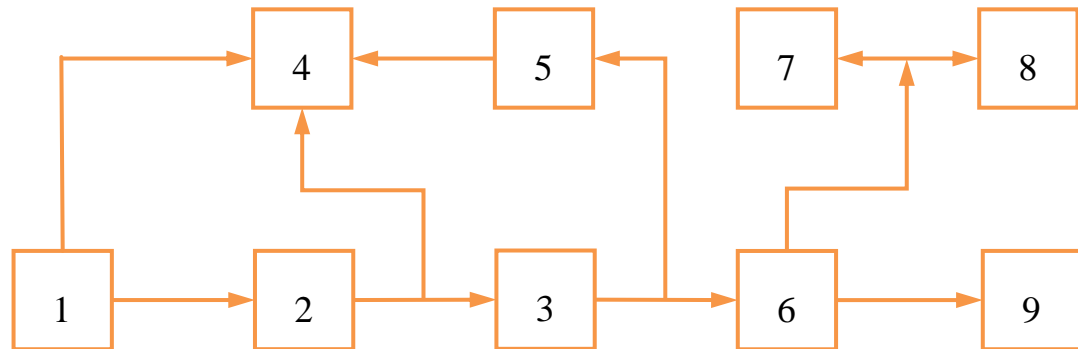


Рис. 4.4. Функціональна схема вимірювальної установки

До складу вимірювальної установки входять наступні прилади: 1 – генератор відеоімпульсів; 2 – підсилювач потужності струму; 3 – досліджуваний генератор; 4 – двопробеневий осцилограф; 5 – детекторна секція; 6 – спрямований відгалужувач; 7 – аналізатор спектру; 8 – частотомір; 9 – вимірник потужності.

Живлення генератора здійснювалося від генератора імпульсів Г5-15 і підсилювача потужності. Сигнал від генератора імпульсів 1 і підсилювача потужності 2 поступав на досліджуваний імпульсний генератор 3. Лавино-пролітний діод 3А762А імпульсного генератора 3 розміщувався в хвилеводно-штирьовій резонансній системі. Вихідний сигнал імпульсного генератора 3 через спрямований відгалужувач 6 подавався на аналізатор спектру С4-27, частотомір Я34-42 і вимірник потужності М3-53. форма імпульсів струму спостерігалася на екрані двопробеневого осцилографа С1-70.



Рис. 4.5. Загальний вигляд вимірювальної установки

Типовий вид форми імпульсів струму і огинаючої радіоімпульсів приведені на рис. 4.6.

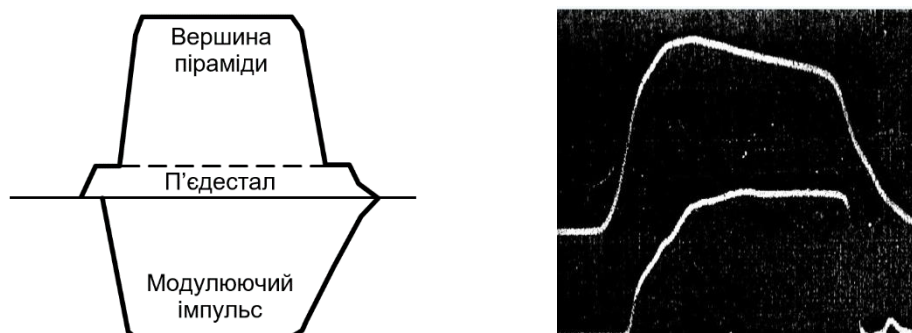


Рис. 4.6. Вид осцилограм імпульсу струму і огинаючої радіоімпульсів

Фронт НВЧ-сигналу затриманий відносно імпульсу модулюючого сигналу на величину близько 0,1 мкс. Затримку можна пояснити кінцевим часом наростання коливань генератора із-за перевищення характеристичного струму ЛПД по негативному опору.

Форма спектру вихідного сигналу спостерігалася на екрані аналізатора спектру С4-27 (рис. 4.7).

Виявлено, що в режимі коротких імпульсів, тобто при тривалості імпульсу менше часу теплової релаксації діода ( $\tau_u < \tau_d$ ) и  $\tau_\phi = 10$  спектр сигналу має форму що не відрізняється від розрахункової.

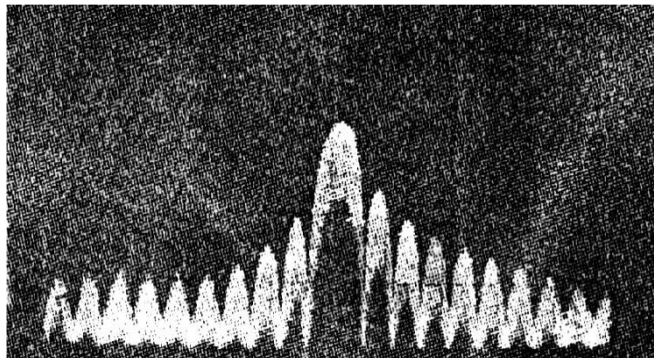


Рис. 4.7. Форма вихідного сигналу радіоімпульсів

Зміна модуляції фази на фронті імпульсу і збільшення тривалості імпульсу призводить до розширення спектру сигналу і зменшення імпульсної потужності (рис. 4.8).

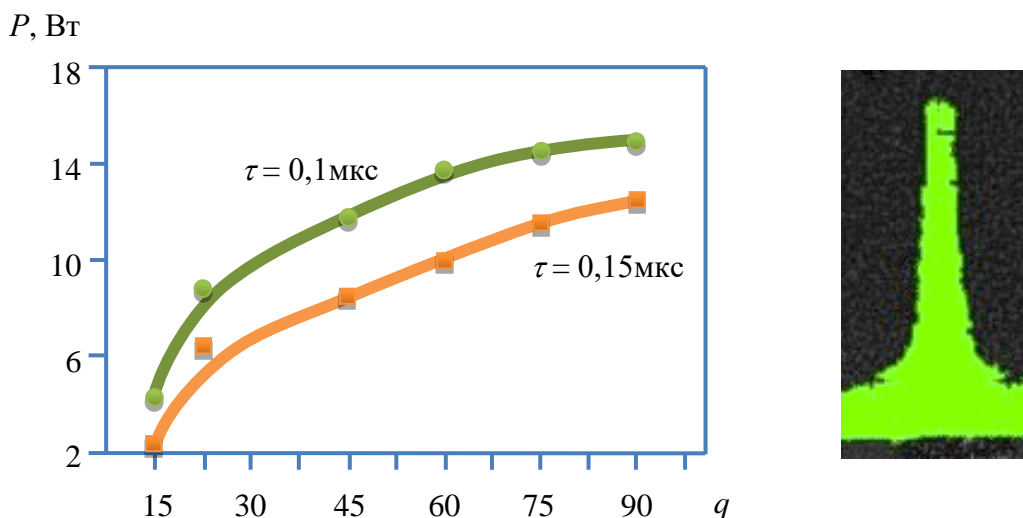


Рис. 4.8. Залежність імпульсної потужності генератора від шпаруватості і тривалості імпульсу:

- частота генератора 50 ГГц;
- період дотримання імпульсів  $10^{-5}$  с.

Як впливає з експериментальних залежностей (рис. 4.8) при тривалості імпульсу  $\tau = 10^{-7}$  с і шпаруватості  $q = 100$  потужність генератора в імпульсі на ЛПД 3А762В складає 17,6 Вт. Виміри по зміні потужності генератора в імпульсі в діапазоні частот представлені на рис. 4.9.

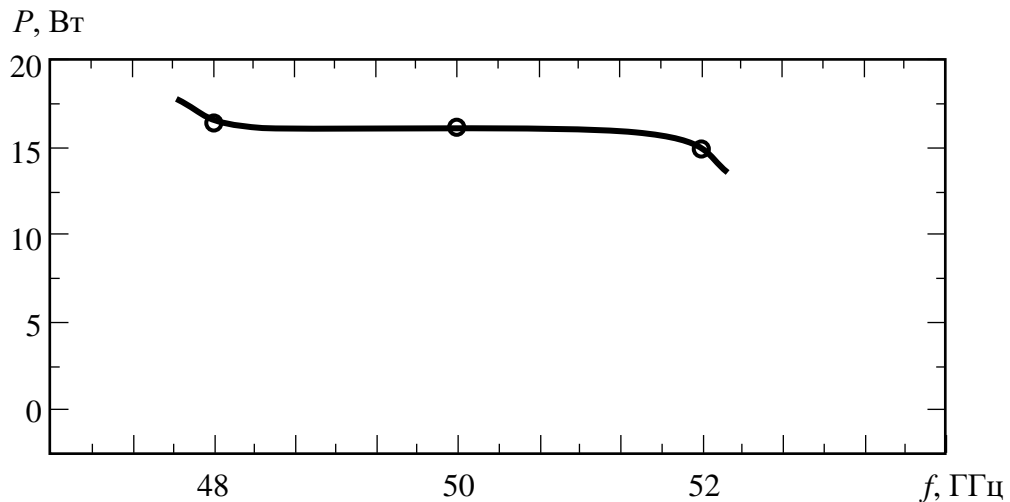


Рис. 4.9. Зміна потужності генератора в імпульсі в діапазоні частот:  $\tau_u = 0,1$  мкс;  $T = 10^{-5}$  с;  $q = 100$ .

З проведеного експерименту (рис. 4.9) виходить, що потужність імпульсного генератора змінюється в діапазоні частот 48...52 ГГц на величину не більше 10%.

В результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень був розроблений радіоімпульсний генератор з параметрами:

- робочий діапазон частот 48...52 ГГц;
- вихідна потужність в імпульсі 17,6...18 Вт;
- тривалість імпульсу  $(1...1,5) \cdot 10^{-7}$  с;
- період дотримання імпульсів  $(1...1,5) \cdot 10^{-5}$  с.

Для виміру основних характеристик сигналу на виході генератора: міри пригнічення дискретних складових, рівня частотних флуктуацій; зміни потужності в діапазоні частот; нестабільності частоти були розроблені структурні схеми і стенди. Для виміру побічних дискретних складових в спектрі вихідного сигналу були використані: структурна схема (рис.4.4) і стенд (рис.4.5).



При відомій потужності вихідного сигналу досліджуваного макету визначається потужність бічної складової з вираження:

$$P_{\bar{o}} = \frac{U_{\text{бас}}^2}{R_n \cdot (K_D \cdot K_{AC})^2}, \quad (4.1)$$

де  $U_{\text{бас}}$  – напруга бічної складової, виміряна низькочастотним аналізатором спектру;

$R_n$  – опір навантаження детектора;

$K_D$  – коефіцієнт передачі детектора;

$K_{AC}$  – коефіцієнт посилення аналізатора спектру, після чого чисельною значення міри пригнічення побічних складових може бути отримане з вираження:

$$R = 10 \lg \frac{P_{\bar{o}}}{P_n} \quad (4.2)$$

Практично зручніше перед виміром зробити калібрування за допомогою генератора сигналів і вимірника потужності при різних значеннях смуги пропускання низькочастотного аналізатора спектру.

Виміри амплітудних і частотних флуктуацій доцільно робити за допомогою вимірника флуктуацій типу СКЗ-33, в якому спектр досліджуваного сигналу визначається методом роздільного виміру амплітудних, частотних і фазових флуктуацій. При цьому за основу прийняті наступні положення. Виміри частотних флуктуацій вихідних сигналів зводяться до перетворення частотних флуктуацій в амплітудні, які потім вимірюються. Структурна схема вимірів приведена на рис. 4.10, а стенд на рис. 4.11. Виміри здійснюються за двоканальною схемою з перенесенням на проміжну частоту. Уся схема являє частотний дискримінатор, вихідним елементом якого є фазовий детектор. Для проведення вимірів необхідно знати крутизну перетворення частотних

флуктуацій в амплітудні. Для цього використовується модулятор, що створює фазову модуляцію досліджуваного сигналу.

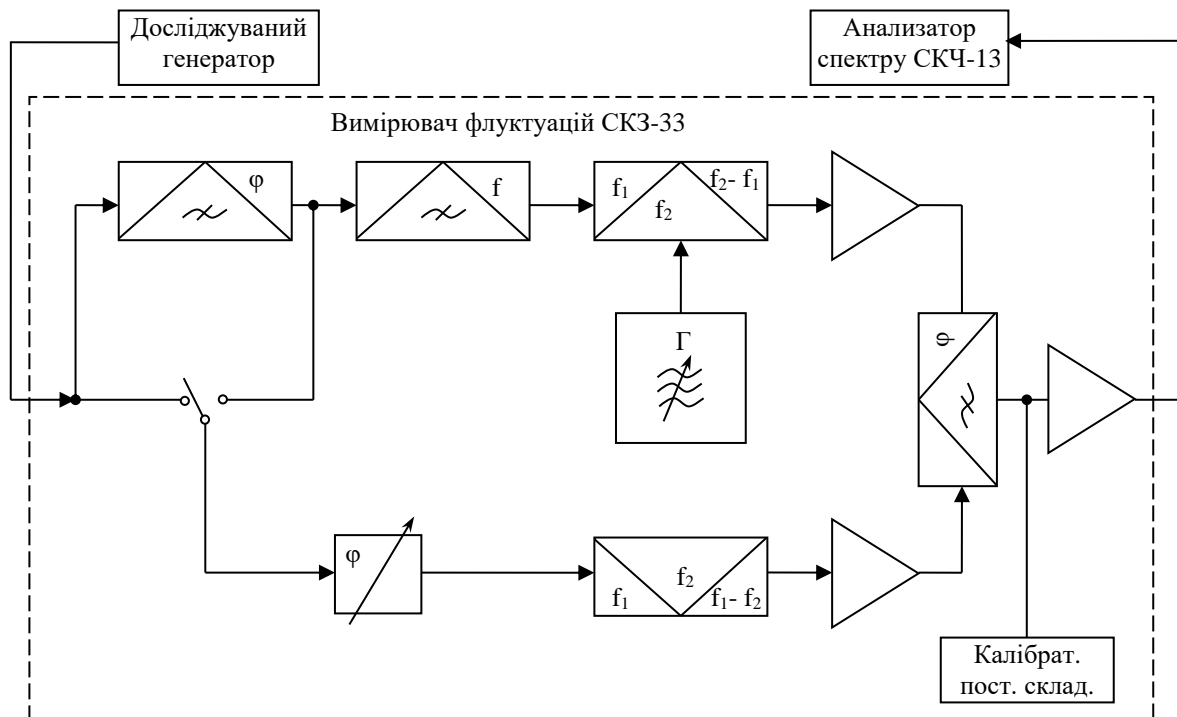


Рис. 4.10. Структурна схема виміру частотних флуктуацій

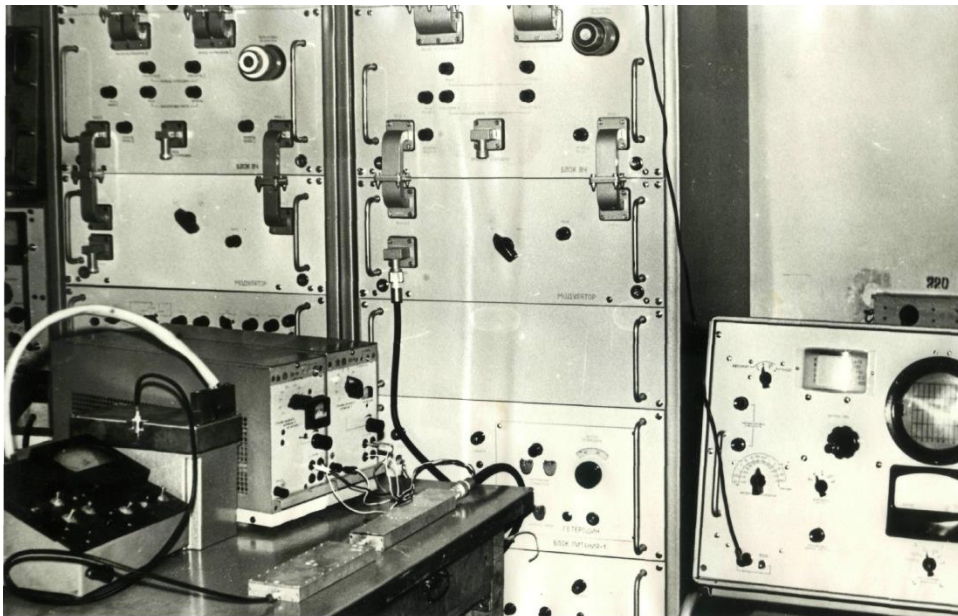


Рис. 4.11. Загальний вигляд стенду для виміру частоти флуктуацій генератора для опромінення БАТ телят хворих диспепсією

Індекс фазової модуляції визначається за допомогою фазового детектора проміжної частоти і в процесі виміру підтримується незмінним. Напряга на виході частотного дискримінатора, основним елементом якого є балансний міст (рис. 4.10), за рахунок частотних флуктуацій  $\Delta f_{\text{еф.}}$  буде рівне  $U_{\text{еф.}} = S \cdot \Delta f_{\text{еф.}}$  на частоті аналізу  $F_{\text{д}}$ , а напряга, обумовлена модуляцією  $\Delta f_{\text{м}}$ , дорівнює  $U_{\sim\text{м}} = S \cdot \Delta f_{\text{м}}$  на частоті модуляції  $F_{\text{к}}$ .

$$\text{Звідси:} \quad \frac{U_{\sim\text{еф.}}}{U_{\sim\text{м}}} = \frac{\Delta f_{\text{еф.}}}{\Delta f_{\text{м}}}. \quad (4.3)$$

Якщо потім виміряти індекс штучної фазової модуляції  $m_{\text{ФМ}}$ , то буде відома девіація частоти, обумовлена штучною модуляцією:

$$m_{\text{ФМ}} = \frac{\Delta f_{\text{м}}}{F_{\text{к}}}. \quad (4.4)$$

Вираз для визначення вкладу частотних флуктуацій в спектр досліджуваного сигналу матиме вигляд:

$$\left( \frac{P_{\text{ш}}}{P_{\text{с}}} \right)_{\text{ч}} = \frac{\Delta f^2}{4F_{\text{д}}^2} = \frac{\Delta f_{\text{еф.}}^2}{2F_{\text{д}}^2} = \frac{m_{\text{ФМ}}^2 \cdot U_{\sim\text{еф.}} \cdot F_{\text{к}}^2}{2 \cdot U_{\sim\text{м}}^2 \cdot F_{\text{д}}^2}. \quad (4.5)$$

Як показано в описаних вище методиках виміру амплітудних і частотних флуктуацій, вони, зрештою, здійснюються низькочастотним аналізатором спектру методом послідовного аналізу впродовж часу, що визначається заданою точністю виміру. На рис. 4.12 і рис. 4.13 приведені залежності спектральної щільності частотних шумів і нестабільності частоти вихідного сигналу генератора.

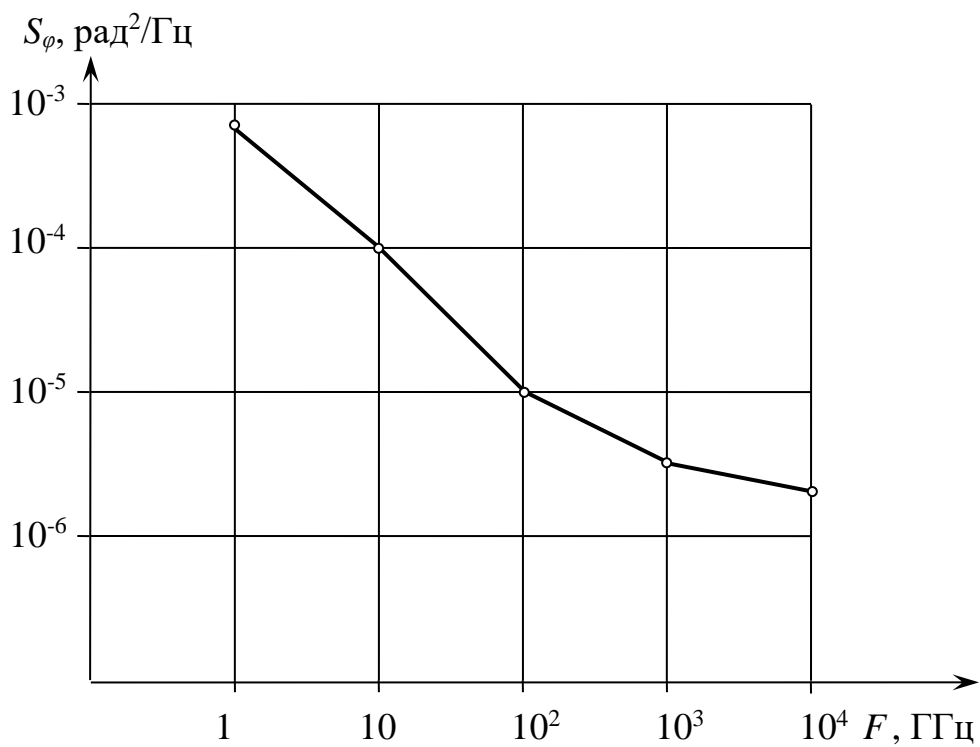


Рис. 4.12. Графік залежності спектральної щільності частотних флуктуацій вихідного сигналу генератора

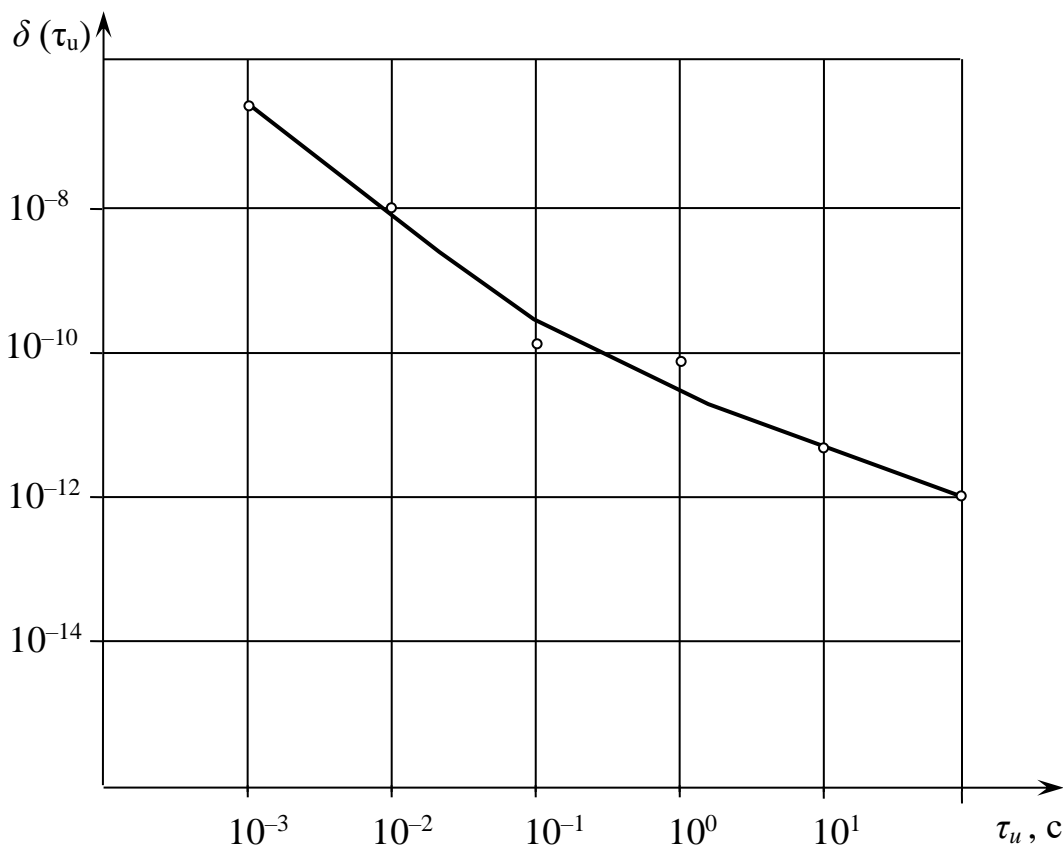


Рис. 4.13. Графік залежності нестабільності частоти вихідного сигналу генератора

Як випливає з представлених результатів короткочасна нестабільність частоти на виході генератора складає  $5 \cdot 10^{-7}$ , а спектральна потужність частотних флуктуацій генератора (рис. 4.12) не перевищує величини  $10^{-4}$  (рад/Гц<sup>2</sup>) на частотах до 10 Гц. Нерівномірність амплітудно-частотної характеристики в діапазоні частот 48...52 ГГц не перевищує 2 дБ. Міра пригнічення дискретних складових з частотою живлячої мережі 50 Гц –40 дБ.

#### 4.3. Експериментальні дослідження параметрів діелектричної стержневої антени в міліметровому діапазоні на основі діелектричних хвилеводів

Для перевірки виконаних розрахунків нами була виготовлена діелектрична стержнева антена з фторопласту-4. Основні геометричні розміри антени показані на рис. 4.14, а загальний вигляд на рис. 4.15.

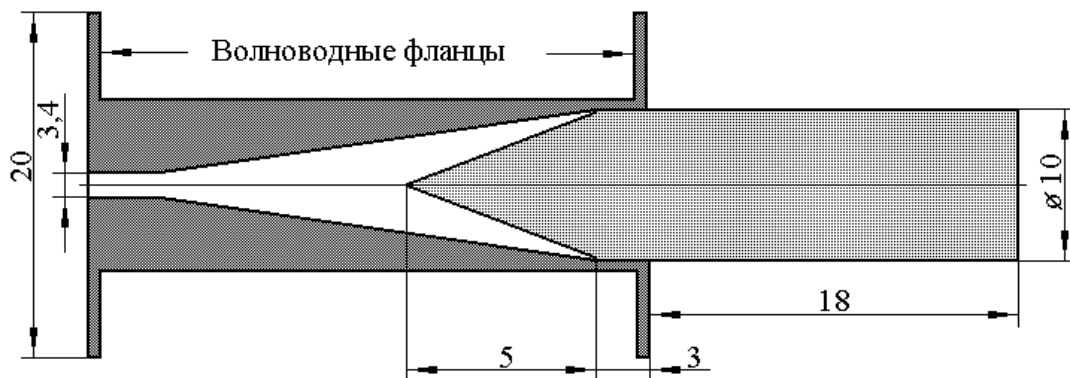


Рис. 4.14. Конструкція діелектричної стержневої антени

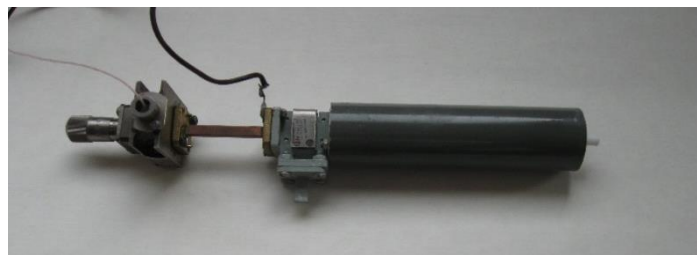


Рис. 4.15. Загальний вигляд діелектричної стержневої антени

Для виміру діаграми спрямованості стержневої антени, приведеної на

рис. 4.14, нами був зібраний експериментальний стенд, блок-схема якого приведена на рис. 4.16.

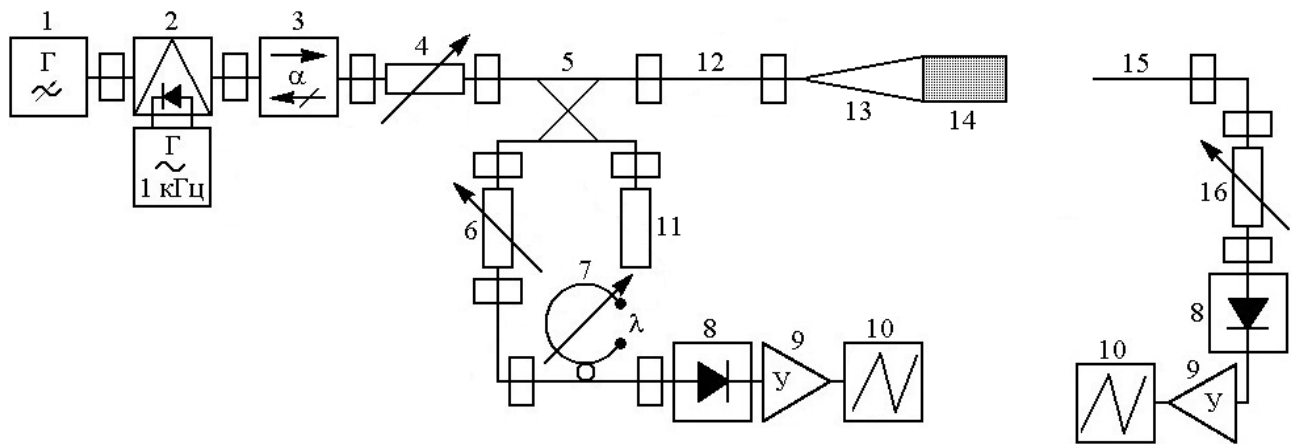


Рис. 4.16. Блок-схема експериментального стенду

В якості генератора 1 використовується діод Ганна 3А763Г в хвилеводній камері. Частота генератора 45,012 ГГц. Уся схема зібрана на прямокутних хвилеводах перерізом 7,2×3,4 мм. Для розширення динамічного діапазону в схемі передбачений р-і-п модулятор 2, за допомогою якого з частотою 1 кГц від звукового генератора модулюються коливання генератора 1. Для розв'язки генератора і резонатора в схему включений вентиль 3. Для установки прийняттого рівня потужності в стенді передбачений додатковий установочний атенюатор 4. У схему також включений спрямований відгалужувач 5. Потужність, що відгалужується від падаючої хвилі в прямому напрямі, поступає в погоджене навантаження 11, що входить до складу спрямованого відгалужувача. Потужність, що відгалужується у зворотному напрямі, через установочний атенюатор 6 поступає на детекторну секцію 8. Далі цей сигнал через резонансний підсилювач 9 поступає на осцилограф 10. У цей канал включений також хвилемір 7. Уся ця додаткова частина схеми зібрана для контролю частоти генератора 1. Падаюча хвиля через відрізок прямокутного хвилеводу 12 поступає на перетворювач 13 хвиль  $TE_{10}$  прямокутного хвилеводу перерізом 7,2×3,4 мм в хвилю круглого хвилеводу  $TE_{11}$  діаметром 10 мм. Ця хвиля збуджує діелектричну стержневу антену 14 діаметром 10 мм. На відстані 30 мм від її торця розташований інтегруючий приймач 15, що є відкритим

кінцем прямокутного хвилеводу перерізом  $7,2 \times 3,4$  мм. Прийнятий сигнал через вимірювальний поляризаційний атенюатор 16, детектор 8, резонансний підсилювач 9 поступає на осцилограф 10. Прямокутний хвилевід орієнтований таким чином, що вектор  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{10}$  перпендикулярний площині рис. 3.15. Приймач 15 може переміщатися тільки в площині рисунку. Для того, щоб виміряти діаграму спрямованості даної стержневої діелектричної антени в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі, відрізок хвилеводу 12 замінюється скручуванням 17 (див. рис. 4.17), що має таку саму довжину. Для усунення додаткових відбиттів від елементів кріплення приймального хвилеводу 15, він поміщений в поглинаючий екран 18 (див. рис. 4.17). Зовнішній вигляд установки, блок-схема якої показана на рис. 4.16, представлений на рис. 4.17. При вимірі діаграм спрямованості стержневої антени в двох взаємно перпендикулярних площинах відкритий кінець хвилеводу 15 переміщався з кроком 1 мм.

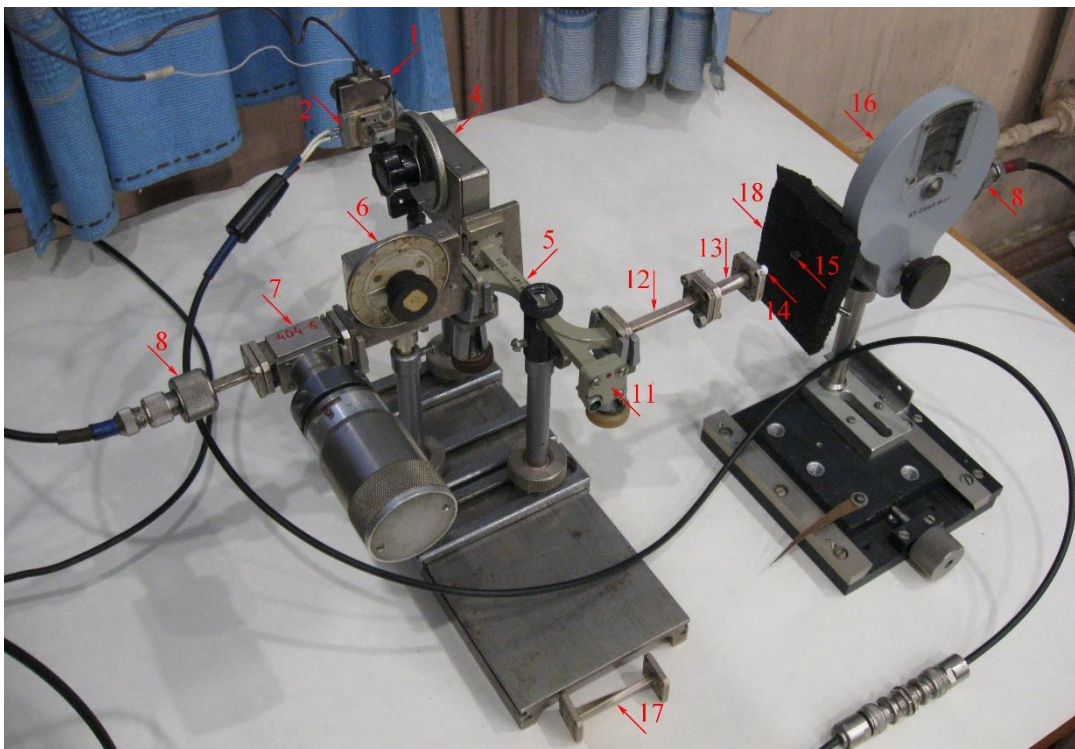


Рис. 4.17. Зовнішній вигляд вимірювального стану

Результати виміру діаграми спрямованості діелектричної стержневої

антени з фторопласту-4 приведених вище розмірів в площині вектору  $\mathbf{H}$  основної хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі показані на рис. 4.18. Якщо порівняти вимірну діаграму спрямованості з діаграмою спрямованості, приведеною на рис. 3.14 (крива 2), то нескладно помітити, що вони знаходяться в хорошій відповідності. По рівню  $-3$  дБ ширина головної пелюстки діаграми спрямованості у вказаній площині дорівнює  $10,5$  мм, тоді як розрахункове значення склало  $7,906$  мм. Проте, отримане експериментальне значення порівнянне з довжиною хвилі  $6,0$  мм. Рівень бічних пелюсток знаходиться на рівні  $-15$  дБ.

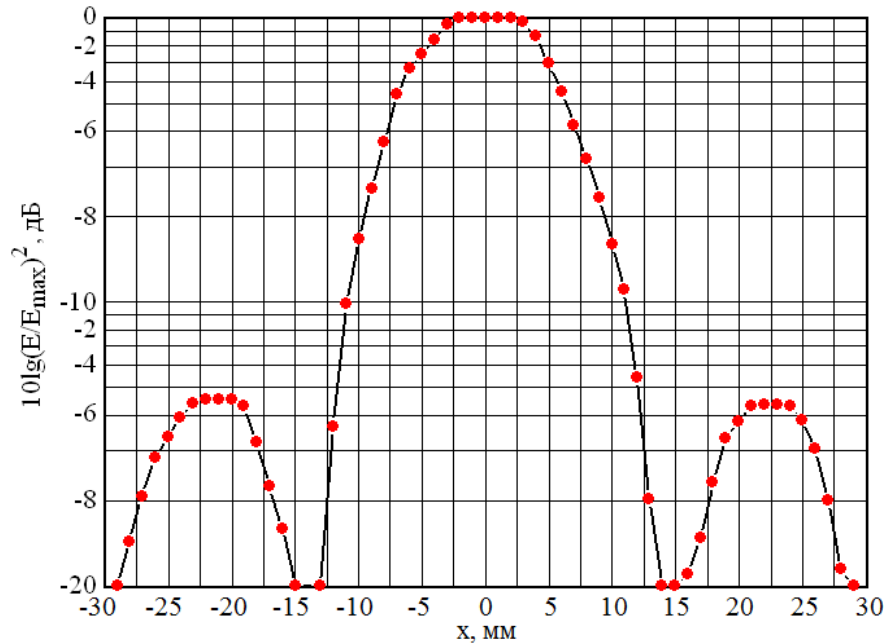


Рис. 4.18. Експериментально вимірна діаграма спрямованості діелектричної стержневої антени завдовжки  $18$  мм в площині вектору  $\mathbf{H}$

Діаграма спрямованості діелектричної стержневої антени в площині вектору  $\mathbf{E}$  основної хвилі круглого хвилеводу  $TE_{11}$  представлена на рис. 4.19.



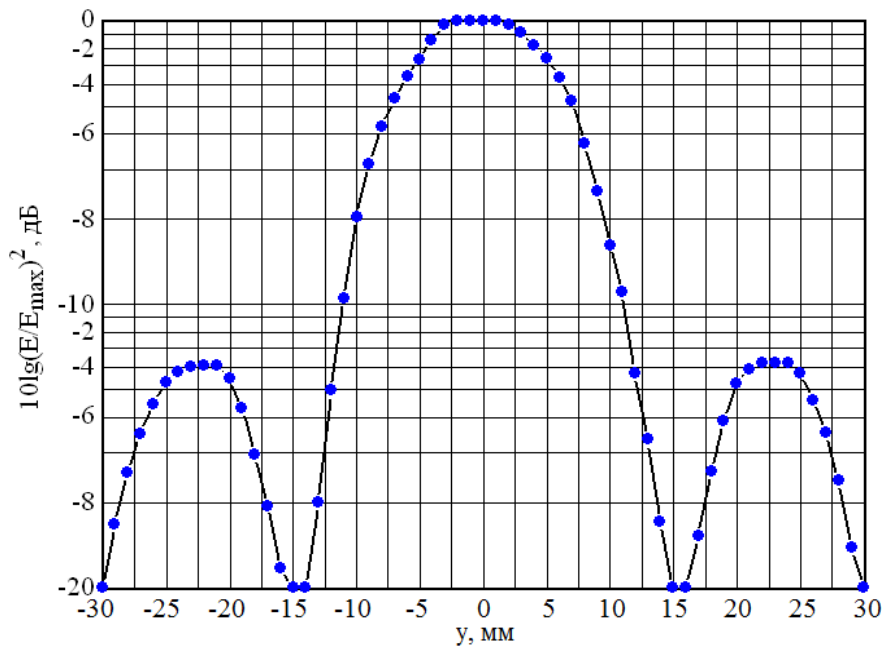


Рис. 4.19. Експериментально виміряна діаграма спрямованості діелектричної стержневої антени завдовжки 18 мм в площині вектору  $\mathbf{E}$  хвилі  $TE_{11}$  в круглому хвилеводі

Ширина головної пелюстки діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ в цьому випадку складає 10,9 мм проти 10,5 мм у попередньому випадку. Отже, експериментально вдалося підтвердити, що діелектрична стержнева антена забезпечує кругову діаграму спрямованості в  $\mathbf{H}$ - і  $\mathbf{E}$ - площинах. Рівень бічних пелюсток знаходиться на рівні  $-13,5$  дБ. Таким чином, проведені експериментальні дослідження підтвердили правильність теоретичних розрахунків. Отримане значення ширини діаграми спрямованості по рівню  $-3$  дБ говорить про застосовність діелектричної стержневої антени для лікування диспепсії новонароджених телят.

4.4. Експериментальні дослідження діелектричних стержневих антен прямокутного перерізу, що звужуються

Нині відомі три конструкції ДССА ПС: що звужується або в площині  $\mathbf{E}$ , або в площині  $\mathbf{H}$ , що звужується в обох площинах і так звана антена

максимального посилення [90]. Конструкції перелічених антен представлені на рис. 4.20.

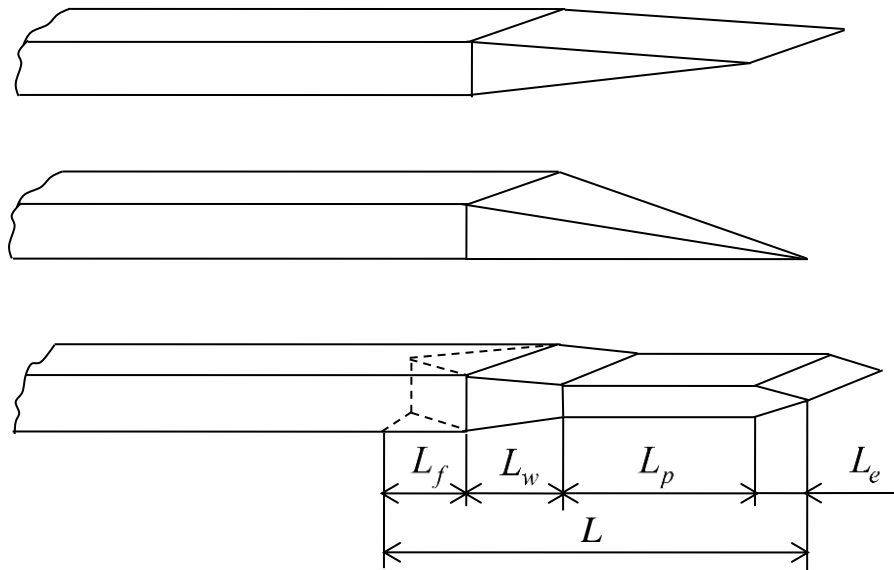


Рис. 4.20. Різноманітні типи ДССА ПС

У загальному випадку ДССА ПС має наступні ділянки (рис. 4.20): ділянка узгодження з фідером  $L_f$ ; ділянка збудження поверхневої хвилі  $L_w$ ; ділянка формування діаграми напрямів (ДН)  $L_p$ ; ділянка крайового звуження  $L_e$ .

Для проведення експериментальних досліджень на робочій частоті 50 ГГц були виготовлені антени трьох конструкцій завдовжки  $10 L / \lambda$ . В якості матеріалу був використаний фторопласт-4, як такий, що має найменші втрати в міліметровому діапазоні довжин (ММВ) [91]. Крім того, для порівняльної оцінки результатів експериментів на хвилевід типу МЭК-320 був виготовлений оптимальний пірамідальний рупор, розрахунок якого робився відповідно до методики, викладеної в роботі [91]. Для дослідження характеристик антени була розроблена експериментальна установка (рис. 4.21). Сигнал від задаючого генератора на лавино-пролітному діоді (ЛПД) 1 і установочний атенюатор 4 поступає на випромінюючу стержневу антену 6. Для розширення динамічного діапазону сигнал від генератора модулюється по амплітуді сигналом з частотою 1 кГц. Для цього в передавальний тракт включені р-і-п модулятор 2 і

низькочастотний генератор 3 (ГЗ-106). Для контролю частоти і рівня вихідної потужності генератора 1 в тракт встановлений спрямований відгалужувач 5, в пряме плече допоміжної лінії якого включені: поляризаційний атенюатор 9, резонансний хвилемір 10, детекторна секція 11, резонансний підсилювач 12 (У2-8), двопроменевий осцилограф (С1-83). Для усунення відбитих сигналів, які можуть спотворити результати вимірів, в зворотне плече допоміжної лінії спрямованого відгалужувача 5 включене погоджене навантаження 8.

Розрізи полів в двох взаємно перпендикулярних площинах вимірювалися за допомогою відкритого кінця прямокутного хвилеводу перерізом  $7,2 \times 3,4$  мм з кроком 1 мм. В приймальний тракт окрім відрізка хвилеводу 14 також входять: поляризаційний атенюатор 15, детекторна секція 11, резонансний підсилювач 12 (У2-8), двопроменевий осцилограф 13 (С1-83).

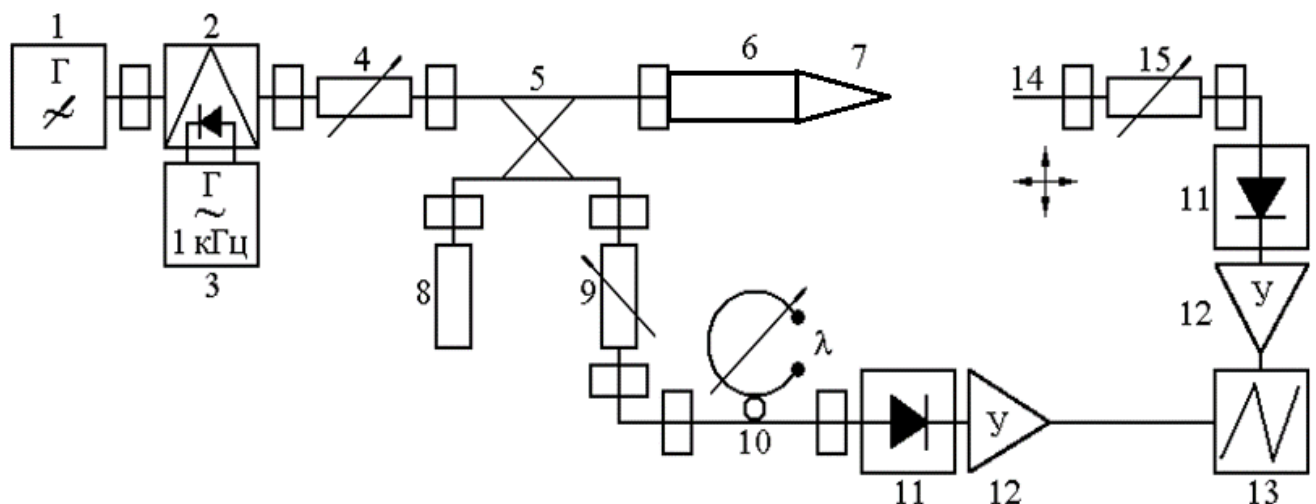


Рис. 4.21. Блок-схема експериментальної установки для виміру параметрів і характеристик діелектричних стержневих антен прямокутного перерізу, що звужуються

На першому етапі досліджень проводилися виміри коефіцієнта посилення антен трьох типів завдовжки  $10 L / \lambda$ . Отримані результати представлені в таблиці 1, куди зведені числові дані, що характеризують антени трьох типів завдовжки  $10 L / \lambda$ .

Таблиця 4.1

## Характеристики ДСАЗ ПП антен завдовжки

Тип антени	$G$ , дБ	ПБП <sub>Н</sub> , дБ	$2\theta_{0,5}$ , град	
			пл. $H$	
Що звужується в площині $E$	20,3	-15,8	24	Що звужується в площині $E$
Що звужується в обох площинах	19,7	-14,2	29	Що звужується в обох площинах
Максимальне посилення	21,5	-5,5	16	Максимальне посилення
Оптимальний рупор	18,8	-17,1	31	Оптимальний рупор

Для того, щоб зрозуміти якою фактично буде ширина діаграми спрямованості аналізованої стержневої антени прямокутного перерізу експериментально були виміряні розрізи поля в двох взаємно перпендикулярних площинах на відстані 180 мм від розкриття антен. Наявність помітних ПБП для усіх антен викликана різкою неоднорідністю на кінці хвилеводу. З аналізу отриманих результатів видно, що антена максимального посилення має найбільш високе посилення бічних пелюсток (-5,5 дБ) і найбільш вузької ДС. Антена, що звужується в площині  $E$ , характеризується наявністю спотворень головної пелюстки ДС в площині  $H$  при досить високому коефіцієнті посилення і мінімальному ПБП. У порівнянні з названими, антена, що звужується в обох площинах, маючи дещо нижче посилення, має ДС з досить низьким значенням посилення бічних пелюсток і неспотвореною осесиметричною головною пелюсткою. Для компенсації впливу цього чинника було прийнято рішення використати погоджений пірамідальний рупор (рис. 4.12). Вимоги, яким повинний задовольняти такий рупор, були сформульовані з урахуванням специфіки вирішуваної задачі таким чином:

- рупор повинний максимально знижувати ПБП;
- наявність рупора не повинна робити спотворюючого впливу на форму головної пелюстки ДС.

Погоджувальний рупор був встановлений відповідно до розрахункових

даних, отриманих на підставі методики, викладеної в роботі [8].

Наступним етапом експериментів стали дослідження антен за наявності погоджувального рупора. Результати представлені в таблиці 2 і на рис. 4.22.

Таблиця 4.2

## Характеристики ДСАЗ ПП з погоджувальним рупором

Тип антени	$G, \text{дБ}$	ПБПН, дБ	$2\theta_{0,5}, \text{град}$	
			пл. Н	пл. Е
Що звужується в площині Е	21,6	-24,3	25	29
Що звужується в обох площинах	20,5	-22,7	28	30
Максимальне посилення	22,1	-6,2	16	18

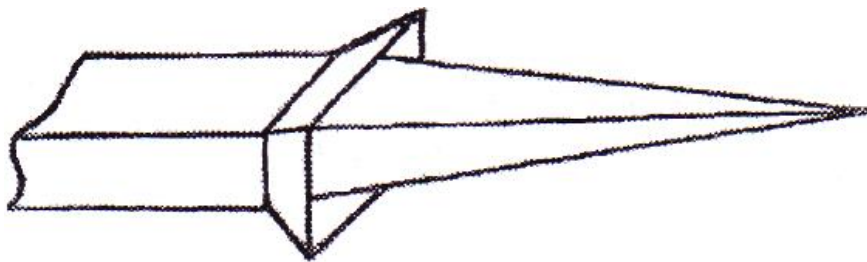


Рис. 4.22. ДСАЗ ПП з погоджувальним рупором

ПБП антени, що звужуються в площині Е, хоча і знизився, проте спотворення головної пелюстки ДС як і раніше мають місце. У той же час наявність погоджувального рупора істотно поліпшила характеристики антени, що звужується в обох площинах, дозволивши зробити висновок про те, що з усіх досліджуваних антен за умови використання погоджувального рупора ця конструкція найближче задовольняє поставленим вимогам.

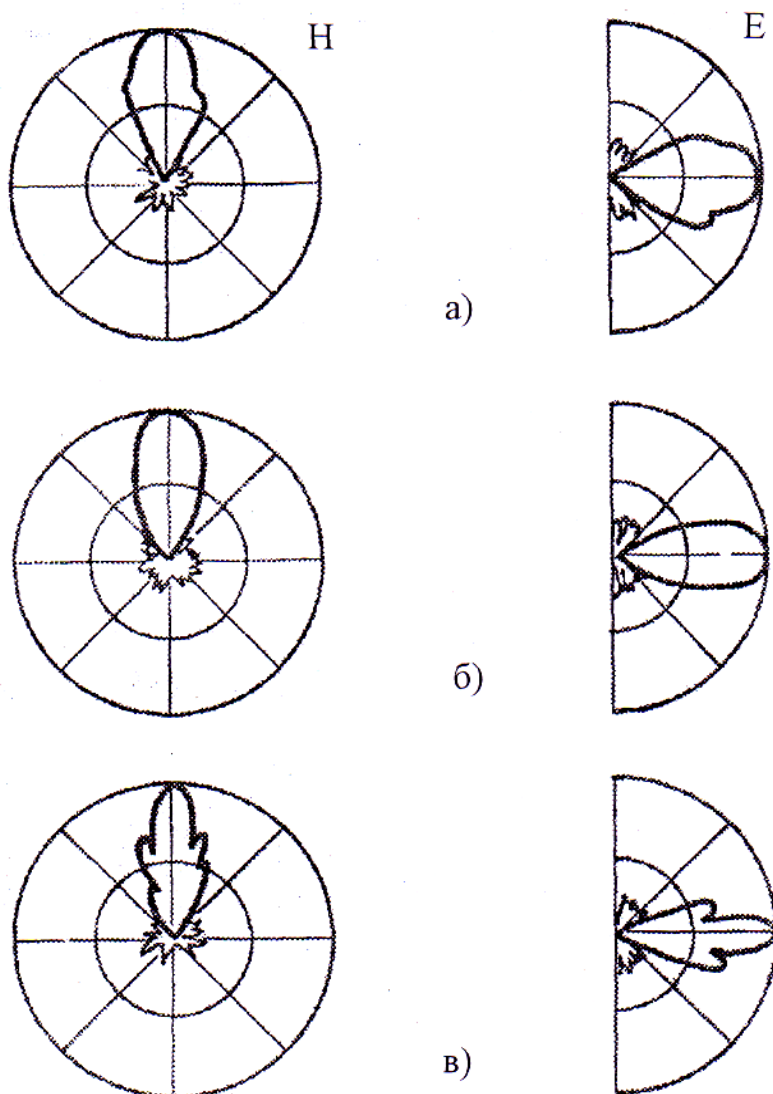


Рис. 4.23. Діаграма спрямованості різних конструкцій ДСАЗ ПП  
з погоджувальним рупором

На завершальному етапі досліджень проводилося визначення конструктивних параметрів антени. З цією метою досліджувався вплив довжини антени  $L$ , як основного розміру, на характеристики антени. Були виготовлені антени двох типів (що звужується в площині  $E$  і що звужується в обох площинах) п'яти різних довжин, відповідно 2, 7, 10, 12 і 14  $L/\lambda$ . Результати вимірів коефіцієнта посилення, ширина ДС і ПБП представлена на рис. 4.24, 4.25 і 4.26.

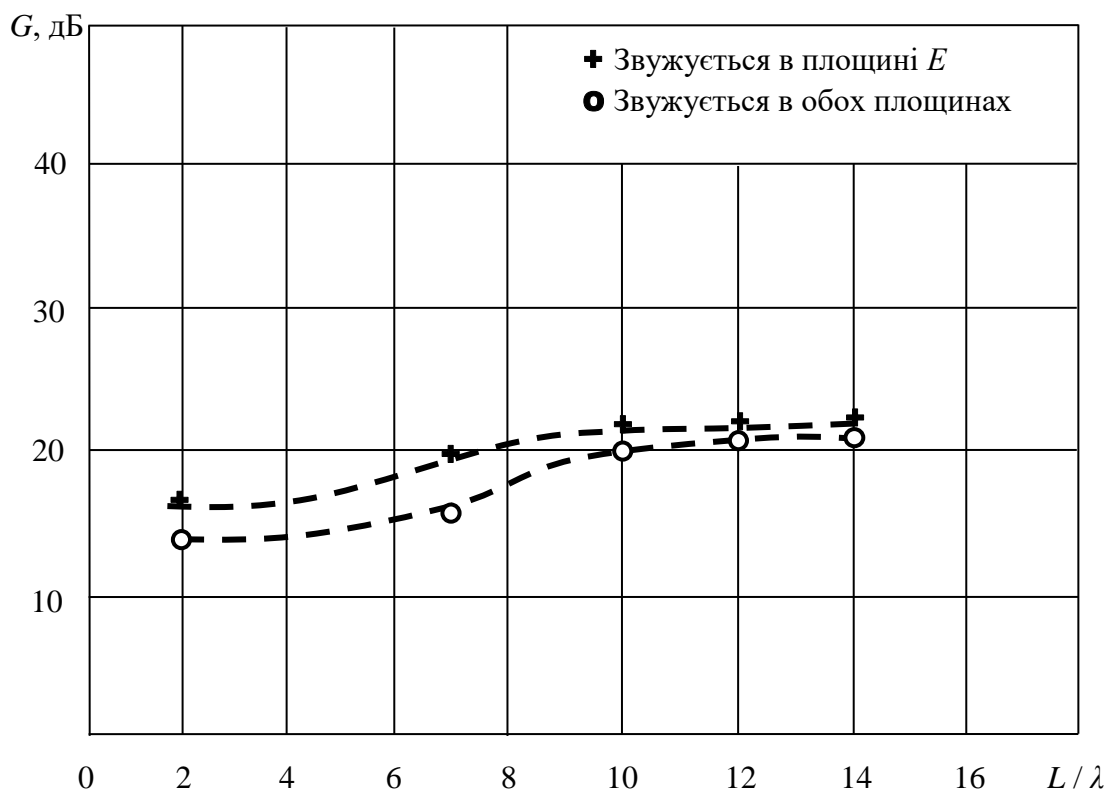


Рис. 4.24. Результати вимірювань коефіцієнта підсилення ДСАЗ ПП

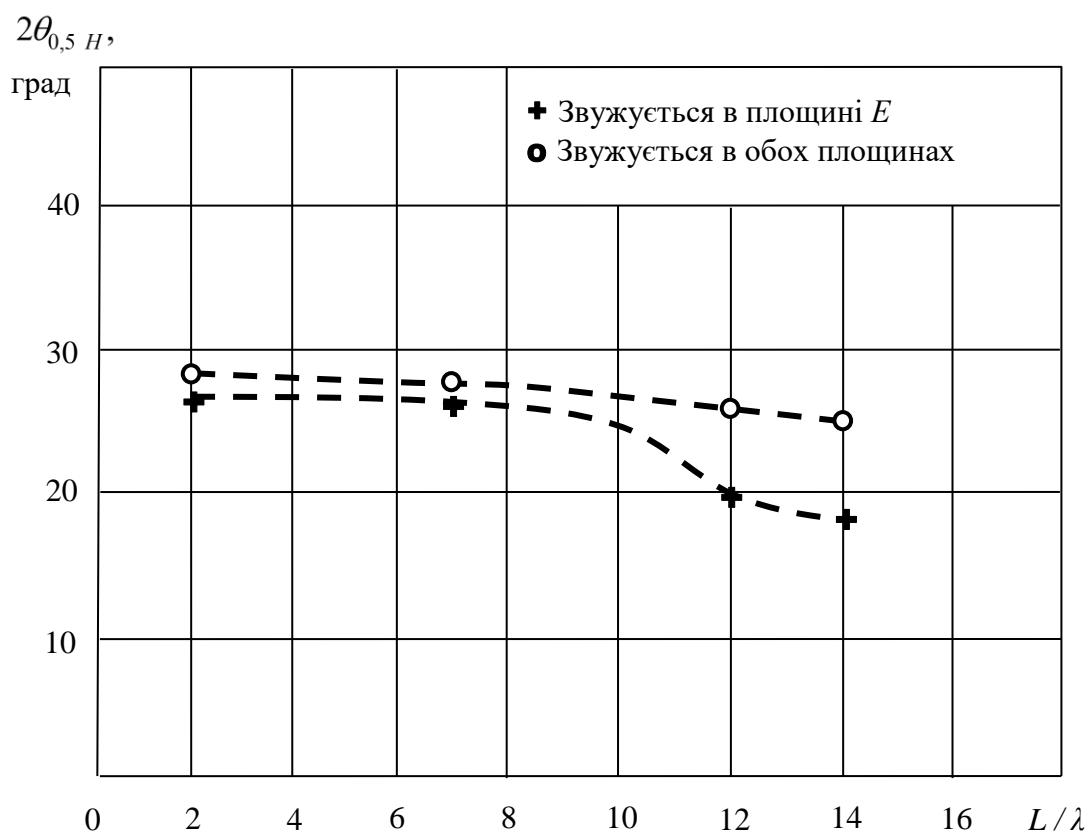


Рис. 4.25. Результати вимірювання ширини діаграми спрямованості

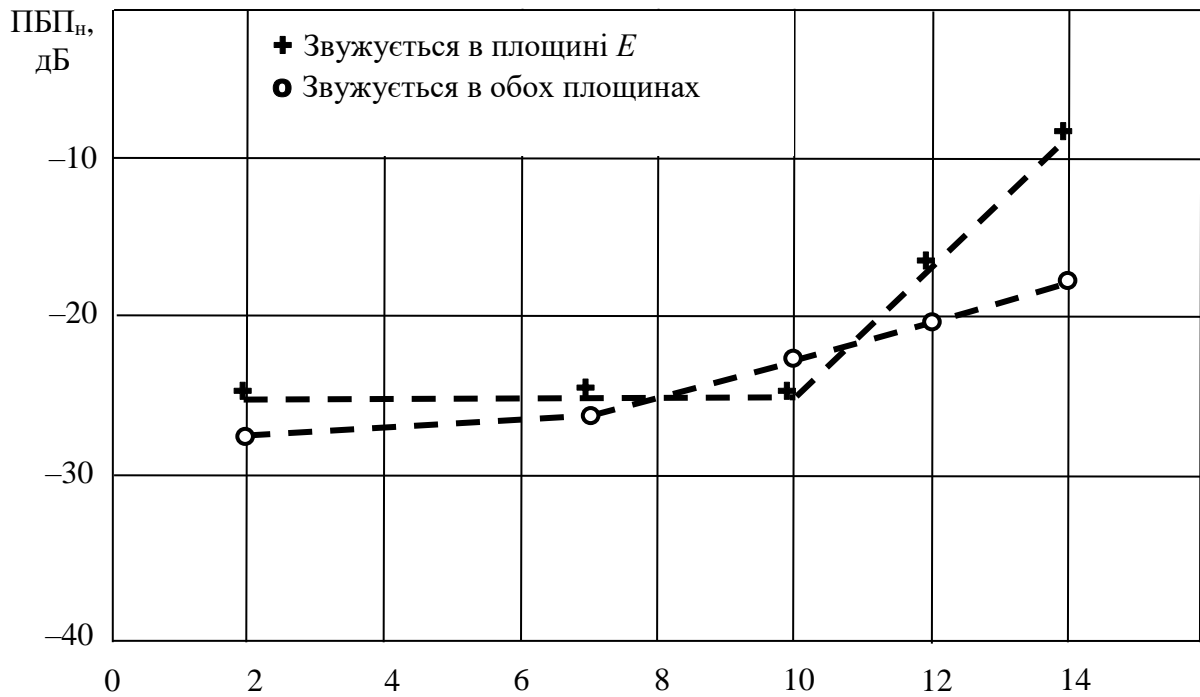


Рис. 4.26. Результати вимірювання ПБП ДСАЗ ПП

Очевидно, що обмежуючим чинником при виборі значення довжини антени  $L$  є швидке зростання ПБП при довжинах, що перевищують  $10 L / \lambda$ . Разом з цим, прагнення підвищити коефіцієнт посилення призводить до подовження антени. Таким чином, найбільш доцільним видається вибір довжини антени в межах  $8 \dots 10 L/\lambda$ . Тут необхідно також відмітити, що у разі антени, що звужується в площині  $E$ , характерний стрибок ПБП і різке звуження ширини ДС обумовлені наростаючими спотвореннями головної пелюстки аж до його повного розщеплювання.

#### 4.5. Лабораторні і виробничі дослідження з лікуванням диспепсії телят великої рогатої худоби

Для визначення оптимальних параметрів інформаційного радіоімпульсного електромагнітного випромінювання (частота заповнення імпульсів, потужність в імпульсі, тривалість і період слідування імпульсів, експозиція) був проведений багатofакторний експеримент, в якому в якості



відгуку на опроміненіх БАТ була взята діелектрична проникність крові тварин. Значення чинників, їх інтервали варіювання приведені в таблицю 4.3 і 4.4.

При використанні рототабельного плану другого порядку, в якості ядра планування була застосована напіврепліка для п'яти чинників.

Для цієї методики були складені матриці: планування експерименту, розрахунку коефіцієнтів регресії, визначення дисперсії адекватності і результатів обробки даних, які приведені в додатку Б. Після проведення вимірів і розрахунків отримано рівняння регресії пов'язане з параметрами руху спермій і параметрами інформаційного імпульсного ЕМП.

Таблиця 4.3

## Кодування чинників даного процесу

Інтервал варіювання і рівень чинників	Частота радіо-імпульсів, ГГц	Амплітуда потужності в імпульсі, В	Період дотримання імпульсів, с	Тривалість імпульсів, с	Експозиція опромінення, с
Нульовий рівень, $x_i$	48,0	37,0	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	30
Інтервал варіювання, $\delta_i$	2,0	1,0	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-7}$	5
Нижній рівень $x_i = -1$	46,0	36,0	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-7}$	25
Верхній рівень $x_i = +1$	50,0	38,0	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-7}$	35
Кодові позначення	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$

Таблиця 4.4

Дані для побудови рототабельного плану другого порядку

Число чинників, $k$	Число точок ядра	Число зіркових точок, $N_a$	Число нульових точок, $N_0$	Зіркові точки, $a$	Число дослідів, $N$
5	16	10	6	2,0	32

$$Y = 26,7 + 3,1X_1 + 2,8X_2 + 1,9X_3 + 1,8X_4 + 2,4 X_5 + 3,4 X_1X_2 + 3,1X_1X_3 + 3,0X_1X_4 + 2,8 X_1X_5 + 2,6 X_2X_3 + 2,7X_2X_4 + 2,9 X_2X_5 + 1,1 X_3X_4 + 1,3X_3X_5 + 1,4X_4X_5 + 1,2 X_1^2 + 1,0 X_2^2 + 2,6 X_3^2 + 2,5 X_4^2 + 2,7X_5^2,$$

де  $Y$  величина діелектричної проникності телят;

$X_1$  – частота заповнення імпульсів;

$X_2$  – потужність в імпульсі;

$X_3$  – період дотримання імпульсів;

$X_4$  – тривалість імпульсів;

$X_5$  – час опромінення БАТ.

Перевірка значущості коефіцієнтів регресії проводилася при рівні значущості  $\alpha = 0,01$  за критерієм Стьюдента [139, 140]. Усі коефіцієнти в рівняння 4.1 виявилися значущими.

На підставі перевірки цих рівнянь на адекватність за критерієм Фішера [140] зроблений висновок, що рівняння описують реальний процес, і отже, дозволяють оцінити характер впливу кожного з 5 чинників на функції відгуку.

Крім того, стало можливим практичне використання отриманої моделі для прогнозування значення вихідного сигналу в області вирівнювання параметрів  $X_j$ .

Для знаходження оптимальних параметрів процесу система рівнянь, отриманих прирівнюванням до нуля значень градієнтів компонентів, вичислених з виразу:

$$\frac{dY}{dX_1} = b_1 + 2b_n X_1 + \sum_{j=1}^n b_{1j} X_j, \quad (4.4)$$

де  $X_1, X_j$  – кодоване значення чинників, по якому береться похідна і що взаємодіють з ним, відповідно:  $b_1, b_n, b_{1j}$  – коефіцієнти рівнянь регресії.

Для виразу (4.1) отримана наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 3,1 + 3,4X_2 + 3,1X_3 + 3,0X_4 + 2,8X_5 + 2,4X_1 = 0. \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 2,8 + 3,4X_1 + 2,6X_3 + 2,7X_4 + 2,9X_5 + 2,0X_2 = 0. \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 1,9 + 3,1X_1 + 2,6X_2 + 1,1X_4 + 1,3X_5 + 5,2X_3 = 0. \\ \frac{\partial y}{\partial x_4} = 1,8 + 3,0X_1 + 2,7X_2 + 1,1X_3 + 1,4X_5 + 5,0X_4 = 0. \\ \frac{\partial y}{\partial x_5} = 2,4 + 2,8X_1 + 2,9X_2 + 1,3X_3 + 1,4X_4 + 5,4X_5 = 0. \end{cases} \quad (4.5)$$

Рішення системи рівнянь (4.5) дає наступні значення чинників в оптимальній точці:  $X_1 = 1$ ;  $X_2 = 1$ ;  $X_3 = -1$ ;  $X_4 = -1$ ;  $X_5 = -1$ , що відповідає таким значенням натуральних параметрів:

- частота заповнення імпульсів –  $50,0 \pm 0,02$  ГГц;
- амплітуда потужності в імпульсі –  $18,0 \pm 0,1$  ГГц;
- період дотримання імпульсів –  $1,0 \cdot 10^{-5} \pm 0,1 \cdot 10^{-5}$  с;
- тривалість імпульсів –  $1,0 \cdot 10^{-7} \pm 0,1 \cdot 10^{-7}$  с;
- експозиція опромінення БАТ –  $25 \pm 2$  с.

Для експерименту були використані в досвіді і контролі групи по 25 телят. Кожне теля в дослідній групі обробляли один раз щодня впродовж 30 с електромагнітним випромінюванням з параметрами; частота  $f = 50$  ГГц, потужність в імпульсі 18 Вт. Обробку телят електромагнітним

випромінюванням проводили під час їх годування впродовж 3-х днів дією радіоімпульсного електромагнітного випромінювання на БАТ. На сьогодні немає єдиної номенклатури для позначення БАТ, тому для позначення БАТ була використана міжнародна ветеринарна анатомічна номенклатура [141]. У контрольній групі телята опроміненню ЕМП не підлягали.

Дані виробничого досвіду представлені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Радіоімпульсне електромагнітне лікування новонароджених телят  
хворих диспепсією

Показники життєздатності новонароджених телят	Досвідчена група 25 телят	Контрольна група 25 телят
Народилося живих телят, шт.	25	25
Жива маса одного новонародженого теляти, кг	29...30	29...30
Кількість хворих телят	25	25
Кількість вилікуваних телят	25	18
З них лягло	0	7
Кількість вилікуваних телят, %	100	72
Кількість днів лікування	3	7
Середньодобовий приріст, г	560	401

Для експериментів було підібрано 2 групи телят, з яких одна контрольна. Телят контрольної групи лікували загальноприйнятими у ветеринарній практиці методами: антибіотики, впоювання телятам ізотонічних розчинів хлориду натрію, внутрішньовенне введення 5%-ного розчину глюкози на фізіологічному розчині, підшкірне введення фізіологічного розчину 2 рази в день.

Дослідну групу телят (кількість 25) лікували шляхом впливу радіоімпульсним електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону

на біологічно активні точки № 4,5,6,7,10,15 шкірного покриву тварин. Діелектричну проникність крові тварин проводили до і після лікування. Середньодобові прирости живої маси телят визначали за результатами зважування телят.

З аналізу даних видно, що результативність радіоімпульсної терапії диспепсії телят склала 100% в досліді, а в контролі 72%. Курс лікування скоротився на 4 дні або на 57%.

В результаті досліджень було встановлено, що проведене лікування диспепсії у телят із застосуванням радіоімпульсного випромінювання міліметрового випромінювання впливає на подальший розвиток молодняка. Прирости в контрольній групі впродовж місяця після одужання склали – 450 г, а в дослідній групі – 560 г, що на 24% більше.

Фахівцями ветеринарної медицини були зареєстровані випадки хвороби телят кишково-шлунковими і легeneвими захворюваннями. Захворюваність телят в дослідній групі склала 11,6%, а в контрольній 39%. Смертність телят після 20 днів життя склала в контрольній групі 28%, а в дослідній – вижили усі телята.

Також було встановлено, що клінічні ознаки диспепсії телят дослідної групи зникали після двократної радіоімпульсної терапії, а повне клінічне одужування реєстрували на 3-й день лікування.

Отже, перевага радіоімпульсної терапії при лікуванні диспепсії у телят полягає в тому, що дія інформаційного електромагнітного випромінювання на БАТ телят здатна модифікувати імунний статус організму тварин, чинити протизапальну дію, покращувати мікроциркуляцію крові в тканинах, активізувати фізіологічну і репаративну регенерацію.

В результаті виробничого експерименту було встановлено, що прибуток від впровадження ЕМ технології в цьому господарстві склав 50 тис. грн. з розрахунку 25 голів телят, вилікуваних від диспепсії.

## Висновки по розділу

1. На підставі експериментальних досліджень встановлено, що для забезпечення надійності і ефективної роботи джерела електромагнітного випромінювання для лікування телят хворих диспепсією необхідно передбачити наступні технічні вимоги до джерела:

- вихідна частота генератора  $50,0 \pm 0,1$  ГГц;
- вихідна потужність генератора 18...20 Вт;
- діапазон перебудови частоти генератора 3%;
- пригнічення побічних гармонік вихідного сигналу не менше 45 дБ;
- довготривала нестабільність частоти генератора  $5 \times 10^{-8}$  за 1 с;

2. Експериментальний аналіз параметрів діелектричної стержневої антени прямокутного перерізу показав, що вони забезпечують коефіцієнт посилення менше 20 і посилення бічних пелюсток не більше  $-24$  дБ, при цьому діаграма спрямованості головної пелюстки на рівні 0,5 перевищує  $16 \dots 18^\circ$ . Ці антени не відповідають параметрам для лікування диспепсії телят.

3. Результативність інформаційного радіоімпульсного електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону для лікування телят хворих диспепсією склала 100% в досліді, а в контролі 72%. Курс лікування скоротився на 4 дня або на 57%.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У дисертаційній роботі на підставі теоретичних і експериментальних досліджень створена інформаційна радіоімпульсна електромагнітна технологія і технічна система радіоімпульсного електромагнітного випромінювання в міліметровому діапазоні довжин хвиль для лікування телят хворих диспепсією. Радіоімпульсні випромінювання міліметрового діапазону довжин хвиль дозволяють створити безмедикаментозну технологію лікування тварин і збільшити поголів'я великої рогатої худоби.

1. На основі аналізу фактичного матеріалу вітчизняних і зарубіжних публікацій встановлено, що для лікування телят хворих диспепсією необхідно опромінювати інформаційним радіоімпульсним електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону довжин хвиль.

2. В процесі теоретичного аналізу розробленої моделі було встановлено, що лікування телят хворих диспепсією слід опромінювати радіоімпульсним електромагнітним випромінюванням з параметрами: тривалість імпульсів  $0,5 \cdot 10^{-7} \text{ с} \leq \tau \leq 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ ; період повторення імпульсів  $0,5 \cdot 10^{-5} \leq T \leq 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ ; шпаруватість імпульсів може бути  $q = T / 100$ ; напруженості електричного поля  $E_0 = 8,8 \text{ В/м}$ ,  $E_{\text{ср}} = 5,7 \text{ В/м}$ ; величина потужності радіоімпульсів складає 18 Вт; частота заповнення імпульсів 50 ГГц; час експозиції 25...35 с.

3. Для створення радіоімпульсних генераторів слід використати корпусовані ЛПД типу 3А762В з параметрами: діапазон частот 50 ГГц; імпульсна потужність  $P_i = 20 \text{ Вт}$ ; імпульсний струм  $I_i = 25 \text{ А}$ ;  $\tau_i = 100 \text{ нс}$ ,  $Q = 100$ ; параметри корпусу :  $C_k = 0,3 \text{ пФ}$ ,  $L_k = 0,4 \text{ нГн}$ ,  $C = 0,25 \text{ пФ}$ .

4. Для лікування телят хворих диспепсією необхідно використати оптимальні параметри інформаційного радіоімпульсного електромагнітного випромінювання, отриманих в результаті багатofакторного експерименту:

- частота заповнення імпульсів –  $50,0 \pm 0,02 \text{ ГГц}$ ;

- амплітуда потужності в імпульсі –  $18,0 \pm 0,1$  ГГц;
- період дотримання імпульсів –  $1,0 \cdot 10^{-5} \pm 0,1 \cdot 10^{-5}$  с;
- тривалість імпульсів –  $1,0 \cdot 10^{-7} \pm 0,1 \cdot 10^{-7}$  с;
- експозиція опромінення БАТ –  $25 \pm 2$  с.

5. Для лікування диспепсії новонароджених телят через дію радіоімпульсного випромінювання на їх БАТ, слід використати діелектричну стержнева антена циліндричного типу з фторопласту-4 діаметром 10 мм і завдовжки 18 мм. Ця антена забезпечує аксіально-симетричну діаграму спрямованості, ширина якої по рівню –3 дБ дорівнює 7,9 мм.

6. В результаті проведених досліджень було встановлено, що проведене лікування диспепсії у телят із застосуванням радіоімпульсного випромінювання міліметрового випромінювання робить вплив на подальший розвиток молодняка. Прирости в контрольній групі впродовж місяця після одужання склали – 450 г, а в дослідній групі – 560 г, що на 24% більше.

7. Фахівцями ветеринарної медицини були зареєстровані випадки хвороби телят кишково-шлунковими і легеневиими захворюваннями. Захворюваність телят в дослідченій групі склала 11,6%, а в контрольній 39%. Смертність телят після 20 днів життя склала в контрольній групі 28%, а в дослідченій вижили усі телята.

8. В результаті виробничого експерименту було встановлено, що прибуток від впровадження ЕМ технології в цьому господарстві склав 50 тис. грн. з розрахунку 25 голів телят вилікуваних від диспепсії (Додаток А).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Александров И. Д. Технология получения выращивания здоровых телят / И. Д. Александров, и. В. Нестеренко, Г. А. Лоншаков. – Благовещенск: РИО Амурпрполиграфиз – дат, 1984. – 29 с.
2. Карлик А. В. Повышение сохранности новорожденных телят / А. В. Карлин, В. И. Пушкарев // Ветеринария. – 1996 - №12. – С. 20 – 22.



3. Шуканов А. Д. Выращивание телят в условиях адаптивной технологии / А. Д. Шуканов, В. Г. Семенов // Ветеринария. – 2000. - №10 – С. 48 – 51.
4. Урван В. П. Болезни молодняка в промышленном животноводстве \ В. П. Урван, Л. Найманов. – М.: Колос, 1984. – 152 с.
5. Славов В. Влияние комбинированного кормления коров в летний период на обмен веществ в организме / В. Славов. М. Кривой, В. Борщенко // Молочное скотоводство. – 2002. – №4. – С. 31 – 32.
6. Воронцов Л. А. О профилактике и лечении желудочно-кишечных болезней телят / Л. А. Воронцов, М. Г. Гамидов // сб. науч. тр. БСХИ. – Благовещенск, 1992. – Вып. 9. С. 14 21.
7. Иноземцев Профилактика незаразных болезней основа сохранности животных / В. П. Иноземцев, О. В. Самсонов // Ветеринария. – 2000. – № 11. – С. 9 – 13.
8. Манасян А. В. Активность ферментов пищеварительной системы у телят при диспепсии / С. В. Манасян, Г. Р. Петоян, А. М., Шахбазян // Ветеринария. – 2003. – №7 – С. 39 – 40.
9. Коромыслов Г. Ф. Профилактика и борьба с инфекционными болезнями молодняка сельскохозяйственных животных / Г. Ф. Коромыслов // Бюл. ВИИЗВ. – 1982. – Вып. 47. – С. 3 – 8.
10. Головка А. Єтіпатогенез маститов та засобів їх терапії / А. Головка, В. Вейомеров, Є. Гутвінська // Ветеринарна медицина України. – 2001. – С. 20 – 21.
11. Гусейнов Э. М. Диагностика и профилактика скрытого мастита / Э. М. Гусейнов, Ш. Б. Шабанок, К. Б. Гусанова // Овцеводство. – 1993. – №2. – С. 37 – 38.
12. Groutides C. P.Chandes in plasma composition sn calves surviving or dying from diarrhoea / C.P. Groutiges, A. R. Michell // Brit. vet. J. – 1990. – 46 № 3 – P. 205 – 210.

13. Раицкая В. И. Новые препараты для лечения и профилактики желудочно-кишечных болезней телят / В. И. Раицкая, В. М. Севастьянова, О. П. Панина // Ветеринария. – 1999. – №3. – С. 42 – 43.
14. Букас Л. Н. Сравнительная характеристика химического состава молозива коров разных отелов / Л. Н. Букас, В. М. Холод // Вестн. акад. аграр. наук Беларусь. – 1999. – №1. – С. 66 – 6
15. Торчук М. В. Значение качества молозива коров для сохранения поголовья новорождённых / М. В. Торчук, Л. Н. Михайлова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2013. – Вип. 142. – С. 124 – 126.
16. Лебедева Е. П. Защитные свойства молозива впервые 10 дней лактации коров / Е. П. Лебедева, Н. В. Клемина, В. С. Антонов // Проблемы ветеринарной иммунологии. – 1985. – С. 58 – 60.
17. Воронцова Л. А. К вопросу о динамике нуклеиновых кислот в молозиве коров по сезонам года / Л. А. Воронцова // Исследования по морфологии и физиологии с. х. животных: Сб. науч. тр. БСХИ. – 1977. – Вып. 5. – С. 50 – 54.
18. Антонов В. С. Динамика класса иммуноглобулинов и других сывороточных белков у крупного рогатого скота в онтогенезе / В. С. Антонов, Н. В. Клемина, С. А. Михайлова // Проблемы ветеринарной иммунологии. – 1985. – С. 49 – 51.
19. Закс М. Г. Молочная железа / М. Г. Закс. – М.: Наука, 1964. – 243 с.
20. Воронцов Е. В. Изменение морфологического состава крови телят при профилактическом применении молозивных и дрожжевого препарата / Е. В. Воронцов // Сб. науч. тр. молодых ученых Даль ГАУ. - Благовещенск, 2002. – Вып. 3. – С. 55 – 61.
21. Федоров Ю. Н. Иммунопрофилактика болезней новорожденных телят / Ю. Н. Федоров // Ветеринария. – 1996. – № 11. – С. 3 – 6.
22. Супотницкий М. В. ДНК – иммунизация в профилактике инфекционных болезней сельскохозяйственных животных / М. В. Супотницкий //

- Ветеринария. – 1998. – № 5. – С. 18 – 24.
23. Чекишев В. М. Иммуноглобулины у телят в постнатальный период / В. М. Чекишев // Сибирский вестник с.х. науки. – 1974. – Вып. 2. – С. 72 – 75.
24. Шишков В. П. Иммунология и современные проблемы ветеринарии / В. П. Шишков // Проблемы ветеринарной иммунологии. – М.: Агро – промиздат, 1985. – С. 3 – 9.
25. Федоров Ю. Н. Факторы иммунологической защиты у новорожденных телят/ Ю. Н. Федоров, М. Ю. Горбунова // Бюл. ВИЭВ. – 1982.– Вып. 47. – С. 60 – 63.
26. Семенов В. Г. Иммуномодуляция комплекса мать плод – новорожденный / В. Г. Семенов // Ветеринария. – 2002. – № 5. – С. 41 – 43.
27. Немченко М. И. Болезни новорожденных телят / М. И. Немченко // Ветеринария. – 1989. – №1. – С. 51 – 54.
28. Беляков И.М. Профилактика желудочно- кишечных заболеваний молодняка в условиях животноводческих комплексов/И. М. Беляков.-М.: Колос,1979. - 98с.
29. Стрельцов И.М. Лечение диспепсии новорожденных телят /И.М. Стрельцов.- М.: Колос,1987. - 41с.
30. Урбан В. П. Болезни молодняка в промышленном животноводстве/В.П. Урбан, И.Л. Найманов. – М.: Колос,1985. – 96с.
- 31.Шевцова И.Н. Применение гипертонических растворов хлорида в ветеринарии/ И.Н. Шевцова.- М.: Россельхозиздат, 1987. – 34с.
32. Митюшин В.В. Диспепсия новорожденных телят/ В.В. Миюшин. – М.: Росагропромиздат,1989. – 126с.
33. Михайлов Н.Н. Акушерская помощь животным/ Н.Н. Михайлов, И.Я. Чистяков.- М.: Агропромиздат,1987. – 112с.
34. Cosen M. Nutritiv bedingte probleme in kalberbestanden / М. Cosen, А. Ullerich // Ubeisicht. Tieremahr. – 1996. – 24, №1. – P. 2433.
35. Elze K. Der Kalberdurchfall / К. Elze // Milchpraxis.–1999. –№ 4.–P.178 – 182.
36. Исмаилов Э. Ш. Биофизическое действие. СВЧ-излучения / Э. Ш.

- Исмаилов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
37. В.П. Иноземцев. Применение электромагнитных излучений крайневысоких частот в ветеринарной практике / Иноземцев В. П., Балковой Н. И., Лукьяновский [ и др.] // Ветеринария. – 1993. – №10. – С. 38 – 42.
  38. Shwan H. P. Microwave radiation: biophysical Considerations and standards criteria / H. P. Shwan. – IEEE Trans. Biomed. – 1972. – Vol. 19, №4. – P. 67 – 74.
  39. Sher L. D. In the possibility of no thermal biological effects of pulsed electromagnetic radiation / L. D. Shen, E. Kresch, H. P. Shwan // Biophys S. – 1970. – Vol. 10. – P. 970 – 979.
  40. Девятков Н. Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Н. Д. Девятков, М. Б. Голот, О. В. Бескид. – М.: Радио и связь, 1991. – 169 с.
  41. Арбер С. Л. Клеточные и молекулярные эффекты и механизмы действия микроволновых электромагнитных полей на биологические системы / С. Л. Арбер. – Электронная обработка материалов. – 1978. – №3. – С. 59 – 65.
  42. Черенков А. Д. Влияние низкоэнергетических МП на клетки тканей вымени коров больных маститом / А. Д. Черенков, Л. Ф. Кучин. – Вісник ХДТУСГ. – 2001. – Вип. 6. – С. 32 – 33.
  43. Панасенко В. И. Некоторые данные по вопросу влияния электромагнитных полей на живые клетки / В. И. Панасенко, В. Игнатов//Труды института курортологии и физиотерапии. - 1971. - №17 - С. 48-52.
  44. Watters F. L. Microwave radiation for the struggle with small four cockchager / F. L. Watters //S. Sored. Prom. Rec. – 1976. – Vol. 12, №4. – P. 19 – 25.
  45. Webb S.I. Absorption of microwaves by microorganisms / S. I. Webb // Nature. – 1969. – Vol. 222, №5199. – P. 1199 – 1200.
  46. Влияние электромагнитных полей на организм животных: сборник научных трудов кафедры патофизиологии и биофизики / Под ред. А.Ф. Кузьмина. – М.: МИИСП, 1972. – Т. 2, вып. 10. – 1972. – 24 с.
  47. Применение электромагнитных излучений крайневысоких частот в ветери-

- нарной практике / Иноземцев В.П., Балковой Н.И., Лукьяновский [и др.] // Ветеринария. – 1993. – № 10. – С. 38 – 42.
48. Брюхова А.К. Влияние ЭМП миллиметрового диапазона, лазерного излучения и их комбинированного действия на свойства микроорганизмов / Брюхова А.К. // Электронная промышленность. – 1985. – Вып. 39. – С. 6 – 9.
49. Карпов М.А. Лечит втрое быстрее / Карпов М.А. // Изобретатель и рационализатор. – 1981. – Вып. 4. – С. 36 – 38.
50. Grissom D. Dielectric dissipation in Nall and below 4,2 K / Grissom D., Hartwig W.H. // J. Of Appl. Phys. – 1966. – Vol. 37, № 13. – Pp. 47 – 84.
51. Севостьянов Л.А. Особенности воздействия радиоволн миллиметрового диапазона в комбинации с фторафуром на кроветворную систему / Севостьянов Л.А., Потапов С.Л. // Биологические науки. – 1967. – № 12. – С. 48 – 50.
52. Pazderova – Vey. Proceedings: Influence of pused microwaves on haematopoiesis of adolescent rate / Pazderova – Vey, Zupkova V. Frank Z. // j. Microwave Power. – 1976. – Vol. 11, № 2. – P. 133.
53. Hematological studies on changes caused by warming of the blood with microwaves / Kagi P., Riiegg R., Straub P.W., Hossli G. // Inflationsther. Klin. Er – nach. – 1977. – Vol. 4, № 5. – Pp. 285 – 289.
54. Суббота А.Г. Нетепловое действие микрорадиоволн на организм животных (обзор литературы) / Суббота А.Г. // ВМЖ. – 1970. – Вып. 40. – С. 39 – 45.
55. Влияние электромагнитных полей на организм животных / Сборник научных трудов кафедры патофизиологии и биофизики под ред. А. Ф. Кузьмина. – М.: МИИСП, 1972. – Т. 2, Вып. 10. – 1972. – 24 с.
56. Чучин В. Н. Дециметровая терапия собак, больных катаральным ринитом / Чучин В. Н., Авдеенко В. С., Кашутина Т. А. – Квантовая терапия в ветеринарии. – М.: ЗАО «МИЛТА – ПКП ГИП», 2003. – 219 с.
57. Фильтельберг-Бланс В. Р. Изменение всасывательной и секреторной деятельности желудка и кишечника при экспериментальном гастрите и энтерите и восстановление этих функций при воздействии на организм

- высокочастотными физическими агентами (ультразвук, УВЧ, СВЧ). Физиология и патологические пищеварительные системы / В. Р. Фильтельберг-Бланс. – М.: Наука, 1963. – 131 с.
58. Барсуков Н. А. Ветеринарная физиотерапия / Н. А. Барсуков. – Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1985. – 52 с.
59. Webb S.I. Microwave absorption by normal and tumos cellg / S.I. Webb, A.V. Booth // Science. – 1971. – № 174. – P. 72 – 74.
60. Webb S.I. Genetic continuity and metabolic regulation as seen by the effects of various microwave and black light frequencies on these phenomena / S.I. Webb // Ann. N. Acad. Seb. – 1975. – № 247. – Pp. 327-351.
61. Луста К.А. Методы определения жизнеспособности макроорганизмов / К. А. Луста, В.А. Фихте.– Пущино: Изд-во НИИ теоретической и экспериментальной биофизики, 1990. – 182 с.
62. Применение низкоинтенсивных электромагнитных миллиметровых волн в медицине и биологии / Девятков Н.Д, Арзуманов Ю.Л., Бецкий О.В., Лебедев Н.Н. – М.: ИРЭ РАН, 1995. – 8 с.
63. Миллиметровые волны в системе реабилитации онкологических больных: Российский симпозиум с международным участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии» / Кабисов Р.К. – М.: ИРЭ РАН, 1997. – С. 13 – 14.
64. Орел А.Н. Лечение костной патологии животных низкоэнергетическим электромагнитным излучением СВЧ диапазона / Орел А.Н., Яковлев В.Ф. // Вісник ХДТУСГ. – Харків: ХДТУСГ. – 2003. – Вип. 19. – С. 197 – 201.
65. Эйди У.Р. Частотные и энергетические окна при воздействии слабых электромагнитных полей на живую ткань / Эйди У.Р. // ТИИЭР. – 1980. – Т. 68, № 1. – С. 128 – 147.
66. Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты / Девятков Н.Д. // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 110, Вып. 3. – С. 453 – 455.
67. Арбер С.Л. Клеточные и молекулярные эффекты и механизм действия

- микроволновых электромагнитных полей на биологические системы / Арбер С.Л. // Электронная обработка материалов. – 1978. – № 3. – С. 59 – 65.
68. Сазонов А. Ю. Воздействие ЭММИ мм диапазона на биологические объекты различной сложности: 10-й Российский симпозиум с международным участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии» / А. Ю. Сазонов, Л. В. Рышков. – М.: ИРЭ РАН, 1995. – 112 с.
69. Чукова Ю. П. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине / Ю. П. Чукова // ММ-волны в биологии и медицине. – 1996. – № 7. – С. 5 – 14.
70. Влияние электромагнитных полей на организм животных / Сборник научных трудов кафедры патофизиологии и биофизики под ред. А. Ф. Кузьмина. – М.: МИИСП, 1972. – Т. 2, Вып. 10. – 1972. – 24 с.
71. В,П. Иноземцев. Применение электромагнитных излучений крайневысоких частот в ветеринарной практике / Иноземцев В. П., Балковой Н. И., Лукьяновский [ и др.] // Ветеринария. – 1993. – №10. – С. 38 – 42.
72. Брюхова А. К. Влияние ЭМП миллиметрового диапазона, лазерного излучения и их комбинированного действия на свойства микроорганизмов / Брюхова А. К. // Электронная промышленность. – 1985. – Вып. 39. – С. 6 – 9.
73. Карпов м. А. Лечит втрое быстрее / Карпов М. А. // Изобретатель и рационализатор. – 1981. – Вып. 4. – С. 36 – 38.
74. Калюжная Л. В. Влияние физических факторов воздействия на плазму крови / Л. В. Калюжная, В. Н. Пясецкий, В. А. Цендровский // VII Всесоюзный семинар «Применение КВЧ излучения низкой интенсивности в биологии и медицине». – М.: ИРЭ АН СССР. – 1989. – С. 73 – 74.
75. Капустин А. А. О цитогенетическом эффекте действия переменного электромагнитного поля СВЧ диапазона / А. А. Капустин, М. Н. Руднев // Цитология и генетика. – 1976. – Т. 10, № 5. – С. 400 – 403.
76. Кардашов В. Л. Влияние импульсного электрического поля ультразвуковой

- частоты на процессы биологического окисления в условиях гипертонии / В. Л. Кардашев // *Вопр. Курартологии, физиотерапии и леч. Физкультуры.* – 1957, № 2. – С. 37 – 41.
77. Карлов В. А. КВЧ терапия при сосудистой патологии головного мозга / В. А. Карлов, И. В. Родштат, Ю. Д. Калашников // VII Всесоюзный семинар «Применение КВЧ излучения низкой интенсивности в биологии и медицине». – М.: ИРЭ АН СССР. – 1989. – С. 22 – 23.
78. Карцовник С. А. Изменение морфологических показателей периферической крови морских свинок при воздействии электромагнитным полем сантиметрового диапазона / С. А. Карцовник // *Влияние электромагнитных полей на организм животных. Сб. науч. труд. каф. Патофизиологии и биофизики Одесского сельхоз. ин-та.* – Одесса: Изд-во Одесского сельхоз. ин-та. – 1971. – С. 77 – 98.
79. Калиниченко А. В. Обоснование немедикаментозного восстановления поврежденных тканей кожного покрова животных / А. А. Калиниченко, И. Й Гордийчу // *Збірник наукових праць.* – Кам'янець-Подільський: ПДАТУ. – 2006. – Вып. 14. – С. 510 – 512.
80. Е.Л. Мачерет. Рефлексотерапия/ Мачерет Е.Л., Самосюк И.З., Лесенюк В.П.- К.: «Здоровья», 1989.-232с.
81. Лувсан Г. Традиционные и современные аспекты восточной рефлексотерапии/ Г. Лувсан.- М.: Наука, 1986. -576с.
82. А. Ройт, Дж. Брокстофф, Д. Мейл // *Иммунология. Пер с англ.*// М.: Мир, 2000. – 592 с.
83. Белановский А. С. Основы биофизики в ветеринарии/А.С. Белановский.- М.: Дрофа, 2007.-332 с.
84. Марчук Г. И. Математические модели в иммунологии/Г.И. Марчук.- М.: Наука, 1991.- 304 с.
85. Бецкий О. В., Голант М. Б.. Миллиметровые волны в биологии/О.В.Бецкий , М.Б. Голант .- М.: Знание, 1988. – 64 с.



86. О. В. Бецкий, Т. И. Котровская, Н. Н. Лебедева // Миллиметровые волны в биологии и медицине // Материалы III Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь». – ИРЭ РАН, 26 – 30.10.2009. – С. 146 – 150.
87. Фрелих Г. Когерентные возбуждения в биологических системах // Биофизика, 1977. – Т. XXII. – Вып. 4. – С. 743 – 744.
88. Хабарова О. В. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов/О. В. Хабарова // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002. – №5. – С. 56 – 66.
89. Adey W. R. Tissue interaction with nonionizing electromagnetic fields. // *Physiol. Rev.* 1981. Vol. 61. N 2. P. 435 – 514.
90. Обзор механических и термодинамических моделей кожи человека в контексте пластической хирургии / А. А. Киряк, А. Э. Кокорев, О. Г. Аврунин, Е. Н. Сорочан // Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». Вип.. 21. – Маріуполь, ПДТУ, 2019. – С. 171-177. [doi.org/10.31498/2522-9990212019187881](https://doi.org/10.31498/2522-9990212019187881)
91. М. Б. Беркенблит, Е. Г. Глаголева Электричество в живых организмах/Беркенблит М. Б.,Глаголева Е. Г.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1988. – 288 с.
92. Яшин А. А. Информационно-полевая самоорганизация биосистем / Яшин А. А. // Вестник новых медицинских технологий. 2000. – Т.VII, №31 – С. 30–38.
93. Guzenko V. Biophysical bases of application of electromagnetic radiations for treatment dyspepsia of calves/ V.Guzenko, A. Cherenkov//Osterreichisches Multiscience journal.-No23, Vol. 2.-Innsbruck, 2019.- P.3-6.
94. Петракович Г.Н. Биополе без тайн: Критический разбор теории клеточной биоэнергетики и гипотеза автора / Петракович Г.Н. // Русская мысль. – 1992. – № 2. – С. 66 – 71.
95. Кузнецов А.П. Электромагнитные поля живых клеток в КВЧ-диапазоне / Кузнецов А.П. // Электронная техника. Сер. 1. Электротехника СВЧ. – 1991. – Вып. 7 (441). – С. 3 – 6.

96. Албертс Б. Молекулярная биология клетки / Б. Албертс, Д. Брей, Д. Льюис [и др.]; пер. с англ. в 2-х томах. – М.: Мир, 1987. – Т. 2. – 312 с.
97. Чиркова Э.Н. Волновая природа регуляции генной активности: Живая клетка как фотонная вычислительная машина / Чиркова Э.Н. // Русская мысль. – 1992. – № 2. – С. 29 – 41.
98. Казначеев В.П. Энергоинформационные взаимодействия в биосфере: Опыт теоретических и экспериментальных исследований / Казначеев В.П., Трофимов А.В. // Русская мысль. – 1992. – № 1. – С. 22 – 27.
99. Казначеев В.П. Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей / Казначеев В.П., Михайлова Л.П. – Новосибирск: Наука, 1985. – 182 с.
100. Selivanova, K. Determination of the basic parameters of sensor devices for the implementation of psychoneurological research with the introduction of multitouch technology / K. Selivanova, O. Avrunin, N. Kazimirov // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, 2020.No.1(11),P. 147–155.DOI:<https://doi.org/10.30837/2522-818.2020.11.147>
101. Нефедов Е. И. Взаимодействие физических полей с животными существами / Е. И. Нефедов, А. А. Протопопов, А. И. Семенцов. – Тула: Из-во ТулГУ, 1995. – 264 с.
102. Наумчева Н. Н. Применение электромагнитных волн миллиметрового диапазона / Н. Н. Наумчева // ММ-волны в биологии и медицине. – 1995. – № 26. – С. 26 – 30.
103. Петросян В. Н. Физика взаимодействия ММ-волн с биологическими объектами / В. Н. Петросян, Ю. В. Гуляев, Э. А. Житенева, В. А. Елкин // Российский симпозиум. «Миллиметровые волны в медицине и биологии»: Сб. докл. – М.: ИРЭРАН. – 1995. – С. 140 – 143.
104. Бецкий О. В. Электромагнитные миллиметровые волны и живые организмы / О. В. Бецкий, Н. Д. Девятков // Журнал в журнале. Биомедицинская радиоэлектроника. – Радиотехника. – 1996. – № 9. – С. 4 – 11.

105. Петросян В. И. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ – диапазона / В. И. Петросян, Ю. В. Гуляев, Э. А. Житенева, В. А. Елкин // Радиотехника и электроника. – 1995. – Т. 40. – Вып. 1. – С. 127 – 134.106
106. Plonsey R. Bioelectricity a Quantitative Approach / Plonsey R. – New York: Penum Press, 1988 – 366 p.
107. Рубин А. Б. Биофизика: в 2-х кн.: Учебник для биол. Спец. вузов. Кн. 2 Биофизика клеточных процессов / А. Б. Рубин. – М.: Высш. шк., 1987. – 303 с.
108. Антонов В. Ф. Липиды и ионная проницаемость мембран / В. Ф. Антонов. – М.: Уфа, 1982. – 168 с.
109. Черенков А. Д. Изменение мембранного потенциала клеток биологических объектов находящихся во внешних электромагнитных полях. / А. Д. Черенков, Е. Л. Пиротти // Весник ХГПУ. – 2000. – Вып. 92.– С. 96 – 100.
110. Гузенко В.В. Аналіз впливу радіоімпульсного інформаційного випромінювання на збереження новонароджених телят: *тези за матеріалами 12 міжнародної науково-практичної конференції* [«Влияние современности в науке і практиці»] (Edmonton, 12-13 april 2020p.) / Гузенко В.В., Лисиченко М.Л., Чугуй Е.А.//Canada.- С. 313– 316.
111. Лебедев Н. В. Техника и приборы СВЧ / Н. В. Лебедев. - М.: «Высшая школа», 1970. -512 с.
112. Aleksandr D. Cherenkov. Decision alqoritm of near-field microwave sounding / Aleksandr D. Cherenkov, Anatolij E. Poedinchuk, Aleksandr V. Sapryka // UAER, International Journal of Applied Engineering Research - 2016.-pp.45186-45189.
113. Фрадин А. З. Антенны сверхвысоких частот / А. З. Фрадин. - М.: Сов. радио. 1957. - 646 с.
114. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ / Д. М. Сазонов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
115. Драбкин А. Л. Антенно-фидерные устройства / А. Л. Драбкин,

- В. Л. Зузенко, А. Г. Кислов. – М.: Сов. радио, 1974. – 536 с.
116. Хансен Р. Сканирующие антенные системы СВЧ / Р. Хансен; пер. с англ. под ред. Г. Т. Маркова и А. Ф. Чаплина. – М.: Сов. радио, 1966. – 356 с.
117. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Под ред. Д. И. Воскресенского.–М.: Радиотехника, 2003. – 632с.
118. Clarricoats P. J. B. Antennas employing conical dielectric horns. Part I. Propagation and radiation characteristics of dielectric cones. Part II. The Cassegrain antenna / P. J. B. Clarricoats, C. E. R. Salema / Proc. Inst. Elec. Eng. – 1973. - Vol. 120. – P. 741-756.
119. Клэррикоутс П. Дж. Б. Высокоэффективные зеркальные СВЧ антенны (обзор) / П. Дж. Б. Клэррикоутс, Дж. Т. Поултон // ТИИЭР. – 1977. – Т. 65, № 10. – С. 57-97.
120. Справочник по радиолокации. В 4-х т. / Ред. М. Скольник. Пер. с англ. под ред. К. Н. Трофимова / Т. 2. Радиолокационные антенные устройства. – М.: Сов. радио, 1977. – 408 с.
121. Guzenko V. Analysis of the electrodynamic model of an biologically active point of animal skin/V.Guzenko, N. Kosulina // The Scientific Heritage (Budapest).-2020.- No. 46 -P.1.- Pp. 25-28.
122. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн/ В.В. Никольский.- М.: Наука, 1978. – 544 с.
123. Дмитриев В.Н. Интегральные уравнения в краевых задачах электродинамики/В.Н. Дмитриев.- М.: Изд-во Моск. ун-та. 1987. – 167 с.
124. Гузенко В.В. Влияние радиоимпульсного излучения на сохранность новорожденных телят: *тези за матеріалами X міжнародної науково-практичної конференції* [«Сучасний рух науки»] (Дніпро, 2 -3 квітня 2020р.) / Гузенко В.В., Лисиченко М.Л., Чугуй Е.А.// М-во освіти і науки України, «*Way Scisence*».–Т.1. – С. 333– 339.
125. Гузенко В.В. Аналіз взаємодії радіоімпульсного випромінювання з біологічно активними точками тварин/ В. В. Гузенко, Н. В.Тітова, Г.М. Новіцький//Вісник Хмельницького національного університету.-2020.-

- №1(281). -С.64-70.
- 126.Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров/Г.Корн, Т. Корн.- М.: Наука, 1970. – 720 с.
- 127.Мычковский Ю.Г. Радиоэлектроника биологически активных точек / Ю.Г. Мычковский // Вісник КрНІ ім. М. Островського. –2012.-Вып. 4.-С. 45-47.
128. Гузенко В.В. Визначення параметрів електромагнітного випромінювання для лікування диспепсії тварин / В.В. Гузенко, Л.М. Михайлова// Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Подільський державний аграрно- технічний університет.- Кам'янець-Подільський, 2019.-Вип.31.–С.73-79.
- 129.Касаткин Л. В. Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн/ Л. В. Касаткин, В. Е. Чайка. – Севастополь: Вебер, 2006. – 319 с.
130. Вайнштейн Л.А. Строгое решение задачи о плоском волноводе с открытым концом / Л.А. Вайнштейн // Известия АН СССР. Серия физическая. – 1948. – Т. 12, № 2. – С. 144-165.
131. Харвей А.Ф. Техника сверхвысоких частот / А.Ф. Харвей; пер. с англ. под ред. В.И. Сушкевича. – М.: Советское радио, 1965. – Т. 1. – 784 с.
132. Кюн Р. Микроволновые антенны / Р. Кюн; пер. с нем. под ред. М.П. Долуханова. – Л. : Судостроение, 1967. – 520 с.
133. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Госуд. изд-во технико-теоретич. лит-ры, 1954. – 608 с.
134. Вольман В.И. Техническая электродинамика / В.И. Вольман, Ю.В. Пименов; под ред. Б.З. Айзенберга. – М.: Связь, 1971. – 488.
135. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов / [под ред. Д.И. Воскресенского]. – М.: Сов. радио, 1972. – 318 с.
136. Марков Г.Т. Антенны / Г.Т. Марков– М.: Энергия, 1975. – 528 с.
137. Лавров А.С. Антенно-фидерные устройства / А.С. Лавров, Г.Б. Резников. – М.: Советское радио, 1974. – 368 с.

138. Егоров В.Н. Резонансные методы исследования диэлектриков на СВЧ / В.Н. Егоров // Приборы и техника эксперимента. – 2007. - № 2. – С. 5-38.
139. Гузенко В.В. Джерела ВВЧ діапазона для інформаційного впливу на біологічні об'єкти: *тези за матеріалами V міжнародної науково-практичної конференції присвяченої пам'яті професора Віктора Михайловича Синькова* [«Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК»] (Київ, 19-20 грудня 2019р.) / Гузенко В.В., Лисиченко М.Л. / // М-во освіти і науки України, Національний університет биоресурсів і природокористування України. – К.: НУБІП, 2019.– С. 111 – 112.
140. Guzenko V. Fnalysis of parameters dielectric narrowing cored aeriials/V. Guzenko V. Krivonjsov//Slovak international scientific journal.- N036,VOL.1.- Bratislava, 2019.-P.22-28.
- 141.Богданович А. И. Расчеты в планировании экспериментов / А.И. Богданович – Л.: ЛТА, 1978. – 10 с.
- 142.Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский. – К.: Техника, 1975. – 168 с.
- 143.Международная ветеринарная анатомическая номенклатура на латинском и русском языках: справочник/ пер. Н. В. Зеленского.- 5-е изд.- СПб.: Лань,2013.-400с.

Додаток А  
«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор сільськогосподарського  
виробничого кооперативу «Україна»  
М. М. Мусієнко  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019р.

АКТ

Ми, нижче підписані: гол. зоотехнік Лактіонов В. Б., гол. бухгалтер Гумірова А. О., інженер Гузенко В. В., доцент Сорокін М. С., склали цей акт в тому, що в кооперативі «Україна» впродовж 2018-2019 рр. було застосовано радіоімпульсне електромагнітне випромінювання для лікування телят хворих диспепсією: частота заповнення імпульсів –  $50,0 \pm 0,02$  ГГц; амплітуда потужності в імпульсі –  $18,0 \pm 0,1$  ГГц; період слідування імпульсів –  $1,0 \cdot 10^{-5} \pm 0,1 \cdot 10^{-5}$  с; тривалість імпульсів –  $1,0 \cdot 10^{-7} \pm 0,1 \cdot 10^{-7}$  с; експозиція опромінення БАТ –  $25 \pm 2$  с.

Для виробничого досліду були використані в досліді і контролі групи по 25 телят. Обробку телят електромагнітним випромінюванням проводили під час їх годування впродовж 3-х днів дією радіоімпульсного електромагнітного випромінювання на БАТ № 4, 5, 6, 7, 10, 15 шкірного покриву тварин. У контрольній групі телята опроміненню ЕМП не піддавалися.

Телят контрольної групи лікували загальноприйнятими у ветеринарній практиці методами. З отриманих даних видно, що результативність радіоімпульсної терапії диспепсії телят склала 100% в досліді, а в контролі – 72%. Курс лікування скоротився на 4 дні або на 57%.

Прирости в контрольній групі впродовж місяця після одужання склали – 450 г, а в дослідній групі – 560 г, що на 24% більше.

Смертність телят після 20 днів життя склала в контрольній групі 28%, а в дослідній вижили усі телята.

Економічна ефективність від впровадження імпульсної електромагнітної біотехнології для лікування диспепсії телят склала 50 тыс. грн. з розрахунку на 25,0 голів.

Гол. зоотенік

Лактіонов В.Б.

Гол. бухгалтер

Гумірова А.О.

Інженер

Гузенко В.В.

Доцент

Сорокін М.С.

## ДАНІ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Рівняння регресії для повнофакторного експерименту типу  $2^5$ :

$$\begin{aligned}
 y = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{15}x_1x_5 + \\
 & + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5 + b_{123}x_1x_2x_3 + \\
 & + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{125}x_1x_2x_5 + b_{135}x_1x_3x_5 + b_{145}x_1x_4x_5 + \\
 & + b_{235}x_2x_3x_5 + b_{245}x_2x_4x_5 + b_{345}x_3x_4x_5 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4 + b_{1235}x_1x_2x_3x_5 + b_{1245}x_1x_2x_4x_5 + \\
 & + b_{1345}x_1x_3x_4x_5 + b_{2345}x_2x_3x_4x_5 + b_{12345}x_1x_2x_3x_4x_5
 \end{aligned}$$

де  $y$  – вихідний параметр;

$x_i$  – чинники, що визначають протікання процесу (вхідні параметри);

$b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  – емпірично визначувані коефіцієнти рівняння регресії.

Приймаючи  $x_1 = x_2x_3x_4$ , а  $x_5 = x_2x_3$  рівняння регресії матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 y = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{15}x_1x_5 + \\
 & + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + \\
 & + b_{44}x_4^2 + b_{55}x_5^2
 \end{aligned}$$

Для здійснення ротательного плану другого порядку, приймаємо як ядро планування для п'ятифакторного експерименту напіврепліку [139,140].

Розрахункова матриця для  $2^{k-1}$  приведена в таб. Б.1.

У таблиці Б.2 приведені дані, що характеризують процес експерименту.

Розрахунок коефіцієнтів регресії і розрахункова матриця для визначення залишкової суми квадратів і дисперсії адекватності приведені в таблицях Б.3 і Б.4.



Таблица Б.1

Матрица планирования эксперимента

ОПЫТ	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_1x_4$	$x_1x_5$	$x_2x_3$	$x_2x_4$	$x_2x_5$	$x_3x_4$	$x_3x_5$	$x_4x_5$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$x_4^2$	$x_5^2$	$\bar{y}_1$	$\bar{y}_2$	$\bar{y}$
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	36,7	36,5	36,6
2	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	30,8	30,6	30,7
3	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	31,0	31,2	31,1
4	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	37,5	37,9	37,7
5	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	36,94	36,66	36,8
6	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	34,7	34,9	34,8
7	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	34,4	34,6	34,5
8	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	36,9	36,7	36,8
9	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	36,42	36,98	36,3
10	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	34,4	34,2	34,3
11	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	34,97	34,83	34,9
12	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	36,52	36,38	36,4
13	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	26,7	26,9	26,8
14	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	34,6	34,4	34,5
15	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	31,48	31,72	31,6
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	73,5	73,3	73,4
17	+	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	25,4	25,4	25,4
18	+	+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	37,6	37,6	37,6
19	+	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	25,4	25,2	25,3
20	+	0	+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	36,0	36,2	36,1
21	+	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	33,5	33,5	33,5
22	+	0	0	+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	40,9	40,5	40,7
23	+	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	33,1	33,3	33,2
24	+	0	0	0	+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	40,1	40,1	40,1
25	+	0	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	32,8	32,8	32,8
26	+	0	0	0	0	+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	42,3	42,1	42,2
27	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,	26,2	26,4
28	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,42	26,28	26,3
29	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,0	27,0	27,0
30	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,2	27,0	27,1
31	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,0	27,0	27,0
32	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,5	26,3	26,4

Таблица Б.2

## Матрица для расчета коэффициентов регрессии

ОПЫТ	$x_1\bar{y}_n$	$x_2\bar{y}_n$	$x_3\bar{y}_n$	$x_4\bar{y}_n$	$x_5\bar{y}_n$	$x_1x_2\bar{y}_n$	$x_1x_3\bar{y}_n$	$x_1x_4\bar{y}_n$	$x_1x_5\bar{y}_n$	$x_2x_3\bar{y}_n$	$x_2x_4\bar{y}_n$	$x_2x_5\bar{y}_n$	$x_3x_4\bar{y}_n$	$x_3x_5\bar{y}_n$	$x_4x_5\bar{y}_n$	$x_1^2\bar{y}_n$	$x_2^2\bar{y}_n$	$x_3^2\bar{y}_n$	$x_4^2\bar{y}_n$	$x_5^2\bar{y}_n$	$\bar{y}_n$	$(\bar{y}-\bar{y})^2$	$S_n^2$
1	-36,6	-36,6	-36,6	-36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	-36,6	36,6	36,6	-36,6	36,6	-36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	0,16	0,02
2	30,7	-30,7	-30,7	-30,7	-30,7	-30,7	-30,7	-30,7	-30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	0,01	0,02
3	-31,1	31,1	-31,1	-31,1	-31,1	-31,1	-31,1	31,1	31,1	-31,1	-31,1	-31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	0,09	0,02
4	37,7	37,1	-37,1	-37,1	37,1	37,1	-37,1	-37,1	37,1	-37,1	-37,1	37,1	37,1	-37,1	-37,1	37,1	37,1	37,1	37,1	37,1	37,1	0,09	0,08
5	-36,8	-36,8	36,8	-36,8	-36,8	36,8	-36,8	36,8	36,8	-36,8	36,8	36,8	-36,8	-36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	0,04	0,04
6	34,8	-34,8	34,8	34,8	34,8	-34,8	34,8	-34,8	34,8	-34,8	34,8	-34,8	-34,8	34,8	-34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	0,16	0,02
7	-34,5	34,5	34,5	-34,5	34,5	-34,5	-34,5	34,5	-34,5	34,5	-34,5	34,5	-34,5	34,5	-34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	0,09	0,02
8	36,8	36,8	36,8	-36,8	-36,8	36,8	36,8	-36,8	-36,8	36,8	-36,8	-36,8	-36,8	-36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	0,04	0,02
9	-36,3	-36,3	-36,3	36,3	-36,3	36,3	36,3	-36,3	36,3	36,3	-36,3	36,3	-36,3	36,3	-36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	36,3	0,01	0,01
10	34,3	-34,3	-34,3	34,3	34,3	-34,3	-34,3	34,3	34,3	34,3	-34,3	-34,3	-34,3	-34,3	34,3	34,3	34,3	34,3	34,3	34,3	34,3	0,09	0,02
11	-34,9	34,9	-34,9	34,9	34,9	-34,9	34,9	-34,9	-34,9	-34,9	34,9	34,9	-34,9	-34,9	34,9	34,9	34,9	34,9	34,9	34,9	34,9	0,09	0,01
12	36,4	36,4	-36,4	36,4	-36,4	36,4	-36,4	36,4	-36,4	-36,4	36,4	-36,4	-36,4	36,4	-36,4	36,4	36,4	36,4	36,4	36,4	36,4	0,04	0,03
13	-26,8	-26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	-26,8	-26,8	-26,8	-26,8	-26,8	-26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	0,04	0,02
14	34,5	-34,5	34,5	34,5	-34,5	-34,5	34,5	34,5	-34,5	-34,5	-34,5	34,5	34,5	-34,5	-34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	0,09	0,02
15	-31,6	31,6	31,6	31,6	-31,6	-31,6	-31,6	-31,6	31,6	31,6	31,6	-31,6	31,6	-31,6	-31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	0,04	0,01
16	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	73,4	0,16	0,02
17	-50,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101,6	0	0	0	0	25,4	0,01	0,00
18	75,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150,4	0	0	0	0	37,6	0,01	0,00
19	0	-50,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101,2	0	0	0	25,3	0,04	0,02
20	0	72,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	144,4	0	0	0	36,1	0,04	0,02
21	0	0	-67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	134,0	0	0	33,5	0,04	0,00
22	0	0	81,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162,8	132,8	0	40,7	0,04	0,08
23	0	0	0	-66,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160,4	0	33,2	0,01	0,02
24	0	0	0	80,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132,2	40,1	0,01	0,00
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168,8	32,8	0,01	0,00
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,2	0,01	0,02
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,4	0,09	0,08
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,3	0,16	0,01
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,0	0,09	0,00
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,1	0,16	0,02
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,0	0,09	0,00
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,4	0,09	0,02
$\Sigma$	74,4	67,2	45,6	43,2	57,6	54,4	49,6	48,0	44,8	41,6	43,2	46,4	17,6	20,8	22,4	839,2	832,8	884,0	880,4	888,2	1094,4	2,24	0,57

Таблица Б.3

## Матрица для расчета адекватности модели

ОПЫТ	$b_0$	$b_{1x_1}$	$b_{2x_2}$	$b_{3x_3}$	$b_{4x_4}$	$b_{5x_5}$	$b_{12x_1x_2}$	$b_{13x_1x_3}$	$b_{14x_1x_4}$	$b_{15x_1x_5}$	$b_{23x_2x_3}$	$b_{24x_2x_4}$	$b_{25x_2x_5}$	$b_{34x_3x_4}$	$b_{35x_3x_5}$	$b_{45x_4x_5}$	$b_{11x_1^2}$	$b_{22x_2^2}$	$b_{33x_3^2}$	$b_{44x_4^2}$	$b_{55x_5^2}$	$\hat{y}$
1	26,7	-3,1	-2,8	-1,9	-1,8	2,4	3,4	3,1	3,0	-2,8	2,6	2,7	-2,9	1,1	-1,3	-1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	185,0
2	26,7	3,1	-2,8	-1,9	-1,8	-2,4	-3,4	-3,1	-3,0	-2,8	2,6	2,7	2,9	1,1	1,3	1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	30,6
3	26,7	-3,1	2,8	-1,9	-1,8	-2,4	-3,4	3,1	3,0	2,8	-2,6	-2,7	-2,9	1,1	1,3	1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	31,4
4	26,7	3,1	2,8	-1,9	-1,8	2,4	3,4	-3,1	-3,0	2,8	-2,6	-2,7	2,9	1,1	-1,3	-1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	37,4
5	26,7	-3,1	-2,8	1,9	-1,8	-2,4	3,4	-3,1	3,0	2,8	-2,6	2,7	2,9	-1,1	-1,3	1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	36,6
6	26,7	3,1	-2,8	1,9	-1,8	2,4	-3,4	3,1	-3,0	2,8	-2,6	2,7	-2,9	-1,1	1,3	-1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	35,1
7	26,7	-3,1	2,8	1,9	-1,8	2,4	-3,4	-3,1	3,0	-2,8	2,6	-2,7	2,9	-1,1	1,3	-1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	34,2
8	26,7	3,1	2,8	1,9	-1,8	-2,4	3,4	3,1	-3,0	-2,8	2,6	-2,7	-2,9	-1,1	-1,3	1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	37,0
9	26,7	-3,1	-2,8	-1,9	1,8	-2,4	3,4	3,1	-3,0	2,8	2,6	-2,7	2,9	-1,1	1,3	-1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	36,2
10	26,7	3,1	-2,8	-1,9	1,8	2,4	-3,4	-3,1	3,0	2,8	2,6	-2,7	-2,9	-1,1	-1,3	1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	34,6
11	26,7	-3,1	2,8	-1,9	1,8	2,4	-3,4	3,1	-3,0	-2,8	-2,6	2,7	2,9	-1,1	-1,3	1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	34,6
12	26,7	3,1	2,8	-1,9	1,8	-2,4	3,4	-3,1	3,0	-2,8	-2,6	2,7	-2,9	-1,1	1,3	-1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	36,6
13	26,7	-3,1	-2,8	1,9	1,8	2,4	3,4	-3,1	-3,0	-2,8	-2,6	-2,7	-2,9	1,1	1,3	1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	27,0
14	26,7	3,1	-2,8	1,9	1,8	-2,4	-3,4	3,1	3,0	-2,8	-2,6	-2,7	2,9	1,1	-1,3	-1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	34,2
15	26,7	-3,1	2,8	1,9	1,8	-2,4	-3,4	-3,1	-3,0	2,8	2,6	2,7	-2,9	1,1	-1,3	-1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	31,8
16	26,7	3,1	2,8	1,9	1,8	2,4	3,4	3,1	3,0	2,8	2,6	2,7	2,9	1,1	1,3	1,4	1,2	1,0	2,6	2,5	2,7	73,0
17	26,7	-6,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0	25,3
18	26,7	6,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8	4	0	0	0	37,7
19	26,7	0	-5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	25,1
20	26,7	0	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,4	0	0	36,3
21	26,7	0	0	-3,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,4	0	0	33,3
22	26,7	0	0	3,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	40,9
23	26,7	0	0	0	-3,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	33,1
24	26,7	0	0	0	3,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,8	40,3
25	26,7	0	0	0	0	-4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,8	32,7
26	26,7	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42,3
27	26,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,7
28	26,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,7
29	26,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,7
30	26,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,7
31	26,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,7
32	26,7	0	0	0	0	0											0	0	0	0	0	26,7

Таблиця Б.4

## Розрахунок коефіцієнтів регресії і перевірка їх значущості

№	Найменування величини	Розрахункова формула	Розрахункове значення
1	2	3	4
1.	Сума квадратів побудованих дисперсій [117]	$S_n^2 = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)^2}{2}$	
2.	Сума квадратів помилок	$S_E = \sum_{n=1}^{N=32} S_n^2$	0,57
3.	Повторність дослідів	$\gamma$	2
4.	Кількість дослідів	N	32
5.	Рівень значущості	$\alpha$	0,05
6.	Розрахункові значення критерію Кохрена	$G_p = \frac{S_n^2 \max}{S_E}$	0,14
7.	Табличне значення критерію Кохрена	GT при $\alpha = 0,05$ ; $N=2$ ; $f=\gamma - I=1$	0,29
8.	Перевірка відтворюваності дослідів	$G_p < GT$	$0,14 < 0,29$
9.	Коефіцієнти	$b_0 = \delta_0^1 \sum_{n=1}^{N=20} \bar{y}_n - \delta_0^1 \sum_{i=1}^K \sum_{n=1}^N x_m^2 \bar{y}_n$ $\delta_0^1 = 0,15091, \delta_0^n = 0,034091$	$b_0 = 26,7$
10.	Рівняння регресії	$b_n = \delta_{ii}^1 \sum_{n=4}^N x_m^2 \bar{y}_n + \delta_{ii}^2 \sum_{i=1}^K \sum_{n=1}^N x_m^2 \bar{y}_n - \delta_{ii}^3 \sum_{i=1}^K \bar{y}_n;$ $\delta_{ii}^1 = 0,03125; \delta_{ii}^2 = 0,002841;$ $\delta_{ii}^3 = 0,034091$	$b_{11} = 1,2$ $b_{22} = 1,0$ $b_{33} = 2,6$ $b_{44} = 2,5$ $b_{55} = 2,7$
		$b_i = \delta_i \sum_{n=1}^N x_{in} \bar{y}_n; \delta_1 = 0,041667$	$b_1 = 3,1$ $b_2 = 2,8$ $b_3 = 1,9$ $b_4 = 1,8$ $b_5 = 2,4$
		$b_{ij} = \delta_{ij} \sum_{n=1}^N x_{in} x_{jn} \bar{y}_n; \delta_i = 0,0625$	$b_{12} = 3,4$ $b_{12} = 3,4$ $b_{13} = 3,1$ $b_{14} = 3,0$ $b_{15} = 2,8$ $b_{23} = 2,6$ $b_{24} = 2,7$ $b_{25} = 2,9$ $b_{34} = 1,1$ $b_{35} = 1,3$ $b_{45} = 1,4$

1	2	3	4
11.	Дисперсія відтворюваності	$S_y^2 = \frac{S_E}{N}$	0,018
12.	Дисперсія коефіцієнтів регресії [117]	$S_{b_0}^2 = \gamma_0 S_y^2; \gamma_0 = 0.1591$	0,0028
		$S_{b_{ii}}^2 = \gamma_{ii} S_y^2; \gamma_{ii} = 0.0312$	0,0006
		$S_{b_{ij}}^2 = \gamma_{ij} S_y^2; \gamma_{ij} = 0.0625$	0,001
		$S_{b_i}^2 = \gamma_i S_y^2; \gamma_i = 0.0417$	0,0008
13.	Табличне значення критерію Стьюдента	$t_p$ при	2,04
14.	Умовна значущості коефіцієнтів рівняння регресії	$ b_0  \geq S_{b_0} \cdot t_p$	0,11
		$ b_i  \geq S_{b_i} \cdot t_p$	0,06
		$ b_{ii}  \geq S_{b_{ii}} \cdot t_p$	0,06
		$ b_{ij}  \geq S_{b_{ij}} \cdot t_p$	0,07
15.	Залишкова сума квадратів	$S^2 = \sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - \tilde{y}_n)^2$	2,24
16.	Частота $f_{ад}$	$f_{ад} = N - \frac{(k+2)(k+1)}{2} (N_0 - 1)$	6
17.	Залишкова сума квадратів в центрі плану	$S = \sum_{n=1}^N (\bar{y}_{on} - \tilde{y}_{on})^2$	0,68
18.	Помилка досліду при рототабельном плануванні	$S_0^2 = \frac{S}{N_0 - 1}$	0,17
19.	Різниця дисперсій	$S_{общ.} - S$	1,56
20.	Дисперсія адекватності	$S_{ад.}^2 = \frac{S_{общ.} - S}{f_{ад.}}$	0,26
21.	Розрахункове значення критерію Фішера	$F_p = \frac{S_{ад.}^2}{S_0^2}$	1,53
22.	Табличне значення критерію Фішера	$FT$ при	2,42
23.	Умова перевірки адекватності моделі	$FPFT$	$1,53 < 2,42$